



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL SISTEMA LAGUNAR MANDINGA MEDIANTE EL MODELO
CONCEPTUAL PRESIÓN-ESTADO-RESPUESTA.**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

PAULINA ABURTO RIOS

Director de tesis:
Dr. Eduardo Torres Ramírez

Diciembre 2019



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”

***DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL SISTEMA LAGUNAR MANDINGA MEDIANTE EL MODELO
CONCEPTUAL PRESIÓN-ESTADO-RESPUESTA.***

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

PAULINA ABURTO RIOS

Comité tutorial:

Director	Dr. Eduardo Torres Ramírez
Co-Director	Dr. Miguel Ángel Méndez Rojas
Tutora	Dra. Rosalia del Carmen Castelán Vega
Integrante Comité Tutorial	Dra. Wendy Argelia García Suastegui
Integrante Comité Tutorial	Mtro. Silvestre Toxtle Tlamani

Diciembre 2019

AGRADECIMIENTOS

En especial a mi madre, por hacer de mí una mujer de bien, trabajadora y responsable. Por ayudarme a cumplir con los sueños y deseos que me he planteado, así como impulsarme a vencer los miedos y obstáculos durante mi formación personal. Por ser mi guía, consejera y compañera en cada viaje y aventura emprendida. Le agradezco todo el amor que me han brindado, todo lo que tengo y lo que soy.

A mi padre, por cuidarme y apoyarme, por ser sostén en las adversidades más difíciles y por enseñarme con su ejemplo a perseverar siempre.

A la Dra. Rosalía Castelán Vega por ser faro que guía en la oscuridad, por los consejos y el apoyo brindados y su disposición entera siempre que lo necesité, por su amistad invaluable y por ser pieza clave en la realización de esta tesis. Gracias por ser ejemplo en todos los aspectos, mi respeto y admiración para ella siempre.

Agradezco a los miembros del Comité Tutorial: Dr. Miguel Ángel Méndez, Dra. Wendy García y Mtro. Silvestre Toxtle, por sus oportunas recomendaciones en el desarrollo de este trabajo de investigación y su gran disposición.

A la BUAP, la UDLAP y la USC por permitirme realizar este trabajo de tesis dentro de sus instalaciones.

A Itzel Arroyo y Lesset Ramos por su verdadera amistad y apoyo incondicional, por sus consejos y regaños, por creer e impulsar a no rendirme, no lo hubiera logrado sin ustedes.

A las personas de las comunidades de “Mandinga y Matoza”, por abrirme las puertas y toda la atención y apoyo brindado.

A CONACyT por el apoyo económico brindado durante el desarrollo de esta tesis.

A la VIEP por el apoyo económico para la participación de mi estancia en a USC.

Al Posgrado en Ciencias Ambientales por permitirme formar parte del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla para finalizar la Maestría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDIE DE FIGURAS	6
<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	7
<i>II. JUSTIFICACIÓN</i>	10
<i>III. MARCO TEÓRICO</i>	12
3.1 Antecedentes	13
3.1.1 Ecosistema	13
3.1.1.1 Humedales	14
3.1.1.1.1 Lagunas Costeras	16
3.1.1.1.2 Laguna de Mandinga	18
3.1.2 Tecnología Ambiental: Procesos avanzados de oxidación	20
3.1.2.1 Reacciones de Fenton	21
3.1.3 Modelo Presión-Estado-Respuesta	23
3.2 Marco Conceptual	25
3.2.1 Tipo de Investigación	25
3.2.2 Paradigma	25
3.2.3 Enfoque epistemológico	25
3.2.4 Teorías que soportan la investigación	25
3.3 Marco legal	26
3.3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	26
3.3.2 Leyes, reglamentos y normatividad	26
<i>IV. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</i>	27
4.1 Pregunta de investigación	27
<i>V. HIPÓTESIS</i>	28
<i>VI. OBJETIVOS</i>	28
6.1 Objetivo General	28
6.2 Objetivos Específicos	28
<i>VII. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</i>	28
7.1 Localización	28

7.2 Fase de Gabinete	29
7.3 Fase de campo	30
7.3.1 Establecimiento del experimento	30
7.3.2 Muestreos de campo	30
7.4 Fase de laboratorio	30
7.4.1 Caracterización fisicoquímica del agua de Mandinga	30
7.4.2 Pruebas de oxidación	31
7.4.2 Optimización de condiciones de reacción	31
VIII. RESULTADOS	33
8.1 Caracterización de la Laguna de Mandinga	33
8.2 Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER)	35
8.2.1 Presiones	35
8.2.1.1 Población total	36
8.2.1.2 Marginación y Rezago Social	37
8.2.2 Estado	42
8.2.3 Respuesta	52
8.2.4 Propuesta tecnológica: Oxidación tipo Fenton con nanocatalizadores ecoamigables	57
8.2.5 Optimización de condiciones de reacción	59
X. CONCLUSIONES	64
XI. LITERATURA CITADA	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de humedales de México	14
Tabla 2. Servicios ecosistémicos que brindan los humedales	15
Tabla 3. Impactos ambientales sobre la Laguna de Mandinga	19
Tabla 4. Ejemplos de algunos PAO's	21
Tabla 5. Kits utilizados para la caracterización de muestras de agua del sistema lagunar Mandinga	31
Tabla 6. Datos geográficos y biofísicos del sistema lagunar Mandinga	34
Tabla 7. Población por sitio del Sistema lagunar de Mandinga	37
Tabla 8. Indicadores de marginación del sitio manglar	38
Tabla 9. Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera de la Laguna de Mandinga	39
Tabla 10. Uso de suelo y vegetación en Km ² durante el periodo de 2001, 2009 y 2016 en el sistema lagunar de Mandinga	43
Tabla 11. Monitoreo de la caracterización de las muestras de agua de la Laguna de Mandinga	49
Tabla 12. Escala de clasificación de calidad de agua superficial con base en la DQO, DBO ₅ y SST de CONAGUA	50
Tabla 13. Indicadores de calidad ambiental del Sistema Lagunar Mandinga	51
Tabla 14. Relaciones caussales (Presiones, Estado y Respuestas) identificadas en el sistema lagunar de Mandinga, Veracruz	56
Tabla 15. Nanopartículas magnéticas utilizadas para la degradación de pireno	59
Tabla 16. Porcentaje de Pireno remanente en reacciones con diferentes nanopartículas	60
Tabla 17. Porcentaje de degradación y adsorción de pireno a diferentes concentraciones de nanopartículas Fe ₃ O ₄ @Citrato	61
Tabla 18. Porcentaje de degradación y adsorción de pireno a diferentes concentraciones de nanopartículas de Fe ₃ O ₄ @PAA	62
Tabla 19. Calidad de agua de Mandinga antes y después del tratamiento de nanopartículas de magnetita estabilizadas con citrato de sodio propuesto	63

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de localización del sistema lagunar de Mandinga</i>	18
<i>Figura 2. Modelo Presión-Estado-Respuesta (P-E-R)</i>	24
<i>Figura 3. Mapa del sistema lagunar Mandinga</i>	29
<i>Figura 4. Distribución del espacio del sistema lagunar de Mandinga</i>	41
<i>Figura 5. Mapa de cambios de uso de suelo y vegetación del Sistema Lagunar de Mandinga 2001-2009</i>	44
<i>Figura 6. Mapa de cambios de uso de suelo y vegetación del Sistema Lagunar de Mandinga 2001-2016</i>	45
<i>Figura 7. Mapa de cambios de uso de suelo y vegetación del Sistema Lagunar de Mandinga 2009-2019</i>	46
<i>Figura 8. Puntos de toma de muestra de aguas.</i>	47
<i>Figura 9. Diagrama de complejidad de la problemática identificada en el sistema lagunar de Mandinga</i>	56
<i>Figura 10. Cromatograma de pireno</i>	60

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los bienes naturales más importantes debido a que es indispensable para la subsistencia de la vida en el planeta tal y como la conocemos; constituye gran parte del cuerpo de la mayoría de los organismos, interviene en los procesos metabólicos de los seres vivos y es el hábitat de varias especies; además, es esencial para la regulación del clima. Para los seres humanos, es indispensable en actividades como la agricultura, la pesca, la producción de energía, la industria, el transporte y el turismo; sin embargo, debido al manejo inadecuado de estas actividades, gran cantidad de desechos contaminantes son vertidos al agua, afectando su calidad, y, por consiguiente, la cantidad disponible. La contaminación del agua y su escasez plantean amenazas para la biodiversidad, la salud de los ecosistemas, la salud humana y la calidad de vida (Caríssimo *et al.*, 2013).

Uno de los principales problemas del siglo XXI es el desequilibrio ambiental causado por la presencia de varios contaminantes (Albert, 2004), a los cuales los ecosistemas acuáticos son vulnerables (Toledo *et al.*, 2016), pues además de los derrames, también reciben constantemente varios tipos de contaminantes orgánicos de aguas residuales municipales, hospitales, industrias y efluentes agrícolas (Rabodonirina *et al.*, 2015); así que debido a su amplia distribución en el ambiente (Ortiz-Salinas, *et al.*, 2012) una amplia gama de la vida marina se está viendo afectada con esta problemática (Johnson Retsrepo *et al.*, 2008).

En el estado de Veracruz, se localiza la Laguna Mandinga, una zona ecológica importante debido a su actividad económica que es considerada una fuente de recursos pesqueros y turísticos para la región; sin embargo, durante los últimos veinte años, la Laguna de Mandinga ha experimentado cambios sociales y económicos notables debido a las actividades humanas, lo que ha repercutido en un impacto ambiental relevante. Por un lado, las actividades económicas de los sectores agricultura, turismo y urbanización han provocado cambios en la demografía y en los usos del suelo y vegetación; además, se ha demostrado la contaminación del agua por la presencia de metales pesados, principalmente Cr, Cd y Pb, así como los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP's) y plaguicidas, causados por la escorrentía de descargas agrícolas, desechos domésticos e industriales en la zona, y debido a las actividades de extracción de petróleo del Estado (Guzmán-García *et al.*, 2009). Las afectaciones ambientales causadas por el desarrollo urbano de los últimos años, conlleva a requerir grandes espacios para la satisfacción de las necesidades alimenticias de

la población y de materias primas, lo cual genera procesos de degradación ambiental, tal como reducción de la capacidad de recarga de acuíferos, degradación de la calidad del agua y por ende, de los servicios ecosistémicos proporcionados por el sistema lagunar Mandinga, además del aumento del volumen de descargas y sedimentos a la laguna (Tang *et al.*, 2005).

Actualmente, las aguas contaminadas por la actividad humana pueden ser procesadas eficientemente empleando plantas de tratamiento que utilizan métodos químicos, fisicoquímicos y biológicos convencionales; sin embargo, en algunos casos estos procesos resultan inadecuados para alcanzar el grado de calidad requerido (Pérez, 2013). De ahí la importancia de generar medidas de prevención, control y remediación para disminuir el impacto ambiental de estos compuestos; es por ello que este trabajo se enfocará en una técnica de remediación sustentable, pues estos métodos satisfacen las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (Enger y Smith, 2010); así es como estas estrategias no sólo implican un beneficio económico, sino que se evitarán la sobreexplotación de recursos naturales y la alteración de los ecosistemas. Entre las tecnologías sustentables potenciales de aplicación se encuentran los procesos biológicos y los procesos de oxidación avanzada; estas últimas se basan en la generación de radicales hidroxilo (**•OH**) logrando degradar una gran cantidad de contaminantes; por ejemplo, los procesos fotocatalíticos Fenton, característicos por la combinación del ion ferroso con peróxido de hidrógeno (García *et al.*, 2011), son altamente eficientes para degradar una variedad amplia de contaminantes, y en los últimos años las investigaciones se han orientado hacia la inmovilización de compuestos de hierro en diversos sustratos o la utilización de óxidos de Fe insolubles (goethita, magnetita y hematita) como catalizadores en reacciones de Fenton. Lo anterior debido principalmente a las ventajas que éstos traen al proceso, como el bajo costo, la casi nula toxicidad, las condiciones en las cuales se puede trabajar, así como la facilidad de poder ser recuperadas fácilmente y poder ser reutilizadas (Pérez, 2013).

Por lo anteriormente expuesto, es de suma importancia el tratamiento adecuado de contaminantes en sistemas acuáticos; es por ello, que en este trabajo se presentará una propuesta de tratamiento de contaminantes basado en el uso de catalizadores químicos considerados amigables (por las condiciones suaves de reacción aplicadas); y así, mejorar la calidad del agua en

el sistema lagunar de Mandinga y reducir el impacto de estos contaminantes. En este sentido, se propone como primer paso, la aplicación del modelo Presión-Estado-Respuesta (P-E-R) como un modelo de evaluación del estado ambiental del sistema lagunar Mandinga y, además, se propone una tecnología de mitigación de la contaminación. El modelo PER permite identificar las relaciones causales de la degradación ambiental, los efectos, y permite además analizar o proponer respuesta de intervención para prevenir, detener o mitigar la degradación ambiental.

II. JUSTIFICACIÓN

El sistema lagunar Mandinga es una zona ecológica de relevancia por la cantidad y calidad de los servicios ecosistémicos que provee como refugio de aves, hábitat de especies biológicas, regulador de clima, sitio de recreación y fuente de alimentos. Sin embargo, la intensidad de las actividades económicas de la zona inmediata y de los alrededores, ha mermado esa capacidad ambiental. La falta de la integración en la información del estado ambiental de la laguna no ha permitido un diagnóstico certero que permita eventualmente en una toma de decisiones adecuadas para la mejora del ecosistema. Es necesario entonces documentar la situación ambiental del sistema lagunar Mandinga de manera integrada, que permita conocer las relaciones causales de la degradación ambiental (sociales, económicas, políticas), los efectos en salud y en el ecosistema, y la efectividad de las intervenciones realizadas anteriormente, así como proponer intervenciones basadas en las causas considerando los probables efectos de las mismas. Particularmente preocupante es la contaminación acuosa de la Laguna, dado que es uno de los principales problemas ambientales del sistema lagunar. La degradación de los contaminantes orgánicos en sistemas acuosos implica un importante desafío en la gestión integral del agua. Respecto a las tecnologías de tratamiento, los tratamientos fisicoquímicos convencionales para la degradación éstos resultan costosos y conlleva un impacto ambiental por las condiciones de trabajo, por lo que su uso genera nuevos residuos que deben ser tratados; por otro lado, los tratamientos biológicos requieren mayores tiempos de tratamiento, además de necesitar condiciones específicas para favorecer la actividad del microorganismo, lo que también disminuye la factibilidad técnica del proceso. Es por esta razón que una alternativa tecnológica es la aplicación de procesos avanzados de oxidación (PAO's) como pre- o post- tratamiento, ya que puede

contribuir de manera importante a la solución sobre la contaminación de compuestos persistentes. Entre la variedad de PAO's, el proceso Fenton ha sido reconocido por su alta eficiencia en su aplicación, y sobre todo, por su carácter sustentable al utilizar condiciones suaves de reacción, no demandar energía, y por utilizar químicos no tóxicos; particularmente, el uso de catalizadores heterogéneos en este proceso, como la magnetita, presenta varias ventajas, pues gracias a sus propiedades magnéticas, es efectivo en la remoción de contaminantes en mantos acuíferos, al mismo tiempo de poder separarse fácilmente del efluente y ser reutilizado.

Partiendo desde esta perspectiva, la contribución de este trabajo se basa en el diagnóstico integral de la situación ambiental del sistema lagunar mandinga, y la propuesta de intervención tecnológica contribuirá eventualmente a mejorar la calidad de los servicios ecosistémicos, ya que el agua que se ha elegido para el estudio es utilizada por la población para fines económicos, de alimentación, recreativos, de riego, entre otros; además, al eliminar o disminuir la contaminación se contribuye a la restauración y conservación del hábitat de las diversas especies presentes en el sistema lagunar de Mandinga.

