



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“DISPERSIÓN E INFLUENCIA DE FUENTES PUNTUALES DE  
CONTAMINACIÓN DE LA ZONA COSTERA ADYACENTE AL PARQUE  
NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO”**

**TESIS**

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA

**L.B.A. JUAN CARLOS PÉREZ JIMÉNEZ**

DIRECTOR DE TESIS

**DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ**

CODIRECTOR DE TESIS

**DRA. ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN**

ASESORES

**MC. CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ**

**DRA. GABYCARMEN NAVARRETE RODRÍGUEZ**

JUNIO DEL 2023

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO.





**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

**Número Registro: A-01310-150921**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 10:30 horas del día 30 del mes de mayo de 2023 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:

**"DISPERSIÓN E INFLUENCIA DE FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN DE LA ZONA COSTERA ADYACENTE AL PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO"**

Que presenta el (la) alumno(a):

**JUAN CARLOS PÉREZ JIMÉNEZ**

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:**

**DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ**  
Director

**DRA. ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN**  
Co-Director

**MC. CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ**  
Asesor

**DRA. GABYCARMEN NAVARRETE RODRÍGUEZ**  
Asesor



||





Boca del Río, Ver **20/JUNIO/2023**

**ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

**JUAN CARLOS PÉREZ JIMÉNEZ  
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN  
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
PRESENTE**

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

**“DISPERSIÓN E INFLUENCIA DE FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN DE LA ZONA COSTERA ADYACENTE AL PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO”**

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*Por nuestros mares responderemos*

**DR. JUAN DAVID GARAY MARIN  
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB  
c.c.p. Expediente



III







Boca del Río, Veracruz, **06/junio/2022**

Asunto: **CESION DE DERECHOS Y NO PLAGIO**

**H. CONSEJO DE POSGRADO**

**PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO**

**PRESENTE**

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los 06 días del mes junio de 2022. El que suscribe, L. B. A. Juan Carlos Pérez Jiménez, por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada: “DISPERSIÓN E INFLUENCIA DE FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN DE LA ZONA COSTERA ADYACENTE AL PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO”. (en lo sucesivo la “TESIS”) manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el “TecNM”). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la “TESIS” se transfiere en virtud de lo estipulado en los establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la “TESIS” es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la “TESIS” en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del “TecNM”, adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.





- IV. El TecNM podrá exhibir la "TESIS" a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.
- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la "TESIS" por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el "TecNM".
- VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: m21990011@bdelrio.tecnm.mx

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

**ATENTAMENTE**

*Juan Carlos*

L. B. A. Juan Carlos Pérez Jiménez  
NOMBRE Y FIRMA DEL ESTUDIANTE

c.c.p. Archivo



V





Boca del Río, Ver., **20/JUNIO/2023**

Asunto: **CONSTANCIA DE  
NO INCONVENIENCIA**

**ING. VICTOR HUGO MUÑOZ ROBLEDO**  
**JEFE 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. JUAN CARLOS PÉREZ JIMÉNEZ**, de la generación febrero 2021-febrero 2023 con número de control **21990011**, 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 **DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ** 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*

**DR. JUAN DAVID GARAY MARIN**  
**JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIO DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACION**

Vo.Bo.

**DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ**  
**DIRECTOR DE TESIS**

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



## RESUMEN

Los arrecifes coralinos son zonas de alta productividad, crianza, resguardo, alimentación y reproducción de especies de aprovechamiento pesquero, millones de personas alrededor del mundo son favorecidas por los servicios ecosistémicos que los arrecifes de coral ofrecen. Pese a su gran importancia económica y ecológica, son severamente dañados por las actividades antropogénicas. En la región Sur Oeste del Golfo de México, frente al Puerto de Veracruz y Antón Lizardo, se encuentra el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Debido a sus características únicas, someras y poco profundas, la zona de rompiente es turbulenta, por la acción del viento, oleaje e influencia de los aportes de agua dulce de los ríos, La Antigua, Jamapa y Papaloapan, lo que facilita la dispersión y mezcla de sustancias esenciales para la vida marina, pero también la de los contaminantes derivados de un gran número de descargas de Fuentes de Contaminación, procedentes de la zona conurbada de Veracruz, lo que puede tener influencia en la alteración de los parámetros fisicoquímicos del agua de mar. Es escasa la información que puntualiza las ubicaciones geográficas de las descargas de las Fuentes de Contaminación (FC) en las playas y el alcance de la dispersión e influencia en los arrecifes de coral del PNSAV. En la presente investigación se determinó la variabilidad de las FC y las propiedades hidrológicas que puedan tener influencia en los arrecifes. Se realizaron 10 recorridos en el área de estudio, la cual se dividió en 8 Zonas, pertenecientes a las costas de los municipios de, Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo, los recorridos se realizaron en temporada de vientos del norte. Se encontraron, 89 Fuentes Difusas (FD), 59 Fuentes Puntuales (FPC), y 60 Hoteles (H) como actividad económica relevante. Se evaluaron las posibles correlaciones entre la presencia de H de la zona costera y la presencia de las descargas de FPC en las playas. Mostraron una correlación positiva de ( $r = 0.9079$ ), por lo que existe una relación significativa. Se evaluaron las propiedades hidrológicas de, velocidad superficial, gasto y densidad del agua residual de 3 FPC que descargan en las playas durante la temporada de estiaje, con las cuales, se calculó la influencia y alcance, utilizando la ecuación relación curvatura,  $r = U / f$ , lo que permitió emplear un Modelo Teórico de Radio Dispersión. Por lo que posiblemente el alcance de la Dispersión e Influencia en el PNSAV, es aproximado a un radio de, ( $r = 31.398$  km), ( $r = 73.965$  km) y ( $r = 35.536$  km) respectivamente, con mayor influencia en los arrecifes del Norte del PNSAV. Se evaluó la calidad de agua de mar de 5 Zonas adyacentes a las costas, con 367 muestras puntuales de parámetros fisicoquímicos (PFQ), oxígeno disuelto, pH, temperatura, salinidad, transparencia y alcalinidad total. Mostraron promedios normales para agua de mar, con algunas excepciones. Los Radios de Dispersión sobrepasaron el polígono del PNSAV. Las descargas persistentes de aguas residuales aledañas al PNSAV, pudieron influir en la transparencia y concentraciones de oxígeno disuelto encontradas en los PFQ, lo que puede generar estrés a la vida marina.

Palabras clave: Zona costera, aguas residuales, radio dispersión, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

## ABSTRACT

Coral reefs are areas of high productivity, breeding, protection, feeding and reproduction of species for fishing use, millions of people around the world are favored by the ecosystem services that coral reefs offer. Despite their great economic and ecological importance, they are severely damaged by anthropogenic activities. In the South West region of the Gulf of Mexico, in front of the Port of Veracruz and Antón Lizardo, is the Veracruz Reef System National Park (PNSAV). Due to its unique, shallow and shallow characteristics, the surf zone is turbulent, due to the action of the wind, waves and the influence of freshwater contributions from the La Antigua, Jamapa and Papaloapan rivers, which facilitates the dispersion and mixture of essential substances for marine life, but also that of pollutants derived from a large number of discharges from Pollution Sources, coming from the Veracruz metropolitan area, which may have an influence on the alteration of the physicochemical parameters of the water sea. The information that specifies the geographical locations of the discharges of the Pollution Sources (PS) on the beaches and the scope of the dispersion and influence on the coral reefs of the PNSAV is scarce. In the present investigation, the variability of the FC and the hydrological properties that may have an influence on the reefs were determined. 10 tours were made to the study area, which was divided into 8 zones, belonging to the coasts of the municipalities of Veracruz, Boca del Río and Antón Lizardo, the tours were carried out in the north wind season. 89 Diffuse Sources (DS), 59 Point Sources (PS), and 60 Hotels (H) were found as relevant economic activity. Possible correlations between the presence of H in the coastal zone and the presence of PS discharges on the beaches were evaluated. They showed a positive correlation of ( $r = 0.9079$ ), so there is a significant relationship. The hydrological properties of the superficial velocity, flow rate and density of the residual water of 3 PS that discharge on the beaches during the dry season were evaluated, with which the influence and scope were calculated, using the curvature relationship equation,  $r = U / f$ , which allowed the use of a Theoretical Model of Radio Dispersion. Therefore, possibly the scope of the Dispersion and Influence in the PNSAV, is approximated to a radius of, ( $r = 31,398$  km), ( $r = 73,965$  km) and ( $r = 35,536$  km) respectively, with greater influence on the reefs of the North of the PNSAV. The seawater quality of 5 Zones adjacent to the coasts was evaluated, with 367 specific samples of physicochemical parameters (PP), dissolved oxygen, pH, temperature, salinity, transparency and total alkalinity. They showed normal averages for seawater, with some exceptions. The Dispersion Radii exceeded the PNSAV polygon. The persistent discharges of wastewater near the PNSAV could influence the transparency and dissolved oxygen concentrations found in the PP, which can cause stress to marine life.

Keywords: Coastal zone, wastewater, radio dispersion, Veracruz Reef System National Park.



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado a mi desarrollo académico mediante la beca CVU 1080088.

Al Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA), por el apoyo profesional, de instalaciones y financiamiento para que este proyecto de investigación se desarrollara de la mejor manera.

A la Dra. Fabiola Lango Reynoso y la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez, por ser un pilar y gran apoyo para la realización de esta investigación, por compartir conmigo su experiencia y conocimientos.

Al M.C. Christian Reyes Velásquez, por su orientación y disposición incondicional al guiarme con sus consejos y opinión crítica en mi trabajo de Tesis.

A la Dra. Rosa Elena Zamudio Alemán y la Dra. Gabycarmen Navarrete Rodríguez, por su guía durante el trabajo de investigación.

Al Dr. David Salas Monreal, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias.

Al Profesor Rafael Bauza, por compartir sus experiencias, conocimientos y ser muy paciente conmigo al ser mi maestro de buceo.

A Citlalmina, por su sincera y paciente amistad, por ser mi instructora favorita de buceo y por compartir logros y experiencias juntos.

A Clara y Anahí, por su especial amistad y por compartir conmigo su emoción contagiosa por investigar.

A Susana, por su incondicional amistad e incentivar mi paciencia.

A Blan, por su perseverante motivación, su valiosa e impertinente amistad y por compartir emotivos momentos juntos.

Al Ing. Eduardo, por ser un excelente profesor de cálculo y ser muy paciente conmigo.

A mis amigos, Betty, German e Iván, que han demostrado que la distancia no importa.

A mis compañeros y profesores de la maestría, quienes formaron parte importante de mi formación académica.

## DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de Tesis con mucho cariño a mi familia, principalmente, a mis padres, Juan Carlos y María Antonieta, que han estado conmigo apoyándome en cada etapa de mi vida, siempre con su guía incansable e incondicional cariño y por soportarme.

A mi hermano Marco, que, con sus consejos, me ha guiado desde que fui pequeño.

A Fernanda, al ser mi gran ejemplo a seguir, de perseverancia, incansable lucha y fortaleza, al siempre apoyarme y extenderme su mano para levantarme en mis múltiples tropiezos.

A Blanquita Estela por su gran apoyo, cariño y siempre un estímulo para seguir adelante.

Mi perrito Cheche, que, al ser el mejor perrito, por sacarme a caminar, llueva, trueno o relampaguee, con norte, calor o frío, fue muy constante. A mi perrita Cockyta por ser el puro cariño y comprensión al escucharme en momentos difíciles.

A mi familia y amigos que me miran desde el universo. A abuelita Círa por estar conmigo siempre en mi corazón y pensamientos y guiarme por el buen camino. A mi tío Gabriel por sus grandes consejos y anécdotas. Al señor Pascual por su gran sentido del humor. A mi mejor amigo el Gordo que considero que fue un gran motivo de regresar a Veracruz.

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VII</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IX</b>
<b>INDICE GENERAL.....</b>	<b>X</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....</b>	<b>3</b>
2.1 Teoría Estructural Funcionalismo .....	3
2.2 Conceptos y definiciones.....	3
2.2.1 Parámetros físicos.....	5
2.2.2 Parámetros químicos.....	6
2.2.3 Contaminación de un ambiente acuático.....	7
2.2.4 Fuentes de contaminación.....	8
2.2.5 Factores de estrés.....	8
2.2.6 Clasificación de cuerpos de agua.....	9
2.2.7 Contaminación de las playas.....	10
<b>3. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>10</b>
3.1 Antecedentes .....	10
3.2 Lugar de estudio.....	13
3.2.1 Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano .....	13
<b>4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>15</b>
4.1 Situación problemática.....	15
4.1.1 Esquemas de la situación problemática.....	17
4.2 Delimitación del problema .....	19

4.3 Planteamiento del problema .....	19
4.4 Justificación.....	20
4.5 Pregunta de investigación .....	20
<b>6. HIPÓTESIS .....</b>	<b>21</b>
<b>7. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
7.1 General .....	21
7.2 Particulares .....	21
<b>8. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>21</b>
<b>8.1 Clasificar, categorizar e identificar las Fuentes de Contaminación que descargan sus aguas en las playas adyacentes al PNSAV .....</b>	<b>21</b>
8.1.1 Clasificación: .....	21
8.1.2 Categorización:.....	22
<b>8.2 Cálculos de porcentajes y estimaciones de caudal tratado y caudal sin tratar de las plantas de tratamiento de aguas residuales, de Veracruz y la zona conurbada y cálculos de porcentajes de m<sup>3</sup> de agua residual que recibe el sistema cuenca baja Río Jamapa</b>	<b>22</b>
<b>8.3 Determinar la variabilidad de la Dispersión de 3 Fuentes Puntuales de Contaminación que descargan aguas residuales en las playas de la zona costera de Veracruz y Boca del Río que tienen influencia en el PNSAV.....</b>	<b>22</b>
8.3.1 Selección de las descargas de las Fuentes Puntuales de Contaminación y los puntos de muestreo de aguas residuales .....	22
8.3.2 Criterios para la recolección de muestra de agua residual de las Fuentes Puntuales de Contaminación.....	23
8.3.3 Selección de las FPC .....	23
8.3.4 Cálculos para conocer el comportamiento de las descargas de aguas residuales en las playas .....	23
8.3.5 Influencia del Radio de Dispersión de las aguas residuales en el PNSAV.....	24
<b>8.4 Evaluar la calidad del agua de mar adyacente a la zona costera del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano parámetros fisicoquímicos .....</b>	<b>24</b>

8.4.1 Puntos de muestreo de parámetros fisicoquímicos de agua de mar en el PNSAV.....	25
<b>8.5 Elaboración de los mapas de identificación de FC y gráficas de los Radios de Dispersión de las Fuentes Puntuales de Contaminación que tienen influencia en el Sistema Arrecifal Veracruzano .....</b>	<b>26</b>
<b>8.6 Análisis estadístico .....</b>	<b>27</b>
8.6.1 Clasificar, categorizar e identificar las Fuentes de Contaminación que descargan sus aguas en las playas de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo adyacentes al PNSAV.....	27
8.6.2 Evaluar la calidad de agua de mar adyacente a la zona costera de Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano .....	27
<b>9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>9.1 Clasificar, categorizar e identificar las Fuentes de Contaminación que de la zona costera de los municipios de Veracruz adyacentes al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano .....</b>	<b>27</b>
9.1.1 Clasificación, presencia de descargas y mal olor .....	27
9.1.2 Categorización.....	27
9.1.3 Identificación de las FPC de la zona costera adyacente al PNSAV .....	28
9.1.4 Descargas de aguas pluviales, Fuentes Difusas o No Puntuales .....	37
9.1.5 Descargas de aguas residuales, Fuentes Puntuales de Contaminación.....	39
9.1.6 Los impactos generados por el desarrollo turístico según PROFEPA, 2010, son: .....	42
9.1.7 Los 4 Factores clave según, SECTUR, 2013. ....	42
<b>9.2 Determinar la variabilidad de la Dispersión e Influencia de 3 descargas de Fuentes Puntuales de Contaminación adyacentes al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano .....</b>	<b>48</b>
9.2.1 Estimaciones de la velocidad superficial, Gasto y Densidad de 3 fuentes Puntuales de Contaminación.....	48
9.2.2 Modelo Teórico Radio de Dispersión e Influencia de las aguas residuales en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano .....	50
9.2.3 Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Simón Bolívar .....	51
9.2.4 Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Costa de Oro .....	52



9.2.5 Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Andamar.....	53
9.2.6 Influencia de los Radios de Dispersión de las FPC en los arrecifes de coral del PNSAV.....	53
9.2.7 El viento y las corrientes marinas muestran efecto en la dispersión e Influencia de sólidos en suspensión, materia en dilución y de los diversos contaminantes que arrastra y trasporta el agua residual de las FPC de, Simón Bolívar, Costa de Oro y Andamar, en el PNSAV .....	56
<b>9.3 Evaluación de la calidad del agua de mar de la zona costera de los municipios de Veracruz, adyacentes al polígono del PNSAV .....</b>	<b>57</b>
9.3.1 Oxígeno disuelto.....	57
9.3.2 Potencial de Hidrógeno .....	59
9.3.3 Temperatura del agua de mar.....	61
9.3.4 Salinidad.....	62
9.3.5 Transparencia.....	63
9.3.6 Alcalinidad Total .....	65
<b>10. CONCLUCLIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>11. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
11.1 Estrategia alternativa; prototipo sistemas humedales artificiales en zonas urbanas costeras.....	68
<b>11. REFERENCIAS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>83</b>

## INDICE DE CUADROS

No. Descripción	Pagina
1. Investigaciones relacionadas a las enfermedades de los corales del PNSAV en el PNSAV, técnicas de muestreo ecológico (AGRRA).....	12
2. Investigaciones en el PNSAV que han revelado la asociación de las bacterias patógenas provenientes de las FPC con los síndromes de los corales en el PNSAV.....	13
3. Ubicación de los muestreos puntuales de los parámetros fisicoquímicos de agua de mar en el PNSAV.....	15
4. Identificación de las Fuentes de Contaminación y de las principales actividades económicas de la zona costera de Veracruz-Boca del Río-Antón Lizardo.....	16
5. Cantidad de habitantes en los municipios de Veracruz al 2020, consumo de agua potable litros al día (l/d) y generación de aguas residuales (l/d) .....	17
6. Estimaciones de tratamiento de aguas residuales de las PTAR de 3 Municipios con mayor población de la zona conurbada de Veracruz.....	18
7. Cálculos de velocidad superficial y Gasto de las desembocaduras de 3 Fuentes de Contaminación de Veracruz y Boca del Río, Ver.....	19
8. Alcance del Radio de Dispersión de las descargas de aguas residuales de 3 Fuentes Puntuales de Contaminación que tienen Influencia en el PNSAV.....	20
9. Influencia del Radio de Dispersión de las FPC en los arrecifes de coral del PNSAV.....	55
10. Estimaciones del prototipo sistema humedal artificial en zonas urbanas osteras, para tratar aguas residuales que descargan las Fuentes Puntuales de Contaminación en las playas aledañas al PNSAV.....	69
11. Formato de identificación para las FC de la zona costera adyacente al PNSAV.....	84
12. Coordenadas geográficas de las fuentes de contaminación identificadas en las playas de los municipios de Veracruz-Boca del Río.....	85

## INDICE DE FIGURAS

No. Descripción	Página
1. a) *Desembocadura al mar del Río Tenoya en un dibujo de La Vera Crus del siglo XVII en 1625. b) Posible desembocadura del Río Tenoya, en el actual Veracruz en 2021.....	11
2. Áreas de estudio; Zonas costeras de los municipios de Veracruz, Boca del Río, Antón Lizardo Alvarado Veracruz y el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.....	15
3. Posibles impulsores para el deterioro del Sistema Arrecifal Veracruzano en un esquema de la situación de la problemática ambiental.....	17
4. Esquema conceptual de los planos socio-económicos, tecnológicos y ambientales.....	18
5. Puntos de muestreo de aguas residuales.....	23
6. Muestreo puntual de los Parámetros Físico Químicos de agua de mar en el PNSAV.....	25
7. a) Fuente Difusa (desagüe pluvial), b) Fuente Puntual de Contaminación (desagüe con descarga de aguas residuales) y c) Fuente Puntual de Contaminación de origen desconocido (desagüe no identificado no fue posible determinar su procedencia) .....	28
8. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y residuales directamente en las playas.....	29
9. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y residuales directamente en las playas.....	30
10. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona III.....	31
11. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona IV.....	32
12. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona V.....	33

13. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona VI.....	34
14. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona VII.....	35
15. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona VIII.....	36
16. Fuentes de Contaminación encontradas en las zonas costeras de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo.....	37
17. Fuentes Difusas con escurrimiento de agua de lluvia, ubicadas en el Bulevar Manuel Ávila Camacho.....	38
18. Tránsito vehicular en el Boulevard Manuel Ávila Camacho en la época de lluvias, se puede observar el alcantarillado colector de agua pluvial en la fotografía a) y su desagüe descargando el agua a la playa en la fotografía b).....	38
19. Playas arenosas que son frecuentemente visitadas por el turismo, con presencia de descargas de aguas residuales FPC, ubicadas en la Zona I.....	39
20. Zona II, playas turísticas de Villa del mar y, con presencia de descargas de aguas residuales, ubicadas en la Zona.....	40
21. Actividad económica Hotelera y Fuentes Puntuales de Contaminación en las zonas costeras de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo.....	40
22. Fuentes Puntuales de Contaminación en función a los Hoteles y las zonas.....	41
23. Entidades con mayor caudal de agua residual municipal generado en 2016.....	43
24. Porcentajes de tratamiento de las PTAR de la zona conurbada de Veracruz al 2021.....	45
25. Cuerpos de agua receptores de descargas de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento de Veracruz, Ver, Boca del Rio, Ver y Medellín de Bravo, Ver y estimaciones de m3 que reciben los cuerpos de agua.....	46
26. Estimación del volumen de agua descargada por plantas de tratamiento de aguas residuales en los cuerpos de agua y porcentaje estimado de m3 sin tratamiento recibidos.....	47

27. Cantidad de plantas de tratamiento que descargan aguas residuales en el sistema cuenca baja del Río Jamapa y estimaciones de m <sup>3</sup> de agua residual que recibe cada cuerpo de agua.....	47
28. Porcentaje estimado de aguas residuales que no reciben tratamiento por las plantas de tratamiento de aguas residuales que descargan en el sistema cuenca baja del Río Jamapa.....	48
29. Cálculos de velocidad superficial y Gasto de las desembocaduras de 3 Fuentes Puntuales de canales de Veracruz y Boca del Río, Ver.....	49
30. Alcance de la Dispersión de 3 descargas de Fuentes Puntuales de Contaminación que muestra influencia en el PNSAV.....	50
31. Radio de Dispersión de la descarga de la Fuente Puntual de Contaminación de Simón Bolívar.....	51
32. Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Costa de Oro.....	52
33. Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Andamar.....	53
34. Influencia y alcances de los Radios de Dispersión rebasan el polígono del PNSAV, en un entorno ideal sin considerar el agente forzante del viento.....	54
35. Valores medios del oxígeno disuelto (mg/l) registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales del PNSAV.....	58
36. Valores medios de pH (UpH) registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.....	60
37. Valores medios de la Temperatura (°C) registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.....	61
38. Valores medios de la salinidad (1PTT), registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.....	62
39. Valores medios de la transparencia (m), registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.....	64
40. Valores medios de la alcalinidad total (mg/l) registrados para el 16 de junio 2022, en las 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.....	66



## 1. INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos son zonas de alta productividad, crianza, resguardo, alimentación y reproducción de muchas especies de invertebrados y vertebrados marinos, aproximadamente un millón de especies obtienen beneficios de este ecosistema. Los arrecifes de coral suministran a la humanidad servicios ecosistémicos, por generar protección a las tormentas, huracanes, erosión de las playas y beneficios económicos en lo concerniente al aprovisionamiento de los servicios ambientales, derivado de las actividades turísticas, portuarias y pesqueras (Cederstav *et al.*, 2015). Estos ecosistemas son considerados entornos críticos de suma importancia ecológica (PNUMA, 2020). Pese a que los arrecifes de coral son de gran importancia económica y ecológica, son severamente dañados por las actividades antropogénicas. Según las evaluaciones realizadas por la Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica los arrecifes de coral demuestran un aumento significativamente más rápido de riesgo de desaparecer que cualquier otro grupo de ecosistemas evaluados, debido principalmente a las influencias de las actividades humanas, el cambio climático, el calentamiento de la zona fótica oceánica y bacterias patógenas, (GBO-5, 2020; Pelegrí *et al.*, 2018; Abreham *et al.*, 2005). Los diferentes factores que provocan estrés, están asociados a los cambios en la comunidad bacteriana simbiote del coral y estos a su vez, están asociados a los distintos síndromes o enfermedades que afectan a las colonias coralinas (Bourne *et al.*, 2008). Las enfermedades de los corales son un proceso natural, causado por factores estresantes tanto bióticos como abióticos (The Nature Conservancy, 2021). Estos factores de estrés varían según las condiciones de velocidad del viento, las corrientes oceánicas y las batimetrías locales debido a que pueden modificar las propiedades hidrológicas. (Salas-Monreal *et al.*, 2009). A pesar de los impactos que repercuten de manera negativa a los arrecifes de coral siguen mostrando un constante desarrollo, esto principalmente por la capacidad de agrupamiento, adaptación y evolución. Lo anterior se puede explicar a la movilización de larvas de coral transportadas por la circulación oceánica provenientes de otros sistemas de arrecifes (Villegas-Sánchez *et al.*, 2013). La plataforma continental del Golfo de México está compuesta por variadas zonas arrecifales. (Carricart-Ganivet *et al.*, 2011; Riveron-Enzastiga *et al.*, 2016). Las zonas arrecifales del Golfo de México son cubiertas periódicamente por sedimentos que son resuspendidos por los vientos y los aportes continentales debido a la presencia de descargas fluviales, por lo que pueden favorecer a presentar un desarrollo no óptimo en el sistema arrecifal (Lugo-Fernández *et al.*, 2001). La plataforma continental veracruzana es somera y poco profunda, con un promedio de 70 m de profundidad (Ortiz Lozano, 2012), debido a su profundidad se presentan distintos e intensos procesos dinámicos como, la turbulencia, por acción del viento, oleaje en la zona de rompiente, mareas, corrientes litorales, corrientes de retorno e influencia de los aportes de agua dulce provenientes de la costa, lo que facilita la dispersión y mezcla de sustancias disueltas que son esenciales para la vida marina como, nutrientes, oxígeno, materia orgánica, CO<sub>2</sub>, etc., pero también este fenómeno transporta y distribuye los diversos contaminantes provenientes de las descargas de aguas residuales en las playas, alterando los parámetros fisicoquímicos del agua de mar (Ozmidov, 1990; Díez Rilova, 2012). De los sistemas arrecifales que componen la parte occidental del Golfo de México, el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) es considerado de los más grandes y resistentes. Generalmente se presentan tres estaciones que tienen influencia en el SAV; la estación de vientos del norte que se desarrollan con los frentes

fríos de septiembre a abril, estiaje o estación seca desarrollados de mayo a junio y lluvias de julio a agosto (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008). En el periodo invernal las corrientes predominan con una dirección sur, en cambio en el periodo de verano dominan con dirección norte (Carricart-Ganivet *et al.*, 2011; Riveron-Enzastiga *et al.*, 2016). Es influenciado por las descargas fluviales, el aporte de nutrientes y materia orgánica provenientes de los ríos Jamapa, La Antigua y Papaloapan, de igual manera influyen remolinos, fuertes vientos y afloramientos (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). Debido a las constantes actividades portuarias, se han generado destacados impactos antropogénicos en el ecosistema marino y en el Sistema Arrecifal Veracruzano, como una medida de contrarrestar los impactos negativos, el 24 de agosto de 1992 se decreta Área Natural Protegida con la categoría de, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), resguardando 37 especies de fauna que se encuentran en la categoría de algún riesgo dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010 (Acuerdo por el que da a conocer el resumen del programa de manejo del área natural protegida con categoría de Parque Nacional la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, 1992). El PNSAV se encuentra ubicado en la parte centro del corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México, frente al puerto de Veracruz y el Pueblo de Antón Lizardo, se compone de al menos 50 arrecifes de coral (Liaño-Carrera *et al.*, 2019). Debido a la proximidad a la costa, los arrecifes costeros del PNSAV son sometido a un gran número de desagües de fuentes de contaminación antropogénica terrestres, debido a que se encuentran ubicados en zonas aledañas a descargas de aguas, fluviales, residuales domesticas e industriales y de plantas de tratamiento que provienen de la ciudad y puerto de Veracruz y de la zona conurbada (Salas-Monreal *et al.*, 2009), las cuales aportan una gran cantidad de materia orgánica y bacterias patógenas (Abraham *et al.*, 2005), estos arrecifes son sometidos a elevadas tasas de sedimentación con valores de  $25\text{mg cm}^{-2} \text{d}^{-1}$  o superiores, estas condiciones producen un alto estrés, causando síndromes y mortalidad a gran número de especies de coral (Rangel-Avalos *et al.*, 2008). Las perturbación e impactos antropogénicos que recibe el PNSAV son consideradas de muy alto grado (Horta-Puga *et al.*, 2017). Una inadecuada administración pública costera, el incremento desproporcionado poblacional y la incapacidad de gestionar su ordenamiento y sus derivadas actividades antropogénicas, junto con la incapacidad de toma de decisiones, detonan en las costas de Veracruz, una no adecuada protección al medio ambiente, estos son los principales impulsores del irreversible deterioro de los arrecifes del Sur Oeste del Golfo de México (Fuentes *et al.*, 2017; Ortiz-Lozano, 2018). Investigaciones realizadas en el PNSAV han evidenciado la relación que existe entre las descargas de las Fuentes Puntuales de Contaminación que impactan al sistema arrecifal como un factor importante de estrés debido a la presencia de bacterias patógenas y la asociación a las enfermedades presentes en los corales del PNSAV (García-Fuentes, 2013). Sin embargo, esta afectación negativa en los corales data desde la construcción del puerto de Veracruz en 1519 (Salas-Monreal *et al.*, 2009).

## 2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 Teoría Estructural Funcionalismo

Esta investigación tiene como base la Teoría Estructural Funcionalismo de Talcott Parsons, con el modelo de análisis sistémico. Cuya característica será la de servir de guía para la investigación y la codificación del conocimiento. T. Parsons en 1956 menciona que, “el mundo es una unidad y sus partes adquieren significación y sentido, sólo en relación con la totalidad” (Talcott Parsons 1956 en Pastor, 1992). La Teoría expresa dos conceptos importantes, como concepto de sistema; todas las variables son dependientes e independientes al mismo tiempo, y como concepto de función; un sistema con función orgánico-biológica como un sistema vivo (Pastor, 1992). La pregunta de investigación se formuló con base en la hipótesis teórica derivada del modelo sistemático, con esto se busca facilitar que las propuestas obtenidas de este estudio ayuden a la revisión y comprobación de la misma. En este sentido se puede aseverar que, en el área de estudio interactúan factores internos y externos que pueden generar un desequilibrio en el sistema ambiental costero, de tal manera que se propone un Modelo Teórico de Dispersión de las Fuentes Puntuales de Contaminación que puedan tener influencia en el Sistema Arrecifal Veracruzano, por ende, en el PNSAV. Los argumentos dirigidos para esta investigación mantienen en consideración vastos criterios sociales, políticos, biológicos, físicos y químicos. En este sentido podemos verificar que los argumentos plasmados en esta investigación mantienen una aproximación a la Teoría Estructural Funcionalismo de Talcott Parsons, donde promulga que, las diversas culturas, los motivos religiosos o políticos y los conflictos de intereses que representan, se expresan tanto a nivel local como mundial y se encuentran en un mismo tiempo histórico (Fernández-Cardoso, 2011).

Por la importancia de brindar un conocimiento claro y objetivo, los conceptos han sido base para la comprensión y divulgación científica, siendo una pieza clave en la elaboración de las ciencias (Habermas, 1987). Para estructurar esta investigación se tomó con atención los adecuados conceptos que se utilizaron para desarrollar el presente trabajo.

### 2.2 Conceptos y definiciones

A través del ciclo hidrológico todos los cuerpos de agua se encuentran interconectados naturalmente, el agua circula a través de la atmósfera, los ríos, lagos, aguas subterráneas, glaciares y los océanos. El agua y el aire son los elementos físicos con mayor movilidad que tiene el planeta, debido a su dinámica estos elementos maniobran permanentemente el ciclo del agua (USGS, 2019).

#### *El agua*

El agua es una sustancia química compuesta por 2 átomos de hidrogeno y 1 de oxígeno, puede presentarse en tres estados, solido, líquido y gaseoso. El agua tiene propiedades características que la diferencian de otros líquidos (Sierra, 2011). Sus principales propiedades son:

#### *Densidad*

Se expresa en:

Masa por unidad de volumen ( $\text{g/cm}^3$ ).

Fuerza por unidad de volumen o peso específico ( $\text{g/m}^2/\text{s}^2$ ).

Gravedad específica  $s = \rho / \rho_0$

El subíndice  $0$  es la densidad a cierta temperatura.

### *Viscosidad*

Se define como la resistencia que tienen el agua a las deformaciones y es análoga a la fricción interna. Se expresa en:

Viscosidad dinámica o absoluta, masa por longitud y tiempo (poise = newton \* s/m<sup>2</sup>).

Viscosidad cinemática, (Stokes = m<sup>2</sup> / s) longitud al cuadrado por tiempo.

### *Calor específico*

Es la unidad de calor que se necesita para incrementar la temperatura de un gramo de agua a 1°C.

### *Tensión superficial*

La Fuerza de Van Waals está plenamente involucrada en la tensión superficial, debido a que el líquido presenta fuerzas naturales de atracción entre las moléculas. En la capa superficial del agua se encuentran moléculas que son atraídas por las moléculas que se encuentran la capa inferior y en medio de ellas se encuentran moléculas atraídas entre sí, esto hace que se forme una película en la superficie que es difícil de penetrar. De esta razón se conoce que objetos con mayor densidad que el agua puedan flotar. Se le conoce como tensión superficial a la cantidad de energía que es necesaria para romper la película superficial por unidad de área y se expresa en unidades de fuerza por longitud (juls/m).

### *Calidad de un ambiente acuático*

En la calidad ambiental de un cuerpo acuático se involucran factores internos y externos que presentan variaciones espaciales y temporales. Se puede definir como; lista de los aspectos físicos, especificaciones y concentraciones de sustancias inorgánicas y orgánicas, el estado y composición de la biota acuática. (Water Science School, 2022; United States Environmental Protection Agency 2022).

### *Parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua*

Para determinar la calidad del agua, si es pura o está contaminada, se necesita evaluar parámetros clasificados en, físicos-químicos-microbiológicos, siguiendo metodologías estandarizadas. Existe una metodología frecuentemente utilizada llamada "Standard Methods for Water and Wastewater Examination o bien siguiendo las metodologías de las normas oficiales gubernamentales en materia de calidad de agua cada país (Tinoco, 2003).

## 2.2.1 Parámetros físicos

### *Turbiedad*

La turbiedad del agua puede ser producida por una gran variedad de factores, es conocida por tener la capacidad de obstaculizar el paso de luz del sol, debido a la suspensión de material en el agua. De las razones más conocidas es causada por la erosión de las cuencas que se origina naturalmente aportando una gran cantidad de sedimentos al cauce de los ríos. Y por causa de las emisiones contaminantes a los cuerpos de agua provenientes de desagües domésticos o industriales (Sierra, 2011).

### *Color del agua*

El color del agua está muy ligado a la turbiedad, pero puede ser considerado de carácter independiente. Generalmente la turbiedad es causada por partículas de tamaño grande, de un diámetro aproximado de  $> 10^{-3}$ . En cambio, el color del agua es generado por coloides y sustancias disueltas (CONAGUA, 2023).

### *Visibilidad*

La visibilidad es la referencia que produce la interferencia de los materiales en suspensión que se encuentran en el agua que afectan el paso de luz. Las mediciones de la visibilidad se reportan en longitud visible, generalmente se emplea el Disco de Secchi (Trujillo y Thurman, 2008).

### *Olor y Sabor del agua*

Están asociados directamente con la percepción del investigador, generalmente se reportan como, presentes o sin presencia. Y está estrechamente asociado al olor de la materia orgánica en descomposición  $H_2S$  (CONAGUA, 2023).

### *Temperatura*

Este parámetro físico en el agua quizá sea el parámetro más importante. Interviene directamente con la velocidad de las reacciones químicas y la viscosidad de un fluido (Ruiz, 2018).

### *Sólidos*

En el panorama diagnóstico de la calidad de agua los sólidos se determinan conociendo la cantidad de material sólido en una muestra (Ruiz, 2018).

### *Sólidos totales*

La cantidad de materia que queda al trascurrir la evaporación del agua a más de  $100^{\circ}C$ , en una muestra (Sierra, 2011).



### *Sólidos disueltos*

Son calculados filtrando una muestra de agua por papel filtro, determinado los sólidos totales del filtro. Puede ser sometida la muestra filtrada a 600°C en una mufa para evaporar el agua y por ultimo pesar el residuo (Ruiz, 2018).

### *Sólidos suspendidos*

En el análisis de calidad de agua los sólidos suspendidos tienen un papel sobresaliente, debido a que conocer este parámetro físico del agua influye en el diseño de una planta de aguas residuales (Ruiz, 2018).

### *Sólidos sedimentables*

Se expresa en ml/L. Y se define como el total del material que se sedimenta de una muestra vertida en un recipiente de forma de cono en un periodo de tiempo de 60 minutos y queda en el fondo (Ruiz, 2018).

## **2.2.2 Parámetros químicos**

### *Indicadores de calidad de agua*

Son los parámetros de pH, alcalinidad y acidez, pueden mostrar variaciones en las concentraciones en consecuencia de las reacciones químicas por las interacciones de dos o más sustancias en el agua (CONAGUA, 2023).

### *pH*

Potencial de Hidrogeno (pH), es la magnitud de los grados, básicos o ácidos del agua. Se expresa como:  $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$ .

El pH se muestra en una escala de 0 al 14, donde del 7 al 0 se considera ácido, cercano al 0 es mayor la acidez y del 7 al 14 se considera básico, valores cercanos al 14 se considera mayormente básico (Bojaca, 2015).

### *Acidez*

Unidades de pH (UpH) inferiores a 8,5 se considera que tienden a la acidez en todas las aguas. La presencia de ácidos (HCl, HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y de CO<sub>2</sub> pueden ocasionar la acidez de las aguas. En un laboratorio la acidez se determina mediante el método de análisis de titulación y se expresan en (mg/L) CaCO<sub>3</sub> o Métodos Estándar (Bojaca, 2015).

### *Alcalinidad*

Las sustancias básicas presentes en el agua, tales como bases fuertes o ácidos débiles, puede considerarse como alcalinidad. Es entendida como la capacidad para neutralizar los ácidos. En el agua de la naturaleza la alcalinidad está presente principalmente a la acción del CO<sub>2</sub> y la presencia de los iones (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) y (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (Bojaca, 2015).

## *Conductividad*

La conductividad es un indicador de sales disueltas en el agua, especialmente la cantidad de Sulfatos, bicarbonatos, cloruros y P, Na, Mg, Ca. La unidad de medición es en Siemens/cm o micromhos/cm. Las concentraciones altas de conductividad en el agua resultan ser corrosivas. Los sólidos disueltos son una medida indirecta de la conductividad (Sierra, 2011).

### **2.2.3 Contaminación de un ambiente acuático**

Es la introducción indirecta o directa de energía o sustancias, derivado de las actividades del hombre, que tienen repercusiones negativas al medio ambiente acuático que las recibe, dañando la salud humana y a los organismos vivos que lo habitan, y que esto pueda provocar perjuicios a las actividades económicas como la pesca, recolección de agua, el riego agrícola y actividades recreativas. Existen dos formas básicas de descripción de calidad de agua: 1) Índice de calidad de agua y 2) Medición de variables, físicas, químicas o biológicas (Centers for Disease Control and Prevention, 2022).

#### *Definición de aguas tratadas*

El agua tratada es aquella que ha cambiado sus características, biológicas, químicas y físicas por acción del hombre, teniendo como propósito de poder utilizar en algún proceso destinado a un beneficio (FONATUR, 2023).

#### *Definición de aguas residuales*

Son aguas que han sido usadas para cualquier beneficio humano, generalmente se pueden agrupar en; aguas residuales comerciales, industriales y domésticas. Las aguas residuales tienen importantes características de los cuales parten de su procedencia como son;

- Características: Olor, color, temperatura, sólidos, grasas y aceites, carbohidratos, fenoles, pesticidas, proteínas, metales pesados, detergentes, nitrógeno, fósforo, metano, virus y paracitos (FONATUR, 2023).
- Procedencia: Aguas residuales comerciales, domésticas, industriales, erosión, conexiones clandestinas, infiltraciones, materia orgánica en descomposición y residuos agrícolas (FONATUR, 2023).

#### *Concepto carga contaminante*

El ingreso de un contaminante a un cuerpo de agua comúnmente se determina por la cantidad del contaminante por unidad de tiempo. Las descargas de aguas residuales típicamente se pueden expresar en carga ( $W$ ), se denomina a la masa de un contaminante ( $m$ ), y al caudal se denomina ( $Q$ ), que es el encargado de transportarlo, por lo tanto, la expresión es la siguiente:

$$W = Q * C$$

Este concepto es aplicable cuando la descarga de agua residual proviene de una tubería o un canal de vertimiento, a esto se denomina carga contaminante puntual (Sierra, 2011).

#### *Concepto de concentraciones*

Es la manera de determinar la concentración de un soluto que se encuentra en el agua (Sierra, 2011).

#### *Unidades de concentración*

Las unidades de concentración se miden en peso del soluto, en (kg, g, mg, lb) por la unidad de volumen, en (ml, litros, m<sup>3</sup>). Pudiéndose expresar de la siguiente manera:

Miligramos por litro (mg/L), Kilogramo por metro cubico (kg/m<sup>3</sup>).

Partes por millón (ppm).

Entre otras unidades (Sierra, 2011).

### **2.2.4 Fuentes de contaminación**

Las fuentes de contaminación son todos aquellos procesos, operaciones o actividades que producen contaminantes al medio ambiente (SEMARNAT, 2022). Estas son clasificadas de acuerdo a la facilidad con la que se puede identificar el punto de descarga de algún contaminante.

#### *Fuentes puntuales de contaminación*

Se establecen en primer lugar las fuentes puntuales de contaminación, corresponden a cualquier emisión fácilmente localizable, se encuentran confinadas, son discretas y su monitoreo resulta más fácil; ejemplos de estas son las tuberías, canales, túneles, conductos, pozos y fisuras (EPA, 2015).

#### *Fuentes difusas o no puntuales de contaminación*

Se presentan desde varios puntos dispersos o en áreas muy amplias, se involucra la transformación y el transporte de desechos. La lluvia es el principal factor por la cual se inicia el transporte de contaminantes hacia las fuentes no puntuales por escurrimiento y el proceso de erosión que se desarrolla en las superficies, lo que arrastra y transporta, cantidades altas de sedimentos, contaminantes y partículas mayores (Holdren et al., 2001). Esto hace que las fuentes difusas sean más difíciles controlar, difíciles de monitorear y en ocasiones de ubicar (Arreguín-Cortés et al., 2000; Holdren et al., 2001; Campbell et al., 2005).

### **2.2.5 Factores de estrés**

#### *Factores de estrés bióticos*

Son causados por un organismo vivo, macroorganismos y microorganismos algunos son: algunos peces, poliquetos y gasterópodos coralinos, bacterias patógenas, uniones microbianas dominados por las cianobacterias y Vibrios, ciliados y parásitos (Sussman et al., 2008).

### *Factores de estrés abióticos*

Son estresantes ambientales, alguno de ellos es: inestabilidad en la temperatura, la intensidad de la luz del sol, cambios en la salinidad, la calidad del agua y la sedimentación, pueden afectar significativamente los brotes de enfermedades (The Nature Conservancy, 2021; Smithsonian Tropical Research Institute, 2018; Abreham et al., 2005).

## **2.2.6 Clasificación de cuerpos de agua**

### *Ríos*

Se caracterizan por cuerpos de agua frecuentemente dominados por corrientes con velocidades promedio de 0.1 m/s y 1m/s y con flujos unidireccionales altamente dinámicos influenciados por las condiciones climáticas y características físicas del área, la mayoría de los ríos son considerados permanentemente mezclados. (Water Science School, 2022).

### *Playas*

Se encuentran distribuidas a lo largo de la costa, también a lo largo de un río, lago o laguna, ya sea bordeando los acuíferos o bordeando una isla, pueden estar formadas por arena de diferentes tamaños, rocas o conchas de organismos (Moreno-Casasola, 2004). Son lugares que no alcanzan nunca una estabilidad por su dinámica en los procesos costeros, debido a las corrientes litorales, oleaje, tormentas, viento y las mareas. (Martínez, 2010).

### *Las corrientes marinas*

Las corrientes oceánicas se pueden definir que son generadas por el agua del ecuador que son más ligeras, calientes y fluyen por la superficie del mar hacia los polos, al llegar se comienza a enfriar descendiendo con dirección de regreso hacia el ecuador por el fondo, lentamente asciende al llegar a las regiones tropicales para nuevamente dar inicio al ciclo de circulación del agua oceánica. De tal modo que el calor solar en grandes cantidades es transportado de los trópicos en dirección hacia el sur y el norte, dispersando la energía en el planeta. Esta energía calórica producida por el sol, aumenta la temperatura que da inicio a la evaporación del agua en las áreas subtropicales, transportando la lluvia a las zonas de mayor altitud templadas. Los vientos tienen una gran influencia en las corrientes marinas, debido al movimiento que ocasiona.

El persistente empuje de los vientos alisios sobre la superficie del agua caliente la lleva a lo largo del ecuador hacia el Oeste hasta que el agua se encuentra con la tierra desviándose hacia el sur y el norte, de tal forma que por su gran caudal se da inicio a varias corrientes marinas, entre dos de estas son la Corriente del Este de Australia y la Corriente del Golfo. La circulación oceánica recibe una influencia mayor que es la rotación del planeta, tiene tal influencia y poder, que desvía todas las masas de agua del hemisferio norte hacia la derecha y en el hemisferio sur hacia la izquierda. Las profundidades, densidad y las concentraciones salinas debido a la evaporación están involucradas también en las corrientes marinas (Cifuentes et al., 1995; Encyclopedia Britannica, 2018; NOAA, 2011).

### **2.2.7 Contaminación de las playas**

La Contaminación de las Playas comprende la calidad de la arena, sedimentos, hábitat y el agua. La actividad antropogénica afecta directamente en la calidad de la playa porque genera gran cantidad de contaminantes físicos, químicos y biológicos, que no pertenecen a la zona. Estas actividades se desarrollan no precisamente en el lugar, sino que pueden llegar de fuentes distantes a las playas por medio de la corriente litoral, escorrentías, escurrimientos o desagües, se pueden presentar como, fuentes difusas, fuentes primarias, fuentes secundarias o fuentes móviles (COFEPRIS, 2010).

#### *Arrastre de contaminantes a las playas*

Son partículas sedimentadas en los fondos marinos, que se van acumulando en estos, pueden ser; materia orgánica o de composición química, pero también pueden provenir derivado de las diversas actividades antropogénicas de la superficie terrestre. (Valdés y Castillo, 2014). Pueden estar formados por muy finas o microscópicas partículas o macroscópica (USF, 2002).

## **3. MARCO DE REFERENCIA**

### **3.1 Antecedentes**

El puerto de Veracruz tiene fuertes antecedentes históricos de contaminación, que parten desde el siglo XVII cuando se le llamaba Ciudad de Tablas, desde sus inicios la ciudad presentó problemas de suministro y saneamiento de agua, antes de ser amurallada la ciudad se dividía por el cauce del Río Tenoya, se pensaba que este río podía resolver los problemas de suministro de agua que presentaba la ciudad, sin embargo, el apogeo económico en el que se encontraba propicio que la población aumentara, por lo que el río comenzó a ser utilizado como desagüe de aguas negras, lo que provoco contaminación y proliferación de diversas enfermedades.

Por la condición insalubre que presentaba el río, en 1630 el consejo de la ciudad tomo la decisión de aplicar obras de saneamiento, el cual incluyo la desviación del río y reubicación de la desembocadura (Plan Municipal de Desarrollo, 2011-2013). Sin embargo, para el siglo XIX las condiciones precarias de saneamiento persistían en la zona, volviéndose muy insalubre para los pobladores.

En 1886 la junta de sanidad del gobierno impulso políticas higienistas apegadas al rigor científico, esto resultó en que, las autoridades de la ciudad amurallada, ordenaran, de manera prioritaria entubar el río. Lo describe, Ronzón, 2013, de la siguiente manera; cegar el caño que por costumbre se llama Río Tenoya y que en la actualidad no es más que un receptáculo de inmundicias y un foco constante de infección y fetidez y quizá el origen de que todavía sea malsana aquella parte de la ciudad.



\*(Biblioteca Nacional de Paris, autor anónimo, 1625).

Figura 1. a) \*Desembocadura al mar del Río Tenoya en un dibujo de La Vera Cruz del siglo XVII en 1625. b) Posible desembocadura del Río Tenoya, en el actual Veracruz en 2021, ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud 19.197840, Longitud -96.129943.

La Subsecretaria de Gestión para la Protección Ambiental, publicó el 13 de noviembre de 2013, el análisis y evaluación ejercida para la manifestación de Impacto Ambiental modalidad (MIA-R) correspondiente al proyecto denominado “Ampliación del Puerto de Veracruz en la zona Norte” promovido por la Administración Portuaria Integral de Veracruz, S.A de C.V. Con el Oficio No. SGPA/DGIRA/DG 0835G. En el cual se realizó diferentes estudios de impacto ambiental. Uno de los cuales añade el estudio de localización las fuentes de contaminación terrestre que tienen influencia en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Dicho estudio se llevó a cabo a lo largo de la costera de la zona metropolitana de Veracruz y Boca del Río, el cual incorpora, las descargas de aguas residuales y desagües pluviales que descargan directamente en las playas, sus coordenadas geográficas, fotografías y las distancias que hay entre ellas. El resultado del estudio localizó 24 descargas de aguas residuales y 57 desagües pluviales (SECTUR, 2013).

La investigación realizada por Castañeda-Chávez y sus colaboradores en 2015, pone en evidencia los síndromes de, banda blanca, banda negra, banda amarilla, plaga blanca y blanqueamiento bacteriano en corales pétreos dentro del polígono del PNSAV, indicando que los patógenos asociados al complejo *Vibrio*, *V. coralliticyus* y *V. shiloni*, se encontraron en los tejidos de los corales, concluyendo que estos patógenos pueden ser estimulados por la presencia de las descargas de aguas residuales que impactan directamente a la zona arrecifal.

La investigación que realizó (Castañeda-Chaves y Lango-Reynoso, 2021), es un estudio que comprendió la cuenca baja del Río Jamapa, en el cual se obtuvieron fotografías, identificación, ubicaciones y geo posicionamiento de las descargas de aguas residuales que recibe la cuenca baja del Río Jamapa. Los resultados de este estudio presentan la elaboración de un mapa con las ubicaciones de 12 desagües con descargas de aguas residuales en el área de estudio. Incorporan mapas del comportamiento de las partículas en suspensión de la desembocadura del Río Jamapa, que tiene influencia en la dispersión de contaminantes en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Identificando la cuenca baja del Río Jamapa como una importante Fuente de Contaminación, que está involucrada en la degradación del ecosistema costero y la salud humana. Concluyendo que la cuenca baja y la desembocadura del Río Jamapa, son factores que pueden generar estrés a dos Áreas Nacionales Protegidas, las cuales son, el Área Natural

Protegida Arroyo Moreno y el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), con impacto en el Golfo de México. Existen investigaciones que han evidenciado la asociación de patógenos, bacterias y Vibrios, provenientes de las aguas residuales con los síndromes que afectan a los corales el PNSAV (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Investigaciones relacionadas a las enfermedades de los corales del PNSAV.

Referencia	Investigación	Aporte	Relevancia	Arrecifes	Zona
(Horta-Puga y Tello-Musi 2009).	Proyecto 1 CONABIO DM005.	10 enfermedades,	Mancha negra, Plaga blanca Banda negra.	La Blanca Choapas Isla de En medio.	Talud del barlovento Talud de sotavento
(Gutiérrez-Ruiz et al., 2011).	Impacto de las alteraciones antropogénicas en la diversidad de corales pétreos superficiales en el PNSAV	Prevalencia de enfermedades en la Isla de Sacrificios.	Plaga blanca, mancha negra y tumores.	Sacrificios.	Barlovento y Sotavento
(Carricart-Ganivet et al., 2011).	Distribución y prevalencia de enfermedades coralinas en el Sistema Arrecifal Veracruzano, sur del Golfo de México.	7 enfermedades en 6 géneros de coral.	Mancha oscura mayor prevalencia (2.9%).	10 Arrecifes.	Barlovento y Sotavento.
Rivera-Ortega (2015)	Relación entre la descarga del río Jamapa y las enfermedades coralinas en los arrecifes La Blanca, Choapas e Isla de Enmedio.	7 enfermedades Influencia por la descarga del Río Jamapa en La Blanca.	Lunares blancos (52.6%) frecuencia La Blanca.	La Blanca Choapas Isla de Enmedio.	Línea de cresta del arrecife. Barlovento
Horta-Puga et al., (2017)	Proyecto 2. SINB -CONABIO DM005.	8 enfermedades des.	Mancha negra, Lunares blancos, Plaga Blanca	14 Arrecifes	Talud sotavento Talud Barlovento

Cuadro 2. Investigaciones en el PNSAV que han revelado la asociación de las bacterias patógenas provenientes de las FPC con los síndromes de los corales en el PNSAV.

Referencia	Investigación	Aporte	Relevancia	Técnicas
Lango-Reynoso (2015)	Vibrio spp. En corales del Sistema Arrecifal Veracruzano.	Vibrio complex, V. coralliilyticus, V. shilonii	12 Arrecifes Corales con presencia positiva C. natans M. M. carvernososa faveolata P. S. Siderea astreoides	Transectos fijos. Muestras de tejido de coral Extracción de ADN. PCR
García-Fuentes (2013)	Diagnostico microbiológico en corales del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.	3 Bacterias relacionadas con las FPC tejido enfermo de coral.	12 Arrecifes 10 Fuentes Puntuales Síndromes encontrados Banda Blanca, Banda Negra, Banda Amarilla, Plaga blanca y Blanqueamiento Bacteriano	Muestras de tejido de coral. Cultivo microbiano. Cultivo puro. Extracción ADN. PCR simple.

### 3.2 Lugar de estudio

#### 3.2.1 Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

El área de estudio comprende 17.791 km aproximadamente, de la zona costera adyacente al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, que recorre los municipios de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo en Alvarado Veracruz. Que integra, playas arenosas y la zona costera sobre del Bulevar Manuel Ávila Camacho, véase (Figura 2).

El área de estudio se encuentra geográficamente ubicado en el suroeste del Golfo de México y posee un clima subtropical y tropical. Generalmente, se presentan tres estaciones que tienen influencia; la estación de vientos del norte que se desarrollan con los frentes fríos de septiembre a abril, estiaje o estación seca desarrollados de mayo a junio y lluvias de julio a agosto (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008).

El PNSAV se encuentra enfrente al Heroico Puerto de Veracruz y de los municipios de Alvarado y Boca del Río (Horta-Puga y Carricart-Ganivet, 1993). Tiene como influencia dos Áreas Nacionales Protegidas, son, el Área Nacional Protegida Pico de Orizaba y Área Nacional Protegida Arroyo Moreno (Castañeda-Chaves y Lango-Reynoso, 2021), de igual manera, es influenciado por el aporte de descargas de agua dulce, nutrientes y materia orgánica provenientes de los ríos Jamapa, La Antigua y Papaloapan, también influyen remolinos, fuertes vientos y afloramientos (Ortiz- Lozano *et al.*, 2013).



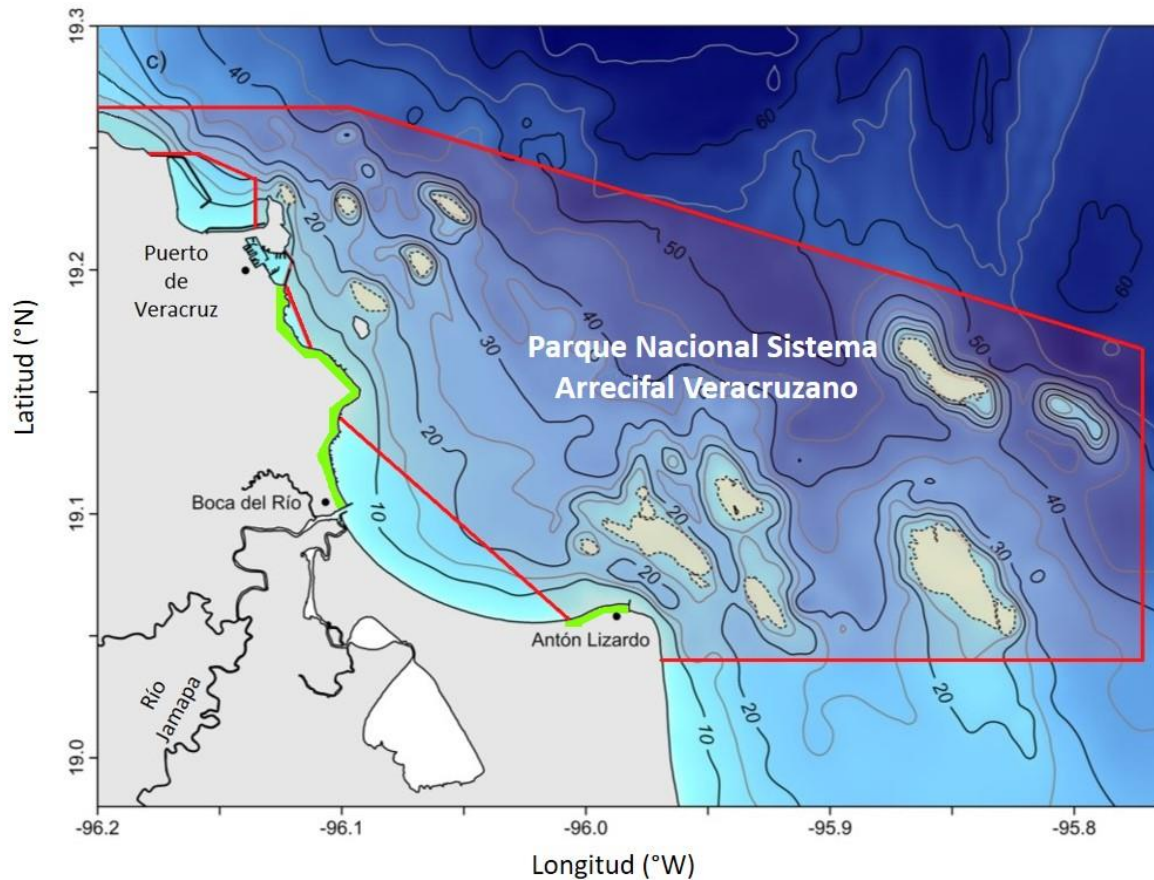
Existen dos picos en las concentraciones de sedimentos en la columna de agua del PNSAV, el primero son los eventos de fuertes lluvias en los meses de julio a agosto, que presentan una alta concentración de partículas de sedimentos, principalmente provenientes las descargas de los ríos Jamapa y La Antigua. Y el segundo, se atribuye principalmente a los meses que se desarrolla los vientos del norte o frentes fríos que resuspenden los sedimentos del fondo marino y a la arena que es transportada, dispersa y finalmente añadida al mar (Liaño-Carrera *et al.*, 2017).

El Sistema Arrecifal está dividido en dos zonas geográficas, Norte y Sur, por el aporte de agua dulce del Río Jamapa y su pluma de sedimentos (Liaño-Carrera *et al.*, 2019; Tunnell *et al.*, 2007). La zona Norte del PNSAV, está ubicada frente al Puerto de Veracruz, es considerada la zona con mayor número de arrecifes de coral del Sur del Golfo de México.

Los arrecifes costeros cercanos al Puerto de Veracruz son los que reciben mayores impactos antropogénicos, son considerados más pequeños en comparación a la zona Sur del PNSAV. La zona Sur del PNSAV se ubica frente al pueblo de Antón Lizardo, se encuentran alejados de la costa lo que hace que se encuentren en mejor estado de conservación generalmente (Tunnell *et al.*, 2007).

El polígono del Parque Nacional alberga al menos 50 arrecifes de coral (Liaño-Carrera *et al.*, 2019), mayormente los arrecifes del PNSAV tienen a una forma alargada, algunos arrecifes presentan una forma de circunferencia media, desarrollándose en la porción interna de la plataforma continental, desde profundidades limítrofes a los 40 m (Emery, 1963). El PNSAV tiene una dimensión de 65,516 hectáreas, entre las siguientes coordenadas, teniendo en cuenta los puntos del exterior del polígono, 19° 02'24.00", 19° 16'00.00" latitud Norte y 95° 46'19.00", 96°12'01.00" longitud Oeste (Figura. 2) (Carricart-Ganivet, 2011).

El 24 de agosto de 1992 se decreta Área Natural Protegida con la categoría de, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), como una medida precautoria y de resguardo de los impactos negativos que ha sufrido el Sistema Arrecifal Veracruzano. Se han categorizado 37 especies de fauna que habita en los arrecifes de coral que se encuentran en algún riesgo, estas especies se encuentran protegidas dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010, (Acuerdo por el que da a conocer el resumen del programa de manejo del área natural protegida con categoría de Parque Nacional la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, 1992).



\*Fuente, modificado de Salas-Monreal, 2022.

Áreas de estudio; Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, línea roja (polígono del PNSAV). Y líneas verdes (Zonas costeras y playas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo).

Figura 2. Áreas de estudio; Zonas costeras de los municipios de Veracruz, Boca del Río, Antón Lizardo Alvarado Veracruz y el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

## 4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 4.1 Situación problemática

El Suroeste del Golfo de México es una zona de relevancia económica por ser altamente productiva para todo México, en esta región se extiende un gran litoral y diversidad biológica (Sánchez-Salazar *et al.*, 1999). Esta zona es de interés económico de la industria petrolera y turística, generando puesto de trabajo y una economía en progreso. El interés que se genera en esta región ha causado un desarrollo industrial acelerado y con él, un aumento en el crecimiento poblacional desmedido que no presenta un ordenamiento bien planeado, esto representa una serie de factores que ejercen presión a la región en la cual se encuentra el Corredor Arrecifal del Sur Oeste del Golfo de México (Ortiz-Lozano, 2018; Fuentes *et al.*, 2017).