Finalmente, en el ámbito social, la generación de información técnico-científico sobre la presencia, efectos y degradación de estos contaminantes puede contribuir positivamente en la percepción pública de la importancia y el impacto de estos en la naturaleza.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

3.1.1 Ecosistema

Existen varias definiciones del término ecosistema. Según una definición típica, el ecosistema es una comunidad biológica junto con su entorno físico. Sin embargo, esta definición no incluye los grandes hallazgos experimentales y conceptos teóricos que se han acumulado en la ecología durante las últimas décadas. Por lo que una definición más completa expone que un ecosistema es el complejo de organismos vivos interconectados entre sí, que habitan un área o unidad de espacio particular, junto con su entorno y todas sus interrelaciones y relaciones con el entorno. El ecosistema se caracteriza por la abundancia de las poblaciones de especies individuales, las relaciones interespecies, la actividad de los organismos, las características físicas y químicas del medio ambiente, los flujos de materia, energía e información y la descripción de los cambios de estos parámetros con el tiempo (Ostroumov, 2002). Esta definición se aplica tanto a ecosistemas acuáticos como a ecosistemas terrestres, así como además de sistemas naturales o modelos de diversos rangos y grados de complejidad.

Por lo anterior se puede decir que la mejor manera de definir un ecosistema es describiendo sus características y propiedades. Primero, hay que pensar en los ecosistemas como sistemas, es decir, en un conjunto de elementos, componentes o unidades relacionadas entre sí. Cada uno de estos componentes puede estar en diferentes estados o situaciones; el estado seleccionado del sistema, en un momento dado, es producto de las interacciones que se dan entre los componentes (Mass y Martínez, 1990). Además, los ecosistemas brindan los llamados servicios ecosistémicos, los cuales se definen como los beneficios de los ecosistemas que son útiles para los seres humanos (MEA, 2005). Los servicios ecosistémicos pueden ser de cuatro tipos diferentes según sea su función y beneficio:

- Servicios de apoyo; son aquellos necesarios para la producción de todos los demás servicios del ecosistema, como lo es el hábitat de las especies.
- Servicios de aprovisionamiento; se refieren a los bienes obtenidos de los ecosistemas tales como alimentos, agua, minerales y madera.

- Servicios de regulación del clima y las precipitaciones; los cuales brindan beneficios en cuanto a la regulación de los procesos de los ecosistemas como es la purificación del agua y el aire, la polinización, entre otros.
- Servicios culturales; éstos proporcionan belleza e inspiración para contribuir al bienestar espiritual del ser humano (MEA, 2005).

Según sus características, los ecosistemas pueden ser pastizales, bosques, selvas, desiertos, tundras, ecosistemas marinos, entre otros.

3.1.1.1 Humedales

Los humedales son ecosistemas de gran importancia para el ser humano, ya que proporcionan recursos y servicios ambientales de gran valor para el hombre, sin embargo, por ser zonas pantanosas son poco conocidos y apreciados.

La Ley de Aguas Nacionales define a los humedales como zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional, las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico (Ambiente, 2014).

Por su parte, La Convención Internacional sobre Humedales de Importancia para Aves (RAMSAR), define más ampliamente a los humedales como todas las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, los cuales pueden incluir a manglares y arrecifes de coral (Moreno *et al.*, 2010; CONANP, 2013).

Los humedales provienen de una saturación del terreno por agua, la cual produce sustratos hídricos que son sometidos a procesos anaeróbicos, lo que permite el establecimiento de la biota, principalmente plantas enraizadas, las cuales presentan adaptaciones para tolerar la anegación (Keddy, 2004).

Debido a las diferentes características que se presentan en cada región en cuanto al clima, el régimen hidrológico, los procesos de formación del suelo y los escenarios geomorfológicos, grandes comunidades de plantas de humedales y tipos de suelos hídricos han evolucionado en el

planeta (Berlanga *et al.*, 2008). Por lo anterior, los humedales se caracterizan por su alta productividad y diversidad biológica, alcanzando un papel primordial al proveer un hábitat único para una gran variedad de especies. Además, los manglares son fuente, sumidero y transformadores de materiales químicos y biológicos; ayudan a estabilizar los suministros de agua y favorecen la depuración de aguas contaminadas, en la protección de litorales y en la recarga de los mantos freáticos (Mejía *et al.*, 2014).

Existen varias clasificaciones de humedales, sin embargo, la clasificación propuesta por Berlanga *et al.* (2008) es la que mejor se adapta para el caso de México (*Tabla 1*):

Tabla 1. Clasificación de humedales de México.

Ámbito	Sistema	Clase
Marino-costero	Sistema Marino	Franja acuática costera Litoral
	Sistema Estuarino	Estero, laguna costera Marismas
Continental	Sistema Fluvial	Río, caverna Arroyo, riachuelo Canal
	Sistema Lacustre	Lago, ciénega, cenote Charca Cubeta inundada
	Palustre	Zanja Depresión húmeda Pantano, turbera, popal Llanura inundada Llanura húmeda Pendiente húmeda Montaña húmeda
Artificiales		Estanques de acuicultura Estanques artificiales Tierras de regadío Tierras agrícolas Zonas de explotación de sal Áreas de almacenamiento de aguas Excavaciones, canteras, piletas Áreas de tratamiento de agua Canales de transportación y de drenaje

(Berlanga *et al.*, 2008).

Además, los humedales son ecosistemas de suma importancia para el ser humano debido a su alta productividad, pues éstos suministran gran cantidad de beneficios entre los que destacan los servicios ecosistémicos (Tabilo, 2003) como se muestra en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Servicios ecosistémicos que brindan los humedales.

Humedales continentales	
Servicio	Comentarios y ejemplos
Aprovisionamiento	
Alimento	Producción de pescado, caza, frutas y granos.
Agua dulce	Almacenamiento y retención de agua; abastecimiento de agua para irrigación y uso doméstico.
Fibra y combustible	Obtención de troncos, leña, turba, forraje, aglomerados.
Productos bioquímicos	Extracción de materiales de la biota.
Materiales genéticos	Medicinas; genes para la resistencia a patógenos de plantas, especies ornamentales, etc.
De apoyo	
Biodiversidad	Hábitat para especies residentes o transitorias.
Formación de suelos	Conservación de sedimentos y provisión de materia orgánica.
Ciclo de los nutrientes	Almacenaje, reciclaje, procesamiento y adquisición de nutrientes.
Polinización	Apoyo a los polinizadores.
Regulación	
Regulación del clima	Regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos.
Regímenes hidrológicos	Recarga y descarga de agua subterráneas; almacenamiento de agua para agricultura o industria.
Control de la contaminación y detoxificación	Retención, recuperación y eliminación del exceso de nutrientes y contaminantes.
Protección contra la erosión	Retención de suelos y prevención de cambios estructurales (como la erosión costera, caída de barrancos, etc.).
Desastres naturales	Control de inundaciones, protección contra las tormentas.
Culturales	
Espirituales y de inspiración	Sentimientos y bienestar personal.
Recreativos	Turismo y actividades recreativas.
Estéticos	Valoración de las bellezas naturales.
Educacionales	Oportunidades para la educación formal y no formal y para capacitación.

(MEA, 2005)

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que los humedales proporcionan una gran diversidad de servicios vitales para el bienestar humano. Sin embargo; a pesar de la importancia económica, ecológica y cultural de estos ecosistemas, siguen siendo impactados por los procesos de cambio que provoca el cambio climático global (como el aumento global del nivel del mar, las sequías y las inundaciones) y por la presión del humano; lo anterior se debe principalmente a la intensificación de la agricultura y el crecimiento urbano. Los humedales tienen un alto grado de complejidad biológica, que los hace realmente vulnerables al cambio (CONANP, 2013).

3.1.1.1.1 Lagunas Costeras

Los océanos del mundo, su temperatura, composición química, corrientes y vida son el motor de los sistemas globales que hacen que la Tierra sea un lugar habitable para la inmensa variedad de formas de vida que actualmente conviven ahí. Los océanos también absorben alrededor del 30 por ciento del dióxido de carbono generado por las actividades humanas, por lo que es un importante regulador del calentamiento global; además, los medios de vida de más de 3.000 millones de personas dependen de la biodiversidad marina y costera; sin embargo, la contaminación marina, que proviene en su mayor parte de fuentes terrestres, ha llegado a niveles alarmantes y se ha registrado un 26 por ciento de aumento en la acidificación de los mares desde el inicio de la revolución industrial. Es por eso, que los objetivos de Desarrollo Sostenible generan un marco para ordenar y proteger de manera sostenible los ecosistemas marinos y costeros de la contaminación terrestre (PNUD, 2016).

Las lagunas costeras ocupan el 13% de las áreas costeras en el mundo, y están presentes en todos los continentes excepto en la Antártida. Se encuentran a lo largo de las costas de África (17.9%) y del norte de América (17.6%), en Asia (13.8%), América del Sur (12.2%), Australia (11,4%) y Europa (5,3%) (Barnes, 1980). El tramo más extenso de lagunas costeras es a lo largo de las costas del Atlántico y del Golfo de los Estados Unidos, donde cubren aproximadamente 2800 km de costa (Anthony, et al., 2009). Sin embargo, también son comunes en las costas orientales de Sudamérica y la India, el sur de Gran Bretaña y el oeste de Francia, la costa occidental de África y el sureste de Australia, así como a lo largo de las costas de los mares Báltico, Negro, Caspio y Mediterráneo (Kjerfve, 1994).

La República Mexicana cuenta con 11,592.77 km de costas, 8,475.06 km corresponden al margen costero del Pacífico y 3,117.71 al del Golfo de México y mar Caribe. Su plataforma continental es de aproximadamente 394,603 km², siendo mayor en el Golfo de México; además cuenta con 12,500 km² de sistemas costeros (INEGI-SEPESCA, 1987; Castañeda y Contreras, 2003). La configuración geomorfológica a partir de costas de barrera permite una transición de aguas interiores protegidas de diversos componentes hidrográficos como lagunas, estuarios, esteros, marismas y bahías, escasamente diferenciados, pero incluidos en una designación común de "lagunas costeras" (Smith, 1980). Este tipo de ecosistemas son altamente productivos, ya que brindan una enorme gama de servicios naturales a la sociedad (Anthony *et al.*, 2009); su función ecológica radica en su alta productividad primaria que permite a estos ecosistemas ser un lugar de crianza, reproducción y resguardo de muchos organismos acuáticos, permitiendo así, concentrar un gran espectro de la biodiversidad (Contreras *et al.*, 2002).

Las lagunas costeras son cuerpos o masas de agua continentales salobres o marinos, generalmente orientadas paralelas a la costa poco profundos separados del océano por una isla barrera, arrecife o banco de arena y conectado al menos de forma intermitente al océano abierto por una o más entradas de marea restringidas. Por lo tanto, las lagunas costeras pueden estar parcial o totalmente encerradas, dependiendo de la extensión de la barrera terrestre, que impide el intercambio de agua entre la cuenca y el océano y tiende a amortiguar las olas y el viento. El término "laguna costera" se aplica solo cuando el ancho de las entradas con marea alta es inferior al 20% de la longitud total de la barrera que lo rodea (Kjerfve, 1994; Kennish y Paerl, 2010).

La clasificación de estos ecosistemas varía según sus características, tales como: la composición de materiales, la dinámica y evolución, la función del comportamiento tectónico, la estructura geológica, la productividad biológica y ecológica, la importancia geográfica o estratégica, la red fluvial, el intercambio energético, la geología, el clima, la vegetación, la localización económica y sociológica, la evolución antropológica, entre otras, por las cuales las cifras en los inventarios nacionales varía dependiendo del autor; según, Lankford (1977) señaló 125 lagunas, mientras Castañeda y Contreras (2003) contabilizaron 600, y Ortiz y de la Lanza (2006) 164 lagunas en el territorio nacional mexicano.

3.1.1.1.2 Laguna de Mandinga

La laguna Mandinga se localiza en el estado mexicano de Veracruz, es una importante zona ecológica que, en términos económicos, sostiene una alta producción de ostras, ya que contribuye con el 32% de la producción de ostras en todo el estado de Veracruz, el primer productor de ostras en México (Palacios y Vargas, 2002). El sistema lagunar de Mandinga está constituido por un conjunto de lagunas costeras intercomunicadas entre sí y separadas del mar por una barrera arenosa, pero comunicadas con éste por el estuario del río Jamapa, el cual nace con los deshielos del Pico de Orizaba, recorre 150 km; corre de oeste a este y recibe varios afluentes de los ríos Huatusco, Cotaxtla, Totolapan, desemboca en el Golfo de México, en el lugar conocido como Boca del Río próximo a la Ciudad de Veracruz. El sistema está integrado por los cuerpos lagunares de Mandinga grande, Mandinga y El Conchal (Lara-Domínguez, *et al.*, 2009) como se muestra en la *Figura 1*.



Figura 1. Mapa del sistema lagunar de Mandinga.

(Google Earth, 2019).

Debido a su alta producción biótica y su valor para el desarrollo turístico y residencial, las lagunas a menudo se usan en exceso para la pesca y la acuicultura, el transporte, la producción de

energía y otras actividades humanas, representando por lo anterior un sistema de importancia social y económica de la región.

Por otro lado, la actividad económica de la región ha provocado la contaminación por metales pesados, principalmente Cr, Cd, y Pb, así como HAP's y plaguicidas, ocasionados por la esorrentía de descargas domiciliarias e industriales en el área (Pérez-Cruz *et al.*, 2013; Guzmán-García *et al.*, 2009). Otros impactos ambientales se resumen en la *Tabla* .

Tabla 3. Impactos ambientales sobre la Laguna de Mandinga.

Impactos ambientales
• Cambio de uso de suelo para la actividad de la ganadería.
• Desarrollo urbano.
• Descargas de la zona conurbada de Boca del Río.
• Contaminación por residuos sólidos, agroquímicos y fertilizantes.
• Daño por embarcaciones.
• Desarrollo industrial (puerto de Veracruz).
• Producción y exploración petrolera.
• Cambios en la densidad de la población.
• Construcción de caminos.
• Alteración del flujo hidrológico.
• Trabajos de limpieza y dragado en la Laguna.

(Lara-Domínguez, *et al.*, 2009).

Los impactos ambientales que resultan requieren estrategias de gestión sólidas a largo plazo, de sostenibilidad ambiental y de recursos, ya que son un riesgo ecológico para los organismos acuáticos y terrestres presentes en el sistema lagunar Mandinga (Guzmán-García *et al.*, 2009), además del riesgo para la salud de los pobladores o de los consumidores de especies, sin mencionar las afectaciones a las actividades socioeconómicas como la pesca y el turismo.

La historia ambiental considera a la relación sociedad-naturaleza como un proceso dinámico que cambia a lo largo del tiempo y territorializa el conflicto de la apropiación del espacio natural (Bustamante, 2011). Como se mencionó con anterioridad, los humedales costeros son ecosistemas complejos en los cuales se llevan a cabo una gran cantidad de interacciones por lo que las funciones del sistema lagunar de Mandinga llamados servicios ecosistémicos (Costanza, 1997;

Daily, 1997), son la base de la economía del lugar y sus flujos impactan la forma de vida, la migración, la salud y las relaciones sociales en los asentamientos humanos (MEA, 2005). La interdependencia entre la parte social y ambiental es especialmente evidente en las sociedades que dependen directamente de los servicios ecosistémicos que les provee su medio ambiente inmediato tal como lo es en el ecosistema lagunar de Mandinga (Adger, 2000; Fraser *et al.*, 2003).

3.1.2 Tecnología Ambiental: Procesos avanzados de oxidación

Es por lo anterior, que los avances tecnológicos también son esenciales para encontrar soluciones permanentes a los desafíos económicos y ambientales. Otras formas importantes para facilitar el desarrollo sostenible son la promoción de industrias sostenibles y la inversión en investigación e innovación científicas (PNUD, 2016).

El reto clave a largo plazo consiste en realizar innovaciones del sistema, por ejemplo, combinaciones de innovaciones tecnológicas, organizativas y sociales en muchas áreas de la actividad económica que permitan aunar objetivos económicos, sociales y ambientales. Las tecnologías ambientales antiguamente se asociaban a sectores individuales, no obstante, en la actualidad, están emergiendo cada vez más y se consideran cruciales (biotecnología, nanotecnología, materiales, entre otras); se caracterizan por un alto grado de diversidad y heterogeneidad; el término se usa para incluir tecnologías y aplicaciones que se supone ayudan a reducir el impacto negativo de la actividad industrial y servicios, de usuarios privados o públicos sobre el medioambiente. El concepto normalmente se refiere a tecnologías “al final del proceso” (end-of-pipe) integradas en tecnologías limpias y para la recuperación de las áreas contaminadas. Sin embargo, también puede abarcar en un sentido más amplio cuestiones como la supervisión, medición, el cambio de productos o administración de sistemas ambientales. Las tecnologías ambientales son, por tanto, de naturaleza interdisciplinaria pudiendo ser aplicadas en cualquier fase de la cadena de producción-consumo (Weber, s.f.).

Entre los procesos de post-tratamiento, se encuentran los “procesos avanzados de oxidación” (PAO’s), los cuales son tratamientos alternativos utilizados para la eliminación total o parcial de compuestos resistentes a los tratamientos convencionales, reducen la toxicidad y/o destruyen microorganismos patógenos (Andreozzi *et al.*, 1999). Los PAO’s son utilizados para el tratamiento de aguas residuales que contienen compuestos orgánicos recalcitrantes tales como

pesticidas, surfactantes, materias colorantes, productos farmacéuticos, disruptores endócrinos y productos químicos. Por otra parte, se han aplicado con éxito como métodos de pretratamiento para reducir las concentraciones de compuestos orgánicos tóxicos que inhiben el tratamiento biológico de aguas residuales procesos (Rubio *et al.*, 2013).

El mecanismo de función de los PAO's se basa en la generación de radicales libres altamente reactivos; los radicales hidroxilo (**HO•**) son efectivos en la destrucción de compuestos químicos orgánicos porque son electrófilos reactivos (prefieren electrones) que reaccionan rápidamente y de forma no selectiva con casi todos los compuestos orgánicos ricos en electrones. Una vez generados, los radicales hidroxilo pueden atacar a los compuestos químicos orgánicos por adición de radicales, abstracción de hidrógeno y transferencia de electrones (Stasinaskis, 2008).

Tabla 4. Ejemplos de algunos PAO's.

Peróxido de hidrógeno/Luz UV	Ozono/Dióxido de titanio
Peróxido de hidrógeno/Ozono	Reacciones de Fenton (Fe ²⁺ /H ₂ O ₂ , H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ /UV)
Ozono/ UV	Sonólisis
Dióxido de titanio/ UV	Sonólisis con ozono
Ozono/UV/Peróxido de hidrógeno	Oxidación catalítica
Ozono/Titanio/Peróxido de hidrógeno	Oxidación en agua supercrítica

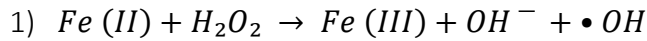
(Stasinaskis, 2008).

Una de las metodologías más efectivas de tratamiento de aguas residuales es el uso de la reacción de Fenton, debido a que incrementa la biocompatibilidad del efluente al convertir la mayoría de los contaminantes orgánicos en ácidos carboxílicos de bajo peso molecular o en dióxido de carbono (CO₂). La reacción de Fenton involucra la generación de radicales hidroxilo mediante la descomposición de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) catalizada por Fe²⁺.

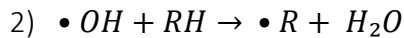
3.1.2.1 Reacciones de Fenton

La reacción de Fenton se descubrió hace aproximadamente 100 años, pero su aplicación como oxidante en el proceso para destruir compuestos orgánicos tóxicos no se aplicó hasta fines de la década de 1960. Los procesos de tratamiento de aguas residuales de la reacción de Fenton son conocidos por ser muy efectivos en la eliminación de muchos contaminantes orgánicos peligrosos del agua. La principal ventaja es la destrucción completa de contaminantes en

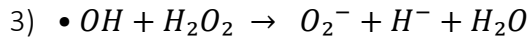
compuestos inocuos, por ejemplo, CO₂, agua y sales inorgánicas, debido a que causa la disociación del oxidante y la formación de radicales hidroxilo, los cuales son reactivos que atacan y destruyen los contaminantes orgánicos (Neyens y Baeyens, 2003). La reacción de Fenton involucra la generación de radicales hidroxilo mediante la descomposición de H₂O₂ catalizada por Fe²⁺ (Rubio *et al.*, 2014; Salas, 2010):



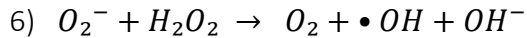
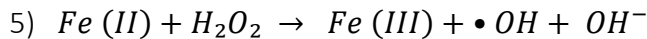
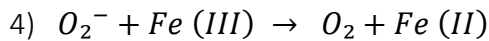
El radical hidroxilo (•OH) formado reacciona e inicia la oxidación de contaminantes orgánicos (mostrados como R) en soluciones acuosas:



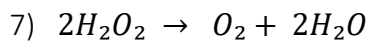
En la presencia de un exceso de H₂O₂ el radical OH• Reacciona con el H₂O₂ para formar el ion superóxido:



Y finalmente, el ion superóxido reduce al Fe (III):



Dando como resultado final la descomposición del H₂O₂:



En la actualidad, científicos han orientado sus investigaciones hacia la inmovilización de compuestos de hierro en diversos sustratos o la utilización de óxidos de hierro insolubles (goethita, magnetita y hematita) como catalizadores en reacciones de Fenton. Esto se debe principalmente a las ventajas para el proceso, como el bajo costo, la casi nula toxicidad, las condiciones en las cuales se puede trabajar, así como la facilidad de poder ser recuperadas fácilmente y poder ser reutilizadas debido a sus propiedades magnéticas, aunque a pesar de todo esto las propiedades y potenciales aplicaciones de estas nanopartículas de óxido de hierro se encuentra en gran parte inexplorado (Chun Chan *et al.*, 2005).

La magnetita ha captado la atención de los investigadores debido a que en su estructura contiene ambos iones de hierro tanto Fe²⁺ como Fe³⁺, además, ha mostrado ser más eficiente en

comparación a otros óxidos que solo contienen Fe^{2+} en la oxidación química de hidrocarburos del petróleo y otros contaminantes orgánicos. Esta fuerte actividad catalítica aunada a su actividad magnética necesaria para facilitar su remoción, amplia distribución, grandes reservas, y buena relación con el ambiente hacen de la magnetita un material ideal para la catálisis de reacciones del tipo Fenton. La magnetita puede descomponer el H_2O_2 a CO_2 y H_2O , para producir radicales hidroxilo y otras especies que son oxidantes robustos para la oxidación de contaminantes (Shengxiao *et al.*, 2009; Pérez, 2013).

3.1.3 Modelo Presión-Estado-Respuesta

El modelo Presión-Estado-Respuesta (P-E-R) fue propuesto en 1993 por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Environmental Canada, el cual consiste en un modelo de organización simple de la información y supone una lógica de causalidad que reconoce las relaciones de acción y respuesta entre actividades económicas y del medio ambiente.

Este modelo plantea responder preguntas simples tales como: ¿qué está afectando el ambiente?, ¿cuál es el estado actual del mismo? y ¿qué se está haciendo para mitigar o resolver los problemas ambientales?, con cada una de las preguntas se responde con un conjunto o sistema de indicadores.

Con lo anterior, el modelo P-E-R pretende elaborar de manera general una progresión causal de las acciones humanas que ocasionan una presión sobre el medio ambiente y los recursos naturales del sitio de estudio, los cuales implican un cambio en el estado del medio ambiente, y por ende, la sociedad responde con medidas o acciones para reducir o prevenir el impacto.



Figura 2. Modelo Presión-Estado-Respuesta (P-E-R).

(Azuz *et al.*, 2010)

En el esquema de organización P-E-R, los indicadores de presión describen la influencia que ejercen las diferentes actividades humanas sobre el ambiente y los recursos naturales; los indicadores de estado se refieren a la calidad del ambiente y la cantidad y estado de los recursos naturales y deben estar diseñados para dar información sobre la situación actual del ambiente y sus cambios a lo largo del tiempo; y los indicadores de respuesta presentan los esfuerzos que realiza la sociedad, las instituciones o gobiernos, orientados a la reducción o mitigación de la degradación del ambiente. En este último tipo de indicadores las acciones de respuesta están dirigidas hacia dos objetivos: los agentes de presión y las variables de estado (Azuz *et al.*, 2010).

Finalmente, dadas las características y naturaleza de los problemas de desarrollo y medio ambiente de cada caso en particular, el modelo P-E-R debe ser adaptado y refinado para cada uno de ellos; así mismo, es necesaria una aproximación ecológica geográfica a diferentes para el seguimiento y análisis de las relaciones sociedad-medio ambiente, lo que implica, a su vez, establecer relaciones causa–efecto en base a suposiciones o evidencias plausibles acerca de algunas interrelaciones con el objetivo de determinar algunas respuestas o acciones apropiadas.

3.2 Marco Conceptual

3.2.1 Tipo de Investigación

En esta investigación es, por un lado, de del tipo **descriptiva** ya que se obtuvo información necesaria, además de especificar las propiedades existentes para definir qué variables involucrar en el entendimiento del problema de estudio; por otro lado, se realizaron mediciones y evaluaciones de manera independiente de los conceptos o variables y de las propiedades importantes que tienen que ver con del fenómeno descrito. Además, también es del tipo **correlacional**, ya que midió el grado de relación entre dos o más conceptos o variables (Hernández Sampieri *et al.*, 2014).

3.2.2 Paradigma

Un paradigma se define como un conjunto de conceptos, valores, hipótesis y procedimientos que conforman una unidad a una disciplina científica, o bien, el conjunto de creencias o visiones del mundo alrededor de las cuales se organiza la realidad (Moreno *et al.*, 2001). En esta investigación se manejará un paradigma del tipo **constructivista** debido a que el proceso de enseñanza se percibe y se lleva a cabo como un proceso dinámico, participativo e interactivo del sujeto, es decir, en este paradigma el conocimiento es una auténtica construcción operada por la persona que aprende.

3.2.3 Enfoque epistemológico

El enfoque epistemológico con el que se fundamenta esta tesis de investigación va dirigido hacia un enfoque **racionalista-realista** debido a que está basado en abstracciones, sistemas lógico-matemáticos, deducción controlada, entre otros. Pasando a una concepción de la ciencia de los objetos calculables o pensables (racionalismo-realista); por lo que su variable gnoseológica es el racionalismo, mientras que la ontológica es realista (Padrón, 2007).

3.2.4 Teorías que soportan la investigación

La teoría de sistemas constituye una propuesta para abordar el estudio a partir del **enfoque de sistemas**, debido a que la teoría que fundamenta esta tesis está basada en un análisis sistémico y se trata de problemas estructurales de los sistemas complejos compuestos por un subsistema físico, como lo es el sistema lagunar de Mandinga; un subsistema productivo, basado

en la producción de bienes; un subsistema socioeconómico como lo son los grupos sociales de pescadores y restauranteros; y la necesidad de explicar los procesos que tienen lugar dentro del sistema, además de la resultante entre sus interrelaciones, es decir, aspira a dar cuenta del funcionamiento del sistema complejo como totalidad organizada (García, 2006).

3.3 Marco legal

3.3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Esta Investigación hace referencia al artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917 (aún vigente), el cual toca el tema de la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originariamente a la Nación, que en conjunto con el artículo 42, menciona la situación de las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el Derecho Internacional y los marítimos interiores.

3.3.2 Leyes, reglamentos y normatividad

En 1925 se promulgó la primera Ley de Pesca, la Ley de Pesca y Acuicultura Sustentables y ha sido modificada siete veces. En 1926 fue emitida la Ley Forestal y la Ley de Crédito Agrícola, que hizo referente a la legitimación de las Sociedades Cooperativas, las cuales quedaron amparadas en 1927 con la Ley General de Sociedades Cooperativas (Carpio, 2014).

En 1972 fue aprobada la Ley Federal para el Fomento a la Pesca (Carpio, 2014) la cual declara la exclusividad de siete especies para las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera (SCPP) y que favorece a los “grupos económicamente más débiles” entre las cuales se encuentra el ostión (*Crassostrea virginica*). Cuatro años más tarde, en 1976, la subsecretaría de Pesca se convirtió en el Departamento de Pesca y emitió el primer programa sectorial para la pesca. Más tarde, en 1984, se presentó el Programa Nacional de Pesca y Recursos del Mar (Cruz e Igartúa, 2006).

En 1987 y 1988 fueron emitidas la Ley de Planeación del Estado de Veracruz, y la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, respectivamente. Cuatro años después, en 1992 se promulgó una versión nueva de la Ley de Aguas Nacionales, y durante 1993 se pronunció la Ley General de Asentamientos Humanos, NOM-009-PESC-1993 (Vedas) y la NOM-031-SSA-1993 (Bivalvos refrigerados) / NOM-032-SSA-1993. Un año más tarde la Secretaría de Pesca se transformó en la Subsecretaría de Pesca a cargo de la Secretaría del Medio Ambiente,

Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), y en 1996 fue emitida la NOM-001-SEMARNAT-1996 que define los límites de contaminantes en descargas residuales en aguas y bienes nacionales; y la NOM-002-SEMARNAT-1996, la cual aplica los límites de contaminantes en descargas residuales a los sistemas de alcantarillado) que marcan los estándares de calidad de agua.

Más tarde, en el año 2000 se publicó la Ley Estatal de Protección Ambiental y la Ley General de Vida Silvestre; y en este mismo año la Subsecretaría de Pesca cambió de dependencia y pasó a formar parte de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y, al mismo tiempo, SEMARNAP se transformó en La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

En el año de 2001 se emitió la Ley de Desarrollo Rural Sustentable y la NOM-059-SEMARNAT-2001 que enlista las especies en categoría de riesgo y los criterios para incluirlas; y dos años más tarde (2003) se publicó la NOM-022-SEMARNAT-2003 que prohíbe cualquier forma de uso del manglar y la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable.

Finalmente, en el 2006, se promulgó el Proyecto de Norma NOM-064-PESC-2006, el cual especifica los sistemas, métodos y técnicas de captura prohibidos en aguas de jurisdicción nacional, además, se emitió la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable en el 2007; y dos años más tarde, se emitió la Ley de Vida Silvestre para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave; mientras que en el 2011 se emitió la Ley de Desarrollo Urbano, Ordenamiento Territorial y Vivienda para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave; terminando en el año 2013, cuando se promulgó la Ley de Pesca y Acuicultura Sustentables para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (Aldasoro, 2015).

IV. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Pregunta de investigación

¿Cuáles son los factores sociales, ecológicos, económicos e institucionales que influyen en la situación ambiental del Sistema Lagunar Mandinga?

V. HIPÓTESIS

El Sistema Lagunar Mandinga se encuentra fuertemente contaminado debido principalmente a la deficiencia de las intervenciones sociales, institucionales o tecnológicas implementadas.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Evaluar la situación ambiental del Sistema Lagunar de Mandinga mediante la aplicación del modelo Presión-Estado-Respuesta.

6.2 Objetivos Específicos

1. Identificar las variables socioeconómicas del sistema lagunar de Mandinga.
2. Analizar las condiciones ambientales del sistema lagunar de Mandinga.
3. Identificar y analizar las diferentes intervenciones llevadas a cabo en el sitio de estudio.
4. Analizar preliminarmente el potencial del tratamiento del agua de la laguna utilizando la oxidación Fenton.
5. Determinar las relaciones entre los factores socioeconómicos, institucionales y ambientales de la problemática del sistema de estudio.