Una inadecuada gestión de la política pública costera, una insuficiente aplicación de la normatividad, incapacidad de la toma de decisiones para la protección al medio ambiente y el incremento desproporcionado de las actividades antropogénicas en las costas, son los principales impulsores para generar el deterioro irreversible del Corredor Arrecifal del Sur Oeste del Golfo de México (Fuentes *et al.*, 2017; Ortiz-Lozano, 2018).

La desmedida urbanización requiere una pronta respuesta de alimentación, esta exigencia representa una mayor producción de suministros alimenticios, la acuacultura, la ganadería y la agricultura duplican su esfuerzo de manufactura, requiriendo mayor extensión de siembra, mayor uso de antibióticos, pesticidas, fertilizantes y nutrientes (Espinoza y Bermúdez, 2012). Estos productos químicos son transportados por escorrentía de los sistemas fluviales cuenca arriba, junto con contaminantes derivados de los drenajes y aguas residuales de fuentes urbanas, industriales y hospitalarias, que finalmente llegan al sistema arrecifal por la desembocadura de los ríos, teniendo repercusiones ecológicas negativas en el sistema arrecifal (CONAGUA, 2012).

Otra de las amenazas al equilibrio ecológico es el agua de lastre de los barcos cargueros que llegan al puerto de Veracruz, al igual que el tránsito de embarcaciones, crean una significativa consecuencia al deterioro del ecosistema marino, debido al constante aporte de materia orgánica, bacterias patógenas y a la introducción de especies exóticas debido a la deposición de aguas contaminadas (Aguirre-Macedo *et al.*, 2008).

#### 4.1.1 Esquemas de la situación problemática



Modificado de (Burke *et al.*, 2011; Smithsonian Tropical Research Institute, 2018; Aguirre-Macedo *et al.*, 2008; Horta-Puga *et al.*, 2017; García-Fuentes, 2013).

Figura 3. Posibles impulsores para el deterioro del Sistema Arrecifal Veracruzano en un esquema de la situación de la problemática ambiental.

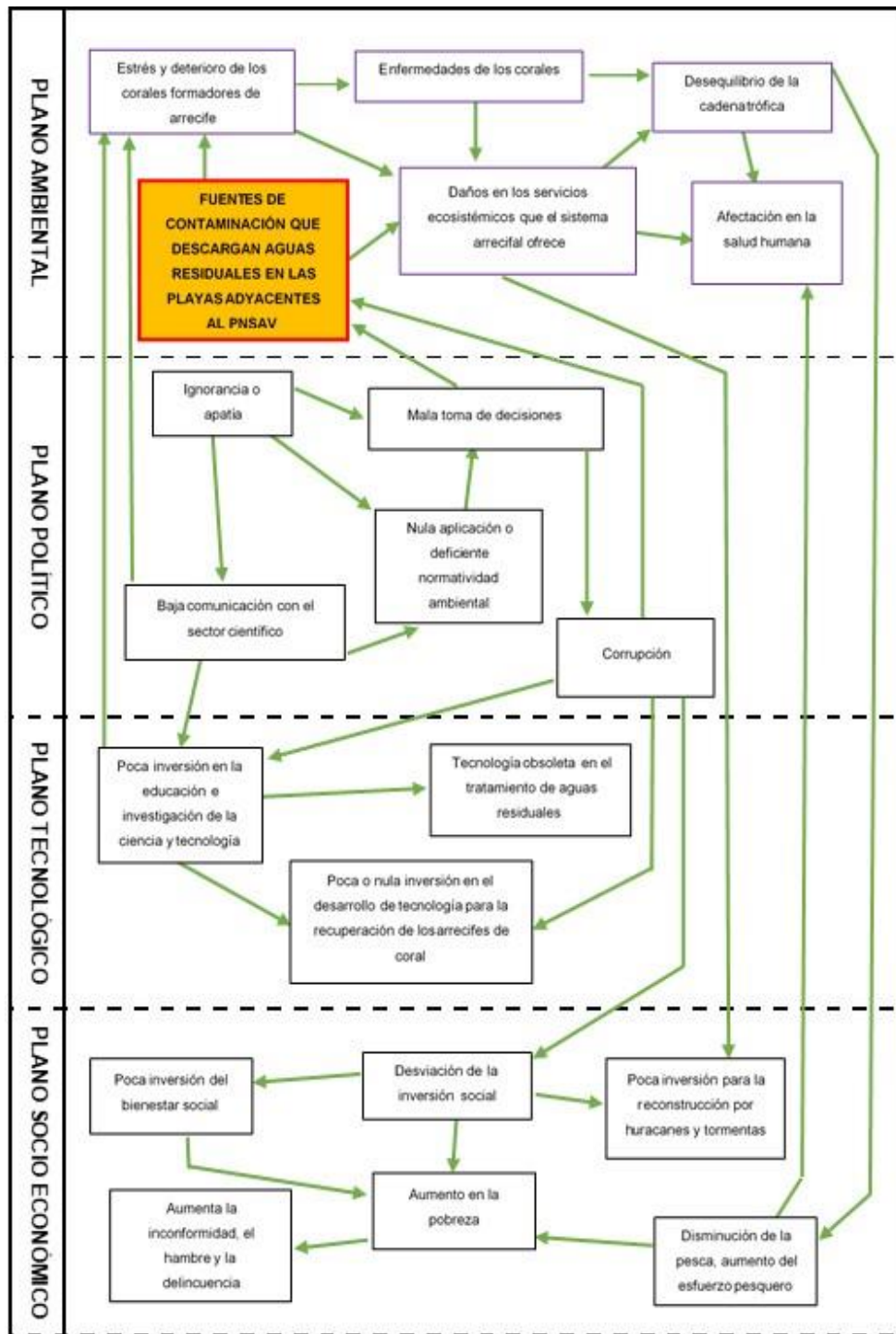


Figura 4. Esquema conceptual de los planos socio-económicos, tecnológicos y ambientales.

## 4.2 Delimitación del problema

Existe una vasta información relacionada a los problemas ambientales que ocasionan las Fuentes de Contaminación que afectan al ecosistema ambiental de la zona costera de Veracruz y Boca del Río, Ver. Gran parte de la información divulgada comprende estudios relacionados con la microbiología, parámetros ambientales, calidad de agua, metales pesados, materia orgánica y estudios relacionados con la salud humana y arrecifal. Estos estudios utilizan generalmente una metodología tradicional de laboratorio, basada principalmente en, cultivos bacterianos, medios enriquecidos, aislamiento bacteriano, cultivos puros, parámetros fisicoquímicos, espectrofotometría, entre otros (Riesenfeld *et al.*, 2004). Sin embargo, es escasa la información divulgada a puntualizar geográficamente, las ubicaciones de las Fuentes de Contaminación que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas de la zona costera de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo, adyacentes al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, inclusive cuando se ha evidenciado que pueden ser un factor importante para generar estrés ambiental y que contribuyan en la relación que existe entre las bacterias patógenas provenientes de las descargas de aguas residuales y la asociación a con los síndromes que afectan a los arrecifes de coral del PNSAV (García-Fuentes, 2013). Por lo que es importante conocer la variabilidad de las propiedades hidrológicas de las Fuentes de Contaminación y la Influencia en relación con la Dispersión de contaminación en el PNSAV. De tal manera que este estudio pueda contribuir a la comprensión de la interacción que hay entre estas dos condiciones ambientales.

## 4.3 Planteamiento del problema

Existen diferentes factores independientes que impulsan el deterioro de los arrecifes de coral, estos en conjunto están orquestando la degradación de la salud de los sistemas coralinos, el calentamiento global el incremento de la temperatura de los océanos, la acidificación del océano (Stocker *et al.*, 2013; Pelegrí *et al.*, 2018; Smithsonian Tropical Research Institute, 2018), las descargas de agua contaminadas a las costas, la destrucción de ecosistemas marinos, entre otros, ejercen una presión importante para desarrollar estrés en las colonias de coral (Cederstav *et al.*, 2015; Burke *et al.*, 2011), debilitando su respuesta inmune, dando oportunidad a que diversos patógenos asociados a enfermedades se presenten en los arrecifes de todo el mundo (Gil-Agudelo *et al.*, 2009). Gran número de estas enfermedades están asociadas a bacterias patógenas, *vibrios* y cianobacterias, provocando los diferentes síndromes (García-Fuentes, 2013). Las bacterias patógenas son favorecidas en ambientes con altas concentraciones de nutrientes, al aprovechar estas condiciones para su proliferación (Lauro *et al.*, 2009). La presencia de las descargas de aguas residuales en la costa puede favorecer el incremento de las bacterias patógenas, es de consideración mencionar que, estos patógenos son muy resistentes a diferentes condiciones ambientales, pueden sobrevivir en muy bajas concentraciones de nutrientes por largo tiempo (Lauro *et al.*, 2009). El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano recibe una constante carga de aguas residuales sin tratamiento previo, industriales, agrícolas, urbanas y domésticas de la zona costera y también debido al aporte de los ríos Papaloapan, Jamapa y La Antigua que transportan aguas contaminadas de ciudades adyacentes, más las diferentes actividades antropogénicas como, derrames de hidrocarburos, pesquería, encallamiento de embarcaciones, entre otras actividades, han sido considerados como de los

problemas principales del impacto ambiental que generan un ambiente de estrés a los arrecifes de coral del PNSAV (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008; Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011; Ortiz-Lozano *et al.*, 2005). La lluvia es el principal factor por la cual se inicia el transporte de contaminantes hacia las fuentes de contaminación no puntuales o fuentes difusas, debido al escurrimiento y al proceso de erosión que provoca en las superficies, arrastrando y transportando una gran cantidad de sedimentos, contaminantes y partículas mayores (Holdren *et al.*, 2001). Los contaminantes derivados de las fuentes no puntuales, pueden estar compuestos de: grasas, aceites, desechos del desgaste de vehículos en vialidades urbanas y suburbanas, productos químicos, materiales sólidos tóxicos y eses de animales. Algunos contaminantes que pueden ser generados en zonas urbanas y arrastrados por los escurrimientos de agua de lluvia son, fósforo: materia orgánica y detergentes. Nitrógeno: depositación atmosférica derivado de emisiones vehiculares. Sólidos suspendidos: acumulación de sólidos en superficie urbanas, impermeabilizantes y material de construcción. Hidrocarburos: Aceites, grasas, emisiones de automotores e industriales, derivado del escurrimiento de calles y carreteras. Pesticidas: control de maleza municipal o privado cercano a las carreteras o avenidas. Materia fecal: heces de animales y tanques sépticos defectuosos. Metales pesados: Lodos residuales y escurrimientos urbanos (Campbell *et al.*, 2005; Novotny, 2002; Holdren *et al.*, 2001). Uno de los procesos más importantes en el océano es el fenómeno de la dispersión, esto se refleja en el transporte y la distribución de sustancias disueltas en el medio marino como son los esenciales para la vida marina, pero también este fenómeno transporta y distribuye los contaminantes que tiene influencia en la alteración de los parámetros fisicoquímicos del agua de mar, que puede tener consecuencia en la modificación de la biología marina (Díez Rilova, 2012).

#### **4.4 Justificación**

Este trabajo permitirá obtener un panorama de las ubicaciones, identificación y clasificación de las fuentes de contaminación que impactan a la zona costera de Veracruz y Boca del Río adyacente al PNSAV. Contribuirá al conocimiento científico con la implementación de un Modelo Teórico de la relación y alcance de la Dispersión de las aguas residuales que posiblemente puedan tener Influencia en los arrecifes de coral del PNSAV. Una adecuada caracterización del Área de influencia de estas descargas contribuye a identificar sus efectos sobre la zona costera (Bernal *et al.*, 2005). De tal manera que los datos obtenidos pueden ser de utilidad para ejercer predicciones científicas del estado de conservación de los arrecifes de coral, que podrían servir de fundamento para la toma de decisiones, elaboración de políticas públicas, programas de restauración, conservación y Normatividad, en cuanto a la urgencia de gestionar de manera eficiente el tratamiento de aguas residuales municipales, estatales y federales.

#### **4.5 Pregunta de investigación**

¿Cuál es el alcance de la Dispersión e Influencia de las Fuentes Puntuales de Contaminación de la zona costera adyacente al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano?

## 6. HIPÓTESIS

La Dispersión de las Fuentes Puntuales de Contaminación de la zona costera adyacentes al PNSAV, sobrepasan el polígono del área nacional protegida, influyendo en los arrecifes de coral del Sistema arrecifal Veracruzano.

## 7. OBJETIVOS

### 7.1 General

Evaluar la variación de las Fuentes de Contaminación que descargan en la zona costera, adyacente al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

### 7.2 Particulares

- Clasificar, categorizar e Identificar las Fuentes de Contaminación que descarguen en la zona costera de los municipios de Veracruz, adyacentes al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.
- Determinar la variabilidad de la Dispersión e Influencia de 3 Fuentes Puntuales de Contaminación adyacentes al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.
- Evaluar la calidad del agua de mar de la zona costera de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo, adyacente al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

## 8. MATERIALES Y METODOS

### 8.1 Clasificar, categorizar e identificar las Fuentes de Contaminación que descargan sus aguas en las playas adyacentes al PNSAV

El área de estudio comprendió 17.791 km de la zona costera de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado. Para realizar el recorrido e identificación de las Fuentes de Contaminación se siguió la metodología modificada de Webb, J. 2009.

Se realizó un recorrido prospectivo con dirección de Norte a Sur, de la zona Portuaria de Veracruz a la desembocadura del Río Jamapa en Boca de Río, finalizando en el pueblo de Antón Lizardo municipio de Alvarado, Veracruz, se llevó cabo a lo largo de la costa, se recorrió, áreas de playas arenosas y área del bulevar Manuel Ávila Camacho.

Las fuentes de contaminación se clasificaron y categorizaron siguiendo la metodología de Campbell *et al.*, 2005; Novotny, 2002; Holdren *et al.*, 2001, de la siguiente manera:

#### 8.1.1 Clasificación:

- Si las Fuentes de Contaminación presentaban descargas de agua o escurrimientos visibles o no presentaban.
- Si se percibía mal olor del agua característico a aguas residuales.



### 8.1.2 Categorización:

- Fuentes Puntuales de Contaminación son todos los desagües que se encontraron con descargas de aguas residuales;
- Fuentes no Puntuales o Difusas son todos aquellos desagües de aguas pluviales.
- Fuentes no Identificada, cuando no fue posible visualizar de dónde provenía el escurrimiento.

La identificación de las fuentes de contaminación, se realizó en el periodo de vientos del norte que se desarrollan con los frentes fríos de septiembre a abril, mediante 10 recorridos en los cuales se geolocalizaron los desagües que desembocan directamente en las playas, utilizando un Smartphone por medio de la aplicación de Google maps. Durante los recorridos se tomaron fotografías, se anotaron referencias y coordenadas geográficas para ubicar las Fuentes de Contaminación y también se identificaron las principales actividades económicas de las zonas, se siguió la metodología modificada de Ruíz-Saucedo, 2006.

## **8.2 Cálculos de porcentajes y estimaciones de caudal tratado y caudal sin tratar de las plantas de tratamiento de aguas residuales, de Veracruz y la zona conurbada y cálculos de porcentajes de m<sup>3</sup> de agua residual que recibe el sistema cuenca baja Río Jamapa**

Se utilizaron cifras oficiales del Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y Tratamiento de Aguas Residuales en Operación de diciembre 2021 (CONAGUA, 2021), como referencia con la cual se realizaron los cálculos estimados de porcentajes de aguas residuales sin tratamiento y caudal sin tratar, con referencia al total de la capacidad instalada de las plantas de tratamiento que el inventario público al 2021. La información que presento el Inventario 2021 de CONAGUA carece de información debido a que solo consideró las plantas de tratamiento en operación, para complementar el vacío de información, se consultaron las publicaciones del (Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C. 2017 y SECTUR, 2013). Con estas tres publicaciones se consiguió calcular los caudales de las plantas de tratamiento (PTAR), caudal total, caudal tratado, caudal sin tratar y el porcentaje sin tratamiento, de las PTAR de Veracruz, Boca del Río y Medellín de Bravo. De la misma manera se obtuvo información para realizar el cálculo de caudal y porcentajes de agua residual vertida a los cuerpos de agua de la zona metropolitana de Veracruz, con estos cálculos finalmente se realizó una estimación del caudal de aguas sin tratamiento y porcentaje que recibe el sistema de la cuenca baja del Río Jamapa.

## **8.3 Determinar la variabilidad de la Dispersión de 3 Fuentes Puntuales de Contaminación que descargan aguas residuales en las playas de la zona costera de Veracruz y Boca del Río que tienen influencia en el PNSAV**

### *8.3.1 Selección de las descargas de las Fuentes Puntuales de Contaminación y los puntos de muestreo de aguas residuales*

La selección de las 3 FPC (Figura. 5) se determinó por las siguientes características.

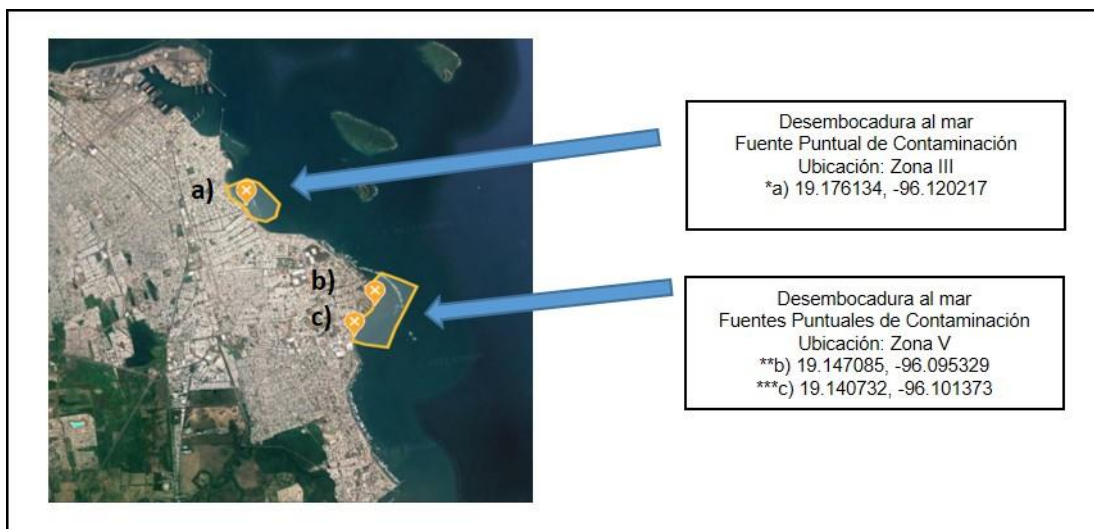
La estructura del desagüe: de concreto y forma de canal a cielo abierto.

La descarga del agua residual debería de escurrir sobre la arena de la playa, con el propósito de poder calcular la velocidad superficial y el Gasto de las descargas de aguas residuales, siguiendo la metodología modificada del manual; Estimaciones del Caudal de Agua 3 FAO, 2007.

### 8.3.2 Criterios para la recolección de muestra de agua residual de las Fuentes Puntuales de Contaminación

Se siguió las metodologías del Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos. Aguas, Sedimentos y Organismos de Tinoco *et al.*, 2003 y Sierra, 2011. Se consideraron las siguientes características físicas del agua residual (Temperatura y densidad) y organolépticas (mal olor). La toma de muestras se realizó en temporada de estiaje en el mes de junio 2022.

### 8.3.3 Selección de las FPC



FPC: \*Simón Bolívar. \*\* Costa de Oro. \*\*\* Andamar.

Figura 5. Puntos de muestreo de aguas residuales.

### 8.3.4 Cálculos para conocer el comportamiento de las descargas de aguas residuales en las playas

Para conocer la densidad del agua residual se siguió la metodología modificada de, Sierra, 2011, se empleó un densímetro con unidades de 1.000 a 1.060 kg/m<sup>3</sup>. Se registraron los datos en las hojas de trabajo: la fecha, hora, localidad, zona de muestreo, temperatura del agua y capturas fotográficas para cada una de ellas. Se usaron guantes de látex estéril en ambas manos, cubrebocas y botas de hule. Se colectó un 1 litro de muestra de agua residual, colocando una jarra medidora en la salida del desagüe y se colocó en una probeta graduada de un litro, se tomó la temperatura con un termómetro de mercurio y se colocó el densímetro dentro de la probeta. De la misma manera se tomó una muestra de agua de mar justo en la desembocadura con el mar y el agua residual.

Para conocer el comportamiento de la velocidad superficial y el Gasto de las descargas de aguas residuales se empleó la metodología modificada del manual; Estimaciones del Caudal de Agua 3 FAO, 2007. Utilizando el 3.3. Método de flotación.

Se empleó las siguientes ecuaciones:

- Velocidad superficial:

$$v = \frac{t}{d}$$

Donde, tiempo (t = segundos) y distancia (d = metros).

- Gasto:

$$G = (v) (a) (p) = m^3 / s.$$

Donde (v, es velocidad superficial en m/s), (a = ancho, es la medida transversal del afluente en metros) y (p = profundidad, es la profundidad media del afluente en metros).

#### *8.3.5 Influencia del Radio de Dispersión de las aguas residuales en el PNSAV*

Para conocer la influencia de las aguas residuales en el SAV, se calculó mediante la metodología de relación de curvatura de Liaño-Carrera *et al.*, 2019; Salas-Monreal, 2022, utilizando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{U}{f}$$

Donde (U, es la velocidad superficial del agua de las descargas residuales y (f, es la frecuencia de Coriolis), la frecuencia de Coriolis es ( $f = 2\Omega \text{ sen } \phi$ ), donde la función seno ( $\phi$ ) es la latitud. Se consideró la latitud del SAV como 19.175°N (Salas-Monreal, 2022).

### **8.4 Evaluar la calidad del agua de mar adyacente a la zona costera del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano parámetros fisicoquímicos**

Para obtener los datos de los parámetros fisicoquímicos (PFQ) de agua de mar y evaluar la calidad de agua del muestreo puntual en el PNSAV, se siguió las metodologías modificadas de Tinoco *et al.*, 2003, consultando el Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos.

#### 8.4.1 Puntos de muestreo de parámetros fisicoquímicos de agua de mar en el PNSAV

Se siguió las metodologías del Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos. Aguas, Sedimentos y Organismos de Tinoco *et al.*, 2003.

El monitoreo de las variables se realizó con una sonda multiparamétrica YSI556 MPS, con una precisión para cada parámetro de 0.01. El periodo de muestreo se realizó en la época de estiaje, en el mes de junio 2022. Se conformó una base de datos con 367 variables. Se delimitó a 5 zonas de monitoreo con 9 estaciones (Figura. 6) y (Cuadro. 3).

En cada estación se registraron valores puntuales durante un lapso de 5 minutos, de los parámetros; Oxígeno disuelto (mg/l), pH (UpH), temperatura del agua de mar (°C), salinidad (1TTP), transparencia disco de SECCHI (m) y alcalinidad total (mg/l).

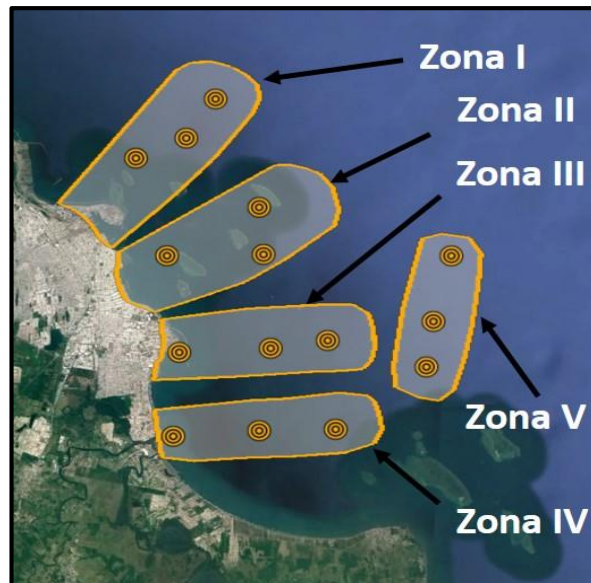


Figura 6. Muestreo puntual de los parámetros fisicoquímicos de agua de mar en el PNSAV.

Cuadro 3. Ubicación de los muestreos puntuales de los parámetros fisicoquímicos de agua de mar en el PNSAV.

Zonas		Latitud		Longitud	
I	a)	19.2412	N	-96.11922	W
	b)	19.25272	N	-96.09582	W
	c)	19.3725	N	-96.0831	W
II	d)	19.1877	N	-96.03391	W
	e)	19.20258	N	-96.08867	W
	f)	19.21934	N	-96.05868	W
III	g)	19.14424	N	-96.08087	W
	h)	19.14861	N	-96.04876	W
	i)	19.15392	N	-96.02197	W
IV	j)	19.10984	N	-96.01559	W
	k)	19.10724	N	-96.05162	W
	l)	19.1023	N	-96.09192	W
V	m)	19.14431	N	-96.08095	W
	n)	19.13148	N	-95.478	W
	ñ)	19.15214	N	-96.0155	W

## 8.5 Elaboración de los mapas de identificación de FC y gráficas de los Radios de Dispersión de las Fuentes Puntuales de Contaminación que tienen influencia en el Sistema Arrecifal Veracruzano

Para la representación gráfica de los mapas de identificación de las Fuentes de Contaminación y los Radios de Dispersión de las aguas residuales en el PNSAV, se adaptó la metodología de Ruíz-Saucedo, 2006.

Con la información recopilada de los recorridos y puntos georreferenciados se conformó una base de datos, con la cual se tomó de referencia para la elaboración y representación gráfica de los mapas de identificación de las Fuentes de Contaminación, fue empleado el programa ArcMap 10.3 y Google Earth para la elaboración de los mapas. Es importante destacar que no fue posible acceder a algunas áreas del Bulbar Manuel Ávila Camacho durante los recorridos de identificación de las FC. Las áreas a las cuales no fue posible obtener acceso, fue debió a que el paso no era de libre acceso por ser propiedad privada por lo que denegaron el acceso los guardias de seguridad de la zona. Por lo que se tuvo que emplear el programa Google Earth para poder visualizar las áreas restringidas.

De igual manera, se siguió las recomendaciones de Ruíz-Saucedo, 2006, para colocar las gráficas en los mapas de los Radios de Dispersión de las aguas residuales y su alcance en el PNSAV, para cada FPC. Fue utilizando el programa ArcMap 10.3 y Google Earth para la elaboración de los mapas y graficas de los Radios de Dispersión.

## **8.6 Análisis estadístico**

### *8.6.1 Clasificar, categorizar e identificar las Fuentes de Contaminación que descargan sus aguas en las playas de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo adyacentes al PNSAV*

Se realizó pruebas de normalidad y homogeneidad para comprobar el comportamiento de las varianzas, si el comportamiento mostraba ser normal y las varianzas homogéneas, se procedió a realizar la prueba paramétrica de ANOVA de un factor.

Se analizó la información obtenida mediante la prueba paramétrica de análisis de ANOVA de un factor, para establecer la asociación respecto a la presencia de las FPC y la actividad económica Hotelera de la zona costera aledaña a las playas. Se utilizó el programa CurveExpert 1.3, el cual aplicó pruebas de coeficiente de correlación con un intervalo de confianza de  $(0.05 \alpha)$ . Con el cual se visualizó, si existe relación estadísticamente significativa entre las variables o no las hay, bajo los diferentes ambientes (Weber *et al.*, 2017).

### *8.6.2 Evaluar la calidad de agua de mar adyacente a la zona costera de Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano*

Los Parámetros Físicoquímicos (PFQ) del agua de mar se evaluaron utilizando el programa STATISTICS, se realizó la prueba de normalidad y de homogeneidad para verificar su cumplimiento. Si el comportamiento mostraba ser normal y las variancias homogéneas, se procedió a realizar la prueba paramétrica mediante el análisis de ANOVA de un factor. Las variables que mostraron un comportamiento no normal y las varianzas no homogéneas, se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis con un intervalo de 95% de significancia para su comprobación con  $(0.05 \alpha)$ .

## **9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **9.1 Clasificar, categorizar e identificar las Fuentes de Contaminación que de la zona costera de los municipios de Veracruz adyacentes al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano**

#### *9.1.1 Clasificación, presencia de descargas y mal olor*

- Presencia de descargas: (SI) Cuando había escurrimiento de agua o (NO) cuando no lo había, se muestran en el (Anexo 1).
- Mal Olor: (SI) Cuando se percibía mal olor característico a aguas residuales. (NO) cuando no se percibía mal olor, véase (Anexo 1).

#### *9.1.2 Categorización*

- Desagües con presencia de descargas de aguas residuales son (Fuentes Puntuales de Contaminación), (Anexo 1).
- Desagües de aguas pluviales son (Fuentes Difusas), (Anexo 1).
- Desagües con presencia de descargas de aguas residuales no identificada son (Fuentes Puntuales de Contaminación), (Anexo 1).

### 9.1.3 Identificación de las FPC de la zona costera adyacente al PNSAV



\*Fotografías propias del recorrido de identificación de las Fuentes de Contaminación.

Figura 7. a) Fuente Difusa (desagüe pluvial), b) Fuente Puntual de Contaminación (desagüe con descarga de aguas residuales) y c) Fuente Puntual de Contaminación de origen desconocido (desagüe no identificado no fue posible determinar su procedencia).

Es de importancia destacar, que se encontraron, algunos desagües pluviales que presentaron descargas de aguas residuales en los cuales se percibía un fuerte olor característico de aguas residuales, sin embargo, los recorridos de identificación se realizaron en época de estiaje, de mayo a junio (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008), por lo que se esperaba encontrar los desagües pluviales sin escurrimientos, más, sin embargo, esto concuerda con lo publicado por SECTUR, 2013, la red de drenaje de la zona metropolitana de Veracruz es muy antigua, en la cual se encuentran fisuras, filtraciones y muchas conexiones clandestinas de aguas residuales domiciliadas, que descargan sus aguas en los colectores pluviales que desembocan en las playas de la zona costera de Veracruz y Boca del Río.

A continuación, se presentan los mapas de identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes y las delimitaciones de las zonas recorridas





Figura 8. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y residuales directamente en las playas.

La Zona I es donde se dio inicio a los recorridos de identificación las Fuentes Puntuales de Contaminación (FPC) y Fuentes no Puntuales o Difusas (FD), incluyendo las actividades económicas de, y Hoteles (H).

La Zona I inicia a partir del Muelle de la Armada de México que pertenece al recinto portuario y cercano al centro de la ciudad de Veracruz, finalizando en el Acuario de Veracruz. El recorrido se delimitó a 2.012 km de extensión aproximadamente, comprendió, área de playas arenosas, playas rocosas, muelles de pescadores y sobre el Bulevar Manuel Ávila Camacho. En esta zona se encontró, actividades económicas turísticas y pesqueras, turismo en las playas, centros comerciales y diferentes servicios. Se localizaron, 24 FD, 12 FPC y 14 H, (Figura 8). Este conjunto de playas es frecuentemente visitado por los turistas, las cuales se encuentran cerca al recinto portuario y al centro de la ciudad Veracruz. Están ubicadas frente al arrecife costero Hornos el cual pertenece polígono del PNSAV, este arrecife ha sido catalogado como altamente impactado por diversas perturbaciones antropogénicas como son, descargas de aguas pluviales, descargas de aguas residuales, turismo y embarcaciones menores (Horta Puga y Tello Musi, 2009).