VII. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

7.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Bioinorgánica Aplicada perteneciente al Centro de Química-ICUAP de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. IC8, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel, Puebla Pue., México. La síntesis de las nanopartículas de magnetita estabilizadas con citrato trisódico se efectuó en el laboratorio de investigación en nanotecnología (CI-010) ubicado en la Universidad de las Américas de Puebla. Además; se realizó una estancia en la Universidad de Santiago de Compostela, en las instalaciones del Grupo de Tecnología Ambiental (Biogroup), laboratorio 2.3 perteneciente a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSE) durante el periodo percibido entre el 1 de septiembre al 30 de noviembre de 2018.

Las tomas de muestra se realizaron en la Laguna de Mandinga, ubicada en el estado de Veracruz, entre los meridianos 19° 00' y 19° 06' de latitud norte y los meridianos 96° 02' y 96° 06' de longitud oeste, el cual, abarca los municipios de Alvarado, Medellín, Boca del Río y Tlalixcoyan (Figura 3).

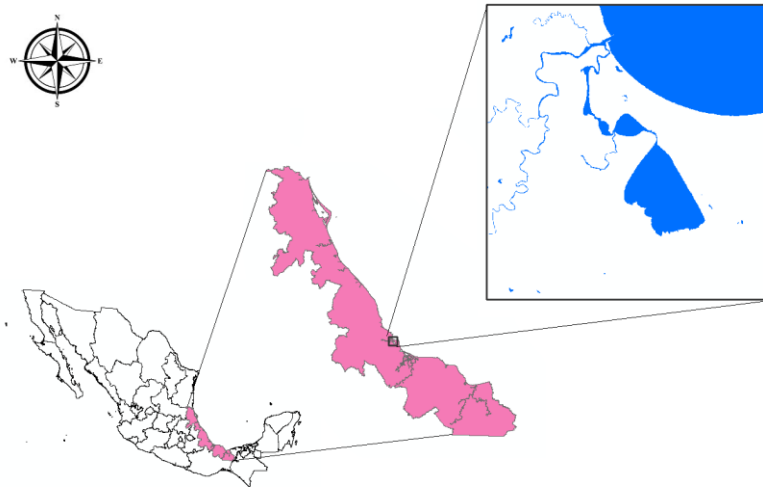


Figura 3. Mapa del sistema lagunar Mandinga.

(Flores *et al.*, 2015; Reyes *et al.*, 2010).

7.2 Fase de Gabinete

Modelo conceptual Presión Estado Respuesta (PER)

En esta etapa se realizó una recopilación detallada del sitio de estudio, las condiciones biofísicas y socioeconómicas del sitio manglar y sus interrelaciones para la aplicación del marco conceptual PER. Se consultaron bases de datos gubernamentales para recopilar y analizar la información relacionada a la zona de estudio como: INEGI, SEMARNAT, CONAGUA, entre otras. Se recopilaron datos poblacionales y características de la zona de fuentes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Consejo Nacional de Población (CONAPO), así como también de los habitantes de las localidades que se encuentran dentro del sitio.

La información se recopiló de publicaciones, mapas cartográficos, notas periodísticas, capítulos de libros, páginas web y sistemas de información geográfica y estadísticas realizadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Dicha información se actualizó con las salidas de campo en donde se apoyó en la observación como una herramienta de investigación para la recolección de un mayor número de datos, realizado durante este periodo.

Finalmente, los datos recabados y la información ambiental del sistema lagunar Mandinga y la proporcionada por los actores clave del lugar se aplicó el modelo Presión-Estado-Respuesta como herramienta para identificar los impactos en el ecosistema estudiado.

7.3 Fase de campo

7.3.1 Establecimiento del experimento

El experimento se realizó con la toma de muestras de agua de la Laguna de Mandinga para la caracterización fisicoquímica correspondiente.

7.3.2 Muestreos de campo

Se recolectaron muestras de agua en la Laguna de Mandinga basado en la NMX-AA-121-SCFI-2005 en diferentes temporadas, durante tres veces en un año, abarcando los períodos de sequía, de lluvia y huracanes. Para tomar la muestra, se emplearon frascos de vidrio de color ámbar, de boca ancha con una tapa de cubierta de politetrafluoroetileno; los cuales fueron previamente etiquetados e identificados. Se sumergieron los frascos cerrados hasta llegar a una profundidad de 20 cm a 30 cm aproximadamente, a continuación, se retiró la tapa (dentro de la laguna) y se dejó llenar el frasco hasta coleccionar un volumen de aproximadamente 1 L de muestra por frasco; siguiendo en el interior de la laguna, se colocó la tapa para cerrar el frasco.

Una vez recolectada la muestra, se georreferenciaron las coordenadas del sitio de toma de muestra; además, se midió el pH, la temperatura y la conductividad con el potenciómetro marca OAKLON, modelo pH 700, y los datos obtenidos fueron registrados en la bitácora. Las muestras se conservaron en refrigeración a 4°C hasta ser caracterizadas en el laboratorio.

7.4 Fase de laboratorio

7.4.1 Caracterización fisicoquímica del agua de Mandinga

Una vez en el laboratorio, las muestras de agua recolectadas de la Laguna de Mandinga fueron caracterizadas realizando los análisis fisicoquímicos correspondientes (NOM-001-SEMARNAT-1996) para determinar los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 (DBO₅) mediante el método modificado de Winkler; la Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos disueltos totales, y los cationes y aniones correspondientes (Ca²⁺, Fe, SO₄²⁻, Mg²⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, P, y cloro libre) determinados por los métodos que se muestran en la *Tabla 5*. empleando los kits

específicos de la marca “HANNA instrumentos”. Posteriormente se identificó la presencia y concentración de HAP’s utilizando el Método EPA 610: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons.

Tabla 5. Kits utilizados para la caracterización fisicoquímica de muestras de agua del sistema lagunar Mandinga.

Parámetro medido	Kit utilizado	Método	Longitud de onda (nm)
Hierro	HI 93746-01	Adaptación del método TPTZ (2,4,6-Tri-(2-piridil) 5 triazina)	575
Sulfato	HI 93751-01	El sulfato es precipitado con cristales de cloruro de bario	466
Fosfato RB	HI 93713-01	Adaptación del método de ácido ascórbico	610
Nitrato	HI 93728-01	Adaptación del método de reducción de cadmio	525
Magnesio	HI 937520-01	Adaptación del método calmagita	466
Cloro libre	HI 93701-01	Adaptación del método EPA DPD 330.5	525
Calcio	HI 937521-01	Adaptación del método Oxalato	466
DQO	HI 93754C-25	Adaptación del método USEPA 410.4	610

7.4.2 Pruebas de oxidación

Se evaluó la capacidad oxidativa del sistema nanocatalítico en muestras de agua del Sistema Lagunar Mandinga, a través de un análisis cuantitativo para determinar el porcentaje de degradación del pireno; de modo que una muestra de 1 mL de agua de la Laguna se sometió a oxidación nanocatalítica adicionando 1 mM de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y 10 nM del nanocatalizadores (magnetita y magnetita estabilizada con citrato) bajo temperatura ambiente y agitación controlada. Se monitorearon los cambios en las concentraciones de pireno por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) siguiendo el método EPA 610: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons.

7.4.3 Optimización de condiciones de reacción

La degradación del pireno se llevó a cabo en un volumen de reacción de 5 mL, el cual contenía 1.5 µM de pireno en agua pH 3.5, 10% de ACN, 0.45 g/L de H₂O₂ y 5 g/L de nanopartículas

de magnetita. La reacción de oxidación se mantuvo a 25 °C y agitación constante en un shaker orbital new Brunswick C24, y se monitoreó a tiempo cero, 2 horas, 4 horas, 8 horas y 24 horas, con la finalidad de determinar las nanopartículas con mayor porcentaje de degradación del compuesto de estudio.

Una vez que se obtuvieron las condiciones óptimas de reacción para el pireno se procedió a utilizarlas para determinar la calidad del agua del sistema lagunar de Mandinga antes y después del tratamiento con las nanopartículas de magnetita.

VIII. RESULTADOS

8.1 Caracterización de la Laguna de Mandinga

La caracterización del sistema lagunar de Mandinga descritos en la *Tabla 6* tiene como objetivo describir las particularidades principales del lugar y servir de información básica para el seguimiento, monitoreo y evaluación de resultados e impactos de la tecnología desarrollada en el manejo del sitio de estudio. En esta etapa se describieron las características propias del sistema lagunar con relación a los componentes biofísicos; además, también se describió el estado de los componentes fisicoquímicos, del sistema lagunar de Mandinga.

En la *Tabla 6* se muestra que el sistema lagunar de Mandinga corresponde a un ambiente tropical, en el cual predominan las bajas salinidades, a pesar de pequeñas variaciones según la época del año; lo anterior debido a que no existe una comunicación directa con el mar, pues el río Jamapa es el responsable de la influencia principal en la laguna. Lara et al (CONABIO, 2009) describen el clima del sitio como cálido subhúmedo, con una temperatura anual media mayor a los 22°C, y una temperatura mayor a 18°C en el mes más frío. El tipo de suelo Vertisol es el de mayor abundancia, seguido por el Regosol y el Gleysol.

Tabla 6. Datos geográficos y biofísicos del sistema lagunar Mandinga.

Ubicación del sitio	Coordenadas geográficas	<ul style="list-style-type: none"> • 19°00' y 19°06' latitud norte • 96°02' y 96°06' longitud oeste
	Estado	Veracruz
	Municipios	<ul style="list-style-type: none"> • Alvarado • Medellín • Boca del Río • Tlalixcoyan
Características físicas	Clima	Aw (100 %) Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
	Provincia y subprovincia geográfica	Llanura costera veracruzana
	Tipos y propiedades del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Vertisol (70.0%) • Regosol (15.2%) • Gleysol (14.8%)
		<ul style="list-style-type: none"> • Salinidad del agua intersticial: oscila en 7.1 ups a 39.9 Kg/g • Condiciones de reducción-oxidación: -183.1 mV • pH: 5.9-8.3, 7.2 promedio
	Geología	<ul style="list-style-type: none"> • Aluvial (44.6 %) • Eólico (36.9 %) • Lacustre (17.9 %)
	Cuenca y subcuenca	Río Jamapa (100%)
	Principales cuerpos lagunares	1. Mandinga grande (1,798 ha) 2. Mandinga (205 ha) 3. El Conchal (105 ha)
	Principales aportes de agua al sistema	Río Jamapa y marea del Golfo de México.
Tipo de humedal	Ámbito marino - costero de sistema estuarino con subsistema intermareal de clase humedal arbóreo.	

(Elaboración propia con datos de CONABIO, 2009).

Dentro de la fauna característica del lugar se encuentra el pato real, el ostión y la jaiba; además de la medusa de cañón, la cual abunda en la laguna al aumentar la salinidad de la laguna. Por otro lado, la laguna cuenta con una amplia lista de aves y mamíferos como el tamandúa mexicano, el cual se encuentra en peligro de extinción, y el murcielaguito narigón, sujeto a

protección especial (Carrillo, 2016; De la Cruz, 1985; Lara *et al.*, 2010). La vegetación del lugar se caracteriza por ser matorral, selva baja caducifolia y manglar principalmente. Por lo anterior, Mandinga está considerado como “sitio manglar” con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica por parte de CONABIO (Lara *et al.*, 2009), lo anterior debido a que el sistema lagunar es el hábitat del mangle rojo (*Rizophora mangle*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el mangle negro (*Avicnnia germinaus*), especies que se encuentran bajo la categoría de amenazadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Rodríguez *et al.*, 2013; SEMARNAT, 2010).

8.2 Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER)

Para el entendimiento del complejo sistema socio-ecológico del sistema lagunar Mandinga se recopiló información sobre los componentes específicos del mismos y sobre la interrelación entre ellos (Ostrom, 2009). Actualmente, uno de los esquemas de indicadores ambientales más aceptados es el modelo PER (Presión-Estado-Respuesta), debido a que es considerado un modelo integral diseñado para estructurar información compleja; es un marco concebido para organizar la información a nivel local, regional o macrorregional; y ser transmitida de manera sencilla a todos los niveles. Este modelo ha sido aplicado con éxito tanto a nivel nacional por la SEMARNAT, como a nivel internacional por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEE, 2003) en la evaluación de temas ambientales (Karageorgis *et al.*, 2005; Smaling y Dixon, 2006). Es por lo anterior que a continuación, se analiza la situación del sistema lagunar Mandinga utilizando este modelo, de tal manera que se cuente con una noción de las causas y efectos del impacto ambiental que actualmente sucede en el sistema lagunar Mandinga.

8.2.1 Presiones

En el modelo PER, las “presiones” se refieren a las variables socioeconómicas y socioculturales de las actividades humanas que ejercen presión directa sobre el medio ambiente. Para la identificación de las variables socio-económico del sitio manglar, el presente trabajo se basó en la obtención de indicadores publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en el XII Censo general de población y vivienda de los años 2000- 2016 del estado de Veracruz, a nivel localidad, así como el índice de marginación de la población establecido por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2000; CONAPO, 2016).

8.2.1.1 Población total

La población que habita alrededor del sistema lagunar de Mandinga se ha incrementado con el paso de los años dependiendo de la localidad referida. El municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, se encuentra la localidad de La Laguna y Monte del Castillo, ésta colinda con la laguna de Mandinga y para el año 2005 INEGI registró un total de 1,700 habitantes (837 hombres y 863 mujeres), observándose un incremento en la población de 1,920 habitantes para el año 2010, lo cual significa un aumento de 10.5% con respecto al año 2005; además de que esta localidad cuenta con 609 viviendas particulares habitadas y está clasificado con un grado medio de marginación. Por otro lado, la localidad de Mandinga y Matoza, ubicado dentro del sitio de estudio ya que también colinda con el sistema lagunar Mandinga, se encuentra situado en el municipio de Alvarado, Veracruz. Esta localidad, según datos de INEGI, para el año 2005 tenía registrado un total de 555 hombres y 599 mujeres, dando como resultado 1,154 habitantes en total; sin embargo, para el año 2010, la población total en la localidad se incrementó en un 8.6% con respecto al 2005, con 601 hombres y 653 mujeres, predominando aún el sexo femenino; además, se registraron 352 viviendas particulares habitadas. Finalmente, para la localidad del Conchal que colinda con la laguna de Mandinga y está situada dentro del municipio de Alvarado a 20 metros de altitud, los datos de INEGI del año 2005 indican que contaba con tan solo 417 habitantes, de los cuales 208 pertenecían al sexo masculino y 209 al sexo femenino; sin embargo, para el año 2010 su población se incrementó mínimamente a 481 habitantes, siendo 236 hombres y 245 mujeres, con un total de 126 viviendas habitadas; esta localidad cuenta con un grado de marginación y rezago social muy bajo. Véase la *Tabla 7*.

Tabla 7. Población por sitio del Sistema lagunar de Mandinga.

INDICADOR	AÑO					
	La Laguna y Monte del Castillo		Mandinga y Matoza		El Conchal	
	2005	2010	2005	2010	2005	2010
POBLACIÓN	1,700	1,920	1,154	1,254	417	481
HOMBRES	837	929	555	601	208	236
MUJERES	863	991	599	653	209	245

Fuente: INEGI 2005, 2010.

Dentro del área de estudio se localiza la zona residencial el Dorado, el cual cuenta con una marina y un centro comercial que se localiza en el estero de Mandinga (INEGI, 2005), esta zona registró en el 2010 una población de 52 personas, de las cuales 24 eran hombres y 28 mujeres, esta residencial contaba con 10 viviendas particulares habitadas, la localidad se caracteriza por un grado bajo de marginación y con un muy bajo grado de rezago social (INEGI, 2010). La localidad de Villa Rica (Club de Golf), es una localidad del municipio de Alvarado, que en el año 2010 contaba con una población total de 151 habitantes, de los cuales 74 eran hombres y 77 mujeres y con solo 27 viviendas habitadas, lo que representa una disminución del 82.1 % de la población con respecto el 2005. Esta localidad tiene un grado de marginación y rezago social muy bajo. El Fraccionamiento las Lomas está ubicado al margen de la laguna de Mandinga en el municipio de Alvarado, en el 2010 contaba con una población de 559 habitantes, de los cuales 264 son hombres y 295 eran mujeres. Esta localidad cuenta con 138 viviendas habitadas. Esta localidad tiene un grado de marginación y rezago social muy bajo. El Fraccionamiento Banus, es una comunidad que se localiza en el municipio Alvarado del Estado de Veracruz. En el 2010 contaba con una población de 222 habitantes, de los cuales 101 son hombres y 121 eran mujeres, se cuenta con 50 viviendas habitadas. Esta localidad tiene un grado de marginación y rezago social muy bajo.