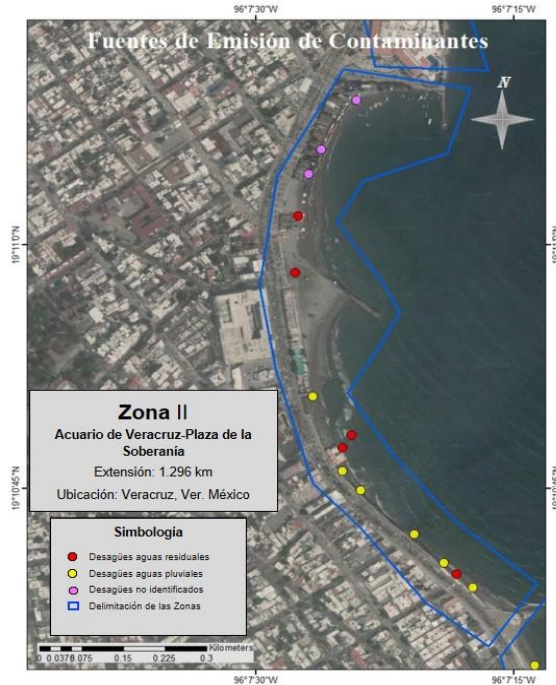


Figura 9. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y residuales directamente en las playas.

La Zona II se delimitó a una longitud de 1.296 km aproximadamente, la extensión abarca zonas de playas arenosas, escolleras y un muelle que se utiliza para actividades recreativas principalmente. En esta zona se encontró, turismo en las playas, actividades económicas turísticas, centros comerciales, servicios sanitarios, palapas, comercio informal, mesas y sillas de playa. Se localizaron, 9 FD, 6 FPC, y se ubicaron, 6 H, (Figura 9).

Esta zona posee playas que son altamente frecuentadas por el turismo, de igual forma que la Zona I, se encuentran aledañas al arrecife costero Hornos, que se halla bajo el resguardo del PNSAV (Horta-Puga *et al.*, 2017). Según Horta Puga y Tello Musi, 2009 este arrecife de coral recibe estresores considerados de alto impacto y es catalogado como altamente antropizado por las frecuentes perturbaciones que recibe de los factores de estrés que son derivados de las diversas actividades que se llevan a cabo en las playas circundantes, algunas de estas son, la constante aportación de nutrientes provenientes de las descargas de aguas residuales, el aporte de partículas, basura y sedimentos que provienen de las descargas de aguas pluviales en temporada de lluvias y la sedimentación de estas partículas sobre los corales (Horta Puga y Tello Musi, 2009).

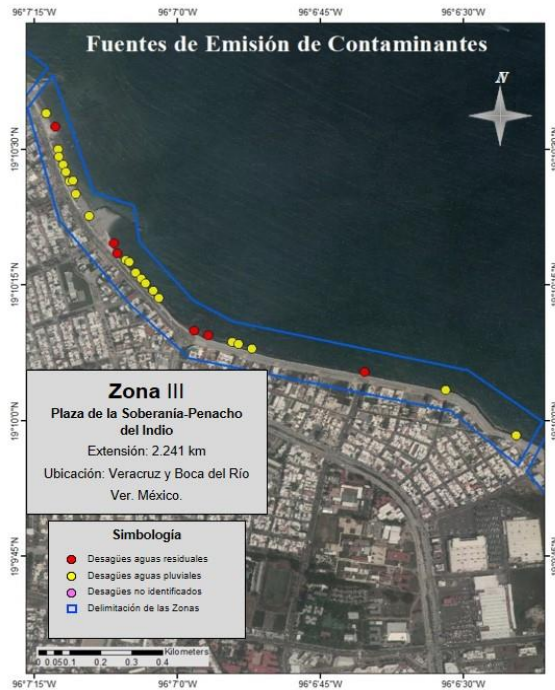


Figura 10. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona III.

La Zona III tiene una extensión delimitada aproximada de 2.241 km y está conformada por la colindancia con el municipio de Veracruz y Boca del Río. Se encontraron rompeolas construidos con rocas en una gran parte del Bulevar, esta parte rocosa hizo difícil la localización e identificación de las descargas de aguas residuales o desagües pluviales, las áreas de playas son principalmente arenosas, de igual manera se encontró escolleras sobre las playas.

En el área se encontraron grandes infraestructuras construidas de concreto que descargan aguas residuales directamente a las playas, canales a cielo abierto y tubería de una dimensión mayor a las que anteriormente se habían localizado, se percibía un fuerte olor característico a aguas negras que emanaba de las descargas. Se encontraron, actividades económicas comerciales y turísticas. En los 2.241 km que abarca la Zona III, se localizaron, 30 FD, 7 FPC, y 10 H, (Figura 10).



Figura 11. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona IV.

La Zona IV abarca una extensión delimitada por el recorrido que se realizó de aproximadamente 2.177 km de extensión y está ubicada en el municipio de Boca del Río, Ver. El área se conforma por playas arenosas e infraestructuras rocosas que funcionan como escolleras sobre las playas. En la zona se encontraron, centros comerciales y actividades económicas turísticas, se localizaron, 3 FD, 4 FPC, también se ubicaron, 3 H, (Figura11).

Según los criterios de sostenibilidad propuestos por Arceo y Granados-Barba, 2010, la contaminación por heces fecales humanas en estas playas disminuye la calidad para el turismo. Esta Zona se encuentra aproximadamente a 1.400 km de distancia de la costa al arrecife de Sacrificios perteneciente al polígono del PNSAV (Horta-Puga *et al.*, 2017). Según Carreón *et al.*, 2017, reportaron que el arrecife sacrificios es uno de los arrecifes que se encuentra más expuesto a la contaminación por heces humanas derivadas de las descargas de aguas residuales y de la influencia de la desembocadura del río Jamapa.

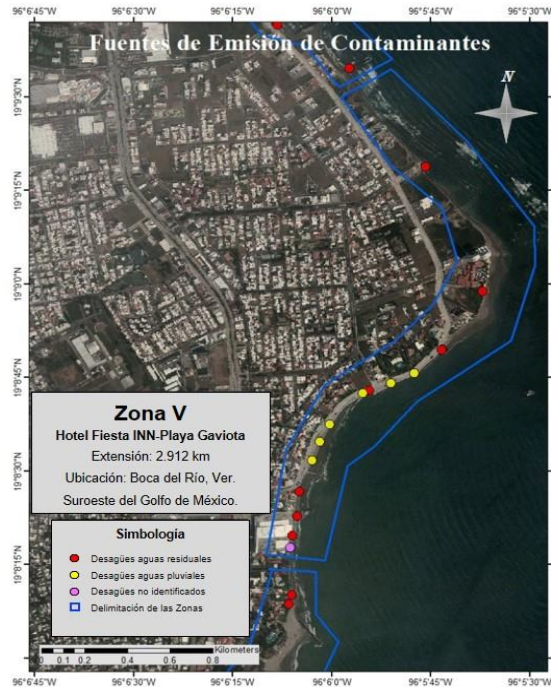


Figura 12. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona V.

La Zona V está ubicada en el municipio de Boca del Río, Ver. Tiene una longitud aproximada de 2.912 km, que fue delimitada por el recorrido que se realizó. El área se conforma por playas arenosas e infraestructuras de rompeolas bordeando el Bulevar y escolleras construidas con rocas sobre las playas. Se encontraron canales a cielo abierto, infraestructuras de concreto y tubería que descargan aguas residuales directamente a las playas, se percibía un fuerte olor característico a aguas negras. En la zona se encontraron, dos centros comerciales y actividades turísticas. En este recorrido se registraron, 6 FD, 11 FPC y se ubicaron 9 H, (Figura 12). El conjunto de playas de a la Zona V son consideradas de los principales destinos turísticos del municipio de Boca del Río, están ubicadas frente al arrecife costero Ingeniero que pertenece al polígono del área protegida por el PNSAV, según Tunnell, 2007, el impacto que se genera en este arrecife es considerado como severo, los aportes de nutrientes provenientes de las fuentes no puntuales y puntuales que recibe este arrecife, genera un impacto negativo, dañando la cobertura colorina, promoviendo el crecimiento de macroalgas convirtiéndolas en un elemento predominante, es un arrecife en vías de eutrofización (Tunnell, 2007; Horta Puga y Tello Musi, 2009).

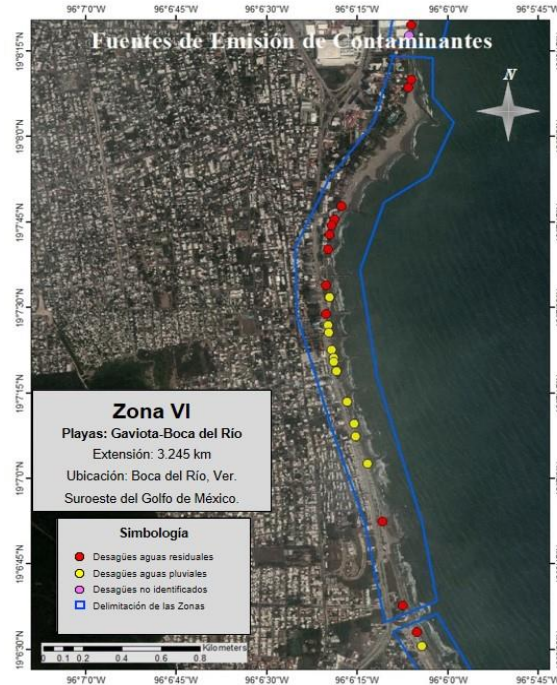


Figura 13. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona VI.

La Zona VI pertenece al municipio de Boca del Río, Ver. Su extensión fue delimitada por el recorrido que se realizó de aproximadamente 3.245 km. Las playas de esta zona son arenosas, cuenta con rompeolas de rocas sobre en la orilla del Bulevar y escolleras en las playas. En esta zona se encontraron escurrimientos de aguas residuales en la arena, provenientes de desagües que provenían de las áreas residenciales, departamentales y comerciales.

Esta zona atraviesa por áreas de playas turísticas y por el parque acuático Mocambo que se ubica justo a un costado del Hotel que lleva el mismo nombre, también se encontró descargas de aguas residuales que provenían de infraestructuras de concreto y tubería, de las que se percibía un, desagradable olor. En 3.245 km de recorrido se registraron, 12 FD, 13 FPC, y se ubicaron, 11 H, (Figura 13).





Figura 14. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona VII.

La Zona VII se delimitó por un recorrido de 1.646 km aproximadamente, pertenece al municipio de Boca del Río, Ver. Las playas son arenosas y son frecuentemente visitadas por el turismo, de igual forma que las zonas anteriores, esta zona cuenta con playas arenosas y escolleras construidas con rocas en las playas. En el recorrido se registraron, 4 FD, 2 FPC, y 1 H, (Figura 14).

Se encontraron escurrimientos de aguas residuales en la arena, provenientes de desagües que provenían de las áreas departamentales, de la misma manera en la desembocadura del Río Jamapa se localizó la descarga de aguas residuales de la Planta de tratamiento de Boca del Río, donde se percibió un fuerte olor característico de aguas negras. Según SECTUR, 2013, la planta de tratamiento de la cabecera municipal de Boca del Río, tiene sin funcionamiento 10 años, descargando aguas sin tratar al Río Jamapa.



Figura 15. Delimitación e identificación de Fuentes de Emisión de Contaminantes que descargan aguas pluviales y aguas residuales directamente en las playas pertenecientes a la Zona VIII.

En la Zona VIII se encuentra el pueblo de Antón Lizardo pertenece al municipio de Alvarado, Ver. Se realizó un recorrido aproximado de 2.39 km. Las playas del pueblo son arenosas, extensas y con dunas, son visitadas frecuentemente por el turismo, cuenta con una escollera construida con rocas. En el recorrido se encontraron desagües con escurrimientos de aguas residuales en la arena que provenían de las áreas habitacionales y comerciales, se registraron, 4 FPC y 1 FD, llamado Arroyo Jiote (19.05694, -96.007315) y se localizaron, 4 H, (Figura 15). Según Hidalgo *et al.*, 2017, el Arroyo Jiote tiene una comunicación con el mar intermitente.

En las 8 zonas delimitadas por los recorridos, se encontraron: 60 H, 89 FD y 59 FPC, los cuales se pueden observar en la (Cuadro 4) y (Figura 16). Otras actividades económicas comunes fueron, embarcaciones de pesca y servicios de buceo. Las 8 zonas evaluadas presentaron variaciones en la cantidad de Fuentes Puntuales de Contaminación a lo largo de los recorridos. La Zona VI se destaca con 13 FPC como la zona con mayor número contabilizado en comparación a todas las zonas evaluadas; las Zonas I y V son las siguientes, con 12 y 11 FPC localizadas respectivamente. Por otra parte, se destacan con las de menor número de FPC la Zona, IV con 4 FPC y VIII con 4 FPC.

En cuanto a las Fuentes Difusas, la Zona III se destaca con la mayor cantidad, con 30 FD localizadas, subsiguientemente en orden descendente, las Zonas I y VI con 24 y 12 FD respectivamente. La Zona VIII se destaca por poseer la menor cantidad de FD, solo se identificó una.

Cuadro 4. Identificación de las Fuentes de Contaminación y de las principales actividades económicas de la zona costera de Veracruz-Boca del Río-Antón Lizardo.

Zonas	Fuentes de Contaminación		Actividades económicas
	Fuente Difusa	Fuente Puntual	Hoteles
I	24	12	14
II	9	6	6
III	30	7	10
IV	3	4	3
V	6	11	9
VI	12	13	11
VII	4	2	1
VIII	1	4	6

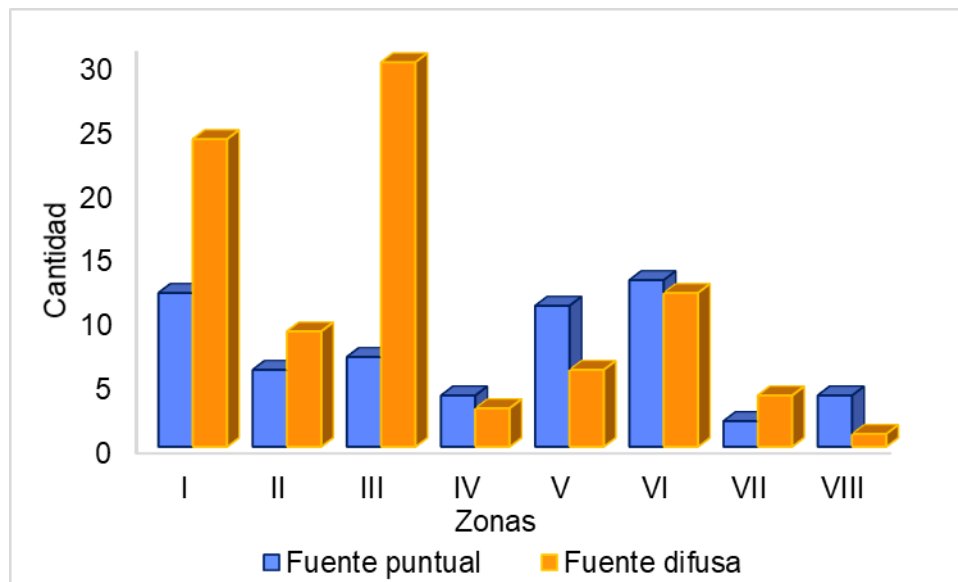


Figura 16. Fuentes de Contaminación encontradas en las zonas costeras de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo.

#### 9.1.4 Descargas de aguas pluviales, Fuentes Difusas o No Puntuales

Según lo dicho por Holdren *et al.*, 2001, las descargas de aguas pluviales se pueden definir como fuentes no puntuales de contaminación o fuentes difusas.



La mayor cantidad de fuentes de contaminación encontradas en este estudio son las Fuentes Difusas con 89 registros (Cuadro 4). Se encontraron FD con escurrimiento de agua pluvial de las primeras lluvias de la temporada como se pueden observar en la Figura 17 y 18.



Figura 17. Fuentes Difusas con escurrimiento de agua de lluvia, ubicadas en el Bulevar Manuel Ávila Camacho.

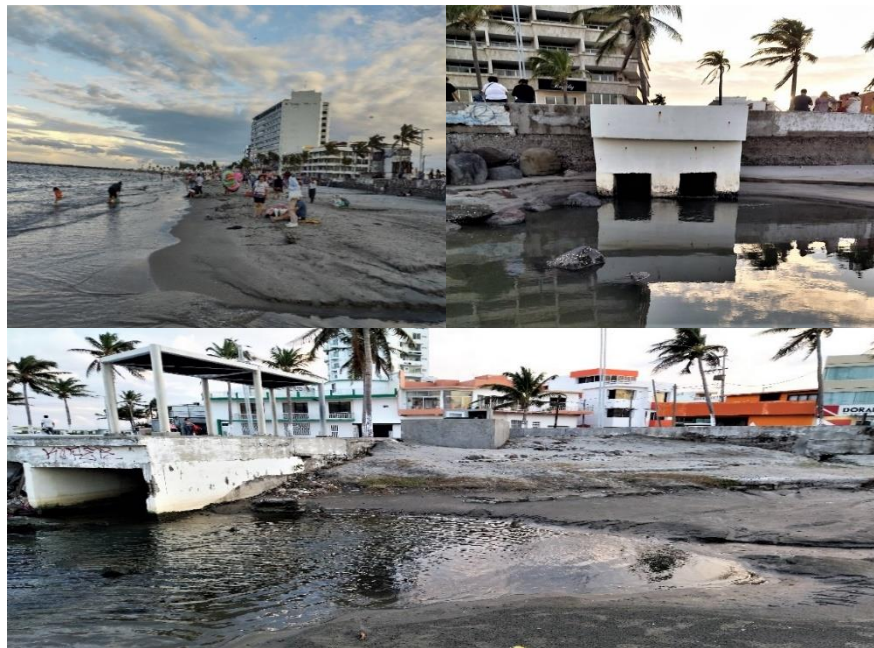
Se constató visualmente que una gran parte de los desagües de aguas pluviales, no muestran una debida conexión con la red de alcantarillado que dirige el agua de lluvia a un colector y está a las plantas de tratamiento, pero si una descarga directa a las playas, como lo demuestra las Figuras 17 y 18, esto concuerda con lo que indica Novotny, 2002, las fuentes no puntuales o difusas, están estrechamente ligadas al uso de suelo y son dominadas por el aporte de las lluvias. Las descargas no puntuales encontradas en este estudio pertenecen a la franja costera del Bulevar Manuel Ávila Camacho, por el cual transitan vehículos particulares y de servicio de transporte público colectivo, según estimaciones del INECC, 2012, indican que el parque vehicular del puerto de Veracruz en el 2011, se estimó en 171,860 vehículos activos, se registró una afluencia vehicular diaria de, 2,333 vehículos que transitaron en el Bulevar Manuel Ávila Camacho a la altura del Hotel Fiesta Inn ubicado en Boca del Río.



Figura 18. Tránsito vehicular en el Boulevard Manuel Ávila Camacho en la época de lluvias, se puede observar el alcantarillado colector de agua pluvial en la fotografía a) y su desagüe descargando el agua a la playa en la fotografía b).

De acuerdo con Novotny, 2002, al caer el agua de lluvia, erosiona la superficie, desprende, disuelve y transporta contaminantes antropogénicos como también de origen natural, las FD o no puntuales de forma particular son fuentes de contaminación menores, pero de manera colectiva son significativamente perjudiciales a lo largo de una cuenca, impactando negativamente la calidad de agua. Según Tomasini-Ortiz *et al.*, 2012, la contaminación de las fuentes no puntuales, el uso de suelo y la eutrofización de los cuerpos de agua están estrechamente relacionados con los florecimientos masivos de cianobacterias, disminución de la concentración de oxígeno disuelto, sedimentación, obscurecimiento de aguas superficiales y acidificación, especialmente en aguas costeras. Esto concuerda con lo publicado por APIVER en el 2013 (ASIPONA, 2021), el PNSAV es afectado directamente por los desagües pluviales en la época de lluvias, debido principalmente a que descargan aguas contaminadas en la zona de playas, esto debido a que arrastran gran cantidad de sedimentos los cuales se precipitan cubriendo los corales, afectando de la misma forma a diferentes organismos sésiles, dificultando el paso de la luz solar entorpeciendo la fotosíntesis que realiza el holobionte coralino, modificando drásticamente el ambiente oligotrófico de la zona.

#### 9.1.5 Descargas de aguas residuales, Fuentes Puntuales de Contaminación



\*FPC pertenecientes a la Zona I. Fuente: Archivo de autor.

Figura 19. Playas arenosas que son frecuentemente visitadas por el turismo, con presencia de descargas de aguas residuales FPC, ubicadas en la Zona I.

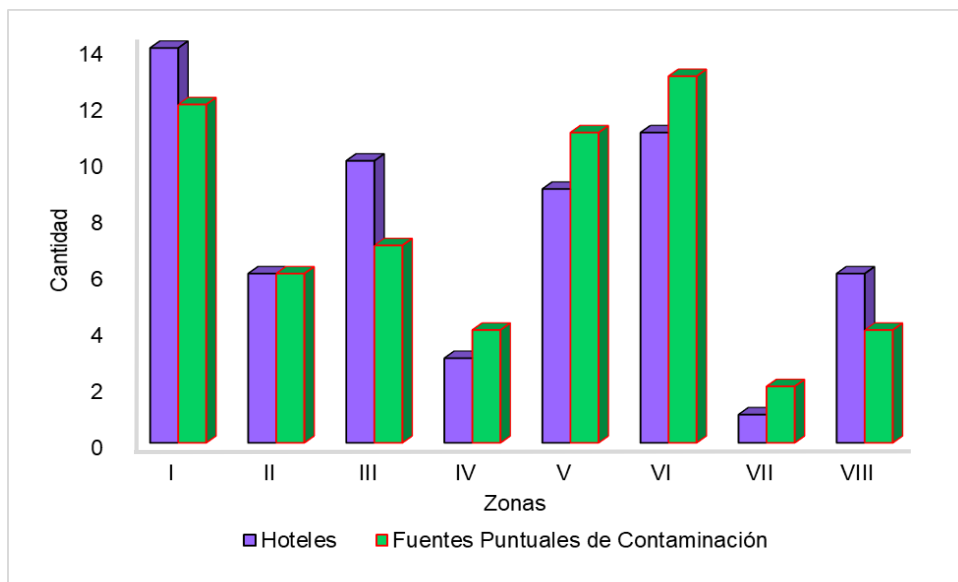


\*FPC pertenecientes a la Zona II. Fuente: Archivo de los autores.

Figura 20. Zona II, playas turísticas de Villa del mar y con presencia de descargas de aguas residuales, ubicadas en la zona.

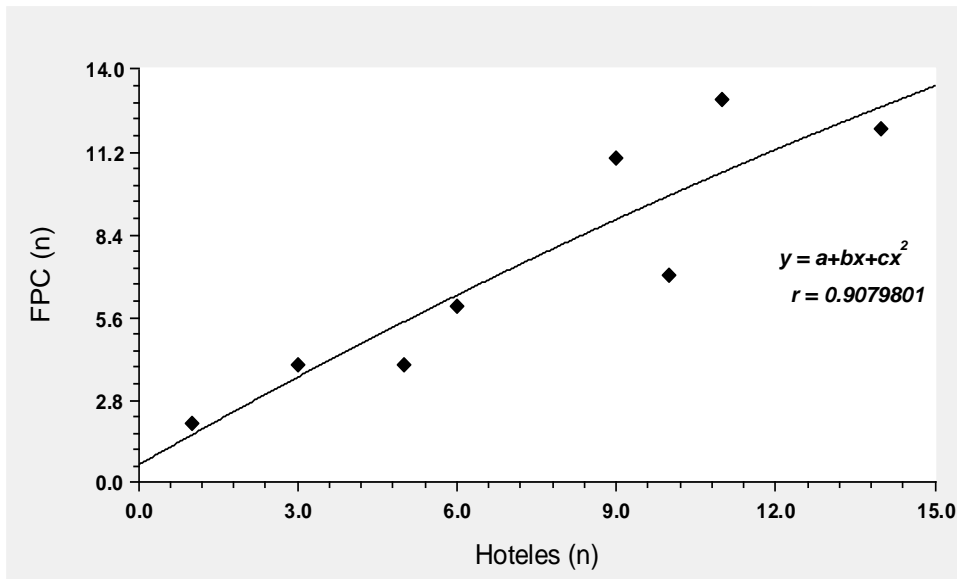
Según Hidalgo *et al.*, 2017, mencionan que las playas pertenecientes a las zonas: I, II, III, IV, V, VI y VII, son playas urbanizadas, que han sido modificadas debido a la construcción de escolleras, accesibilidad turística y actividades recreativas y comerciales. En cambio la playa de la Zona VIII lo anterior disminuye, debido a que en esa zona se encuentra una menor infraestructura destinada al turismo. De acuerdo con lo publicado por Ortiz-Lozano, 2012, las playas urbanizadas son crónicamente expuestas a escasas condiciones de higiene, mayormente contaminadas por aguas residuales con un tratamiento incompleto o sin ningún tratamiento, impactando de forma negativa al ambiente costero por el incremento en las concentraciones de enterococos, aceites y grasas, derivados de las actividades turísticas en épocas vacacionales.

Figura 21. Actividad económica Hotelera y Fuentes Puntuales de Contaminación en las zonas costeras de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo.



En las 8 zonas evaluadas se identificaron y registraron la cantidad de Hoteles adyacentes a las playas que se ubican en el Bulevar Manuel Ávila Camacho en Veracruz y Boca del Río y de igual manera en el área de playas del municipio de Antón Lizardo en Alvarado, Veracruz. En la Figura 21, se presenta la cantidad de FPC y H, donde se puede observar un comportamiento heterogéneo en su cantidad, pero con valores cercanos comparativamente. Se destaca la zona II con valores de, 6 FPC y 6 H, como la zona con valores homogéneos. Por otra parte, las zonas con mayores cantidades, se destaca la Zona I con 12 FPC y 14 H, y la Zona VI con 13 FPC y 11 H. Subsiguientemente, se destacan las zonas con menores cantidades, la Zona IV y VII con valores de 4 FPC y 3 H, y 2FPC y 1H respectivamente. Lo publicado por la Secretaria de Turismo, menciona que las concentraciones de sólidos disueltos y enterococos, así como los valores de, aceites, grasas y DBO, son mayores con el aumento de las actividades turísticas en los meses de abril a septiembre para las playas de las zonas II y VI, donde se encuentran las playas de Villa del Mar y Mocambo respectivamente

Figura 22. Fuentes Puntuales de Contaminación en función a los Hoteles y las zonas.



La relación que existe entre la presencia de Hoteles de la zona costera y la presencia de las Fuentes Puntuales de Contaminación que descargan aguas residuales en las playas, mostraron un coeficiente de correlación positiva de ( $r = 0.9079$ ), con un ajuste cuadrático de ( $y = a + bx + cx^2$ ), donde los valores son ( $a = 0.61517907$ ,  $b = 1.0267807$  y  $c = -0.011426179$ ), (Figura 22). Por lo que existe una relación estadísticamente significativa entre las Fuentes Puntuales de Contaminación y la actividad económica Hotelera de la zona costera de Veracruz-Boca del Río-Antón Lizardo.

De acuerdo con la publicación, Impactos de Desarrollos Turísticos de la PROFEPA, 2010, el incremento de la inversión privada junto con el crecimiento poblacional en las costas, ha generado nuevas estrategias de aprovechamiento ocupacional y explotación de los recursos naturales. Una inadecuada planeación en el desarrollo turístico costero y la falta de aplicación de la normatividad ambiental mexicana, en lo concerniente a la construcción de infraestructura de; condominios,

hoteles, marinas, campos de golf, entre obras complementarias y otras, da como resultado, deterioro del ecosistema marino y costero ejerciendo presión ambiental a la flora y fauna, considerados ambientes frágiles, como son; marismas, dunas costeras, manglares y arrecifes de coral.

*9.1.6 Los impactos generados por el desarrollo turístico según PROFEPA, 2010, son:*

- Fragmentación de hábitat y pérdidas de especies.
- Modificación y destrucción de flora y fauna acuática y terrestre.
- Residuos peligrosos.
- Contaminación de cuerpos de agua por descargas de aguas residuales con, hidrocarburos, coliformes fecales y grasas, entre otros.

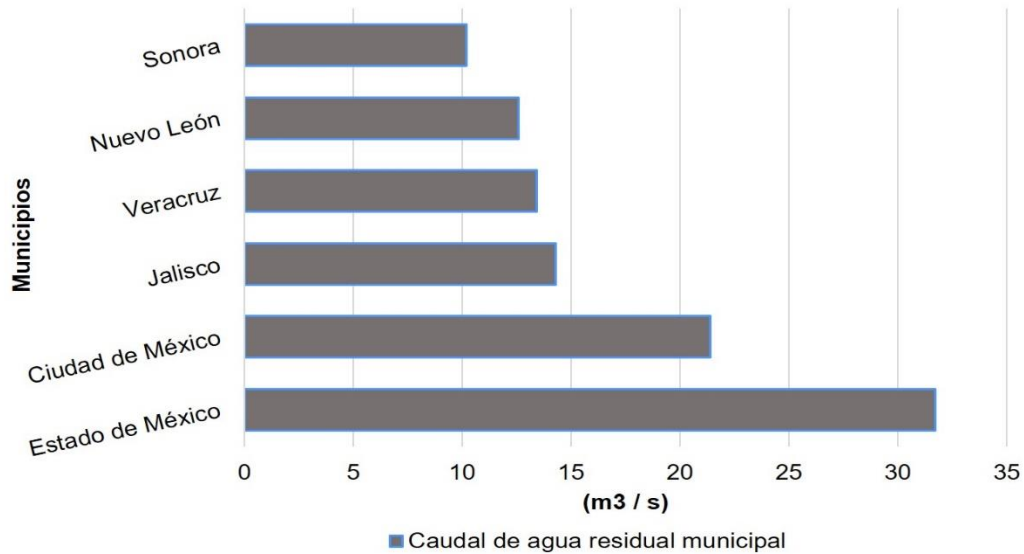
Las playas con mayor presencia de descargas de aguas residuales FPC fueron: Martí, Costa Verde, Penacho del Indio, Pelicano, Gaviotas y Vicente Fox. Según informa Hernández, 2020, las playas de Martí y Penacho del Indio, son playas que históricamente han tenido un registro de playas con elevada contaminación, al igual que la playa norte. Esto probablemente sea debido principalmente, a la nula visión de sustentabilidad por parte de las autoridades competentes y las deficientes plantas de tratamiento de aguas residuales de la zona conurbada de Veracruz, que alteran, contaminan y perjudican de manera persistente al ecosistema. Esto concuerda con lo publicado por SECTUR, 2013, donde menciona, que, las descargas de aguas residuales en las playas, provienen de la ciudad y zona industrial, el impacto ambiental que genera estas descargas, repercute negativamente a la biodiversidad del PNSAV, provocando una inmensa afectación, considerando 4 factores claves (SECTUR, 2013).

*9.1.7 Los 4 Factores clave según, SECTUR, 2013.*

1. La escasa aplicación de la Ley de Aguas Nacionales.
2. Una mala planeación de la infraestructura de saneamiento
3. Un nulo mantenimiento de la infraestructura de saneamiento.
4. La corrupción de parte de las autoridades encargadas de supervisar la red de saneamiento de la zona metropolitana de Veracruz.

A pesar de que el municipio de Veracruz y Boca del Río son consideradas grandes ciudades, en las que se realiza el tratamiento de aguas residuales, existe evidencia de que este tratamiento no es eficiente. Según, SEFIPLAN, 2020, aproximadamente solo el 30% de las aguas residuales de la zona metropolitana de Veracruz pasa por algún tratamiento.