8.2.1.2 Marginación y Rezago Social

La marginación y rezago social de la población que habita dentro de la delimitación del sitio manglar varía entre los años 2005 y 2010. En la *Tabla 8*, se presenta los índices de marginación y rezago social del sitio en estudio, dónde el entorno del lugar se encuentra estructurado por pequeñas localidades que principalmente tienen un grado de marginación de bajo a moderado;

además, las tres localidades presentan rezago social de muy bajo a bajo. Cabe mencionar que más del 50% de la población de las tres localidades no cuentan con educación básica, y, alrededor del 70% de la población no son derechohabientes a servicios de salud. Por lo que la situación de rezago social puede deberse a la falta de acceso a la educación, viviendas inadecuadas e ingresos monetarios insuficientes. A pesar de que estas localidades se ubicada cerca de la llamada “Riviera Veracruzana” aún cuentan con limitaciones para acceder a los servicios básicos, y así poder mejorar las condiciones de vida de cada persona.

Tabla 8. Indicadores de marginación del sitio manglar.

Indicadores de marginación	El Conchal		Mandinga y Matoza		La Laguna y Monte del Castillo	
	Año					
	2005	2010	2005	2010	2005	2010
Población total	417	481	1,154	1,254	1,700	1,920
% Población de 15 años o más analfabeta	11.43	9.88	9.36	8.62	12.35	8.92
% Población de 15 años o más sin primaria completa	34.30	33.02	32.62	27.51	42.14	30.13
% Viviendas particulares habitadas sin excusado	0.94	3.17	0.91	1.99	17.11	7.88
% Viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica	1.89	1.59	0.91	0.28	5.30	3.29
% Viviendas particulares habitadas sin agua entubada	4.72	7.94	24.54	23.30	34.70	25.54
% Ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas	36.79	1.40	25.53	0.93	35.86	1.02
% Viviendas particulares habitadas con piso de tierra	11.32	7.14	3.99	1.42	14.75	8.57
% Viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador	16.04	17.46	11.55	13.64	20.98	17.41
Grado de marginación	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Medio

(Elaboración propia con información de CONAPO, 2005; CONAPO, 2011).

En el Sistema Lagunar Mandinga la pesca es una de las principales actividades económicas; debido a que es uno de los grandes proveedores de productos pesqueros para el consumo nacional e internacional (SEMAR, 2009). Dado lo anterior, es importante mencionar que el sistema lagunar de Mandinga cuenta con 7 Sociedades Cooperativas de Productores Pesqueros (S.C.P.P.) registradas (Ortiz L., 2015) ante CONAPESCA (Tabla 9), las cuales se ven beneficiados por los

recursos pesqueros de la zona de Mandinga tal como el cultivo de ostión en la laguna, que representa su principal actividad pesquera (SAGARPA, 2012).

Tabla 9. Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera de la Laguna de Mandinga.

NOMBRE DE LA COOPERATIVA	DATOS	
Sociedad Cooperativa De Producción Pesquera Y Ostionera, S.C.L.	Teléfono	2299862895
	Fecha de registro	Julio de 2010
	Número de registro	6183974
	Actividad económica	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies.
	Ubicación	Medellín, Veracruz De Ignacio De La Llave, Pueblo La Laguna y Monte Del Castillo.
	Tamaño	11 a 30 personas aproximadamente.
Sociedad Cooperativa Pescadores de Mandinga y Matoza S.C. L.	Teléfono	2292462042
	Fecha de registro	Julio de 2010
	Número de registro	6184107
	Actividad económica	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies.
	Ubicación	Alvarado, Veracruz De Ignacio De La Llave, Mandinga y Matoza.
	Tamaño	31 a 50 personas aproximadamente.
Sociedad Cooperativa La Fortunata, S.C.L.	Teléfono	2851101202
	Fecha de registro	diciembre de 2014
	Número de registro	6183289
	Actividad económica	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies.
	Ubicación	Medellín, Veracruz De Ignacio De La Llave, Pueblo La Laguna y Monte Del Castillo.
	Tamaño	31 a 50 personas aproximadamente.
Sociedad Cooperativa De Productores Pesqueros Fraternidad de Mandinga S.C D R. L.	Teléfono	2299048582
	Fecha de registro	Diciembre de 2014
	Número de registro	6183039
	Actividad económica	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies.
	Ubicación	Alvarado Veracruz De Ignacio De La Llave, Mandinga y Matoza
	Tamaño	11 a 30 personas aproximadamente
	Teléfono	2851114327

Sociedad Cooperativa De Producción Pesquera y Acuícola De Bienes y/o Servicios Monte Del Castillo	Fecha de registro	Diciembre de 2014
	Número de registro	6184824
	Actividad económica	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies.
	Ubicación	Medellín, Veracruz De Ignacio De La Llave, Pueblo La Laguna y Monte Del Castillo.
	Tamaño	11 a 30 personas aproximadamente.
Sociedad Cooperativa De Producción Pesquera Y Servicios Turísticos Nuevos Pescadores De La Laguna S.C. De R.L. C.V.	Teléfono	2292199326
	Fecha de registro	Diciembre de 2014
	Número de registro	6183023
	Actividad económica	Piscicultura y otra acuicultura, excepto camaronicultura.
	Ubicación	Medellín, Veracruz De Ignacio De La Llave, Pueblo La Laguna y Monte Del Castillo.
	Tamaño	11 a 30 personas aproximadamente.
Sociedad Cooperativa De Producción Pesquera de Bienes y/o Servicios Pescadores Unidos De Mandinga, S.C.L.	Teléfono	2299380700
	Fecha de registro	Julio de 2010
	Número de registro	6184304
	Actividad económica	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies.
	Ubicación	Alvarado Veracruz De Ignacio De La Llave, Mandinga y Matoza
	Tamaño	11 a 30 personas aproximadamente

(Ortiz, 2015).

A continuación, se muestra el mapa (*Figura 4*) de la distribución física de la laguna de Mandinga para las siete sociedades cooperativas pesqueras, con lo anterior de tener una mejor organización y repartimiento para el buen aprovechamiento de la misma.



Figura 4. Distribución del espacio del sistema lagunar de Mandinga.

(CONAPESCA, 2017; Ortiz, 2015).

1. S.C.P.P. Ostionera
2. S.C.P.P. Mandinga y Matoza
3. S.C.P.P. Fortunata
4. S.C.P.P. Fraternidad de Mandinga y Matoza
5. S.C.P.P. Y Servicios Turísticos Nuevos Pescadores de la Laguna
6. S.C.P.P. Monte del Castillo
7. S.C.P.P. Bienes y Servicios Pescadores Unidos de Mandinga

A nivel gobierno, en el año 2002 se presentó una presión de tipo institucional, con la emisión del proyecto “Riviera Veracruzana” como parte del plan de desarrollo de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado, lo que ocasionó el aumento de las ventas de terrenos ejidales y, por consiguiente, la urbanización toda la costa desde Boca del Río hasta Antón Lizardo. Se inició la construcción de zonas residenciales, asilos de lujo, hoteles, plazas comerciales, supermercados, entre otros. Como consecuencia de lo anterior, la fisonomía de la comunidad de “Mandinga y Matoza” cambió, ya que comenzaron a sustituir palapas por casas de concreto. Para el año 2011 la SCPP “Nuevos Pescadores de La Laguna” hizo una petición ante CONAPESCA para una reorganización del sector pesquero en el Sistema Lagunar de Mandinga, donde finalmente se obtuvo una delimitación territorial del cuerpo de agua como se muestra en la *Figura 4* el cual, actualmente se encuentra vigente (CONAPESCA, 2017; Ortiz, 2015).

8.2.2 Estado

El apartado de Estado en el modelo PER representa las condiciones estructurales específicas del ecosistema e incluye los impactos, que son los efectos socioeconómicos y ecológicos resultantes de los cambios en las características del ecosistema debidos a las presiones ejercidas. (Agyemang *et al.*, 2007; Mangi *et al.*, 2007).

El sitio de estudio está sumergido en una dinámica que altera a gran velocidad al sistema tanto social como ambientalmente, puesto que el acelerado crecimiento poblacional y económico en el periodo comprendido entre el año 2000 y 2016 (Ortiz-Lozano, 2013) (*Figura 7, 8 y 9*) ha establecido una gran presión sobre los recursos naturales (Foley *et al.*, 2005; Lambin *et al.*, 2001; Mendoza-González *et al.*, 2012; Otto *et al.*, 2007; Xie *et al.*, 2012); lo cual, ha fomentado la sobreexplotación y la transformación de los paisajes naturales, es decir, se ha fomentado el cambio de uso de suelo, para satisfacer dichas necesidades, lo que ha producido cambios estructurales y funcionales en el sistema lagunar, disminuyendo su capacidad de proveer los servicios ambientales necesarios de manera sostenible (Costanza *et al.*, 1997; Foley *et al.*, 2005; Mendoza-González *et al.*, 2012). Las afectaciones ambientales causadas por el crecimiento poblacional de los últimos quince años y el desarrollo urbano impactan de manera negativa al sistema lagunar, pues son necesarios grandes espacios para la satisfacción de las necesidades alimenticias y de materias primas, lo que genera una fuerte degradación ambiental, así como también, la disminución de la capacidad de recarga de acuíferos, degradación de la calidad del agua y aumento del volumen de descargas y sedimentos a la cuenca en donde se encuentran (Shalaby, 2007; Tang *et al.*, 2005). A lo anterior se suma el impacto generado por el crecimiento poblacional, la falta de políticas de uso de tierra, la ausencia de un marco legal adecuado, (Jie y Hong, 2011), el incremento de caminos para acceder al sitio en cuestión (Olaniyi *et al.*, 2012), entre otros.

Es por lo anterior, que a continuación, se presenta la *Tabla 2* con la información de las coberturas durante el periodo de 2001 a 2016 (CONABIO, 2019), así como también se muestran más adelante, los mapas de uso de suelo y vegetación para el sitio manglar de Mandinga, para los años 2001, 2009 y 2016, en donde se puede observar el estado actual para el sitio de estudio provocado por las diferentes alteraciones al ecosistema, en el que se ve disminuido en casi un 50% la zona de manglar en 15 años y el incremento del 300% de la zona urbana en el mismo tiempo. El

desproporcionado crecimiento turístico y urbanístico de la última década ha generado una gran alarma en los agentes sociales más comprometidos con el medioambiente; además, este crecimiento ha sido a expensas del decrecimiento de la superficie de manglar. En general, la madera de manglar es utilizada para el sector agropecuario y como materiales para la construcción de herramientas, viviendas, infraestructura turística y para la obtención de carbón (Moreno *et al.*, 2002).

Tabla 2. *Uso de suelo y vegetación en Km² durante el periodo de 2001, 2009 y 2016 en el sistema lagunar de Mandinga.*

Tipo de uso de suelo y vegetación	Año		
	2001	2009	2016
Manglar (Km ²)	11.7	6.5	5.9
Total Zona urbana (Km ²)	6.9	12.6	21.7
Total selva baja (Km ²)	20.8	0	0

(Elaboración propia, 2019).

Los mapas de cambio de uso de suelo y vegetación (*Figura 5, Figura 66 y Figura 77*) para los años 2001, 2009 y 2016 muestran esquemáticamente la disminución acelerada del manglar y el crecimiento de las zonas urbanas, lo cual se debe a la construcción de zonas residenciales atribuido al proyecto “Riviera Veracruzana”.

CAMBIOS DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DEL SISTEMA LAGUNAR DE MANDINGA 2001-2009

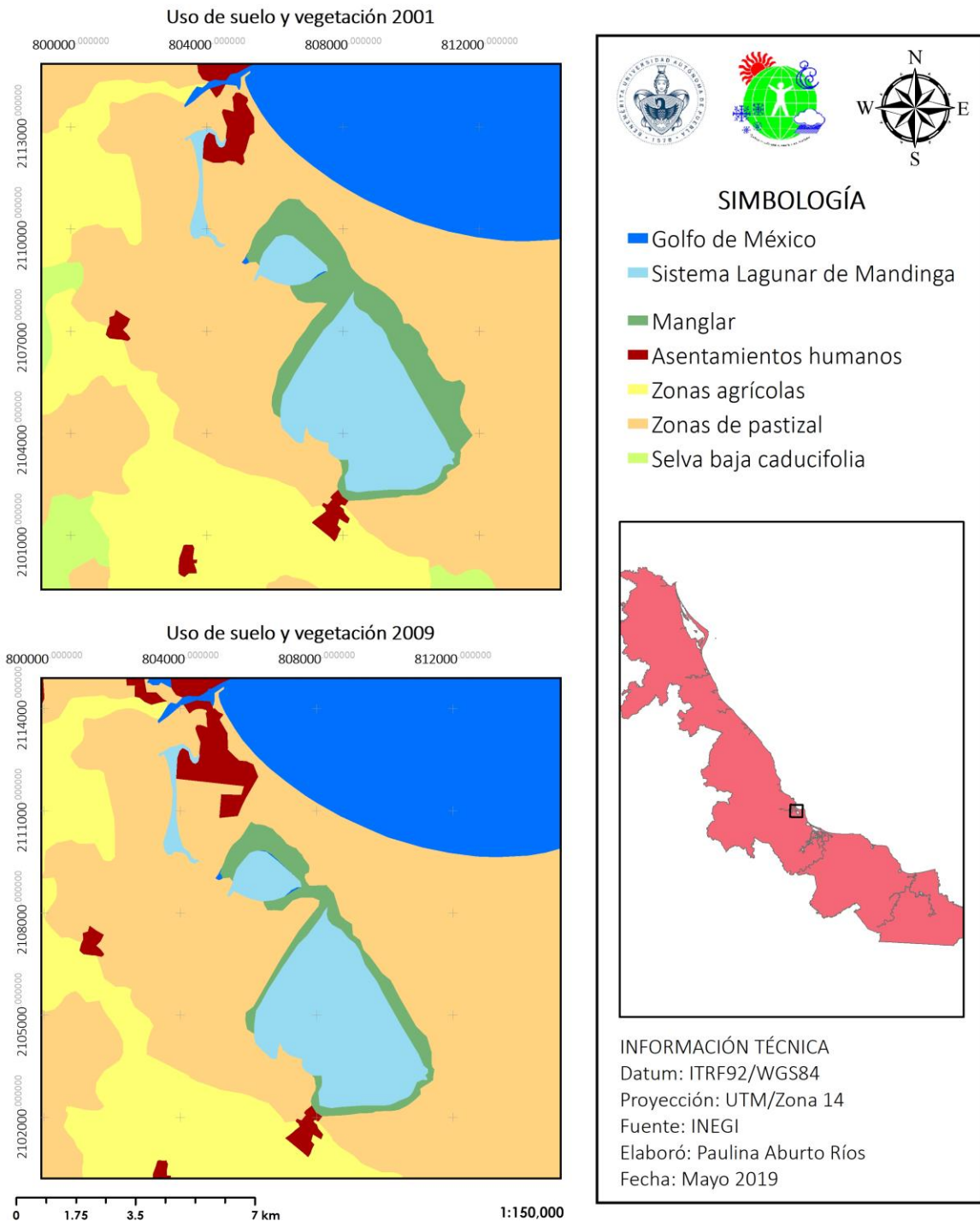


Figura 5. Mapa de cambios de uso de suelo y vegetación del Sistema Lagunar de Mandinga 2001-2009.

(Elaboración propia, 2019).

CAMBIOS DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DEL SISTEMA LAGUNAR DE MANDINGA 2001-2016

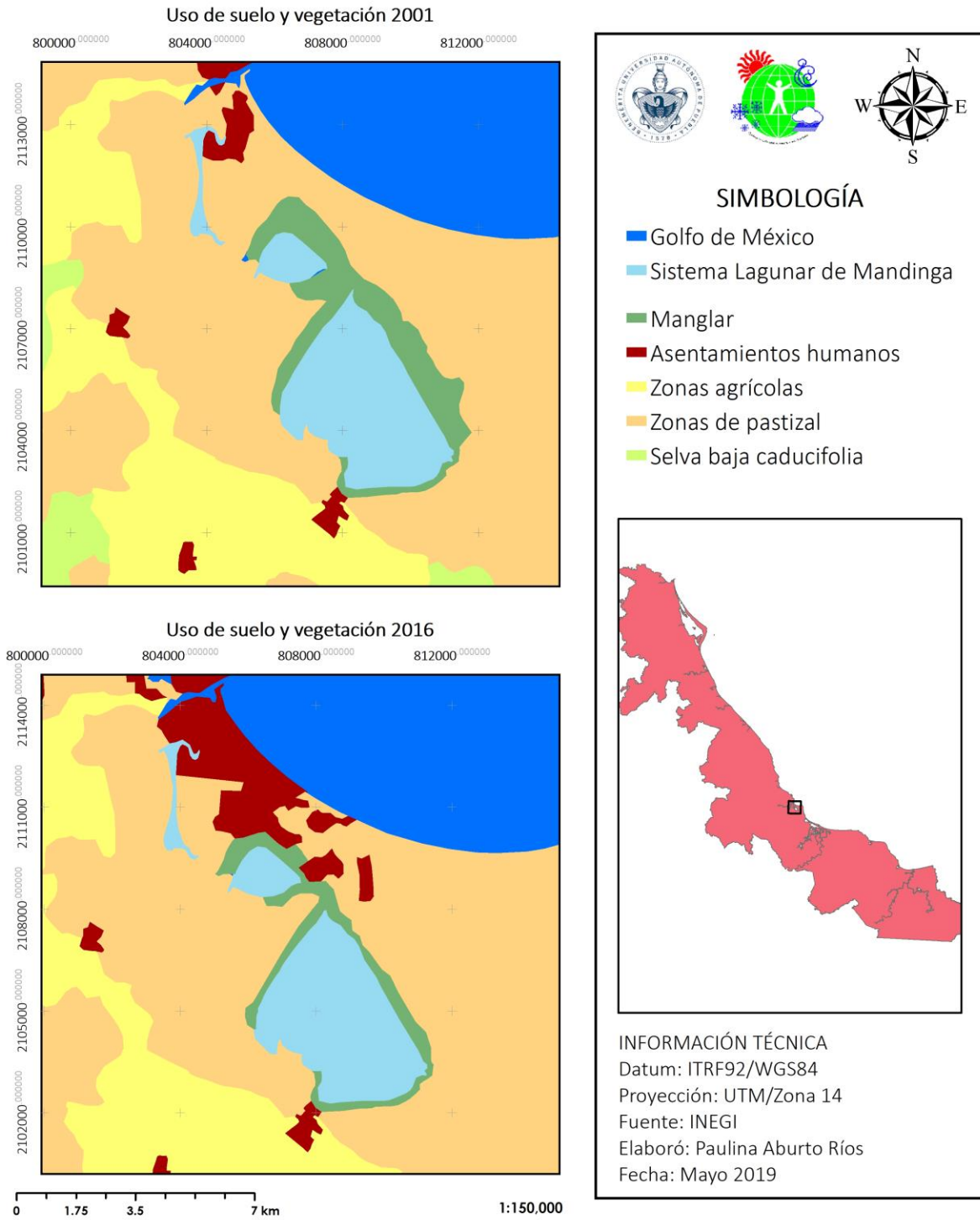


Figura 6. Mapa de cambios de uso de suelo y vegetación del Sistema Lagunar de Mandinga 2001-2016.

(Elaboración propia, 2019).

CAMBIOS DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DEL SISTEMA LAGUNAR DE MANDINGA 2009-2016

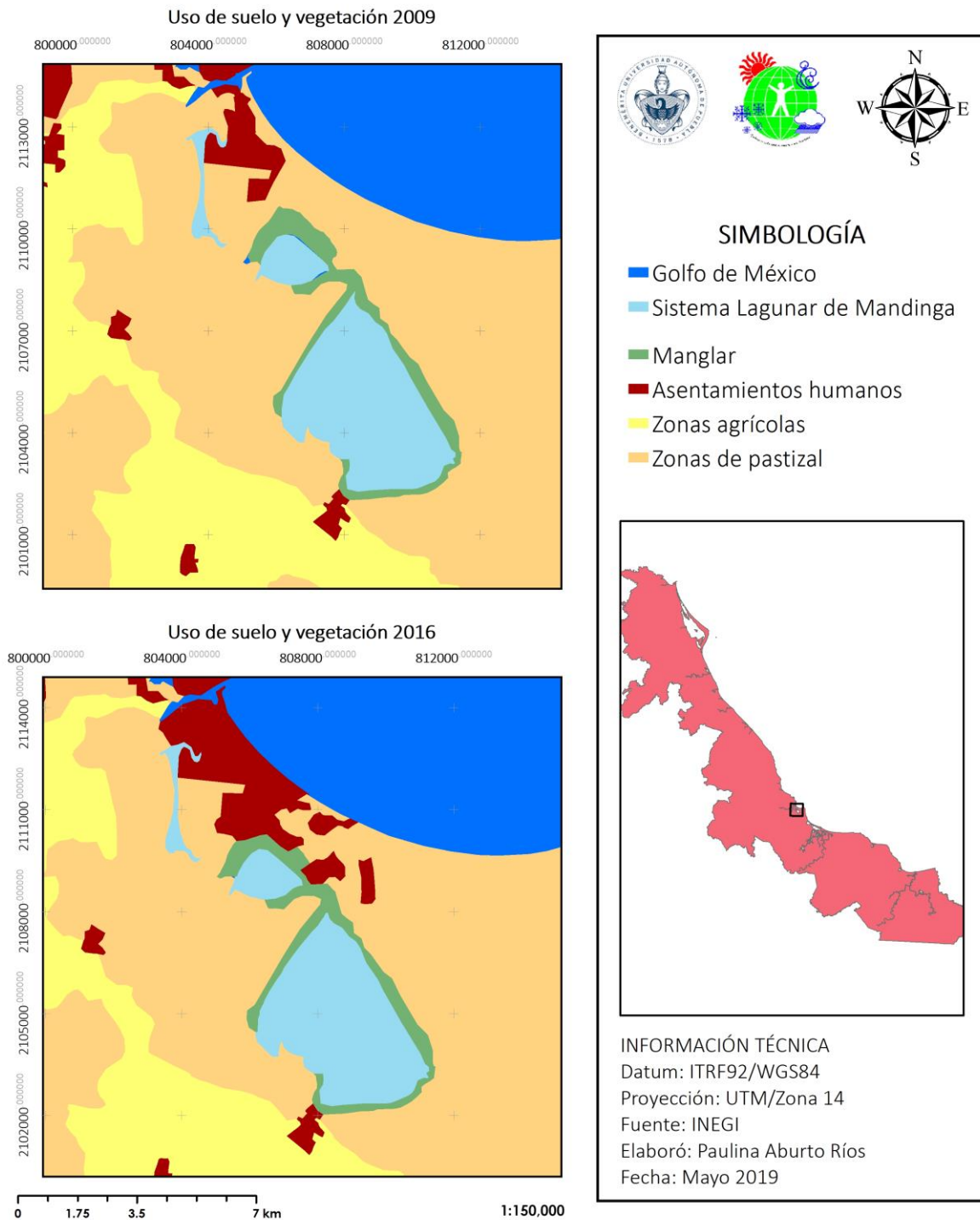


Figura 7. Mapa de cambio de uso de suelo y vegetación del Sistema Lagunar de Mandinga 2009-2016.

(Elaboración propia, 2019).

El estado de conservación del manglar se ha catalogado como “medio”, ya que en general, el manglar de la Laguna de Mandinga Chica se encuentra en buen estado de conservación (López, Vásquez y Gómez, 2008). Sin embargo, la construcción de una zona comercial llamada El Dorado sobre el complejo lagunar provocó la tala de grandes extensiones de manglar, también se afectó la zona arqueológica llamada El Conchal norte, que se encuentra dentro de la zona de manglar; además, las localidades que se encuentran junto al sistema lagunar no poseen drenaje, por lo cual todos sus desechos van directamente al cuerpo de agua (PRONATURA, 2008).

Respecto al estado de la calidad del agua del sistema lagunar, se realizaron tres visitas al sitio de estudio en diferentes temporadas (sequía, lluvias y temporada de huracanes) para actualizar los indicadores fisicoquímicos. Las visitas se realizaron los días 27 de abril de 2018, 15 de agosto de 2018 y el 18 de marzo del presente 2019, en estas visitas se estableció contacto con la S.C.P.P. Fraternidad de Mandinga y Matoza, la cual se encontraba conformada por el presidente Félix Cabrera Pérez, como secretario Andrés Huerta Gavino, y finalmente José Antonio “Che” Lara Aguilar, quien realizaba la función de tesorero dentro de la cooperativa.

Se recolectaron muestras de 4 puntos diferentes del sistema lagunar en Mandinga Grande, el Estero, Mandinga y el área de muelle y desembarque de lanchas, aledaña a la zona restaurantera, lo anterior según la NMX-AA-121-SCFI-2005, “Muestreo de aguas naturales epicontinentales, costeras y marinas”. En la *Figura* se muestran los puntos de muestreo de la primera visita al sitio de estudio.

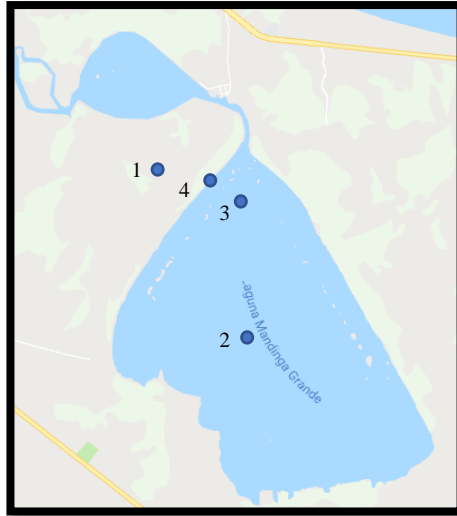


Figura 8. Puntos de toma de muestra de aguas. 1. Mandinga N:19°03.028' W:96°05.507', 2. Mandinga Grande N:19°02.287' W:96°04.270', 3. Estero N:19°02.701' W: 96°04.259', 4. Zona restaurantera N:19°02.914' W:96°04.446'

(Elaboración propia, 2018).

Las muestras que se obtuvieron durante las tres visitas fueron caracterizadas obteniéndose los resultados mostrados en la *Tabla* , donde se puede observar, que de acuerdo con los criterios ecológicos de la calidad del agua (D.O.F. 13 DE DICIEMBRE 1989), los valores de sulfatos y nitratos se encuentran por encima de los límites máximos permisibles. La presencia excesiva de fosfatos, sulfatos y nitratos se debe principalmente a las actividades agroindustriales con uso de fertilizantes o agroquímicos.

Tabla 11. Monitoreo de la caracterización de las muestras de agua de la Laguna de Mandinga.

Parámetros	Resultados	
	Promedio de las tres visitas	Desviación estándar
Temperatura (°C)	27.2	4.6
pH	7.9	0.1
Conductividad (mS/cm)	32.1	8.8
Cloro libre	0.2	0.2
Hierro (mg/L)	264.0	177.6
Sulfato SO ₄ ²⁻ (mg/L)	1544.3	1090.4
Nitrato NO ₃ ⁻ (mg/L)	56.9	64.5
Calcio Ca ²⁺ (mg/L)	1393.2	1163.9
Magnesio (mg/L)	414.4	330.0
Fosfatos PO ₄ ³⁻ (mg/L)	2.7	2.5
Níquel (mg/L)	0.1	0.1
SDT (mg/L)	20523.3	5571.1
DBO ₅ (mg/L)	6.7	0.3
DQO (mg/L)	1726.9	1261.6

(Elaboración propia, 2019).

El resto de los parámetros medidos no pueden ser comparados debido a que no existe normatividad al respecto, sin embargo, de acuerdo con los criterios de calidad del agua superficial 2012-215 de CONAGUA (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*) el agua del sistema lagunar muestra una DBO₅ dentro de la clasificación de aceptable, no obstante, la DQO excesivamente alta, indica que la laguna se encuentra fuertemente contaminada por posibles descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales. Según los datos reportados previamente por Lourdes Ánimas (2018) en marzo y noviembre del año 2017 los valores de DQO (2350 y 460 mg/L) y sulfatos (1200 y 500 mg/L) también resultaron por encima de la NMX-AA-121-SCFI-2005, "Muestreo de aguas naturales epicontinentales, costeras y marinas", que indica contaminación permanente en años recientes. Junto con lo anterior y el Plan de Ordenamiento Ecológico de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado (2002 - 2004) se anticipa que continuará incrementándose el turismo y la urbe, y, por tanto, también aumentarán las descargas a la laguna provenientes de actividades industriales, actividades urbanas y actividades agropecuarias, aunado a la posibilidad de requerirse un mayor consumo de las reservas ecológicas productivas (áreas agrícolas y ganaderas) (Burgess, 2008). Cabe mencionar que una alta desviación

estándar se atribuye a que se hicieron tres muestreos diferentes en el año, basados en las tres diferentes temporadas predominantes en Mandinga (sequía, lluvia y huracanes), por lo que los resultados varían de acuerdo a la cantidad de lluvias en el sitio; es decir, a mayor agua, mayor dilución y por ende, menor cantidad de sulfatos, por mencionar un ejemplo.

Tabla 12. Escala de clasificación de calidad de agua superficial con base en la DQO, DBO₅ y SST de CONAGUA (2016).

Clasificación	Código de color	Criterio (mg/L)		
		DBO ₅	DQO	SST
Excelente	Azul	DBO ₅ ≤ 3	DQO ≤ 10	SST ≤ 25
Buena calidad	Verde	3 < DBO ₅ ≤ 6	10 < DQO ≤ 20	25 < SST ≤ 75
Aceptable	Amarillo	6 < DBO ₅ ≤ 30	20 < DQO ≤ 40	75 < SST ≤ 150
Contaminada	Anaranjado	30 < DBO ₅ ≤ 120	40 < DQO ≤ 200	150 < SST ≤ 400
Fuertemente contaminada	Rojo	DBO ₅ > 120	DQO > 200	SST > 200

En la *Tabla 12* se presentan la calidad del agua del sistema lagunar de Mandinga, con una recopilación de datos obtenidos a partir de 1988, donde se registran estudios de contaminación por bacterias del género *enterobacteriaceae*, las cuales son de origen fecal de animales de sangre caliente, estas bacterias se presentan comúnmente en aguas negras (1995 y 1998). Es importante mencionar que durante el año de 1998 fueron reportados casos de cólera. Con respecto a la contaminación por agroquímicos, éstos se encontraron desde el año 1995, así como también se reportó su presencia en el año 1998; cabe mencionar que la contaminación por metales pesados se ha mantenido en niveles altos, según la FAO y la FDA, desde la primera evaluación de estos en el año de 2005.

Tabla 13. Indicadores de calidad ambiental del Sistema Lagunar Mandinga.