Según CONAGUA, 2017, el Municipio de Veracruz se encuentra en la cuarta posición dentro de las entidades que generan mayor caudal de aguas residuales de la República mexicana con, 13.4 m<sup>3</sup> /s. véase (Figura 23).



\*Elaborado a partir de (CONAGUA, 2017).

Figura. 23 Entidades con mayor caudal de agua residual municipal generado en 2016.

De acuerdo con la Escala Estatal y el Censo Nacional de Población y Vivienda, INEGI, 2020, el estado de Veracruz es la 4ª entidad con mayor población a nivel nacional véase (Cuadro 6). Según, SEFIPLAN, 2020 e INEGI, 2020, la zona metropolitana de Veracruz se compone de 6 municipios con determinado número de habitantes; Veracruz cuenta con 607, 209 habitantes (hab), Boca del Río 144,550 hab, Medellín de Bravo 95,202 hab, Manlio Fabio Altamirano 23,918 hab, Jamapa 11,132 hab y Alvarado 57,035 hab; en total al 2020 la zona metropolitana de Veracruz cuenta con 939,046 habitantes (Cuadro 5) (INEGI, 2020).

De acuerdo con lo publicado por el Compendio de Estadísticas Ambientales de CONAGUA, 2020 en SEMARNAT, 2020, el consumo promedio diario de agua potable por habitante en el estado de Veracruz es de 237.15 litros, lo que equivale a 222,694,756 litros de consumo de agua al día para la zona metropolitana de Veracruz. De acuerdo con, SEDEMA, 2016, de estos 237.15 litros de consumo de agua por habitante al día, el 80%, va directo al drenaje, se utiliza en, lavar ropa, bañarse, lavar las manos, lavar los dientes, necesidades básicas y fisiológicas entre otras, lo que equivale a 178,155,807 litros de agua residual al día para la zona metropolitana de Veracruz (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cantidad de habitantes en los municipios de Veracruz al 2020, consumo de agua potable litros al día (l/d) y generación de aguas residuales (l/d).



<b>*Municipios de Veracruz</b>	<b>*Habitantes 2020</b>	<b>**Consumo de agua potable (l/d)</b>	<b>**Generación de agua residual (l/d)</b>
Veracruz	607, 209	143,999,614	115,199,691
Boca del Río	144,550	34,280,032	27,424,026
Medellín de Bravo	95,202	22,577,154	17,492,563
Alvarado	57,035	13,525,850	10,820,680
Manlio Fabio Altamrano	23,918	5,672,153	4,537,722
Jamapa	11,132	2,639,953	2,111,963

\*(INEGI, 2020). \*\*Cálculos elaborados a partir de las siguientes fuentes, (CONAGUA, 2020; SEMARNAT, 2020; SEDEMA, 2016; INEGI, 2020).

El número de habitantes en relación con el número de plantas de tratamiento que actualmente se encuentran en funcionamiento, pone en claro la insuficiencia de la infraestructura de la red de saneamiento en la zona metropolitana de Veracruz. Según informa Toriz, 2020, la planta de tratamiento zona Norte es la más importante para la zona conurbada de Veracruz y la más grande del estado, esta planta no está funcionando al 100% de su capacidad, esto debido a que está diseñada para tratar 1,600 l/s, pero en el primer trimestre del 2020, pudo tratar solamente 933 l/s, esto concuerda con el resultado del análisis elaborado para las plantas de tratamiento de aguas residuales (Cuadro 6).

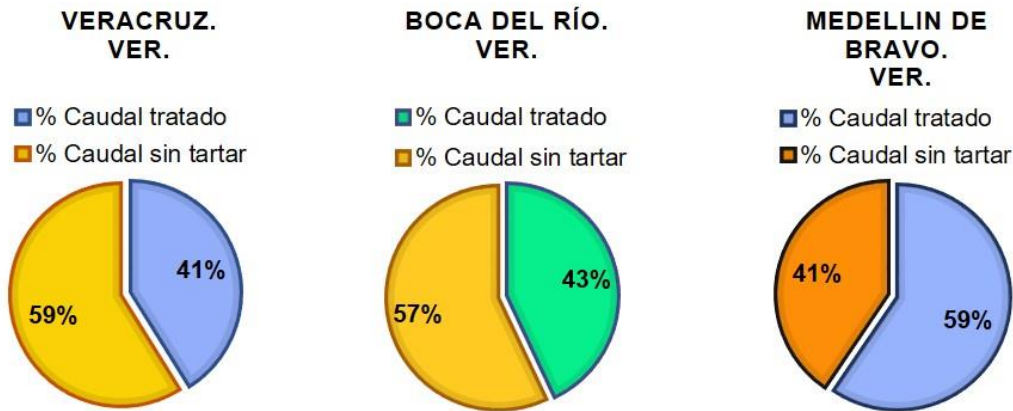
De acuerdo con lo publicado por CONAGUA, 2021; Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C, 2017 y SECTUR, 2013, el municipio de Veracruz tiene 34 plantas de tratamiento de aguas residuales, de las cuales solamente 17 se encuentran en funcionamiento (Cuadro 6) (CONAGUA, 2021; Hernández, 2020; Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C, 2017; SECTUR, 2013). Lo antes mencionado, pone en un alto riesgo la salud a las personas que visitan las playas circundantes como también el impacto que reciben las cooperativas pesqueras de la zona y los arrecifes costeros de Gallega y Galleguilla.

Cuadro 6. Estimaciones de tratamiento de aguas residuales de las PTAR de 3 Municipios con mayor población de la zona conurbada de Veracruz.

Municipio	*PTAR Activas al 2021	**Inventario de PTAR	***Capacidad instalada m3 por año	***Caudal tratado m3 por año	***Caudal sin tratar m3 por año
Veracruz. Ver	17	34	1,104,280,344	45,402,379	65,025,655
Boca del Río. Ver	2	5	14,821,920	6,370,272	8,451,648
Medellín de Bravo. Ver	5	5	4,421,347	2,630,102	1,791,245

\* (CONAGUA, 2021) \*\*(Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C. 2017; CONAGUA, 2021; SECTUR, 2013). \*\*\* Cálculos estimados y elaborados a partir de las mismas fuentes.

A continuación, en la Figura 24, se muestran los porcentajes estimados de tratamiento de aguas residuales de los municipios de, Veracruz, Boca del Río y Medellín de Bravo.



\*Cálculos estimados y elaborados a partir de las siguientes fuentes; (CONAGUA 2021; Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C, 2017; SECTUR, 2013).

Figura 24. Porcentajes de tratamiento de las PTAR de la zona conurbada de Veracruz al 2021.

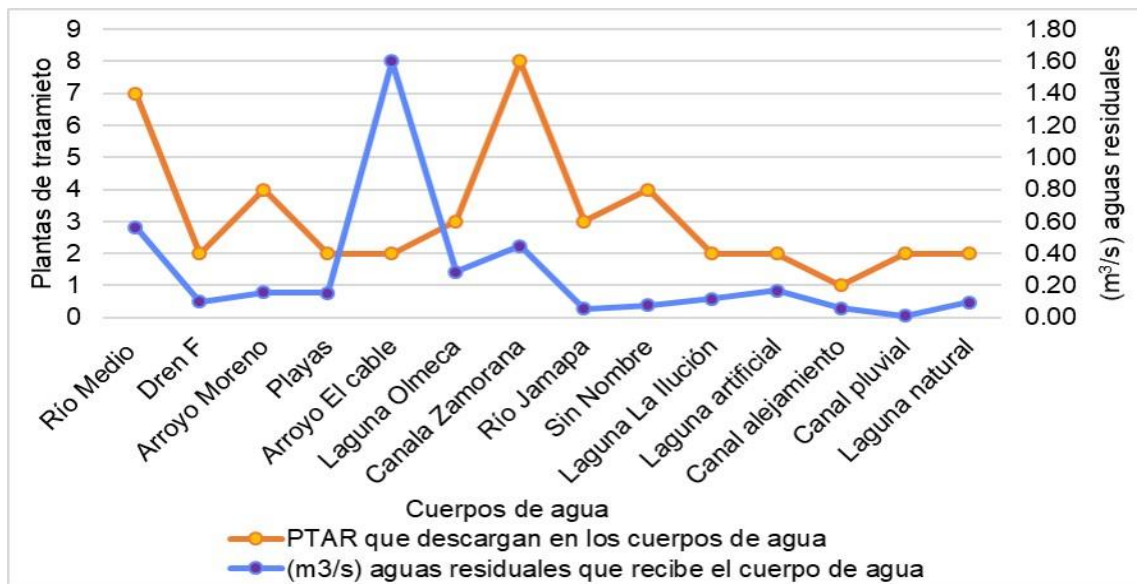
### 9.1.8 Descarga de aguas residuales de las Plantas de Tratamiento en los cuerpos de agua naturales y artificiales: afluentes, canales y ríos.

De acuerdo con lo publicado con MAR-RRN, 2022, las descargas de aguas residuales sin tratamiento contienen partículas en suspensión, que son ricas en nutrientes orgánicos e inorgánicos, bacterias patógenas, y compuestos químicos tóxicos, esto puede generar el proceso de eutrofización, incremento de patógenos e interrupción de procesos metabólicos de



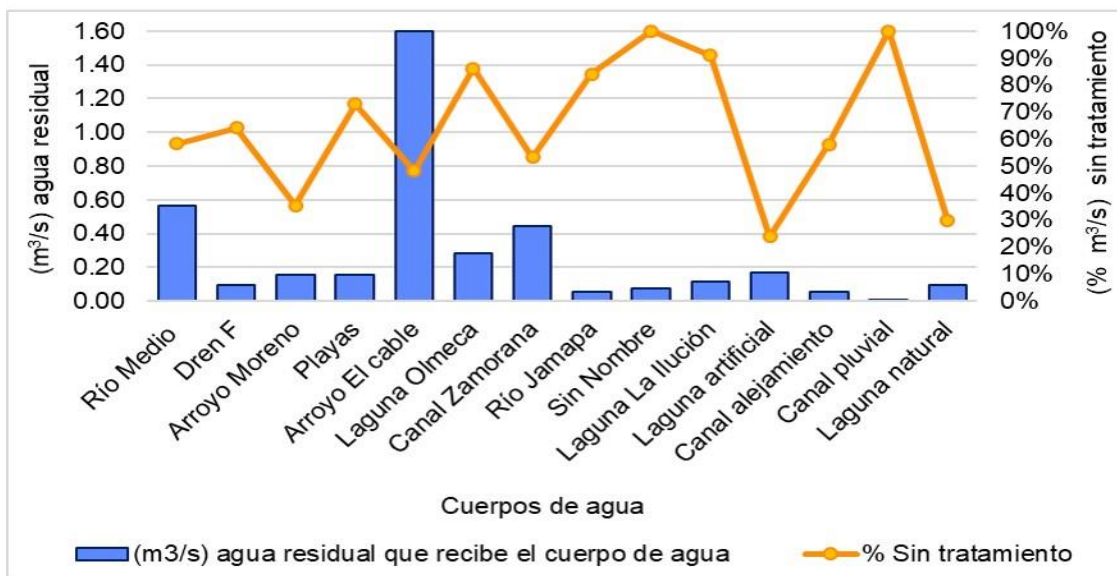
alimentación, crecimiento y reproducción de los corales, peces e invertebrados. Estas condiciones permiten la proliferación de patógenos asociados a enfermedades coralinas relacionadas con la presencia de aguas residuales, favoreciendo el estrés y vulnerabilidad a los diferentes síndromes (MAR-RRN, 2022).

De acuerdo con Okolodkov *et al.*, 2011; Salas-Monreal *et al.*, 2020, debido a la proximidad a la costa el PNSAV ha tenido eventos de hipoxia debido a la alta actividad bacteriana promovida por el aporte de gran concentración de materia orgánica proveniente del Río Jamapa, esto puede ser debido en parte a la aportación constante de un gran número de descargas de FPC. Esto concuerda con los cálculos y análisis de las Figuras 25 y 26, donde se muestran los cuerpos de agua receptores de descargas de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento de Veracruz, Ver, Boca del Rio, Ver y Medellín de Bravo, Ver y estimaciones de  $m^3$  que reciben los cuerpos de agua y las Figuras 27 y 28 muestran los porcentajes de agua residual que recibe la cuenca baja del sistema Jamapa y las 18 PTAR que descargan aguas residuales, con aproximadamente  $1 m^3$ /segundo de aguas residuales.



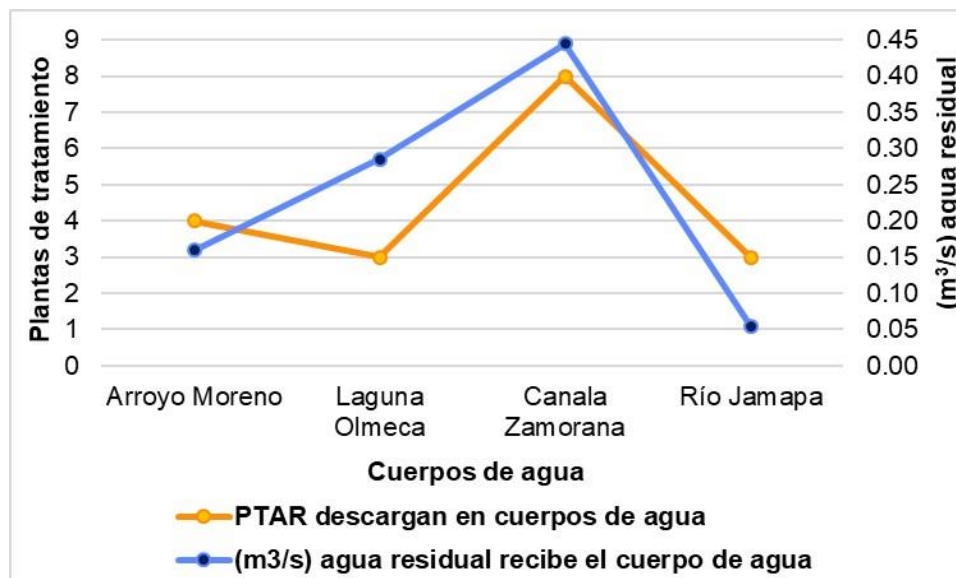
\*Cálculos elaborados a partir de las siguientes fuentes; (CONAGUA 2021; Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C. 2017; SECTUR 2013).

Figura 25. Cuerpos de agua receptores de descargas de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento de Veracruz, Ver, Boca del Rio, Ver y Medellín de Bravo, Ver y estimaciones de  $m^3$  que reciben los cuerpos de agua.



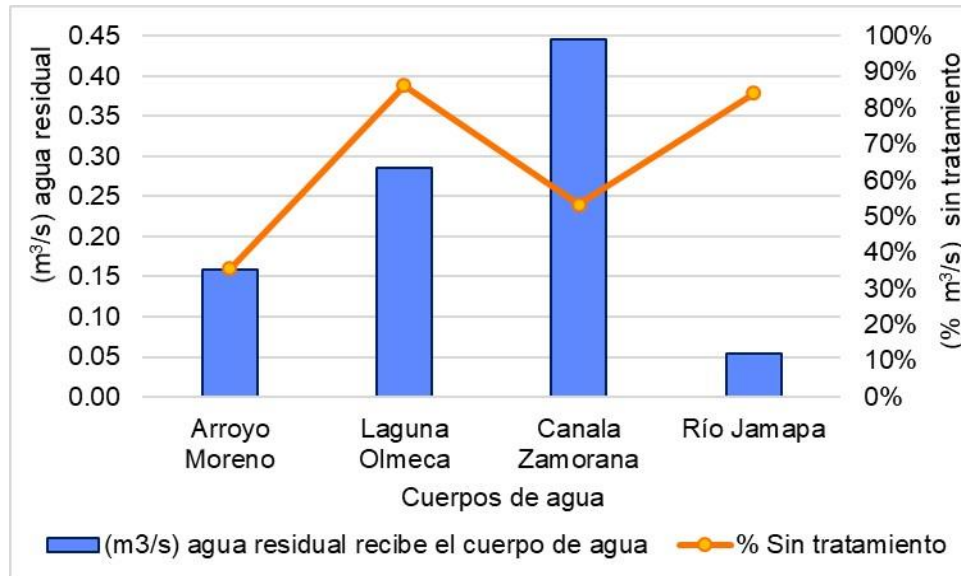
\*Cálculos elaborados a partir de las siguientes fuentes; (CONAGUA, 2021; Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C, 2017; SECTUR, 2013).

Figura 26. Estimación del volumen de agua descargada por plantas de tratamiento de aguas residuales en los cuerpos de agua y porcentaje estimado de m<sup>3</sup> sin tratamiento recibidos.



\*Cálculos elaborados a partir de las siguientes fuentes; (CONAGUA, 2021; Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C, 2017; SECTUR, 2013).

Figura 27. Cantidad de plantas de tratamiento que descargan aguas residuales en el sistema cuenca baja del Río Jamapa y estimaciones de m<sup>3</sup> de agua residual que recibe cada cuerpo de agua.



\*Cálculos elaborados a partir de las siguientes fuentes; (CONAGUA 2021; Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C, 2017; SECTUR, 2013).

Figura 28. Porcentaje estimado de aguas residuales que no reciben tratamiento por las plantas de tratamiento de aguas residuales que descargan en el sistema cuenca baja del Río Jamapa

Según la publicación de la ONU-Habitat para América Latina y el Caribe por Velásquez-Monsalve 2022, se espera que para el 2030 el consumo del agua aumente un 40%, debido a los factores combinantes como son, el crecimiento demográfico, las actividades humanas y el cambio climático. Según la Dirección de Obras Públicas y Desarrollo Urbano 2021, en Análisis Urbano Fenómenos Demográficos, se espera que, en el 2030 el estado de Veracruz tendrá una explosión demográfica, concentrándose mayoritariamente en los municipios de Veracruz y Boca del Río, superando el millón de habitantes. De igual manera, se estima que, el municipio de Veracruz tendrá una subsiguiente mayor explosión demográfica para el 2050, con un promedio de crecimiento porcentual de 9.5%, que representaría un millón de habitantes para el municipio de Veracruz.

## 9.2 Determinar la variabilidad de la Dispersión e Influencia de 3 descargas de Fuentes Puntuales de Contaminación adyacentes al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

### 9.2.1 Estimaciones de la velocidad superficial, Gasto y Densidad de 3 fuentes Puntuales de Contaminación

Cuadro 7. Cálculos de velocidad superficial y Gasto de las desembocaduras de 3 Fuentes de Contaminación de Veracruz y Boca del Río, Ver.

Ubicación	Zona	Fuente Puntual	Velocidad Superficial (m/s)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
Veracruz. Ver.	III	*Simón Bolívar	0.162540635	0.017608569
Boca del Río, Ver.	V	**Costa de Oro	0.382897256	0.057000638
Boca del Río, Ver.	V	*** Andamar	0.183958793	0.219726829

Coordenadas \*(19.176134,-96.120492) \*\*(19.147085,-96.095329)

\*\*\*(19.14732 -96.101273).

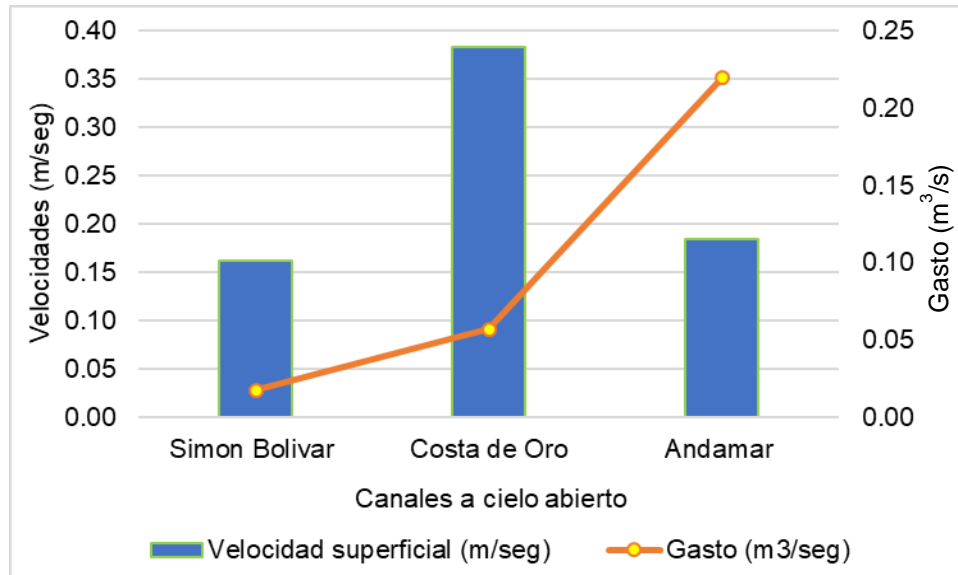


Figura 29. Cálculos de velocidad superficial y Gasto de las desembocaduras de 3 Fuentes Puntuales de canales de Veracruz y Boca del Río, Ver.

En la FPC de Andamar el promedio de Gasto fue de 0.21972 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales vertidas en la playa, en comparación a las FPC evaluadas fue la que presentó el mayor Gasto, y con un promedio de velocidad superficial de 0.1839 m/s (Figura 29). De esta manera, resaltar que en la FPC de Andamar se percibía un muy desagradable olor característico a aguas negras, cabe mencionar que el color del agua se visualizó color café a marrón y es la FPC de mayor envergadura en cuanto a la construcción en comparación a estas 3 FPC evaluadas, también es la que presentó características diferentes en su construcción, debido a que en la desembocadura fue posible observar 4 reductores de velocidad del agua o sedimentadores, para evitar que el agua de la descarga fluyera con demasiada velocidad. La siguiente FPC en el orden descendente es la de Costa de Oro, se obtuvieron en promedio un gasto de 0.0570 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales vertidas, pero con el promedio de velocidad superficial más elevada de 0.3828 m/s, en comparación a las FPC evaluadas (Figura 29). Es relevante mencionar que estas dos FPC, se encuentran en el municipio de Boca del Río y que pertenecen a la Zona V, estas FPC se encuentran adyacentes al arrecife costero Ingeniero, el cual se encuentra en la siguiente ubicación, 19°09'01" N, 96°05'26" (Liaño-Carrera *et al.*, 2019). De acuerdo con Tunnell, 2007; Horta Puga y Tello Musi, 2009, señalan que el arrecife Ingeniero es impactado recurrentemente

por actividades antropogénicas relacionadas a los servicios turísticos y también por las descargas de aguas residuales. En la FPC de Simón Bolívar se obtuvieron los promedios de velocidad superficial de agua residual más lentos en comparación a las FPC evaluadas, con 0.1625 m/s y un Gasto de 0.01760 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales vertidas en la playa perteneciente a la Zona III (Figura 29).

### 9.2.2 Modelo Teórico Radio de Dispersión e Influencia de las aguas residuales en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

De acuerdo con, Ortiz Lozano, 2012, la plataforma continental veracruzana se considera somera, con profundidades promedio de 70 m. Por poseer una baja profundidad la zona costera veracruzana presenta intensos procesos dinámicos como; turbulencias por vientos y oleaje, corrientes marinas, mareas, corrientes litorales y de retorno, que fluyen a lo largo de la costa principalmente en la zona de surf, lo que facilita la dispersión y mezcla de los diversos contaminantes (Ozmidov, 1990).

Cuadro 8. Alcance del Radio de Dispersión de las descargas de aguas residuales de 3 Fuentes Puntuales de Contaminación que tienen Influencia en el PNSAV.

Fuentes Puntuales de Contaminación	Radio de Dispersión en (km) en el PNSAV	Densidad del agua residual (mg/m <sup>3</sup> )
*Simón Bolívar	31.398 km	1.002 mg/m <sup>3</sup>
**Costa de Oro	73.965 km	1.004 mg/m <sup>3</sup>
***Andamar	35.536 km	1.012 mg/m <sup>3</sup>

\*Coordenadas geográficas, véase (figura 6).

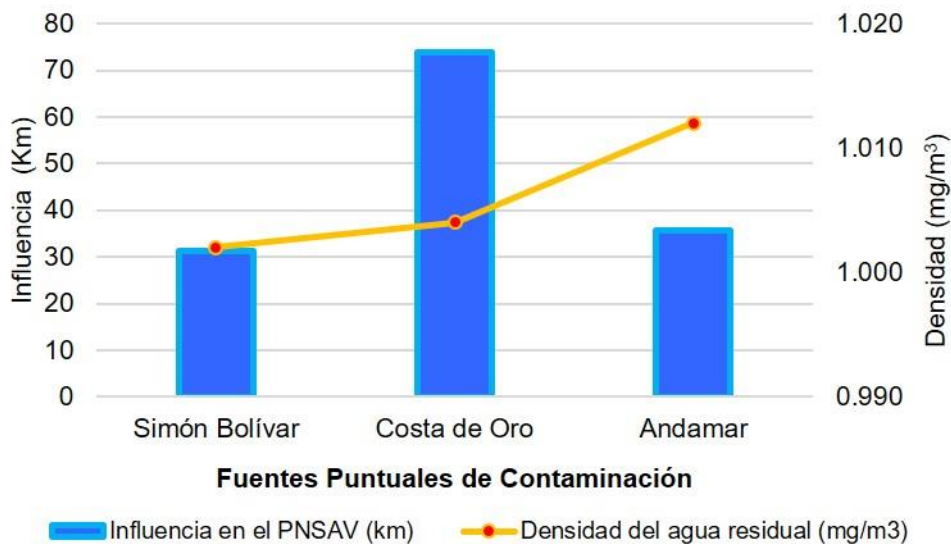


Figura 30. Alcance de la Dispersión de 3 descargas de Fuentes Puntuales de Contaminación que muestra influencia en el PNSAV.

Las densidades del agua residual de las FPC de, Simón Bolívar, Costa de Oro y Andamar mostraron valores de, 1.002 mg/m<sup>3</sup>, 1.004 mg/m<sup>3</sup> y 1.012 mg/m<sup>3</sup>, correspondientemente. La Influencia de las FPC en PNSAV es considerado aproximado a un Radio de Cobertura de, 31.398 km, 73.965 km y 35.536 km, respectivamente (Figura 30). Por lo que posiblemente estas Fuentes Puntuales de Contaminación puedan influir en la Dispersión de, sólidos, materia en suspensión, materia en dilución y de los diversos productos químicos que arrastra y transporta el agua residual.

### 9.2.3 Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Simón Bolívar

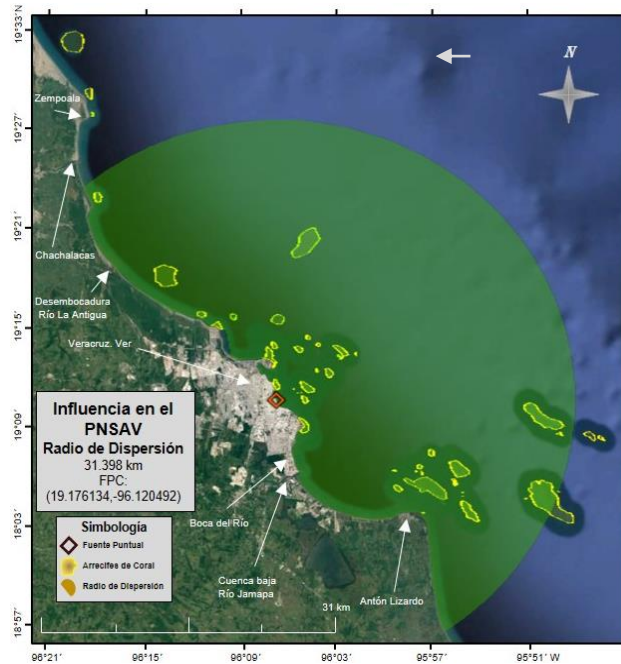


Figura 31. Radio de Dispersión de la descarga de la Fuente Puntual de Contaminación de Simón Bolívar.

La FPC de Simón Bolívar está ubicada en la Zona III en las coordenadas (19.176134,-96.120492), se representa el Radio de Dispersión con un alcance de cobertura de 31.398 km, en color verde, en un entorno ideal sin considerar el agente forzante del viento (Figura 31). El valor promedio de densidad del agua residual mostró un valor de 1.002 mg/m<sup>3</sup>, por lo que esto corresponde a 2 kg de materia diluida por cada 1000 l que esta FPC descarga al PNSAV. De acuerdo con Gallegos y López, 2006, el incremento de las partículas suspendidas y los sedimentos provienen de los desagües de aguas residuales y fluviales de la ciudad de Veracruz y zona conurbada, esto tiene relación con el incremento de población y las actividades económicas portuarias que se llevan a cabo, provocando estrés a los arrecifes costeros, puede ser un factor que interviene en la mortalidad de coral de plataforma (Gallegos y López, 2006).



### 9.2.4 Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Costa de Oro

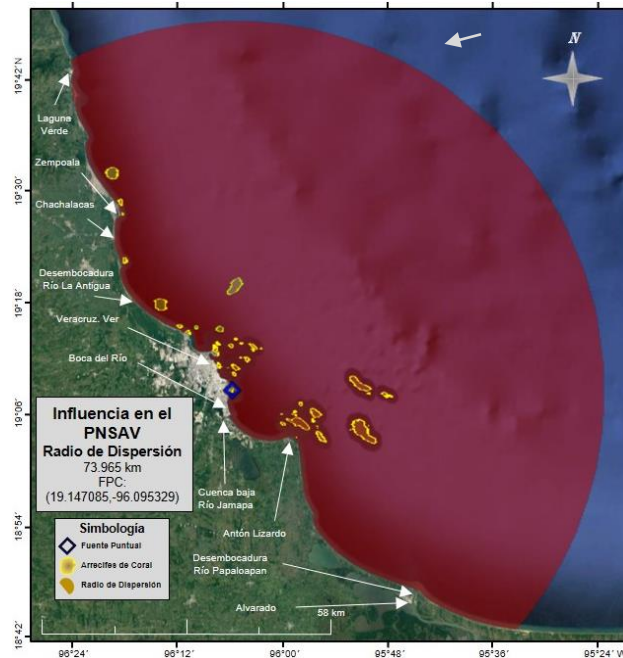


Figura 32. Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Costa de Oro.

La FPC de Costa de Oro está ubicada en la Zona V en las coordenadas (19.147085,-96.095329), se representa el Radio de Dispersión con un alcance de cobertura aproximado de 73.965 km, en color rojo, en un entorno ideal sin considerar agente forzante del viento (Figura 32). El valor promedio de densidad del agua residual mostró un valor de  $1.004 \text{ mg/m}^3$ , por lo que esto corresponde a 4 kg de materia diluida por cada 1000 l que esta FPC descarga al PNSAV.

De acuerdo con lo publicado por Wolanski y Spagnol, 2000, las descargas fluviales, escorrentías, desagües de aguas residuales y la turbulencia generada, son factores limitantes y que influyen en el fondo marino, debido al aprovisionamiento de sedimentos finos, limos y arena, afectando el asentamiento de los corales, de la misma manera afectando la penetración de la luz del sol, la visibilidad, transparencia, concentración de oxígeno disuelto y fluctuaciones de salinidad, estas zonas de influencia se convierten en inapropiadas para el desarrollo y asentamiento de los corales (Wolanski y Spagnol, 2000).

### 9.2.5 Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Andamar

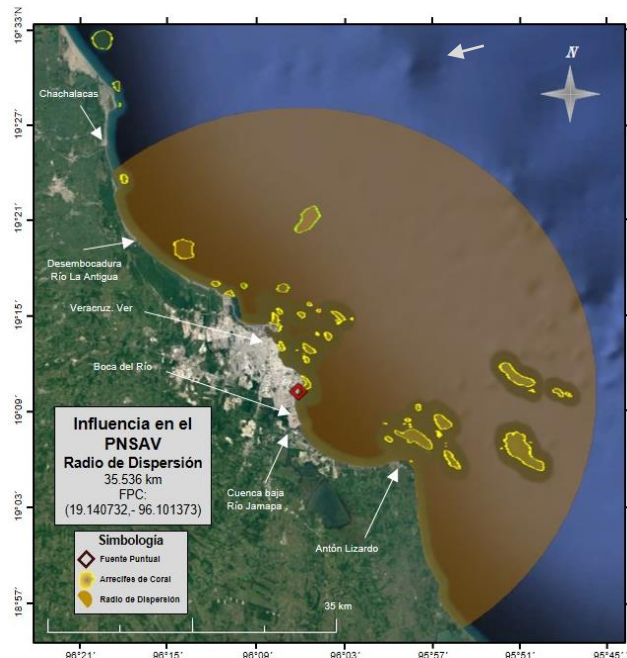


Figura 33. Radio de Dispersión de la Fuente Puntual de Contaminación de Andamar.

La FPC de Andamar está ubicada en la Zona V en las coordenadas (19.14732 -96.101273), se representa el Radio de Dispersión con un alcance de cobertura de 35.536 km en un entorno ideal sin considerar agente forzante del viento (Figura 33). El valor promedio de densidad del agua residual mostró un valor de 1.012 mg/m<sup>3</sup>, por lo que esto corresponde a 12 kg de materia diluida por cada 1000 l que esta FPC descarga al PNSAV. De acuerdo con Burke y Maidens, 2005, indican que el PNSAV se encuentra en un nivel de amenaza Alto y Muy Alto dentro del Índice de Amenazas de Arrecifes en Peligro, destacando las afectaciones por actividades humanas como la descarga de aguas residuales.

### 9.2.6 Influencia de los Radios de Dispersión de las FPC en los arrecifes de coral del PNSAV

Según Jaramillo y Botero, 2008, las descargas de agua dulce a la zona costera generan un comportamiento estuarino, afectando la hidrodinámica de la zona, debido a que se forma una capa superficial menos densa lo que facilita la dispersión.



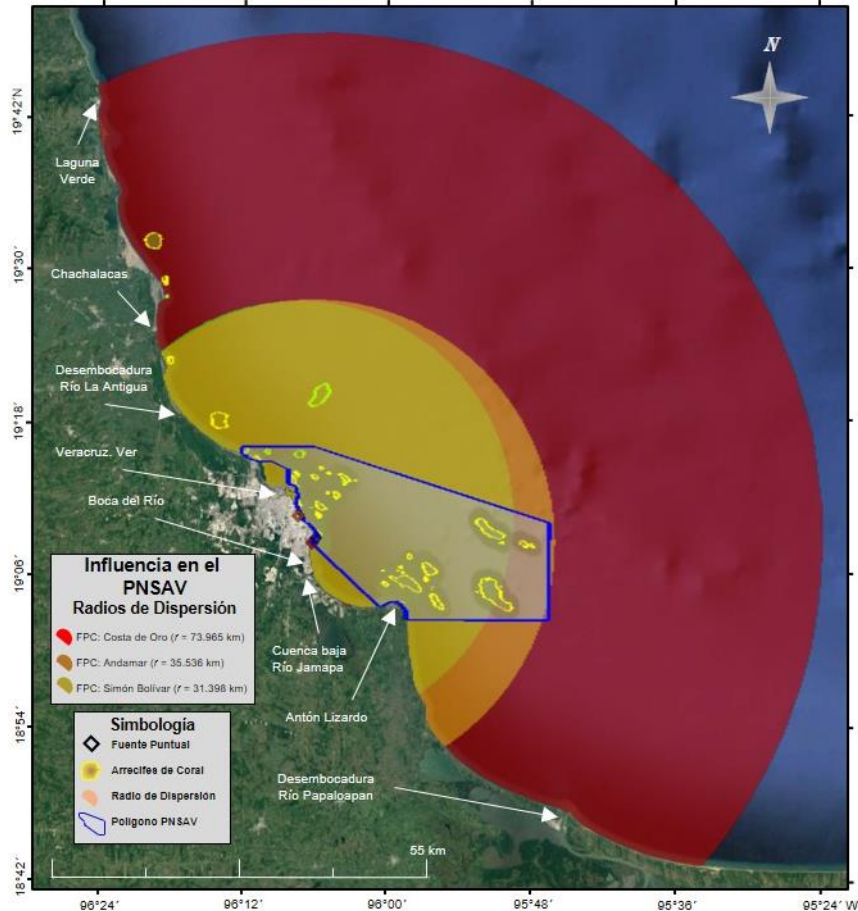


Figura 34. Influencia y alcances de los Radios de Dispersión rebasan el polígono del PNSAV, en un entorno ideal sin considerar el agente forzante del viento.

La influencia que ejerce las desembocaduras de estas 3 Fuentes Puntuales de Contaminación hacia la parte norte rebasan el área del polígono del PNSAV, alcanzando a arrecifes de coral que se encuentran fuera del área Nacional Protegida, por lo que pueden ser vulnerables y susceptibles a mayores impactos antropogénicos (Figura 34). Los arrecifes vulnerables en la zona Norte del SAV, son: Amarillo, Tía Juana, Juan Ángel, Rincón, Monte Negro y Las Holandesas 1 (Liaño-Carrera *et al.*, 2019) véase (Cuadro 9).

En cambio, hacia la parte sur del SAV, la FPC de Simón Bolívar no rebasa el polígono del PNSAV, y la FPC de Andamar si lo rebasa, pero solamente la sección superior del radio de Dispersión (Figura 34).

Cuadro 9. Influencia del Radio de Dispersión de las FPC en los arrecifes de coral del PNSAV.

*Arrecifes del SAV y PNSAV	*Ubicación de los arrecifes		**Influencia del Radio de Dispersión: FPC		
	Latitud	Longitud	Simón Bolívar	Costa de Oro	Andamar
Punta Coyol	19°03'46''N	95°58'47''O	↷	↷	↷
Rizo	19°04'06''N	95°55'49''O	↷	↷	↷
Cabezo	19°04'33''N	95°50'55''O	↷	↷	↷
Ahogado del Pez León	19°04'37''N	95°52'16''O	↷	↷	↷
Ahogado de Rizo	19°04'46''N	95°55'48''O	↷	↷	↷
Periférico	19°04'59''N	95°56'02''O	↷	↷	↷
Ahogado Cabezo	19°05'01''N	95°50'17''O	↷	↷	↷
Giotte	19°05'16''N	96°06'00''O	↷	↷	↷
Chopas	19°05'21''N	95°58'05''O	↷	↷	↷
Sargazo	19°05'45''N	95°56'33''O	↷	↷	↷
Polo	19°06'12''N	95°58'29''O	↷	↷	↷
Ahogado medio	19°06'16''N	95°58'51''O	↷	↷	↷
***Blanca	19°06'19''N	96°00'08''O	↷	↷	↷
Enmedio	19°06'25''N	95°56'18''O	↷	↷	↷
La Palma	19°07'26''N	95°58'03''O	↷	↷	↷
Anegadilla	19°08'14''N	95°47'42''O	-	↷	↷
Topatillo	19°08'30''N	95°50'08''O	↷	↷	↷
Bajo Enmedio	19°08'31''N	95°50'21''O	↷	↷	↷
***Santiaguillo	19°08'34''N	95°48'31''O	-	↷	↷
Anegada de Afuera	19°09'35''N	95°51'27''O	↷	↷	↷
Ingeniero	19°09'01''N	96°05'26''O	↷	↷	↷
Isla Sacrificios	19°10'34''N	96°05'33''O	↷	↷	↷
Ahogado Terranova	19°11'00''N	96°05'57''O	↷	↷	↷
Mersy	19°11'01''N	96°05'44''O	↷	↷	↷
Ahogado del Caracol	19°11'14''N	96°06'11''O	↷	↷	↷
Pájaros	19°11'19''N	96°05'23''O	↷	↷	↷
Hornos	19°11'26''N	96°07'15''O	↷	↷	↷
Isla Verde	19°12'14''N	96°04'04''O	↷	↷	↷
Bajo Paduca	19°12'25''N	96°04'46''O	↷	↷	↷
Ahogado del Jurel	19°13'02''N	96°03'25''O	↷	↷	↷
Ahogado Grande	19°13'06''N	96°03'20''O	↷	↷	↷
Ahogado Chico	19°13'09''N	96°03'17''O	↷	↷	↷
Ahogado de Andrea	19°13'12''N	96°03'27''O	↷	↷	↷
Ahogado de Guilligan	19°13'19''N	96°02'28''O	↷	↷	↷
La Gallega	19°13'19''N	96°07'36''O	↷	↷	↷

Anehada de adentro	19°13'35"N	96°03'20"O	↳	↳	↳
La Blanquilla	19°13'36"N	96°05'53"O	↳	↳	↳
Galleguilla	19°13'52"N	96°07'20"O	↳	↳	↳
Las Holandesas 3	19°13'55"N	96°04'43"O	↳	↳	↳
Las Holandesas 2	19°14'20"N	96°05'23"O	↳	↳	↳
*1 Las Holandesas 1	19°15'14"N	96°05'53"O	↳	↳	↳
Punta Gorda	19°15'02"N	96°10'43"O	↳	↳	↳
Los Verdes	19°15'29"N	96°07'19"O	↳	↳	↳
Ahogado Punta Gorda	19°15'35"N	96°09'51"O	↳	↳	↳
Punta Brava	19°15'50"N	96°11'56"O	↳	↳	↳
*2 Montenegro	19°18'12"N	96°14'00"O	↳	↳	↳
*3 Rincón	19°22'46"N	96°17'56"O	↳	↳	↳
*4 Juan Ángel	19°27'46"N	96°18'10"O	-	↳	-
*5 Tía Juana	19°29'11"N	96°18'24"O	-	↳	-
*6 Amarillo	19°32'15"N	96°19'35"O	-	↳	-

\*Modificado de, Liaño-Carrera et al., 2019.

Color verde: Arrecifes de la zona Sur del PNSAV.

Color Azul: Arrecifes de la zona norte del PNSAV y arrecifes que se encuentran fuera del Polígono del PNSAV: \*1 \*2 \*3 \*4 \*5 \*6.

\*\*(-) El Radio de Dispersión no alcanza a estos arrecifes. (↳) El Radio de Dispersión si alcanza a estos arrecifes.

\*\*\* Zona Núcleo y sub zonas de protección, Blanca y Santiaguillo (SEMARNAT. 2017).

### 9.2.7 El viento y las corrientes marinas muestran efecto en la dispersión e Influencia de sólidos en suspensión, materia en dilución y de los diversos contaminantes que arrastra y transporta el agua residual de las FPC de, Simón Bolívar, Costa de Oro y Andamar, en el PNSAV

Los Radios de Dispersión formados por las descargas de aguas residuales, son influenciados por varios agentes forzantes como, los vientos, las corrientes asociadas a las mareas, la velocidad superficial de las descargas de las aguas, el gasto, y el efecto de turbulencia que se genera en la zona de descarga con el mar (Jaramillo y Botero, 2008). Las variaciones estacionales y los agentes forzantes son importantes en la influencia de la dispersión de las aguas residuales en el PNSAV. De acuerdo con, Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008; Salas-Pérez *et al.*, 2012, las descargas de agua dulce en el mar, inducen variabilidades de sedimentación y cambios en las características oceanográficas que tiene consecuencia en los arrecifes de coral, puntualizando que el viento es el principal agente forzante del patrón de corrientes presentes en el PNSAV, seguido del efecto del Giro de Campeche y la corriente de Lazo.

De acuerdo con Montoya y Toro, 2006, el agua dulce que proviene de la zona costera que descarga en el mar, queda atrapada en las capas superficiales, debido a las diferencias de

densidad que existe en el agua dulce y el agua de mar. Y su dispersión es influenciada por los vientos, cuando los vientos soplan en la superficie del mar, se originan corrientes superficiales.

De acuerdo con, Díez Rilova, 2012, las corrientes y el oleaje son agentes forzantes, siendo muy importantes favoreciendo el transporte y dispersión, debido a la interacción del agua dulce, en este caso el agua residual, que es menos densa, con el agua de mar que es más densa, se origina una zona de mezcla turbulenta, donde se producen ondas significativas por las situaciones opuestas, que originan un comportamiento de fuerte dispersión siendo esto un factor de aceleración después de la zona de rompiente.

De acuerdo con lo publicado por Caballero-Rosas, 1990, el PNSAV está influenciado por el patrón de corrientes de circulación del Golfo de México que presentan cambios estacionales importantes. De acuerdo con Salas-Pérez et al., 2012, en las costas del PNSAV durante la temporada de estiaje en primavera y de lluvias en verano, la dirección de la corriente fluye movilizándose con dirección hacia el norte, por lo tanto, cuando los vientos soplan del Noreste, Este y Sur, (presentes en primavera-verano) induce a que la circulación de la corriente se dirija hacia el norte, se presenta esta influencia (Salas-Pérez et al., 2012). Lo anterior coincide con la temporalidad en la que se realizó el estudio de Influencia del Radio de Dispersión en la temporada de estiaje en el mes de junio 2022.

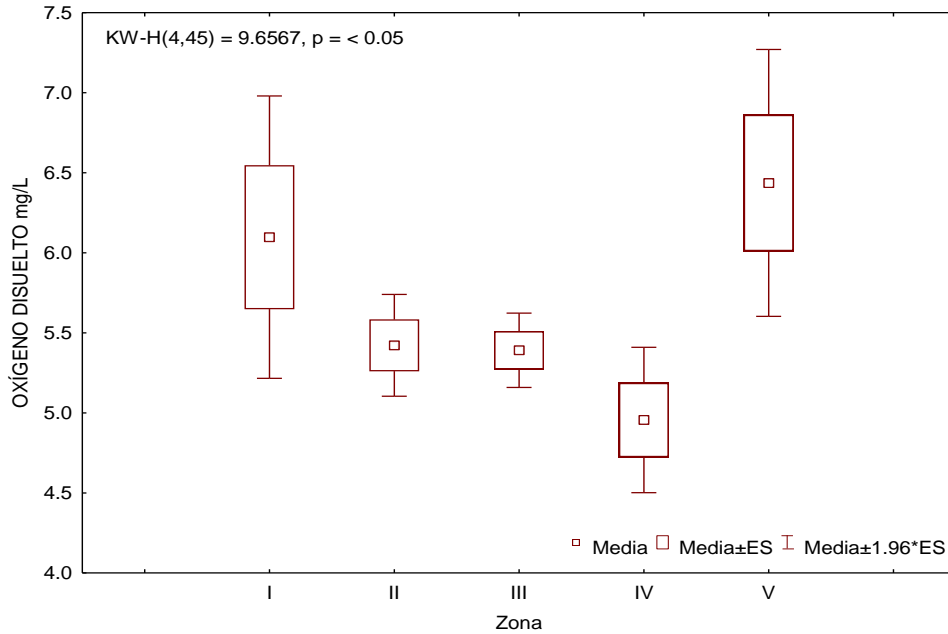
De acuerdo con la base de datos de dirección del viento y velocidad que publico, WeatherSpark, 2022, para el puerto de Veracruz, la dirección del viento predominó con dirección, Este y Noroeste, para las fechas que se realizaron los muestreos. Por lo que posiblemente la dispersión de sólidos, materia en suspensión, materia en dilución y de los diversos contaminantes que arrastra y transporta el agua residual de las FPC de, Simón Bolívar véase (Figura. 31), Costa de Oro (Figura. 32) y Andamar (Figura. 33), pueden tener mayor influencia en los arrecifes de coral de la parte Norte del PNSAV, véase como referencia (Cuadro 9), debido a que los vientos soplaron del Noreste y Este y la corriente estacional se movilizó con dirección al norte (Salas-Pérez et al., 2012).

Mientras tanto, Caballero-Rosas, 1990, indica, que en la temporalidad de otoño e invierno la dirección de la corriente fluye movilizándose con dirección hacia el sur, por lo tanto, cuando los vientos soplan del Norte, Noroeste y Oeste (presentes en otoño-invierno) inducen que la circulación de la corriente se dirija hacia el sur (Salas-Pérez et al., 2012). Por lo consiguiente, es posible, que la dispersión de los diversos contaminantes que arrastra el agua residual de estas FPC, puedan movilizarse en dirección Sur del PNSAV, debido a que la corriente predominante estacional se dirige hacia el Sur en la temporalidad de otoño e invierno (Salas-Pérez et al., 2012).

### **9.3 Evaluación de la calidad del agua de mar de la zona costera de los municipios de Veracruz, adyacentes al polígono del PNSAV**

#### **9.3.1 Oxígeno disuelto**

Según lo publicado por Vidal *et al.*, 1994, el 50 % del agua que entra al Golfo de México proviene de la conformación de la corriente de Lazo, que provee de oxígeno uniformemente a la capa superficial de mezcla, con una concentración de oxígeno de 4.5 ml/l a 6.1 mg/l, esta condición ha sido evidenciada para la plataforma de Veracruz, Campeche y el Caribe.



Zona	I	II	III	IV	V
Oxígeno disuelto (mg/l)	6.09±1.35 <sup>ab</sup>	5.42±0.48 <sup>ab</sup>	5.39±0.35 <sup>ab</sup>	4.95±0.69 <sup>a</sup>	6.43±1.27 <sup>b</sup>

Figura 35. Valores medios del oxígeno disuelto (mg/l) registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales del PNSAV.

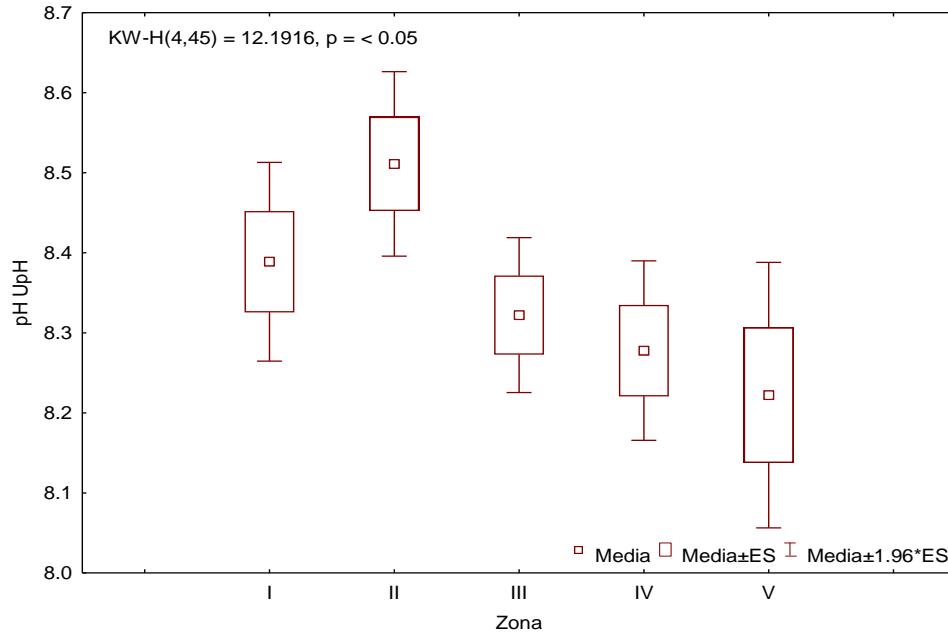
Las concentraciones de oxígeno disuelto mostraron una distribución no normal y variancias no homogéneas con respecto a las 5 zonas, por lo que se optó, a realizarles, la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, con un intervalo de 95% de significancia, en la que se obtuvo un valor de  $p = < 0.05$ , por lo que las concentraciones de oxígeno disuelto mostraron diferencias estadísticamente significativas [KW-H (4,45) = 9.6567,  $p = < 0.05$ ] con respecto a las 5 zonas evaluadas (Figura 35).

Las concentraciones de oxígeno disuelto registradas para el 16 de junio 2022, se destaca la Zona IV como la zona con el nivel promedio más bajo con un intervalo de 4.9±0.69 mg/l y la Zona V con el nivel promedio más elevado con 6.4±1.27 mg/l, en comparación a las 5 zonas evaluadas. Los valores de oxígeno disuelto en las zonas I, II y III, mostraron los promedios de concentraciones de 6.09±1.35 mg/l, 5.42±0.48 mg/l, y 5.39±0.35 mg/l, respectivamente (Figura 35). De acuerdo con el Compendio de Estadísticas Ambientales, 2008, (SEMARNAT, 2009) estas concentraciones fueron mayores al límite suficiente para la protección de la vida acuática, superando los 5 mg/l de oxígeno disuelto en agua de mar. Sin embargo, la Zona IV presento un promedio en la concentración de oxígeno disuelto inferior al límite mínimo suficiente para la protección de la vida acuática, con un intervalo de 4.95±0.69 mg/l. De acuerdo con lo publicado por Roger *et al.*, 2001, los niveles bajos de concentración de oxígeno es un indicador de altas concentraciones de bacterias presentes en el medio acuático, una baja concentración de oxígeno

disuelto en el agua de mar puede ser dañino para la biodiversidad. La Zona IV se encuentra ubicada en Boca del Río, Veracruz, frente de la desembocadura del Río Jamapa, de acuerdo con Castañeda-Chaves y Lango-Reynoso, 2021, la cuenca baja del Río Jamapa es una importante Fuente de Contaminación que está involucrada en la degradación del ecosistema costero y la salud humana. Esto concuerda con lo encontrado en el análisis de, cuerpos de agua receptores de aguas residuales véase Figura 27 y 28, en el cual se contabilizó 18 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales que descargan en el sistema cuenca baja del Río Jamapa. Por lo que esta situación pudiera provocar un descenso en la concentración de oxígeno disuelto de la Zona IV. Esto concuerda con investigaciones de Bruno *et al.*, 2003, en las que relacionan los cambios ambientales en zonas arrecifes, debido al aporte de nutrientes de las perturbaciones antropogénicas, con las enfermedades *aspergilosis* y banda amarilla presentes en corales pétreos en la península de Yucatán. Según lo publicado por Jordán-Garza, 2019, el declive que ocasiona que las condiciones ambientales cambien, se ve reflejado en el deterioro y pérdida de la cobertura coralina. En 2014 se presentó en el Caribe y en 2015 en el Sistema Arrecifal Veracruzano, con pérdidas que han destruido poblaciones completas de colonias de corales en el Golfo de México, el Caribe y la Florida (Jordán-Garza, 2019). No obstante, Alvarado y Aguilar, 2009 mencionan que las concentraciones de oxígeno pueden sufrir variaciones debido a la temperatura del agua, de la misma manera el oxígeno aumenta su concentración cuando disminuye la temperatura y la salinidad. Sin embargo, Ingram y Chu, 1987, mencionan que en el PNSAV existen cambios batimétricos abruptos, por lo que se generan variaciones en las concentraciones de oxígeno, estas fluctuaciones dependen de las velocidades de las corrientes por los flujos turbulentos o laminares en las diferentes estaciones climatológicas del año.

### 9.3.2 Potencial de Hidrógeno

De acuerdo con Arbizú, 2021, de manera general los valores de pH del agua de mar oscilan entre 7.5 y 8.4 UpH, mencionando que el pH puede sufrir variaciones considerables por la profundidad, presión, salinidad y en función a la temperatura del agua (Arbizú, 2021). Según lo indicado por Arbizú, 2021, 4 de las 5 zonas evaluadas mostraron valores de pH dentro de los límites normales para agua de mar.



Zona	I	II	III	IV	V
pH UpH	8.38±0.19 <sup>ab</sup>	8.51±0.17 <sup>b</sup>	8.32±0.14 <sup>ab</sup>	8.27±0.17 <sup>a</sup>	8.22±0.25 <sup>a</sup>

Figura 36. Valores medios de pH (UpH) registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.

Las Unidades de Potencial de Hidrógeno mostraron una distribución no normal con variancias no homogéneas con respecto a las 5 zonas, por lo que se optó, a realizarles, la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, con un intervalo de 95% de significancia, se obtuvo un valor de  $p = < 0.05$ , por lo que las Unidades de Potencial de Hidrógeno mostraron diferencias estadísticamente significativas, [KW-H (4,45) = 12.1916,  $p = < 0.05$ ], con respecto a las 5 zonas evaluadas (Figura 36).

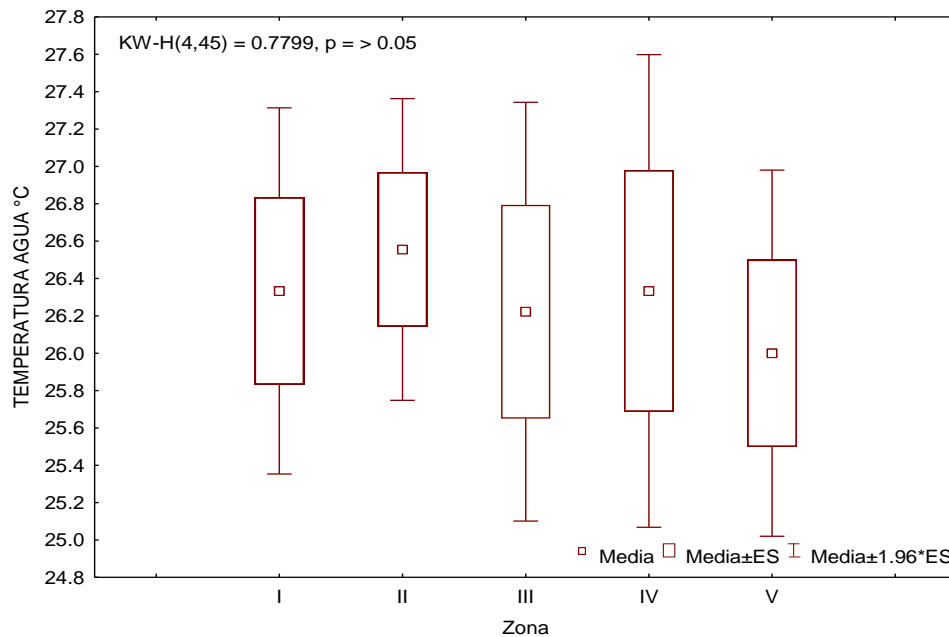
Los valores de las Unidades de Potencial de Hidrógeno (UpH) para el 16 de junio 2022, mostraron concentraciones básicas, con promedios similares para las zonas, I, III, y IV, de,  $8.38 \pm 0.19$  UpH,  $8.32 \pm 0.14$  UpH y  $8.27 \pm 0.17$  UpH, respectivamente. Entre las 5 zonas se destacaron, la Zona II con el valor promedio máximo de  $8.51 \pm 0.17$  UpH y la Zona V con un valor promedio mínimo de  $8.22 \pm 0.25$  UpH (Figura 36).

La Zona II mostró UpH con un valor promedio superior de UpH en comparación a las zonas evaluadas, con un valor de  $8.51 \pm 0.17$  UpH, de acuerdo con, DelValls, 1999, un valor superior de UpH puede generar un comportamiento básico. Sin embargo, de acuerdo con Morelos, González y Robles, 2014, mencionan que, si la temperatura aumenta, el valor de pH disminuye, por lo tanto, tiende a ser ácido. La temperatura registrada para la Zona II fue el promedio más elevado registrado para las 5 zonas evaluadas, con un valor de  $26.5$  °C, por lo que, el supuesto mencionado por Morelos; González y Robles, 2014, la Zona II al tener un valor en la temperatura superior a todas las zonas evaluadas, pudiera tener un valor de pH menor a los registrados. De

la misma manera, el comportamiento registrado para la Zona V, ya que en esta zona el promedio de temperatura es la más baja en comparación a las zonas evaluadas, por lo que el promedio de UpH podría ser el más elevado.

### 9.3.3 Temperatura del agua de mar

Para el 16 de junio 2022, el rango de temperatura promedio superficial del agua de mar fue homogéneo, con temperaturas cálidas con valores promedios superiores a los 26 °C. Las zonas, I, II, III, IV y V, se registraron los promedios de temperaturas de,  $26.33 \pm 1.50$  °C,  $26.55 \pm 1.23$  °C,  $26.22 \pm 1.71$  °C,  $26.33 \pm 1.93$  °C y  $26.00 \pm 1.50$  °C, respectivamente (Figura 37). Se destaca la zona II con un promedio máximo de temperatura con  $26.55 \pm 1.23$  °C y la Zona V con un promedio mínimo de temperatura registrada de  $26.0 \pm 1.50$  °C, en comparación a las zonas evaluadas.



Zona	I	II	III	IV	V
Temperatura del agua °C	$26.33 \pm 1.50^a$	$26.55 \pm 1.23^a$	$26.22 \pm 1.71^a$	$26.33 \pm 1.93^a$	$26.00 \pm 1.50^a$

Figura 37. Valores medios de la Temperatura (°C) registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.

Los rangos de temperaturas mostraron una distribución no normal y variancias no homogéneas, con respecto a las 5 zonas, por lo que se optó, a realizarse, la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, con un intervalo de 95% de significancia, se obtuvo un valor de  $p = > 0.05$ , por lo que, los rangos de temperaturas no mostraron diferencias estadísticamente significativas, [KW-H (4,45) = 0.7799  $p = > 0.05$ ], con respecto a las 5 zonas evaluadas (Figura 37).

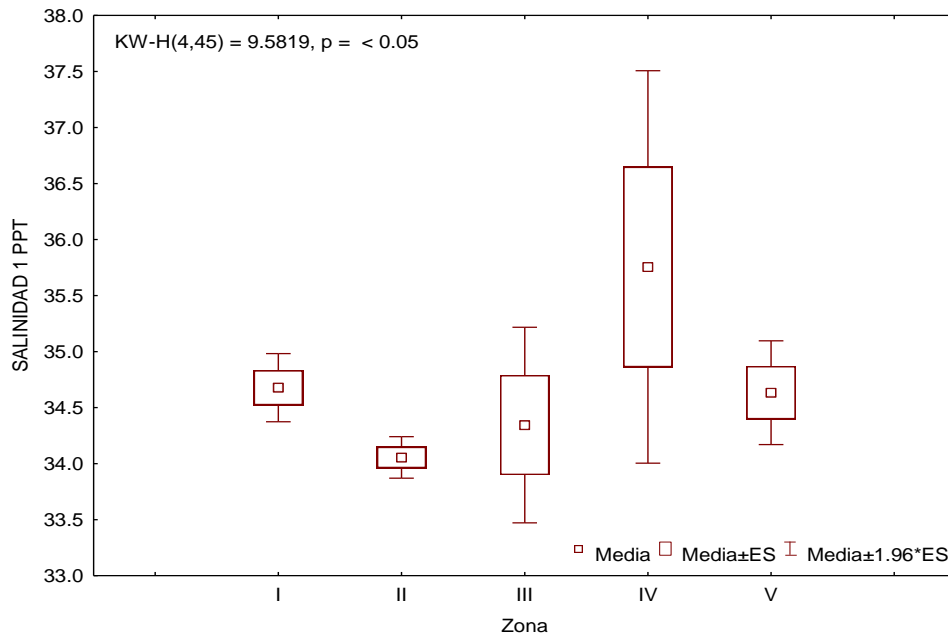
Según la base de datos de NOAA Coral Reef Watch Daily Sea Surface Temperatures (NOAA, 2022), para el 16 de junio 2022, las temperaturas registradas del agua superficial para la zona del PNSAV fue de 28 a 30 °C. De igual manera, se consultó la base de datos de



SEATEMPERATURE INFO, 2022, el promedio de la temperatura superficial del agua de mar para el 16 de junio 2022 fue de, 28. 4 °C, con una máxima de 29.2 °C y una mínima de 26.3 °C para la zona costera de Veracruz. Estos datos no concuerdan con los promedios de las temperaturas registradas para la fecha de muestreo. Sin embargo, también es de importancia destacar que la toma del parámetro de temperatura superficial de agua de mar fue puntual, obteniendo un promedio de la temperatura, en cambio las bases de datos citadas anteriormente mostraron promedios de temperatura de todo un día.