Año	Estado
1988	Se registran <i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Shigella</i> , <i>Providencia</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella</i> .
1995	Contaminación por agroquímicos, fertilizantes, desechos industriales y aguas negras.
1997	HAP's totales 5.68 mgg de sedimento, HAP's de bajo peso molecular 0.80 mgg y HAP's de alto peso molecular 4.88 mgg.
1998	Casos de cólera en el Golfo de México.
1998	Contaminación por agroquímicos, fertilizantes, desechos industriales y aguas negras.
2005	Níquel por encima de los valores que producen efectos adversos (20.9 mgg de sedimento).
2005	Cobre y plomo en ostión por encima del máximo 32.5 mgg (FAO) y 1.7 mgg (FDA).
2005	Cadmio y plomo por encima del límite establecido por la NOM-31-SSA1-1993. Concentración promedio de metales totales en sedimento ($\mu\text{g/g}$): Cadmio 0.89 ± 0.46 , Cobre 15.77 ± 6.88 , Cromo 14.75 ± 9.76 , Níquel 72.26 ± 4.09 . Plomo 29.56 ± 5.40 , Zinc 56.14 ± 19.54 (Guzmán Amaya <i>et al.</i> 2005).
2005	Concentración promedio de metales totales en ostión ($\mu\text{g/g}$): Cadmio 2.94 ± 0.97 , Cobre 165.75 ± 133.7 , Cromo 21.06 ± 2.69 , Níquel 3.64 ± 0.93 . Plomo 13.17 ± 1.92 , Zinc 159.81 ± 33.2 (Guzmán Amaya <i>et al.</i> 2005).
2006	Primer registro de la medusa <i>Phyllorhiza punctata</i> . Referencia (nota, foto, observación, declaración, etc)
2018	Caracterización biofísica del agua indica que la laguna se encuentra fuertemente contaminada según los indicadores de CONAGUA con una DQO por encima de los 200 mg/L (Animas, L., 2018).
2019	Caracterización biofísica del agua indica que la laguna se encuentra fuertemente contaminada según los indicadores de CONAGUA con una DQO por encima de los 200 mg/L.

(González *et al.*, 1988; Contreras y Castañeda, 1995; Guzmán *et al.*, 2005; Botello *et al.*, 2001; y Beltrán *et al.*, 2000).

Como se observa en la *Tabla 13*, la calidad del agua en la laguna ha sido impactada negativamente por diversos contaminantes que terminan en ella por diferentes vías, lo cual tiene su origen en las diferentes actividades humanas que se desarrollan en la cercanía (Aranda, 2004; Ponce-Vélez y Botello, 1991) y que origina daños a la salud de los seres humanos y demás especies en el ecosistema (Santiago y Botello, 1987). Los contaminantes que ingresan a la laguna de Mandinga son variados, tales como, el petróleo e hidrocarburos, los plásticos, los plaguicidas y otros compuestos orgánicos, los metales pesados (Aranda, 2004), las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias que al no ser tratadas de manera adecuada o en lo más mínimo antes

de ser desechadas en el sistema lagunar, contienen grandes cantidades de bacterias y nutrientes (Santiago y Botello, 1987; Aranda, 2004; Valiela *et al.*, 1992; Tilman *et al.*, 2001).

8.2.3 Respuesta

Con la aplicación del modelo PER es posible integrar y correlacionar información dispersa resultante de informes oficiales, documentos públicos e investigación de campo, lo que permite analizar un proceso complejo de manera estructurada. La respuesta dentro del modelo se refiere a los esfuerzos sociales realizados por los responsables políticos y la sociedad civil para resolver los impactos negativos tales como la aplicación de cualquier tecnología, o enfoque de gestión, o medida de política o la combinación de ellos con el objetivo de reducir las presiones y/o mejorar el estado del ecosistema en estudio:

- El día 12 de junio de 2014 se inició con el programa “**Yo cuidó mi Laguna**” con la finalidad de preservar la estructura de los ecosistemas, los cuerpos de agua, las lagunas, el mangle y la biodiversidad de la flora y fauna. El proyecto consistió en entregar equipo de apoyo a los pescadores de la S.S.C.P. de Mandinga y Matoza para asumir el compromiso de limpieza del sistema lagunar; además, la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente a cargo de Dalos Ulises Rodríguez Vargas y el alcalde Octavio Ruiz Barroso, firmaron un convenio de colaboración y vinculación con los integrantes de las S.S.C.P. con la finalidad de lograr acuerdos de limpieza para el sistema lagunar, promover y fortalecer las políticas de desarrollo que integran el componente ambiental entre los diversos actores de la sociedad que involucran a los tres niveles de gobierno (Anon., 2014). Desafortunadamente, es un programa que en la actualidad ya no se lleva a cabo.
- Actualmente **Pronatura Veracruz**, que es una asociación civil sin fines de lucro, tiene un proyecto de conservación de los humedales, sistemas lagunares y estuarinos en toda la costa del estado de Veracruz, desde las lagunas de Pueblo Viejo hasta río Coatzacoalcos. En este proyecto su principal objetivo es reducir los impactos de las actividades humanas a través de actividades de uso sustentable de los recursos naturales, al igual que promover la conservación de áreas de manglar (PRONATURA-

VERACRUZ, 2010). De este programa, a la fecha, no se encontraron resultados que puedan medir el valor de esta intervención.

- Las asociaciones civiles Eco-Mare y Oceanus, entre otras, se encargan de manejar y salvaguardar el manglar del estero de Mandinga, mediante trabajos de reforestación del **Programa de conservación y reforestación del Manglar “Río del Dorado” en Estero de Mandinga**; su objetivo es recuperar aquellas zonas donde se ha perdido esta vegetación y monitorearla a través del tiempo para ver la efectividad de estas acciones. Los trabajos de reforestación de manglares se realizan a través de tres técnicas Riley y de Chinampas (Guevara, 2018). La técnica de Riley, utiliza un tubo de PVC de una pulgada y media y se hace un corte a todo lo largo del tubo, se rellena de sustrato y al final se le siembra una semilla de mangle rojo (*Rhizophora mangle*); la técnica de chinampa, consiste en chinampas modificadas de dos metros de largo por 50 centímetros de ancho, las cuales se fijan al sustrato, no llevan fondo, con la finalidad de sembrarles las plántulas de mangle rojo para que se anclen directamente al sustrato del medio natural. La participación social es un importante componente en este proyecto, para la contribución en las jornadas de reforestación y limpieza del manglar (Oceanus, 2019).

Como ya se mencionó con anterioridad, la pesquería es uno de los beneficios obtenidos a través de la Laguna de Mandinga, ya sea para autoconsumo de los pobladores o para la venta al sector turístico. Esta actividad se encuentra semicontrolada y se realiza exclusivamente por las cooperativas de pescadores, durante todo el año, especialmente de junio a octubre, exceptuando los **meses de veda** que van de mayo a julio para el caso del camarón cristal (*Penaeus sp.*), jaiba (*Callinectes similis*) y ostión (*Crassostrea virginica*), además del róbalo (*Centropomus parallelus Poey*), el cual solo entra en veda durante 15 días en mayo, en su periodo de reproducción. Además de estas especies también se pescan mojarra (*Diplodus sp.*), lebrancha (*Mugil sp.*) y bagre (*Bagre sp.*) (Paniagua-Cano, Granados-Sánchez y Granados-Victorino, 2017).

Respecto a la contaminación del agua, hasta el año de 2016 el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la Conagua (Comisión Nacional del Agua) registraba un total de 120 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en el Estado de Veracruz, así como 159

plantas de tratamiento de aguas residuales industriales; sin embargo, el último censo nacional de gobiernos Municipales y Delegaciones, en el Módulo Agua Potable y Saneamiento, presentado por el INEGI 2017, reportó que sólo 45 municipios veracruzanos cuentan con el servicio de tratamiento de aguas residuales municipales y 159 no tienen disponibilidad de este servicio (González, 2018).

- Como caso particular, el gobernador Fidel Herrera Beltrán inauguró la planta de tratamiento de aguas negras y residuos a base de zeolitas en Mandinga, en el municipio de Alvarado; esta planta tenía como finalidad mejorar la calidad del agua de las descargas al sistema lagunar y, por ende, mejorar las condiciones de salud, debido a que es el sustento de la región. La tecnología a base de zeolitas requirió una inversión de 12 millones de pesos; sin embargo, actualmente esta planta se encuentra inactiva (Palma, 2010).

Por lo anterior, es necesario desarrollar nuevas tecnologías rápidas, sustentables y eficientes para atacar el problema ya mencionado, al mismo tiempo que tengan la capacidad de adaptarse a las plantas de tratamiento ya existentes como una tecnología complementaria para aprovechar los espacios designados para ello y con ello, obtener una mejor calidad de agua.

Con todo lo anterior, se integraron las presiones, estado y respuesta en una matriz que permite visualizar las relaciones causales del problema de manera semicuantitativa, dado la naturaleza de los datos con los que se cuentan. Por ejemplo, en la *Tabla* se muestra cómo una el incremento de la población en las comunidades pesqueras y en los alrededores, debido al proyecto “Riviera Veracruzana” (presión), ocasionó un cambio en el uso de suelo del ecosistema (Estado) con la pérdida de manglar; por lo que como respuesta a esta situación, se implementó el programa de conservación y reforestación del Manglar “Río del Dorado”,. El programa pretendió recuperar el manglar perdido mediante técnicas de reforestación y con la participación del gobierno, asociaciones civiles como Pronatura y la comunidad involucrada. Además, la *Tabla* muestra otras presiones a las que se ha sometido el sistema lagunar tales como el crecimiento urbano no sostenible, la creciente demanda de ostión y el incremento de turismo; el estado en el que las situaciones anteriores han impactado a dicho ecosistema y las respuestas que se han propuesto para dichas presiones. Es por lo anterior, que el modelo PER nos permite determinar las relaciones causales de la problemática ambiental en el sitio de estudio. Como puede observarse en la *Tabla*

14, las intervenciones llevadas a cabo han resultado deficientes en resolver la problemática por diversas causas, como falta de monitoreo de los cambios efectuados, la baja temporalidad de su aplicación, o la nula aplicación de las mismas (como el caso de la planta de tratamiento)

Tabla 14. Relaciones causales (Presiones, Estado y Respuestas) identificadas de la problemática ambiental del sistema lagunar de Mandinga, Veracruz.

Presión	Estado	Respuesta identificada/observaciones
Incremento en el turismo	Contaminación de sistema lagunar.	Insuficiencia de programas sociales de concientización y capacitación.
Crecimiento urbano no sostenible	Cambio de uso de suelo.	*Programa de conservación y reforestación del Manglar “Río del Dorado” en Estero de Mandinga (mayo, 2018). Falta de indicadores de monitoreo de la eficiencia de la respuesta
Incremento de población	Mala calidad del agua de la Laguna de Mandinga.	Plantas de tratamiento con capacidad y funcionamiento inadecuado. Planta inaugurada pero sin funcionar, descargas directas de fraccionamiento aledaños, escurrimiento desde campos de cultivo
Creciente demanda de ostión	Sobreexplotación de recursos pesqueros	Periodos de veda no respetados. *Insuficiente atención al problema de parte de la Organización de SSCP para la recolección del ostión

(Paniagua-Cano *et al.*, 2017).

En cuanto a las respuestas, como puede observarse, las provenientes de la sociedad organizada aún son insuficientes, aunque muy apreciables dado los recursos humanos y económicos con los que cuenta; por otro lado, las respuestas gubernamentales son escasas, y algunas realmente resultan simples simulaciones de esfuerzos como lo fue inauguración de la planta de tratamiento. Los esfuerzos institucionales como los programas de monitoreo anual por parte de CONAGUA se quedan cortos al no permitir accesos a esos datos, ni ser atendidos por ninguna autoridad adicional. Una limitación del modelo PER es que la relación causa efecto resultante es del tipo lineal; por lo anterior, el acercamiento al problema desde la teoría de sistemas permite superar estas limitaciones.

En la *Figura 9* se muestra un mapa conceptual cualitativo del problema que permite reforzar el diagnóstico considerándolos elementos identificados con el modelo PER y sus

relaciones, incluyendo las interacciones entre los elementos. El acercamiento desde la teoría de sistemas implica que las relaciones son no lineales, dinámicas (en tiempo y espacio), y, por lo tanto, que para su entendimiento y solución se requiere un acercamiento interdisciplinar.

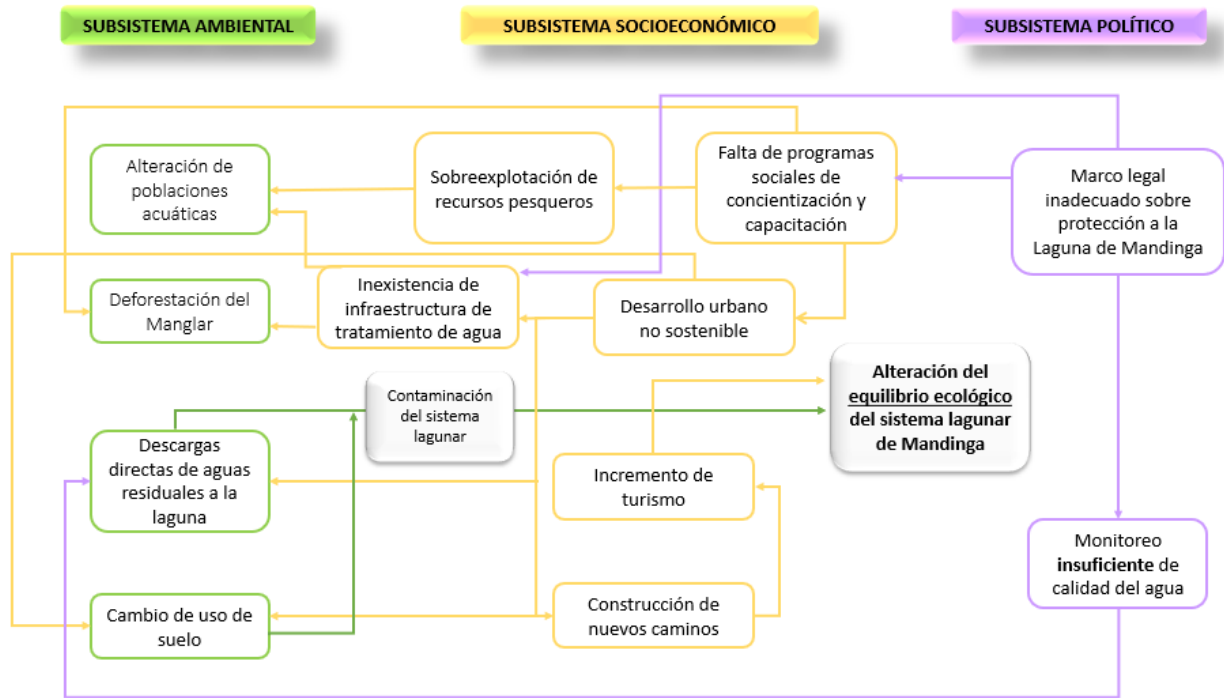


Figura 9. Diagrama de enfoque de sistemas de la problemática identificada en el sistema lagunar de Mandinga.

(Elaboración propia, 2019).

La toma de decisiones para las respuestas en la gestión del agua se basa en la información describiendo aspectos ecológicos, económicos y sociales reunidos en una forma transparente. El manejo, la integración y la interpretación de dicha información requiere una combinación equilibrada de capacidad administrativa y pericia especializada. Esto significa que los administradores de agua y las autoridades encargadas de los ecosistemas de agua dulce tienen que colaborar con científicos ambientales, sociales, ingenieros, economistas y otros para llegar a decisiones de intervención o respuesta acertadas.

La laguna de Mandinga ha estado sometida a un crecimiento intensivo de la población humana debido principalmente al proyecto de la llamada “Riviera Veracruzana”, lo que ha ocasionado una constante disminución de áreas naturales debido a la creación de nuevos espacios habitacionales, el cambio de uso de suelo para satisfacer la demanda de la creciente población y

la construcción de nuevos caminos para mejorar la accesibilidad al lugar, y por consiguiente, un aumento en el turismo, una de las principales actividades económicas del lugar, dando como resultado la sobreexplotación de los recursos pesqueros y contaminación biológica y química del lugar. La madera del manglar es utilizada como material para la construcción de herramientas, viviendas, infraestructura turística y para la obtención de carbón, lo que desafortunadamente contribuye a su deforestación causando la disminución de la calidad del agua, el incremento de la vulnerabilidad a las inundaciones, huracanes, plagas y la transmisión de enfermedades, entre otros (Lara *et al.*, 2009; Paniagua *et al.*, 2018).