### 9.3.4 Salinidad

De acuerdo con Nave, R. C, 2010, la salinidad puede variar por consecuencia de la temperatura y esto tiene influencia es el comportamiento de las corrientes marinas, de igual manera menciona que la concentración típica de salinidad del agua de mar es de 33 a 37 PTT, con un rango medio de 35 PTT.



Zona	I	II	III	IV	V
Salinidad 1PPT	34.67±0.46 <sup>b</sup>	34.05±0.28 <sup>a</sup>	34.34±1.33 <sup>ab</sup>	35.75±2.68 <sup>ab</sup>	34.63±2.68 <sup>ab</sup>

Figura 38. Valores medios de la salinidad (1PTT), registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.

Los valores de salinidad mostraron resultados en la prueba normalidad, una distribución no normal, con variancias no homogéneas, con respecto a las 5 zonas, por lo que se optó a realizarse la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, se realizó con un intervalo de 95% de significancia, se obtuvo un valor de  $p = < 0.05$ , por lo que los valores de salinidad mostraron diferencias estadísticamente significativas [KW-H (4,45) = 9.5819,  $p = < 0.05$ ], con respecto a las 5 zonas evaluadas (Figura 38)

Los valores de salinidad registrada para el 16 de junio 2022, mostraron promedios semejantes en las concentraciones de salinidad en las zonas II, y III, de  $34.05 \pm 0.28$  1PPT y  $34.34 \pm 1.33$  1PPT respectivamente, particularmente la Zona II mostro un valor promedio mínimo registrado de  $34.05 \pm 0.28$  1PPT y la Zona IV con un valor promedio máximo registrado de  $35.75 \pm 2.68$  1PPT, en comparación a las 5 zonas evaluadas. De igual manera se destacan la Zona I y Zona V por tener valores promedio similares de  $34.67 \pm 0.46$  1PPT y  $34.63 \pm 2.68$  1PPT, respectivamente. De acuerdo con Nave, R. C, 2010, los valores de salinidad evaluados mostraron características normales en los intervalos de salinidad para agua de mar.

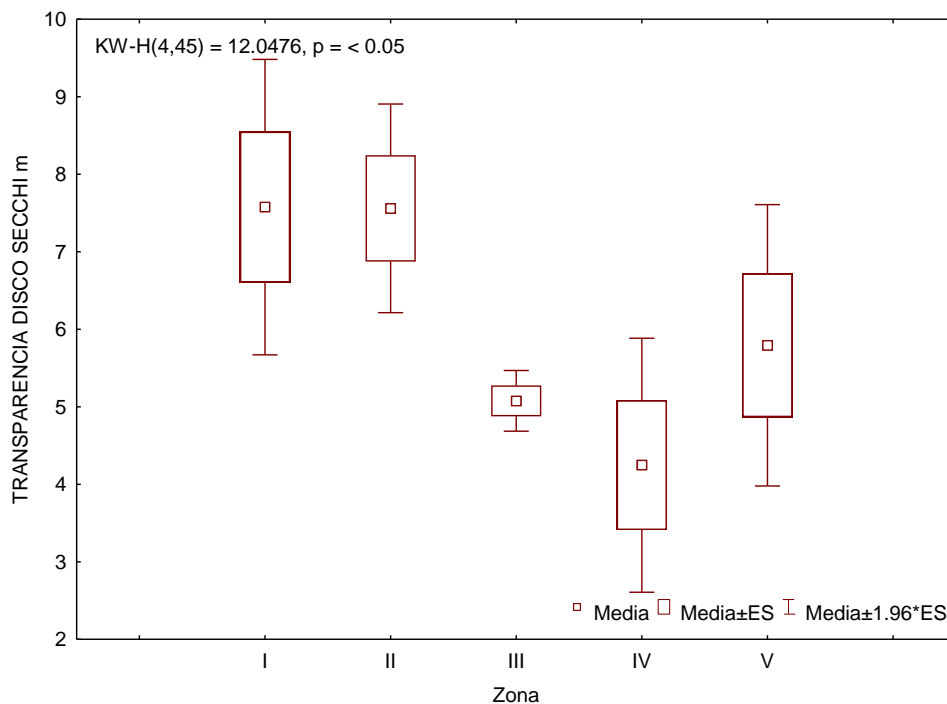
Se destaca la Zona IV con el intervalo de mayor variación promediada, este gradiente de variación puede ser debido a la localización del punto de muestreo que se ubicó frente a la desembocadura del Río Jamapa en época de estiaje, que se presenta de mayo a junio (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008).

Por otra parte, Monreal; Athié y Enzástiga, 2021, mencionan que las variaciones de salinidad en esta zona también pueden ser generados porque, el Río Jamapa cambia de ser un río a ser un sistema estuarino en la desembocadura con el mar, donde el agua de mar interactúa con el agua dulce y la temperatura, por lo que, se forma un hábitat único. De igual manera, estos autores explican que, la cuña de salinidad del Río Jamapa, tiene variaciones temporales, anuales o estacionales, en épocas de norte, lluvias y estiaje.

De acuerdo con Monreal; Athié y Enzástiga, 2021, las Fuentes Puntuales de Contaminación afectan la cuña de salinidad del Río Jamapa, como la que se genera por la termo eléctrica de Dos Bocas y también por la extracción de agua del río para satisfacer las necesidades de la población y por las diversas actividades antropogénicas, como los dragados para los canales de navegación entre otras, (Monreal; Athié y Enzástiga, 2021).

### *9.3.5 Transparencia*

Según lo publicado por Trujillo y Thurman, 2008, mencionan que la transparencia está estrechamente relacionada con la concentración de sedimentos y materia orgánica en suspensión en el agua de mar y es relacionada con la capacidad de penetración de la luz en la columna de agua.



Zona	I	II	III	IV	V
Transparencia					
disco de	7.57±2.91 <sup>b</sup>	7.56±2.06 <sup>b</sup>	5.07±0.59 <sup>a</sup>	4.24±2.50 <sup>ab</sup>	5.79±2.77 <sup>ab</sup>
SECCHI (m)					

Figura 39. Valores medios de la transparencia (m), registrados para el 16 de junio 2022 en 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.

Los valores de transparencia mostraron una distribución no normal, con variancias no homogéneas, con respecto a las 5 zonas, por lo que se les realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, con un intervalo de 95% de significancia, se obtuvo un valor de  $p = < 0.05$ , por lo que los valores de transparencia mostraron diferencias estadísticamente significativas [KW-H (4,45) = 12.0476,  $p = < 0.05$ ], con respecto a las 5 zonas evaluadas (Figura 39).

La transparencia registrada para el 16 de junio 2022, presento valores semejantes para las zonas I, II y V, con valores promedios de 7.57±2.91 m, 7.56±2.06 m y 5.79±2.77 m, respectivamente, con respecto a las 5 zonas evaluadas. Se destaca la Zona I con un valor promedio máximo de 7.57±2.91, la zona III con un valor promedio de 5.07±0.59 m y la Zona IV con un valor promedio mínimo registrado de 4.24±2.50 m, de transparencia con respecto a las 5 zonas evaluadas (Figura 39).

Particularmente la Zona IV se destaca como la de menor visibilidad, posiblemente porque se encuentra frente a la desembocadura del Río Jamapa, de acuerdo con Liaño-Carrera *et al.*, 2019; Tunnell *et al.*, 2007, el PNSAV está dividido en dos áreas geográficas por el aporte de agua dulce cargadas de sedimentos del Río Jamapa, de la misma manera Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008; Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011; Ortiz-Lozano *et al.*, 2005, mencionan que el Río Jamapa,

transporta aguas contaminadas de ciudades adyacentes cuenca arriba, más las diferentes actividades antropogénicas como, derrames de hidrocarburos y pesquerías, el Río Jamapa ha sido considerado como de los problemas principales del impacto ambiental a los arrecifes de coral del PNSAV.

En la Zona III muestra el segundo promedio más bajo en comparación a todas las zonas evaluadas con  $5.07 \pm 0.59$  m de transparencia, esta zona puede estar bajo la influencia de por lo menos 11 descargas de aguas residuales, que incluyen canales a cielo abierto que descargan aguas residuales directamente a las playas, véase Figura 12, en la que se encuentra la FPC de Costa de Oro, que está ubicada en las coordenadas (19.147085,-96.095329). En la que se desarrolló la evaluación de la Influencia del Radio de Dispersión en el PNSAV véase Figura 32, con un Radio aproximado de 73.965 km de influencia. De igual manera se localiza adyacente a esta zona la FPC de Adamar ubicada en las coordenadas (19.14732 -96.101273), que, de la misma manera se evaluó la influencia del Radio de Dispersión en el PNSAV, aproximado a, 35.536 km, véase Figura 33.

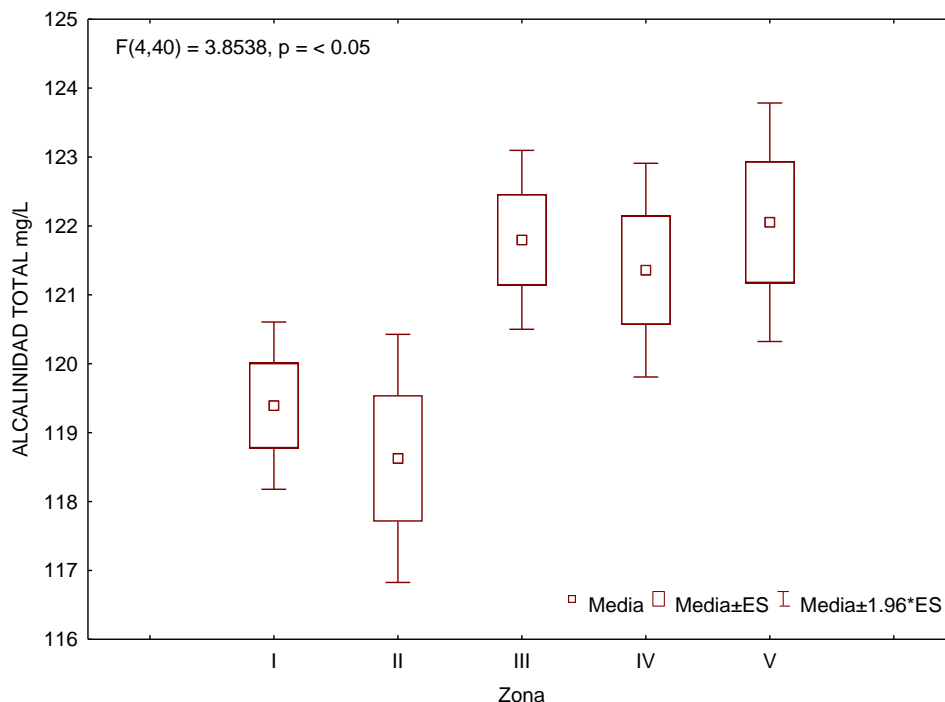
Es de importancia destacar que la FPC de Andamar, fue la que presento mayor coloración en el agua residual con tonalidades cafés y marrones, de la misma manera fue la FPC con mayor olor a aguas negras en comparación a las FPC evaluadas. El arrecife costero Ingeniero se encuentra ubicado adyacente a la zona de muestreo, de acuerdo con Tunnell, 2007; Horta Puga y Tello Musi, 2009, es un arrecife en vías de eutrofización, debido a que es sometido a un gran número de desagües de Fuentes de Contaminación terrestres, descargas de aguas residuales domésticas e industriales, los cuales aportan una gran cantidad de materia orgánica y bacterias patógenas provenientes de las fuentes no puntuales y puntuales, el impacto que se genera en este arrecife es negativo, considerado como severo, dañando la cobertura coralina, promoviendo el crecimiento de macroalgas convirtiéndolas en un elemento predominante (Tunnell, 2007; Horta Puga y Tello Musi, 2009).

Lo anterior mencionado concuerda con lo publicado por, MAR-RRN, 2022, las descargas de aguas residuales sin tratamiento contienen partículas en suspensión, que son ricas en nutrientes orgánicos e inorgánicos, bacterias patógenas y compuestos químicos tóxicos, esto puede generar el proceso de eutrofización, incremento de patógenos e interrupción de procesos metabólicos de alimentación, crecimiento y reproducción de los corales.

Por lo que, la transparencia en la Zona III y IV pudiera afectar de forma negativa a los arrecifes de coral y a la biodiversidad costera de estas zonas, debido a que la luz es la responsable de suministrar energía para la distribución geográfica de los corales de arrecife (Sheppard *et al.*, 2009). Esto concuerda con publicado por Westmacott *et al.*, 2000, los corales hermatípicos o escleractinios obtienen su alimento por medio de la energía de la fotosíntesis derivada de las zooxantelas que viven en el interior de sus tejidos y también por medio del plancton que atrapan con sus tenáculos.

### 9.3.6 Alcalinidad Total

Según, Custodio y Llamas, 2001, el valor promedio de alcalinidad total en agua de mar es de 100 ppm  $\text{CaCO}_3$ .



Zona	I	II	III	IV	V
Alcalinidad Total mg/l	119.39 $\pm$ 1.85 <sup>ab</sup>	118.62 $\pm$ 2.75 <sup>a</sup>	121.79 $\pm$ 1.98 <sup>b</sup>	121.35 $\pm$ 2.37 <sup>ab</sup>	122.05 $\pm$ 2.64 <sup>b</sup>

Figura 40. Valores medios de la alcalinidad total (mg/l) registrados para el 16 de junio 2022, en las 5 zonas de muestreo en aguas superficiales dentro del polígono del PNSAV.

La prueba de ANOVA de una vía se realizó con un intervalo de 95% de significancia, los valores de alcalinidad mostraron variancias homogéneas y una distribución normal, se obtuvo un valor de  $p = < 0.05$ , por lo que los valores de alcalinidad mostraron diferencias estadísticamente significativas [ $F(4,40) = 3.8538, p = < 0.05$ ], con respecto a las 5 zonas evaluadas (Figura 40).

Los valores de alcalinidad registrados para el 16 de junio 2022 son similares en la Zona III, IV y V, con valores promedio de, 121.79 $\pm$ 1.98 mg/l, 121.36 $\pm$ 2.37 mg/l y 122.05 $\pm$ 2.64 mg/l respectivamente. Destacando la Zona V, con el promedio más elevado y la Zona II, con un valor promedio más bajo de 118.62 $\pm$ 2.75 mg/l, similar a la Zona I con el promedio de 119.39 $\pm$ 1.85 mg/l.

Los valores de alcalinidad registrados en las 5 zonas evaluadas son superiores a los de 100 ppm  $\text{CaCO}_3$ , que de acuerdo con, DelValls, 1999, indica como el valor promedio de agua de mar. Según indica, DelValls, 1999, esta condición pudiera aumentar la productividad primaria y, por ende, un aumento en la captación del  $\text{CO}_2$  en la zona fótica. De acuerdo con lo anterior, De La Lanza Espino, 2001, menciona que, los iones carbonato y bicarbonato controlan el pH del agua de mar y son los componentes primarios de la alcalinidad, debido al balance iónico en un pH de 7 a 9 UpH los bicarbonatos predominan. De acuerdo con, Custodio y Llamas, 2001, la alcalinidad es dependiente de los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua de mar, un pH

cercano a 8 es importante para la estabilidad de los sistemas arrecifales de coral siendo benéfico para gran mayoría de la vida que albergan.

Los parámetros fisicoquímicos de agua de mar dentro del polígono del PNSAV evaluados, mostraron promedios dentro de los valores normales para agua de mar, con algunas excepciones.

## **10. CONCUCLIONES**

En el área de estudio se encontraron, 148 FC, el 60 % de FD y el 40% de FPC. Las zonas I, III, V y VI fueron las más destacadas. Particularmente en estas zonas se encontraron la mayor cantidad de Hoteles aledaños a las playas. El análisis de datos de las zonas, las FPC y H, mostro una correlación positiva de ( $r = 0.90709$ ), por lo que existe una relación estadísticamente significativa entre FPC y H en las zonas costeras.

Los Radios de Dispersión de las FPC de Simón Bolívar, Andamar y Costa de Oro, mostraron unos alcances de, 31.398 km, 35.536 km y 73.965 km respectivamente, sobrepasando al polígono del PNSAV. Por lo que se puede inferir que, las descargas de las aguas residuales de estas FPC, tienen influencia en los arrecifes de coral que se encuentran dentro y fuera del PNSAV, con mayor influencia en los arrecifes de coral de la parte Norte.

Los parámetros fisicoquímicos del agua de mar, mostraron promedios dentro de los valores típicos para agua de mar dentro de las zonas evaluadas. Teniendo variaciones en sitios puntuales, como los cercanos a la desembocadura del Río Jamapa perteneciente a la Zona IV y los sitios de la Zona III. Lo que puede influir en las variaciones de transparencia y concentraciones de oxígeno disuelto del agua de mar, teniendo repercusiones negativas en la fauna costera y en los arrecifes de coral del PNSAV.

Las descargas de aguas residuales que se detectaron en el presente trabajo impactan de modo persistente al PNSAV, pudiera estar ocasionando estrés a la vida marina, estas condiciones permiten la proliferación de patógenos asociados a enfermedades coralinas relacionadas a la presencia de aguas residuales, propiciando vulnerabilidad a los diferentes síndromes que afectan a los arrecifes de coral.

Existe una infraestructura obsoleta para gestionar y tratar las aguas residuales en la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río, esta puede ser remodelada y reacondicionada, para el control de las descargas de aguas residuales y conseguir mejores resultados en la calidad de agua que es vertida a las playas, arroyos o ríos. Esto implica mayor atención por parte de las autoridades municipales y estatales encargadas de la gestión ambiental y supervisión para el saneamiento de agua. Lo anterior mencionado atenta contra los derechos plasmados en el artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la cual menciona que toda persona tiene derecho a recibir un medio ambiente sano, adecuado para el buen desarrollo y bienestar, incluyendo el cuidado del medio ambiente. Exigir este derecho implica organización, conocimientos y dedicación por parte de un colectivo civil o de manera individual. Pero no todo es exigir por parte de la sociedad civil, sino también contribuir de manera individual y colectiva, siendo una responsabilidad compartida.

## 11. RECOMENDACIONES

Debido a que la contaminación por aguas residuales en el medio marino se torna prácticamente invisible a la ciudadanía, en parte porque es asociado a un tabú que suele no hablarse de ello, se limita aún más la comprensión de la gravedad y el alcance de los problemas asociados a la contaminación por aguas residuales, pudiera ser debido también, a que se carece de información adecuada para todo público o de fácil acceso, por lo tanto, es una problemática compleja.

Abordar esta problemática ambiental es un enorme desafío, la concientización de todos los actores asociados y el desarrollo de soluciones, a partir de visualizar el entorno arrecifal más allá de una disciplina gubernamental o científica, es fundamental para dar un comienzo a mitigar la contaminación de manera efectiva. El trabajo en conjunto con un enfoque Transdisciplinario en la gestión “Ambiental Costera Arrecifal”, donde se involucren y vinculen los diferentes sectores sean, privado, científico, gubernamental y la sociedad civil, como el turístico, empresas privadas, investigadores, universidades, formuladores de políticas públicas, estudiantes, padres de familia y los administradores de poblados o ciudades de tierras altas, cuencas o zonas costeras adyacentes, de tal manera que la acción sea como resultado la superación de los límites tradicionales de gobernanza, burocracia, corrupción e ignorancia, a trascender a la creación de un idioma para el bien común. De tal manera que el trabajo simultáneo mejore la gestión de las aguas residuales, reduzca la contaminación terrestre y proporcione beneficios a los ecosistemas de arrecife de coral, los ambientes costeros, terrestres y humanos.

### **11.1 Estrategia alternativa; prototipo sistemas humedales artificiales en zonas urbanas costeras**

La construcción de un sistema humedal artificial es una estrategia alternativa basada en los procesos naturales de la degradación y descomposición de la materia orgánica, siendo un mecanismo efectivo de tratamiento de agua residual. En el cual no se aplican componentes químicos ni sofisticados instrumentos para su operación, en cambio, sus principales componentes son los microorganismos, sustratos y vegetación local. El sistema está diseñado de tal forma que la fuerza de gravedad permite el avance del agua a través del sistema de celdas de tratamiento, a medida que el agua avanza los microorganismos adheridos al sustrato y la vegetación, descomponen, captura, oxidan o absorben, los contaminantes del agua residual y los convierten en una fuente de energía que utilizan para su crecimiento y reproducción, con el objetivo de mejorar la calidad de agua, reducir los constantes contaminantes que provienen de las Fuentes Puntuales de Contaminación que descargan aguas residuales en las playas, lo que reduciría el flujo de contaminantes hacia el Sistema Arrecifal Veracruzano.

Estos sistemas con procesos naturales son afectivos, ya que existe evidencia que reducen los nutrientes en el agua residual como el nitrógeno inorgánico y el fósforo, al igual que la turbidez por encima del 70% (Reynoso y Chávez, 2021). Esta estrategia basada en soluciones naturales, puede ser una alternativa multipropósito por ofrecer beneficios adicionales; Estéticos, al proporcionar áreas verdes con vegetación, siendo esto agradable a la vista del turismo, evitando los malos olores característicos del vertimiento de aguas residuales a las playas, de igual manera



se crean áreas de recreación como la pesca, ejercicio al aire libre y centros de reunión social, entre otras actividades. Y beneficios ambientales, porque contribuye a disminuir el calor que producen las superficies asfálticas sin vegetación, contrarrestando el cambio climático, esta vegetación puede realizar la captación del CO<sub>2</sub>, contribuyendo al bienestar humano y de la biodiversidad costera y arrecifal, de tal manera que se generan impactos positivos, ambientales, sociales y económicos, al construir un sistema humedal artificial en zonas urbanas costeras.

Cuadro 10. Estimaciones del prototipo sistema humedal artificial en zonas urbanas costeras, para tratar aguas residuales que descargan las Fuentes Puntuales de Contaminación en las playas aledañas al PNSAV.

<b>Propuesta</b>	<b>*Celdas de Tratamiento</b>	<b>*Caudal tratado por día (m3/d)</b>	<b>*Superficie de Tratamiento (m2)</b>	<b>*Inversión Estimada (Mn)</b>
1	28	127	2,848	\$ 7,400,000.00
2	14	63.5	1,424	\$ 3,700,000.00

\*Estimaciones, modificado y adaptado de (Reynoso y Chávez, 2021).

## 11. REFERENCIAS

- Abraham, S. N., Sharon, N., Ofek, I., & Schwartzman, J. D. (2005). Adhesion and Colonization. *Molecular Medical Microbiology*, 409-421. doi: 10.1016/b978-0-12-397169-2.00024-x
- Aguirre-Macedo, M. L., Vidal-Martinez, V. M., Herrera-Silveira, J. A., Valdés-Lozano, D. S., Herrera-Rodríguez, M., & Olvera-Novoa, M. A. (2008). Ballast water as a vector of coral pathogens in the Gulf of Mexico: The case of the Cayo Arcas coral reef. *Marine Pollution Bulletin*, 56(9), 1570-1577.
- Almada-Villela, P. C., Sale, P. F., Gold-Bouchot, G., & Kjerfve, B. (2003). Manual de métodos para el programa de monitoreo sinóptico del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Documento Técnico. Proyecto para el Sistema Arrecifal Mesoamericano, 4, 149.
- Alvarado, J. J., & Aguilar, J. F. (2009). Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57, 19-29.
- Arbizú, M. Y. S. C. (2021). Fluctuations in pH, alkalinity, dissolved oxygen and nutrient in Cayos Miskitos, municipality of Puerto Cabezas, North Atlantic Autonomous Region (NAAR).
- Arceo, P., & Granados-Barba, A. (2010). Evaluating sustainability criteria for a marine protected area in Veracruz, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 53(9), 535-543.
- Arreguín-Cortés F., Gómez-Balandra A., e Izurieta-Dávila J. (2000). "Contaminación difusa". *Tláloc* 7(19): 8-10, julio-septiembre.
- ASIPONA Veracruz (Administración del Sistema Portuaria Nacional Veracruz). (2021). En línea: <https://www.puertodeveracruz.com.mx/wordpress/blog/movimiento-historico-del-puerto-de-veracruz>.
- Bernal, G., Montoya, L. J., Garizábal, C., & Toro, M. (2005). La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del Golfo de Urabá, Colombia. *Gestión y ambiente*, 8(1), 123-135.
- Biblioteca Nacional de Paris, autor anónimo. (1625). Centro Histórico de Veracruz. Planos Históricos. En, <https://centrohistorico.veracruzmunipio.gob.mx/cartografia.php?idreg=43>
- Bryant, D. (1998). Arrecifes en Riesgo: Un Indicador Basado en Mapas de las Amenazas a los Arrecifes de Coral. *Instituto de Recursos Mundiales*, 6.
- Bojaca, R. D. (2015). Determinación de alcalinidad por potenciometría. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

- Bourne, D., Iida, Y., Uthicke, S., & Smith-Keune, C. (2008). Changes in coral-associated microbial communities during a bleaching event. *The ISME journal*, 2(4), 350-363.
- Bruno F.J., ... y Hettinger A. (2003). Nutrient enrichment can increase the severity of coral diseases. *Ecol. Lett.* 6: 1056-1061.
- Brownell, A. C., & Richardson, L. L. (2014). Bacterias reductoras de sulfato como patógenos secundarios y necesarios en la enfermedad de la banda negra de coral. *Revista de Biología Tropical*, 1-9.
- Burke, L., Reytar, K., Spalding, M., & Perry, A. L. (2011). *Reefs at Risk Revisited*. World Resources Institute, the Nature Conservancy, WorldFish Center, International Coral Reef Action Network.
- Burke L. y Maidens J. (2005). Arrecifes en peligro en el Caribe. Reef at risk in the caribbean (No. 333.9553 B959). World Resources Institute, Washington, DC (EUA).
- Caballero-Rosas, A. 1990. Modelación hidrodinámica numérica de la circulación por viento en la zona costera del Puerto de Veracruz y sus proximidades. Tesis de Maestría en Ingeniería Oceánica. Instituto de Ingeniería. Universidad Veracruzana, México. 70 pp.
- Campbell, N., D'Arcy, B., Frost, A., Novotny, V., & Sansom, A. (Eds.). (2005). *Diffuse pollution*. IWA publishing.
- Carreón-Palau, L., Parrish, C. C., & Pérez-España, H. (2017). Urban sewage lipids in the suspended particulate matter of a coral reef under river influence in the South West Gulf of Mexico. *Water research*, 123, 192-205.
- Carricart-Ganivet, J. P., Beltrán-Torres, A. U., & Horta-Puga, G. (2011). Distribution and prevalence of coral diseases in the Veracruz Reef System, Southern Gulf of Mexico. *Diseases of aquatic organisms*, 95(3), 181-187.
- Castañeda-Chávez M.R., y García-Fuentes J.L. (2015). *Vibrio spp. en corales del sistema arrecifal Veracruzano*. A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del sistema arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, 267-280.
- Castañeda-Chaves y Lango-Reinoso. (2021). Impacto de la cuenca del río Jamapa en el Golfo de México. En *Investigaciones sobre los deltas de los ríos: avances recientes*. <https://www.intechopen.com/chapters/76146>
- Castell, S. E. (2010). Análisis de las comunidades microbianas asociadas a tapetes hipersalinos de la Laguna Rosada de Uaymitun, Yucatan, Mexico. *Maestria*, Instituto Politécnico Nacional.

- Cederstav, A., Lawrence, J., & Quintanilla, V. (2015). La Protección de los Arrecifes de Coral en México. Rescatando la Biodiversidad Marina y sus Beneficios para la Humanidad. IV Amenazas de los arrecifes de coral. AIDA.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2022). Water Contamination and Diseases. <https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/contamination.html>
- Cervino, J. M., Thompson, F. L., Gomez-Gil, B., Lorence, E. A., Goreau, T. J., Hayes, R. L., & Bartels, E. (2008). The *Vibrio* core group induces yellow band disease in Caribbean and Indo-Pacific reef-building corals. *Journal of applied microbiology*, 105(5), 1658-1671.
- Cervino, J., Goreau, T. J., Nagelkerken, I., Smith, G. W., & Hayes, R. (2001). Yellow band and dark spot syndromes in Caribbean corals: distribution, rate of spread, cytology, and effects on abundance and division rate of zooxanthellae. In *The ecology and etiology of newly emerging marine diseases* (pp. 53-63). Springer, Dordrecht.
- Cifuentes Lemus, J. L., Torres García, M. D. P., y Frías Mondragón, M. (1995). El océano y sus recursos III. Las ciencias del mar: oceanografía física, matemáticas e ingeniería (ISBN 968-16-2388-6 (obra completa)
- COFEPRIS- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2010). ¿Que causa la contaminación en las playas? Retrieved June 24, 2018, from [http://www.cofepris.gob.mx/Paginas/Playas Limpias/Programa Integral de Playas Limpias/Protege tu salud/ContaminacionPlayas.aspx](http://www.cofepris.gob.mx/Paginas/Playas_Limpias/Programa_Integral_de_Playas_Limpias/Protege_tu_salud/ContaminacionPlayas.aspx)
- CONAGUA. (2017). Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2017. Conagua, Semarnat. México. 2017c. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>
- CONAGUA. (2012). Atlas del agua de México Sistema Nacional de Información del Agua. México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2021). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2021. En línea: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>
- CONAGUA. (2023). Calidad del agua. [https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=6#:~:text=Para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la,S%C3%B3lidos%20Suspendidos%20Totales%20\(SST\).](https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=6#:~:text=Para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la,S%C3%B3lidos%20Suspendidos%20Totales%20(SST).)
- Custodio, E., & Llamas, M. (2001). Hidrología Subterránea. Tomo I y II. Barcelona, España: Omega, S. A.

- De La Lanza Espino, G. (2001). Características físico químicas de los mares de México. México: Editores México.
- DelValls, T. A. (1999). Medidas en continuo de pH en condiciones de afloramiento: la corriente de California. *Ciencias Marinas*, 25(3), 345-365.
- Díez Rilova, M. (2012). Caracterización de la dispersión de contaminantes en la zona costera.
- Dirección de Obras Públicas y Desarrollo Urbano. (2021). Plan Distrito Centro. Análisis Urbano Fenómenos Demográficos en <https://distritocentro.veracruzmunicipio.gob.mx/fenomenos.html#:~:text=Se%20espera%20que%20Veracruz%20sufra,alcanzar%20el%20mill%C3%B3n%20de%20personas>.
- DOF: 29/11/2012. DECRETO que modifica al diverso por el que se declara Area Natural Protegida, con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicada frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del Estado de Veracruz Llave, con una superficie de 52,238-91-50 hectáreas, publicado los días 24 y 25 de agosto de 1992.
- Emery, K. O. 1963. Estudios regionales de arrecifes coralinos en Veracruz, México. Instituto de Geofísica. México. 3(1): 11-17 pp.
- Encyclopaedia Britannica. (2018). Marine sediment. Retrieved July 9, 2018, from <https://www.britannica.com/science/marine-sediment>
- Espinoza, P. A., & Bermúdez, A. M. C. (2012). Aquaculture and environmental impact. *CIAD Estudios Sociales*, 2, 217-32.
- FAO. (2007). Estimaciones del caudal de agua 3. [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6705s/x6705s03.htm#top](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm#top)
- Fernández Cardoso, S. (2011). Teoría, Sociedad y Poder en Talcott Parsons, C. Wright Mills, Jürgen Habermas y Anthony Giddens: una contribución a la Teoría Social contemporánea.
- Fondo para la comunicación y la educación ambiental. A.C. (2017). Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR 2016.
- FONATUR. (2023). Tratamiento de aguas residuales. <https://www.gob.mx/fmt/acciones-y-programas/tratamiento-de-aguas-residuales-162692#:~:text=El%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales,cantidad%20de%20residuos%20y%20contaminantes>. Fuentes, J. C. N., Granados, P. A., & Martins,
- F. C. (2017). Coastal management in Mexico: Improvements after the marine and coastal policy publication. *Ocean & Coastal Management*, 137, 131-143.

- García Fuentes José Luis. (2013). Diagnostico microbiológico en corales del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.
- García-Fuentes, J. L., Galaviz-Villa, I., Lango-Reynoso, F., & Castañeda-Chávez, M. R. (2014). Pathogenic Bacteria in Corals from Veracruz Reef System National Park. *International Journal of Modern Engineering Research*, 4(5), 29-36.
- Garay Tinoco, J. A., Pinilla González, C. A., & Díaz Merlano, J. M. (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos).
- GBO-5 (Global Biodiversity Outlook 5). (2020). En línea:chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cbd.int/gbo/gbo5/publication/gbo-5-es.pdf
- Gil-Agudelo, D. L., Navas-Camacho, R., Rodríguez-Ramírez, A., Reyes-Nivia, M. C., Bejarano, S., Garzón-Ferreira, J., & Smith, G. W. (2009). Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos.
- Gutiérrez-Ruiz, C. V., Román-Vives, M. A., Vergara, C. H., & Badano, E. I. (2011). Impact of anthropogenic disturbances on the diversity of shallow stony corals in the Veracruz Reef System National Park. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(1), 249-260.
- GB0-5. (2020). Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 5. Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas (CDB).
- Grottoli, A. G., Dalcin Martins, P., Wilkins, M. J., Johnston, M. D., Warner, M. E., Cai, W. J., ... & Schoepf, V. (2018). Coral physiology and microbiome dynamics under combined warming and ocean acidification. *PloS one*, 13(1), e0191156.
- Habermas, J. (1987). 8. Las tareas de una teoría crítica de la sociedad. En *Sociología alemana moderna* (págs. 187-212). Prensa de la Universidad de Columbia.
- Hernández Flores, Á., & Medina, A. (2006). Mejores prácticas de pesca en arrecifes coralinos guía para la colecta de información que apoye el manejo de pesquerías basado en ecosistemas (No. DC/338.372728 M4).
- Hernández C.V. (2020). Descargas de aguas negras zona metropolitana de Veracruz (Investigación Legislación Urbana 6° semestre, Universidad Veracruzana región Veracruz, México).
- Hidalgo, G., Granados, A., Castañeda, M., Ortíz, L., González, C., & Marín, M. (2017). Comunidades intermareales de la Macrofauna en playas arenosas del Litoral Central de Veracruz, Golfo de México: Un Enfoque de integridad Ecológica. Universidad Veracruzana.

- Horta-Puga, G., & Carricart-Ganivet, J. P. (1993). Corales pétreos recientes (Milleporina, Stylasterina y Scleractinia) de México. *Biodiversidad Marina y Costera de México*. Comisión Nacional de Biodiversidad y CIQRO, México, 66-80.
- Horta Puga, G. y J. L. Tello Musi. (2009). Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo: Primera Etapa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM005. México D. F.
- Horta-Puga, G., Tello-Musi, J. L., Cordova-Morales, A. D., Gutiérrez-Carrillo, G. A., Gutiérrez-Martínez, J. F., y A. A. Morales-Aranda. (2017). Sistema Arrecifal Veracruzano, condición actual y programa permanente de monitoreo: Segunda Etapa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe Final SNIB-CONABIO, proyecto No. GM005, Ciudad de México.
- Holdren, C., Jones, W. and J. Taggart (2001). *Managing Lakes and Reservoirs*. North American Lake Management Society and Terrene Institute, in cooperation with the Office of Water Assessment and Watershed Protection Division U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Madison, Winsconsin, 382 pp.
- Ingram, R. G., & Chu, V. H. (1987). Flow around islands in Rupert Bay: An investigation of the bottom friction effect. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 92(C13), 14521-14533.
- INECC. (2012). Estudio de emisiones y actividad vehicular en el puerto de Veracruz, Veracruz. Reporte Final.
- Jones, J., Withers, K., & Tunnell Jr, J. W. (2008, July). Comparison of benthic communities on six coral reefs in the Veracruz Reef System (Mexico). In *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium* (Vol. 18, pp. 757-760).
- Jordán-Garza A.G., ... y Bazaldúa-Fajardo J. (2019). Clave para el Diagnóstico en Campo de Enfermedades de Corales Escleractinios en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, p. 325-344. En: A. Granados-Barba, L. OrtizLozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). *Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*.
- Kahng S. E. y C. D. Kelley. (2010). Vertical zonation of megabenthic taxa on a deep photosynthetic reef (50-140 m) in the Au'au channel, Hawaii. *Coral Reefs*. 3:679-687.
- Lauro, F. M., McDougald, D., Thomas, T., Williams, T. J., Egan, S., Rice, S., ... & Cavicchioli, R. (2009). The genomic basis of trophic strategy in marine bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37), 15527-15533.
- Lango-Reinoso, Fabiola. (2015). *Vibrio* spp. En corales del Sistema Arrecifal Veracruzano.

- Leal Ascencio, M. T. (2014). ¿Qué tanto es tantito? <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/sustentabilidad/>
- Liaño-Carrera, F., Camarena-Luhrs, T., Gómez-Barrero, A., Martos-Fernández, F. J., Ramírez-Macias, J. I., & Salas-Monreal, D. (2019). New coral reef structures in a tropical coral reef system. *Latin american journal of aquatic research*, 47(2), 270-281.
- Lugo-Fernandez, A., Deslarzes, K.J.P., Price, J.M., Boland, G.S., Morin, M.V., 2001. Inferring probable dispersal of Flower Garden Banks coral larvae (Gulf of Mexico) using observed and simulated drifter trajectories. *Cont. Shelf Res.* 21 (1), 47—67. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00072-8](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00072-8)
- MAR-RRN (MESOAMERICAN REEF RESTORATION NETWORK). (2022). En línea: <https://coralmar.org/descarga-de-aguas-residuales/>
- Martínez, M. L. (2010). *Las playas y dunas costeras: un hogar en movimiento (Primera)*. Distrito Federal: Fondo de Cultura Económica. Retrieved from [https://books.google.com.mx/books?id=YY73mCd3usAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=YY73mCd3usAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Mendoza López Dalia Guadalupe. (2018). “EFECTO DE LA TEMPERATURA Y SALINIDAD SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL BIOFLOC EN EL CULTIVO DE CAMARÓN *Litopenaeus vannamei*”
- Millán Cabrera, M., Ramírez Salinas, N., García Rojas, J., Castillo Rodríguez, L., & Sixto Cervantes, M. (2011). Monitoreo de playas prioritarias.
- Montoya, L. J., & Toro, M. (2006). Calibración de un modelo hidrodinámico para el estudio de los patrones de circulación en el Golfo de Urabá, Colombia. *Avances en recursos hidráulicos*, (13).
- Monreal, D. S., Athié, G., & Enzástiga, M. L. R. (2021). Importancia de un monitoreo hidrográfico a largo plazo. *uvserva*, (12), 78-81.
- Morales, V. H. Bacterioplancton marino en la plataforma exterior a las Rías de Vigo y A Coruña.
- Morelock, J., & Koenig, K. J. (1967). Terrigenous sedimentation in a shallow water coral reef environment. *Journal of Sedimentary Research*, 37(4), 1001-1005.
- Morelos, C. S., González, J. F. R., y Robles, A. N. (2014). Evaluación del Comportamiento del Color, pH y Alcalinidad en una Planta de Tratamiento Anaerobio.
- Moreno, A. Z., Ramirez, E. I. Q., y Salinas, C. V. (2005). La vida oscura de *Vibrio alginolyticus*.



- Moreno-Casasola, P. (2004). Las playas y dunas del Golfo de México. Una visión de la situación actual. In M. Caso, I. Pisanty, & E. Ezcurra (Eds.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México* (Primera, pp. 491–520). Distrito Federal: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Retrieved from [https://books.google.com.mx/books?id=GsqU9iMrFOgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=GsqU9iMrFOgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Nave, R. C. (2010) *Hyperphysics*, Department of Physics and Astronomy. Georgia State University. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/hph.html> NOAA -National Oceanic and Atmospheric Administration. (2011). Ocean currents. Retrieved June 23, 2018, from <http://www.noaa.gov/resource-collections/ocean-currents>
- Nir O., D. F. Gruber, S. Einbinder, S. Kar y D. Tchernov. 2011. Changes in *Scleractinia* coral *Seriatopora hystrix* morphology and its endocellular Symbiodinium characteristics along a bathymetric gradient from shallow to mesophotic reef. *Coral Reefs*. 30:1089-1100.
- NOAA -National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). OFFICE OF SATELLITE AND PRODUCT OPERATIONS. Coral Reef Watch Daily 5 km Sea Surface Temperatures, <https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/cb/sst5km/>
- Novotny, V. (2002). *Water quality: diffuse pollution and watershed management*. John Wiley & Sons.
- Ortiz Lozano, L. D., Arceo Briseño, P., Granados Barba, A., Salas Monreal, D., & Jiménez Badillo, M. D. L. (2010). Zona costera. Ortiz-Lozano, L. (2012). Identification of priority conservation actions in marine protected areas: Using a causal networks approach. *Ocean & Coastal Management*, 55, 74-83.
- Ortiz-Lozano, L., Pérez-España, H., Granados-Barba, A., González- Gándara, C., Gutiérrez-Velázquez, A., Martos, J., 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean Coast. Manag.* 86, 22—32. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.10.006>
- Ortiz-Lozano, L., Martínez-Esponda, F. X., Escorcia-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.
- Ozmidov, R. V. (1990). *Diffusion of Contaminants in the Ocean*.
- Plan Municipal de Desarrollo. (2011-2013). H. Ayuntamiento Constitucional de Veracruz, Ver. Veracruz Gobierno Municipal. Recuperado el 01 octubre 2022 en: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://www.invedem.gob.mx/wp-content/uploads/sites/26/2014/02/ifm-pmd-veracruz-11-13.pdf>

- Pastor, M. A. (1992). La negación de la historia por el estructural-funcionalismo. Iztapalapa. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 12(26), 169-176.
- Pérez-España, H., Bello-Pineda, J., Ávila-Santiago, P., Berumen-Solorzano, P., Melo-Merino, S., Flores-Arévalo, R. R., Santander-Monsalvo, J., Gómez-Villada, R. S., Román-Vives, M. A., Ruiz-Lozano, C., Alvarado-Tejeda, M., Roldán
- PNUMA (2020). Nuevo fondo público-privado de las Naciones Unidas apoyará los arrecifes de coral. Nature Action. Comunicado de prensa.
- Peixoto, R. S., Rosado, P. M., Leite, D. C. D. A., Rosado, A. S., & Bourne, D. G. (2017). Beneficial microorganisms for corals (BMC): proposed mechanisms for coral health and resilience. *Frontiers in Microbiology*, 8, 341.
- Pelegrí, J. L., Marotta, H., Navarrete, S. A., & Pascual, A. (2018). El papel regulador de los océanos en el sistema terrestre.
- Polson, S. W., Higgins, J. L., & Woodley, C. M. (2008). PCR-based assay for detection of four coral pathogens.
- Rangel-Avalos M.A., Jordan L.K.B., Walker B.K., Gilliam D.S., Carvajal-Hinojosa E. y Spieler R.E. 2008. "Fishes and coral reef communities of the Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Veracruz México preliminary results". *Proc Gulf and Caribbean fish*. 60:427-435.
- Riesenfeld, C. S., Schloss, P. D., & Handelsman, J. (2004). Metagenomics: genomic analysis of microbial communities. *Annu. Rev. Genet.*, 38, 525-552.
- Reis, A. M. M., Araújo Jr, S. D., Moura, R. L., Francini-Filho, R. B., Pappas Jr, G., Coelho, A. M. A., ... & Thompson, F. L. (2009). Bacterial diversity associated with the Brazilian endemic reef coral *Mussismilia braziliensis*. *Journal of applied microbiology*, 106(4), 1378-1387.
- Reynoso, F. L., & Chávez, M. D. R. C. Humedal artificial para tratamiento de aguas residuales del Instituto Tecnológico de Boca del Río: escalamiento. Foro virtual "El uso adecuado del agua residual y otras medidas para mitigar la, 59. Richardson, L. L., Stanić, D., May, A., Brownell, A., Gantar, M., & Campagna, S. R. (2014). Ecology and physiology of the pathogenic cyanobacterium *Roseofilum reptotaenium*. *Life*, 4(4), 968-987.
- Rivera Ortega, Jacqueline. (2015). "Relación entre la descarga del Río Jamapa y las enfermedades coralinas en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio, Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/420443>
- Ritchie, K. B. (2006). Regulation of microbial populations by coral surface mucus and mucus-associated bacteria. *Marine Ecology Progress Series*, 322, 1-14.

- Riveron-Enzastiga, M.L., Carbajal, N. , Salas-Monreal, D. , 2016. Tropical coral reef system hydrodynamics in the western Gulf of Mexico. *Sci. Mar.* 80 (2), 237—246.
- Rodríguez-Gómez, C., Durán-Riveroll, L. M., Okolodkov, Y. B., Oliart-Ros, R. M., García-Casillas, A. M., & Cembella, A. D. (2021). Diversity of Bacterioplankton and Bacteriobenthos from the Veracruz Reef System, Southwestern Gulf of Mexico. *Microorganisms*, 9(3), 619.
- Roger, C. S., Garrison, G., Grober, T., Hillis, Z. M., & Franke, M. A. (1994). Manual para el Monitoreo de Arrecifes de Coral en el Caribe y el Atlántico occidental: St. John, VI: National Park Service, Virgin Islands National Park.
- Rogers, C. S., & Garrison, G. (2001). Manual para el monitoreo de arrecifes de coral en el Caribe y Atlántico occidental. Servicio de Parques Nacionales.
- Rosenberg, E., Koren, O., Reshef, L., Efrony, R., & Zilber-Rosenberg, I. (2007). The role of microorganisms in coral health, disease and evolution. *Nature Reviews Microbiology*, 5(5), 355-362.
- Ronzón, J. (2013). El puerto de Veracruz en las postrimerias del siglo XIX. *Contrates de una ciudad portuaria. Villes en Parallèle*, 47(1), 96-111.
- Ruíz-Saucedo, U. (2006). Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas (DGGIMAR). México, DF.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00338-009-0521-9>
- Salas-Monreal, D., Monreal-Jimenez, R., Contreras-Tereza, V. K., Monreal-Gomez, M. A., Salas-de-Leon, D. A., & Riveron-Enzastiga, M. L. (2022). Hydrographic variation in a tropical coral reef system: The Veracruz Reef System, Gulf of Mexico. *Oceanologia*.
- Salas-Pérez, J. D. J., & Granados-Barba, A. (2008). Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*, 21(3), 281-301.
- Salas-Pérez, J.J., Salas-Monreal, D., Monreal-Gómez, M.A., Riveron-Enzastiga, M.L., and Llasat, C. 2012. Seasonal absolute acoustic intensity, atmospheric forcing and currents in a tropical coral reef system. *Estuar. Coast. and Shelf Sci.* 100:102-112.
- SEDEMA. (2016). Cuidar el agua es cosa de todos 2016. En el marco del Día Mundial del Agua. <http://www.cuidarelagua.cdmx.gob.mx/volumen.html#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20SACMEX,de%20alimentos%2C%20lavar%20frutas%20y>

Secretaría de Protección Civil, Estado de Veracruz. (2020). Calendario de Temporadas y Fenómenos Meteorológicos para el Estado de Veracruz.

Sheppard, C. R. C., S. K. Davy y G. M. Pilling. 2009. The biology of coral reefs. Oxford University press. New York. Pp. 98-99.

SEMARNAT. (2009). Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2008: Compendio de estadísticas ambientales. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_2008/compendio\\_2008/compendio2008/10.100.8.236\\_8080/ibi\\_apps/WFServleta0c5.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008/compendio_2008/compendio2008/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServleta0c5.html)

SEMARNAT. (2020). Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición: Compendio de estadísticas ambientales. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2020/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet7b5b.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2020/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet7b5b.html)

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2022). En línea: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>

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

Sánchez-Salazar, M. T., Martínez-Laguna, N., & Martínez-Galicia, M. (1999). Industria petroquímica y cambios socioeconómicos regionales en la costa del Golfo de México: El caso del sureste de Veracruz. *Investigaciones geográficas*, (40), 127-147.

Sea Temperature INFO, 2022. Temperatura del agua en Veracruz. <https://seatemperature.info/es/junio/mexico/veracruz-temperatura-del-agua-del-mar.html>

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. (2017). Programa de Manejo Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Primera Edición. Recuerdo el 01 de octubre 2021 en: [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_pcy/135\\_DOE.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_pcy/135_DOE.pdf)

SECRETARIA DE TURISMO. (2013-2018). Agenda de competitividad de los destinos turísticos de México Veracruz Boca del Río. Veracruz Gobierno del Estado. <https://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Veracruz.pdf>

Sierra, R. (2011). Calidad del agua Evaluación y diagnóstico. Universidad de Medellín. Ediciones de la U. 1ª edición 2011.

Sussman, M., Willis, B. L., Victor, S., & Bourne, D. G. (2008). Coral pathogens identified for white syndrome (WS) epizootics in the Indo-Pacific. *PLoS one*, 3(6), e2393.

Smithsonian Tropical Research Institute. (2018). La acidificación del océano y los arrecifes. El pegamento que une al arrecife de coral amenazado por el cambio climático. Recuperado

el 15 de noviembre 2021 en: <https://stri.si.edu/es/noticia/la-acidificacion-del-oceano-y-de-los-arrecifes>

- Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley. (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Trujillo A.P. & H.V. Thurman, 2008. *Essentials of Oceanography*. Ninth Edition. Pearson, Prentice Hall. USA. 534 pp
- Tunnell Jr, J. W., Barrera, N., Beaver, C. R., Davidson, J., Gourley, J. E., Moretzsohn, F., ... & Wither, K. (2007). Checklist of the biota associated with southern Gulf of Mexico coral reefs and coral reef islands. GulfBase, base de datos en línea en: [www.gulfbase.org](http://www.gulfbase.org).
- Tunnell, JW (Ed.). (2007). *Arrecifes de coral del sur del Golfo de México*. Prensa de la Universidad de Texas A&M.
- The Nature Conservancy. (2021). Reef Resilience Network. Consultado el 9 de diciembre del 2021, en: <https://reefresilience.org/es/stressors/coral-disease/causes-of-coral-disease/>
- Tomasini Ortiz, C., Moeller Chávez, G., Sánchez Chávez, J., & Bravo Inclán, L. (2012). Cianobacterias y cianotoxinas en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, México.
- USF - University of South Florida. (2002). Unit Four. Deep-Sea Sediment Coring. Retrieved from <https://www.marine.usf.edu/pjocean/packets/sp02/sp02u4p2.pdf>
- United States Environmental Protection Agency. (2022). Drinking Water Requirements for States and Public Water Systems. Drinking Water Regulations. <https://www.epa.gov/dwreginfo/drinking-water-regulations>
- USGS, (2019). Science for a changing world. <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science>
- Ushijima, B., Meyer, J. L., Thompson, S., Pitts, K., Marusich, M. F., Tittl, J., ... & Paul, V. J. (2020). Disease diagnostics and potential coinfections by *Vibrio coralliilyticus* during an ongoing coral disease outbreak in Florida. *Frontiers in microbiology*, 11, 2682.
- Valdés, J., y Castillo, A. (2014). Evaluación de la calidad ambiental de los sedimentos marinos en el sistema de bahías de Caldera (27°S), Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(3), 497–513. <https://doi.org/103856/vol42-issue3-fulltext-10>

- Vidal, V. M., Vidal, F. V., Hernández, A. F., Meza, E., & Zambrano, L. (1994). Winter water mass distributions in the western Gulf of Mexico affected by a colliding anticyclonic ring. *Journal of Oceanography*, 50, 559-588.
- Villegas-Sánchez, C.A., Pérez-España, H., Rivera-Madrid, R., Salas- Monreal, D., Arias-González, J.E., 2013. Subtle genetic connectivity between Mexican Caribbean and southwestern Gulf of Mexico reefs: the case of the bicolor damselfish, *Stegastes partitus*. *Coral Reefs* 33 (1), 241—251. <https://doi.org/10.1007/s00338-013-1083-4>
- Water Science School. (2022). Water Cycle Diagrams. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/water-cycle-diagrams>
- Weather Spark. (2022). Datos históricos meteorológicos de junio de 2022 en Veracruz. <https://es.weatherspark.com/>
- Webb, J. (2009). Cuenta de emisiones. Taller Técnico sobre Compilación de Cuentas de Agua en América Latina Chile. División de Estadísticas de Naciones Unidas.
- Weber, L., DeForce, E., & Apprill, A. (2017). Optimization of DNA extraction for advancing coral microbiota investigations. *Microbiome*, 5(1), 1-14.
- Wells, S., & Ravilious, C. (2006). In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs (No. 24). UNEP/Earthprint.
- Westmacott, S., K. Teleki, S. Wells, y J. M. West. 2000. Manejo de arrecifes de coral blanqueados o severamente dañados. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. 36 pp.
- Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., ... & Goldfarb, L. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

## ANEXO 1

**Cuadro 11.** Formato de identificación para las FC de la zona costera adyacente al PNSAV

### REGISTRO DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Fecha: \_\_\_\_\_ #: \_\_\_\_\_

Numero	Referencia	Latitud Norte	Longitud Oeste	Tipo	Material	Color	Olor	Descarga Presente

DESAGUE FLUVIAL: DF

CAÑERÍA: CÑ

CANAL ABIERTO: CA

ZONA PORTUARIA: ZP

DESCONOCIDO: TD

DESAGUE PLUVIAL: DP

ZONA TURÍSTICA: ZT

CÁRCAMO: CR

ARROYO: AR

RIO: RI

HOTEL: HT

ASTILLERO: AS

**Cuadro 12.** Coordenadas geográficas de las fuentes de contaminación identificadas en las playas de los municipios de Veracruz-Boca del Río.

Zona	Latitud	Longitud	Fuente	Descarga	Mal Olor
	19.201580	-96.135420	Puntual	SI	SI
	19.120580	-93.080740	Puntual	SI	SI
	19.120200	96.075000	Puntual	SI	SI
	19.198995	-96.129755	Puntual	SI	SI
	19.198592	-96.129543	Difusa	NO	SI
	19.198251	-96.130020	Difusa	NO	NO
	19.198251	-96.130020	Difusa	NO	NO
	19.197840	-96.129943	Difusa	NO	NO
	19.197500	-96.129694	Difusa	NO	NO
	19.197330	-96.129573	Difusa	NO	NO
	19.197330	-96.129573	Difusa	NO	NO
	19.195294	-96.127816	Difusa	NO	NO
	19.195270	-96.127752	Puntual	SI	SI
	19.195277	-96.127705	Difusa	NO	NO
	19.195023	-96.127561	Difusa	NO	NO
	19.194775	-96.126876	Difusa	NO	NO
	19.194775	-96.126876	Difusa	NO	NO
	19.194653	-96.126514	Difusa	NO	NO
	19.194605	-96.126241	Difusa	NO	NO
I	19.194438	-96.125990	Difusa	NO	NO
	19.194375	-96.125778	Difusa	NO	NO
	19.194296	-96.125464	Puntual	SI	SI
	19.194296	-96.125464	Puntual	SI	SI
	19.194296	-96.125464	Puntual	SI	SI
	19.194296	-96.125464	Puntual	SI	SI
	19.194296	-96.125464	Puntual	SI	SI
	19.194222	-96.125303	Difusa	NO	NO
	19.194123	-96.125037	Difusa	NO	NO
	19.194104	-96.124447	Difusa	NO	NO
	19.194104	-96.124447	Difusa	SI	NO
	19.194104	-96.124447	Puntual	SI	SI
	19.192418	-96.124009	Difusa	NO	NO
	19.189583	-96.123717	Puntual	NO	NO
	19.189080	-96.123281	Difusa	NO	NO
	19.188588	-96.122924	Difusa	NO	NO
	19.185820	-96.123369	Difusa	NO	NO

Zona	Latitud	Longitud	Fuente	Descarga	Mal Olor
	19.184969	-96.123939	Difusa	NO	NO
	19.184545	-96.124154	Difusa	NO	NO
	19.183827	-96.124322	Puntual	SI	NO
	19.182860	-96.124360	Puntual	NO	NO
	19.180746	-96.124085	Difusa	NO	NO
	19.180075	-96.123449	Puntual	SI	NO
	19.179860	-96.123601	Puntual	SI	NO
II	19.179468	-96.123605	Difusa	NO	NO
	19.179129	-96.123308	Difusa	SI	NO
	19.179129	-96.123308	Difusa	SI	NO
	19.179129	-96.123308	Difusa	NO	NO
	19.178377	-96.122440	Difusa	NO	NO
	19.178377	-96.122440	Difusa	NO	NO
	19.177892	-96.121959	Difusa	NO	NO
	19.177693	-96.121759	Puntual	NO	NO
	19.177463	-96.121491	Puntual	NO	NO
	19.176134	-96.120492	Puntual	SI	NO



Zona	Latitud	Longitud	Fuente	Descarga	Mal Olor
	19.176134	-96.120492	Difusa	NO	NO
	19.175719	-96.120217	Puntual	SI	NO
	19.175007	-96.120144	Difusa	NO	NO
	19.174788	-96.120112	Difusa	NO	NO
	19.174551	-96.120000	Difusa	NO	NO
	19.174309	-96.119908	Difusa	NO	NO
	19.174309	-96.119908	Difusa	NO	NO
	19.174037	-96.119805	Difusa	NO	NO
	19.174037	-96.119805	Difusa	NO	NO
	19.174040	-96.119713	Difusa	NO	NO
	19.174040	-96.119713	Difusa	NO	NO
	19.173647	-96.119632	Difusa	NO	NO
	19.173647	-96.119632	Difusa	NO	NO
	19.172971	-96.119230	Difusa	NO	NO
	19.172971	-96.119230	Difusa	NO	NO
	19.172126	-96.118516	Puntual	SI	SI
	19.172126	-96.118516	Puntual	SI	SI
	19.171818	-96.118407	Puntual	NO	NO
	19.171598	-96.118179	Difusa	NO	NO
	19.171598	-96.118179	Difusa	NO	NO
	19.171542	-96.118076	Difusa	NO	NO
III	19.171207	-96.117880	Difusa	NO	NO
	19.171037	-96.117721	Difusa	NO	NO
	19.171037	-96.117721	Difusa	NO	NO
	19.170882	-96.117590	Difusa	NO	NO
	19.170657	-96.117368	Difusa	NO	NO
	19.170657	-96.117368	Difusa	NO	NO
	19.170432	-96.117199	Difusa	NO	NO
	19.170432	-96.117199	Difusa	NO	NO
	19.169429	-96.116179	Puntual	SI	SI
	19.169284	-96.115776	Puntual	SI	SI
	19.169083	-96.115072	Difusa	NO	NO
	19.169019	-96.114884	Difusa	NO	NO
	19.169019	-96.114884	Difusa	NO	NO
	19.168873	-96.114497	Difusa	NO	NO
	19.168149	-96.111207	Puntual	SI	NO
	19.167598	-96.108839	Difusa	NO	NO
	19.166208	-96.106796	Difusa	NO	NO

Zona	Latitud	Longitud	Fuente	Descarga	Mal Olor
	19.165583	-96.105428	Puntual	SI	NO
	19.163845	-96.104735	Difusa	SI	NO
	19.163353	-96.104367	Difusa	NO	NO
IV	19.162746	-96.103539	Difusa	NO	NO
	19.161641	-96.102345	Puntual	SI	NO
	19.161536	-96.102288	Puntual	SI	NO
	19.159623	-96.099267	Puntual	SI	SI

Zona	Latitud	Longitud	Fuente	Descarga	Mal Olor
	19.155227	-96.096062	Puntual	SI	NO
	19.155227	-96.096062	Puntual	SI	NO
	19.149687	-96.093648	Puntual	SI	NO
	19.147085	-96.095323	Puntual	SI	NO
	19.147060	-96.095375	Puntual	SI	NO
	19.146029	-96.096538	Difusa	NO	NO
	19.145580	-96.097493	Difusa	NO	NO
V	19.145251	-96.098429	Puntual	NO	NO
	19.145131	-96.098682	Difusa	NO	NO
	19.143742	-96.100077	Difusa	NO	NO
	19.142958	-96.100514	Difusa	NO	NO
	19.142141	-96.100838	Difusa	NO	NO
	19.140732	-96.101373	Puntual	SI	SI
	19.139649	-96.101464	Puntual	SI	SI
	19.138790	-96.101671	Puntual	SI	SI
	19.138262	-96.101759	Puntual	SI	SI
	19.138262	-96.101759	Puntual	SI	SI

Zona	Latitud	Longitud	Desagüe	Descarga	Mal Olor
	19.136136	-96.101689	Residual	SI	NO
	19.135719	-96.101819	Residual	SI	NO
	19.135719	-96.101819	Residual	SI	NO
	19.129941	-96.104889	Residual	SI	NO
	19.129300	-96.105229	Residual	SI	SI
	19.129015	-96.105347	Residual	NO	NO
	19.128538	-96.105444	Residual	SI	NO
	19.127841	-96.105509	Residual	SI	NO
	19.126074	-96.105590	Residual	SI	SI
	19.125491	-96.105442	Pluvial	NO	NO
	19.124694	-96.105589	Residual	SI	SI
VI	19.124694	-96.105589	Residual	SI	SI
	19.124140	-96.105521	Pluvial	NO	NO
	19.124140	-96.105521	Pluvial	NO	NO
	19.123779	-96.105457	Pluvial	NO	NO
	19.122940	-96.105328	Pluvial	NO	NO
	19.122558	-96.105245	Pluvial	NO	NO
	19.122349	-96.105237	Pluvial	NO	NO
	19.121885	-96.105128	Pluvial	NO	NO
	19.120410	-96.104624	Pluvial	NO	NO
	19.119333	-96.104311	Pluvial	SI	NO
	19.118709	-96.104238	Pluvial	NO	NO
	19.117398	-96.103697	Pluvial	NO	NO
	19.114560	-96.103006	Residual	SI	NO
	19.110481	-96.102079	Residual	SI	SI

Zonas	Latitud	Longitud	Fuente	Descarga	Mal olor
	19.0569404	-95.007315	Difusa	SI	NO
	19.0622367	-95.994933	Puntual	SI	SI
VIII	19.0626122	-95.991457	Puntual	SI	SI
	19.0632194	-95.998817	Puntual	SI	SI
	19.063292	-95.987147	Puntual	SI	SI

Zona	Latitud	Longitud	Fuente	Descarga	Mal Olor
	19.109180	-96.101400	Puntual	SI	SI
	19.108474	-96.101176	Difusa	NO	NO
VII	19.104128	-96.098196	Difusa	NO	NO
	19.104128	-96.098196	Difusa	NO	NO
	19.104128	-96.098196	Difusa	NO	NO
	19.102774	-96.100256	Puntual	SI	SI