Finalmente, la ausencia de programas efectivos de vigilancia y control de contaminantes del ambiente costero mexicano, la falta de programas sociales de concientización y capacitación de los pobladores de la zona, la urbanización en los alrededores del sistema lagunar y la carencia de aplicación de un marco legal adecuado de las normas ambientales han ocasionado que la laguna contenga un alto nivel de contaminantes tales como el Pb, Cd y Cr, HAP's y plaguicidas (Vázquez-Botello *et al.*, 2004), por mencionar algunos; además de la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales e industriales, las descargas directas e incluso la inexistencia de plantas de tratamiento, ha ocasionado efectos toxicológicos negativos en los organismos que lo habitan, que definitivamente terminan en una alteración del equilibrio ecológico del sistema lagunar de Mandinga.

Para el caso de Mandinga, el diagrama presenta interacciones medulares que son necesarias atender para disminuir la intensidad del problema. Se puede concluir que una de las razones de la problemática ambiental en Mandinga es que las intervenciones o respuestas aplicadas carecen de la articulación con los diferentes sectores sociales.

8.2.4 Propuesta tecnológica: Oxidación tipo Fenton con nanocatalizadores amigables

Un problema con las intervenciones o respuestas tecnológicas para reducir la problemática ambiental es que los esfuerzos son generalmente dirigidos contra las causas proximales de algunos de los problemas específicos prestando menos atención (y con frecuencia insuficiente) a los factores causales más distales o estructurales; y sobre todo a la articulación entre ellos. Este enfoque proximal proviene de un enfoque individual de etimología y epidemiología que enfatiza

los factores de riesgo inmediatos y a corto plazo. Es necesario entonces incorporar los procesos más distales en los análisis y diseños de las intervenciones o respuestas, así como en las interacciones entre los elementos causales, lo cual podría resultar en respuestas más sostenibles. Este nuevo enfoque requiere un pensamiento a nivel de sistemas y un enfoque interdisciplinario para el diseño de investigación e intervención.

En este trabajo, se propone una respuesta tecnológica para mitigar la contaminación en la laguna de Mandinga. Para poder valorar eventualmente los efectos de una intervención tecnológica de mitigación es necesario tomar en cuenta la gama completa de posibles impactos o mejoras en el ecosistema, como, por ejemplo, los beneficios que los humanos perciben de su interacción con la naturaleza (Bouwma *et al.*, 2018). La tecnología que se propone para el sistema lagunar se basa en la oxidación química de la materia contaminante mediante un proceso considerado sustentable en la literatura científica; pero que, sin embargo, es normalmente abordado desde la perspectiva disciplinar de química o ingeniería ambiental.

La propuesta metodológica consiste en aplicar nanocatalizadores de hierro para la oxidación de contaminantes químicos y biológicos. Inicialmente se optimizó la técnica llevando a cabo experimentos en muestras modelo. Para ello, se eligió al pireno como compuesto modelo debido a que se han reportado datos de contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) en la laguna de Mandinga tanto en sedimentos como en ostiones, y por representar un ejemplo de contaminante catalogado como complicado de remover debido a su alta persistencia. Los HAP's son compuestos orgánicos constituidos por dos o más anillos bencénicos, la mayoría de ellos contienen solamente carbono e hidrógeno, y son siempre estructuras polinucleares de tipo (Ortiz *et al.*, 2012; Vives *et al.*, 2001); provienen principalmente de la combustión de material orgánico como el carbón, los aceites, la madera, residuos domésticos y combustibles, entre otros. Debido a su amplia distribución en el ambiente y por sus propiedades mutagénicas, carcinogénicas y teratogénicas 16 de ellos son denominados "contaminantes prioritarios" por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, dentro de ellos el pireno (Ortiz-Salinas *et al.*, 2012; Kanzari *et al.*, 2012).

8.2.5 Optimización de condiciones de reacción

Durante una estancia en la Universidad de Santiago de Compostela se probaron diferentes tipos de nanopartículas. Los resultados obtenidos comprenden:

1. Degradación de pireno mediante diferentes nanopartículas magnéticas en muestras patrón de concentración conocida.
2. Determinación de la nanopartícula magnética con mayor porcentaje de degradación para el compuesto pireno.
3. Optimización de tiempo de degradación y concentración de nanopartícula.

Se seleccionaron cinco tipos diferentes de nanopartículas (*Tabla 15*) para la degradación de pireno, las cuales fueron proporcionadas por el grupo de Magnetismo y Nanotecnología (NanoMag) perteneciente al Departamento de Física Aplicada y Departamento de Química Física.

Tabla 15. *Nanopartículas magnéticas utilizadas para la degradación de pireno.*

(Elaboración propia, 2018).

Nanopartículas	Característica	Tamaño (nm)
Fe ₃ O ₄ -TMAOH	Magnetita estabilizada con hidróxido de tetrametilamonio (TMAOH).	8-9
Fe ₃ O ₄ @PAA	Magnetita estabilizada con ácido poliacrílico (PAA).	10
SBA15/Fe ₃ O ₄ @PAA	Nanopartículas de silicatos mesoporosos con magnetita inmovilizada	20
Fe ₃ O ₄ @Citrato	MNPs de magnetita recubiertas de citrato.	10
Fe ₃ O ₄ @PEI (25 kDa)	Magnetita recubierta de PEI.	8

La degradación del pireno se monitoreó a 2 horas, 4 horas, 8 horas y 24 horas, con la finalidad de determinar la eficiencia de las nanopartículas utilizadas al evaluar el porcentaje de degradación monitoreado por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) por sus siglas en inglés, (*Figura 10*).

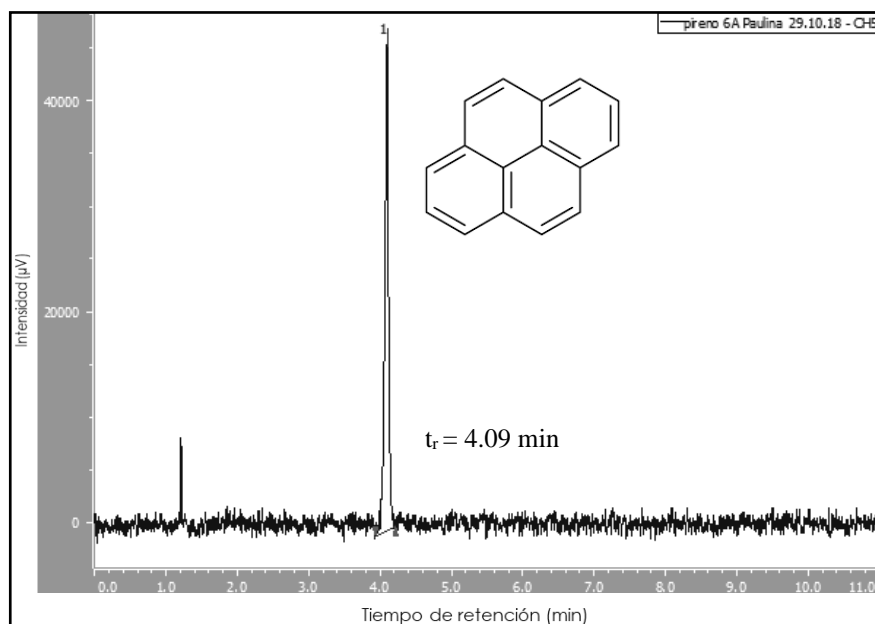


Figura 10. Cromatograma que muestra el pico de elución del pireno.

Para cada ensayo de oxidación se realizó un control para determinar el porcentaje de adsorción de cada una de las nanopartículas empleadas en este estudio, con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de oxidación o adsorción} = \frac{A_i - A_f}{A_i} * 100\%$$

Obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 16).

Tabla 16. Porcentaje de Pireno remante en reacciones con diferentes nanopartículas*.

	Fe ₃ O ₄ -TMAOH		Fe ₃ O ₄ @Citrato		Fe ₃ O ₄ @PEI		Fe ₃ O ₄ @PAA	
	Adsorción	Oxidación	Adsorción	Oxidación	Adsorción	Oxidación	Adsorción	Oxidación
Tiempo cero	100	100	100	100	100	100	100	100
Dos horas	33	44	85	74	93	94	56	33
Cuatro horas	96	59	101	59	88	88	43	29
Ocho horas	97	97	106	53	89	89	30	58
Veinticuatro horas	97	98	103	49	95	82	69	14

*Pireno 1.5 µM, 0.025 M H₂O₂, nanopartícula 5 g/L.

Los resultados obtenidos para los ensayos de adsorción y degradación de pireno muestran que los mejores porcentajes se obtienen con las MNPs de magnetita recubiertas de citrato

(Fe₃O₄@Citrato); se puede observar una disminución progresiva de la concentración de pireno de un 50% aproximadamente después de 8 horas de reacción, manteniéndose así hasta las 24 horas de reacción. Asimismo, se muestra que existe adsorción por parte de las MNPs, sin embargo, después de 4 horas, el pireno es desorbido, llevándose a cabo la degradación de este. Para los resultados obtenidos con las nanopartículas de PAA mostraron la degradación de pireno del 85%; sin embargo, el 30% de este porcentaje ha sido adsorbido por las mismas.

Debido a los resultados obtenidos con anterioridad, se decidió utilizar las nanopartículas de Fe₃O₄@PAA y Fe₃O₄@Citrato, ya que a partir de ellas se obtuvo la mayor degradación de pireno en el menor tiempo respectivamente.

Se varió la concentración del catalizador (100 mg/L, 500 mg/L y 1000 mg/L) con el propósito de determinar el tiempo óptimo de degradación de pireno y la mejor concentración de nanopartícula. Los resultados obtenidos para las MNPs de Fe₃O₄@Citrato se muestran en la *Tabla 17* donde se puede observar los porcentajes de adsorción y degradación del compuesto de estudio a diferentes concentraciones de catalizador. Al utilizar una concentración de 100 mg/L y 500 mg/L de nanopartículas de citrato no obtiene degradación del compuesto; sin embargo, al emplear 1000 mg/L de nanopartículas se obtiene una degradación del 60% en un tiempo de 8 horas, resultado similar a lo obtenido 24 horas después de iniciarse la reacción.

Tabla 17. Porcentaje de degradación y adsorción de pireno a diferentes concentraciones de nanopartículas Fe₃O₄@Citrato*.

	100 mg/L		500 mg/L		1000 mg/L		5000 mg/L	
	Adsorción	Oxidación	Adsorción	Oxidación	Adsorción	Oxidación	Adsorción	Oxidación
Tiempo cero	100	100	100	100	100	100	100	100
Dos horas	96	103	77	97	87	101	85	74
Cuatro horas	98	95	82	96	85	93	101	59
Ocho horas	96	103	91	97	107	43	106	53
Veinticuatro horas	---	---	94	101	108	40	106	49

*Pireno 1.5 μM, 0.025 M H₂O₂.

En cuanto a los resultados obtenidos con las nanopartículas de Fe₃O₄@PAA se muestra en la *Tabla 18* la adsorción y degradación de pireno a diferentes concentraciones de nanopartículas de Fe₃O₄@PAA. Se observa que al emplear una concentración de 100 mg/L de nanopartículas no se obtiene degradación del compuesto, lo mismo sucede con una concentración de 500 mg/L; no

obstante, se logra una degradación del pireno de un 60% en 24 horas con una cantidad de 1000 mg/L de nanopartículas de Fe₃O₄@PAA.

Tabla 18. Porcentaje de degradación y adsorción de pireno a diferentes concentraciones de nanopartículas de Fe₃O₄@PAA.

	100 mg/L		500 mg/L		1000 mg/L		5000 mg/L	
	Adsorción	Oxidación	Adsorción	Oxidación	Adsorción	Oxidación	Adsorción	Oxidación
Tiempo cero	100	100	100	100	100	100	100	100
Dos horas	98	73	103	88	93	90	56	33
Cuatro horas	98	76	108	88	90	77	43	29
Ocho horas	---	---	106	78	96	84	30	58
Veinticuatro horas	---	---	109	85	96	40	69	14

*Pireno 1.5 μM, 0.025 M H₂O₂.

Posteriormente, se optimizó la cantidad de peróxido de hidrógeno, inicialmente se agregaba 0.025 M de peróxido de oxígeno por mL de reacción, sin embargo, una vez que se obtuvieron las mejores condiciones de reacción de nanopartícula, se empleó el doble de peróxido, sin obtener un cambio significativo en el tiempo de reacción y tampoco un mayor porcentaje de degradación del compuesto en cuestión, por lo que se procedió a utilizar la mitad de peróxido de hidrógeno inicial, dando como resultado una nula disminución en el porcentaje de degradación del compuesto. Finalmente se concluyó que la cantidad óptima de peróxido a utilizar es de 0.025 M de reacción.

De acuerdo con lo anterior, se determinó que las mejores condiciones obtenidas para degradar el compuesto pireno fueron 0.025 M de H₂O₂, utilizando 5 g/L de nanopartículas de magnetita estabilizadas con citrato de sodio en un tiempo de 8 horas, por lo que, estas condiciones óptimas se emplearon para ensayar en el agua de Mandinga la remoción de los contaminantes contenidos en la laguna. Lo anterior se realizó monitoreando la mejora de la calidad del agua en las muestras del agua del sistema lagunar mediante los cambios en la DQO antes y después de ser sometida al tratamiento de nanopartículas propuesto, obteniendo como resultado la disminución de DQO en un 62% en promedio como se muestra en la *Tabla 19*.

Tabla 19. Calidad de agua de Mandinga antes y después del tratamiento de nanopartículas de magnetita estabilizadas con citrato de sodio propuesto.

	Mandinga grande ppm	Estero ppm	Mandinga ppm	Promedio ppm	Desviación estándar ppm
DQO inicial	1017	743	743	834	158
DQO final	380	175	371	308	115

Actualmente, ante la necesidad de superar los desafíos de calidad y escasez de agua, se han desarrollado nuevas tecnologías para resolver el problema; sin embargo, las metodologías disponibles para evaluar el impacto de soluciones innovadoras para los desafíos relacionados con el agua siguen siendo limitadas y altamente teóricas, lo que establece límites en su aplicación y utilidad para los profesionales del agua, obstaculizando la implementación de nuevas tecnologías y prácticas de gestión innovadoras, por lo que se deja vulnerable a la naturaleza, y se pierden beneficios para la sociedad y la economía. Es por lo que es necesario evaluar los cambios en los servicios de los ecosistemas (ESS) asociados a soluciones técnicas de nuevas tecnologías a nivel de cuerpo de agua, subcuenca o captación. Lo anterior se queda como recomendación general para futuros trabajos.

X. CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo con los resultados mostrados, se pueden mencionar lo siguiente:

- Se diagnóstico la situación ambiental del sistema lagunar aplicando el modelo conceptual PER, que permitió estructurar al sistema para conocer de manera más completa la problemática ambiental.
- Se identificaron los componentes sociales, institucionales, económicos y ecológicos, así como algunas de las relaciones causales que explican de manera más integral la problemática ambiental.
- Además de la contaminación del agua, los principales eventos ambientales en la entidad son la deforestación, la afectación de humedales, todas estas problemáticas calificadas con un nivel de importancia “alta” por parte de la Semarnat.
- La aplicación de la oxidación catalizada por nanopartículas de magnetita logró reducir la DQO en un 60%, mejorando así la calidad del agua y por ende los servicios ecosistémicos del sistema lagunar.
- Algunas de las intervenciones realizadas fueron meramente simulación como la PTAR inaugurada para el tratamiento de las aguas residuales que desembocan en la laguna, por lo que el sistema se encuentra en constante afectación.

XI. LITERATURA CITADA

- PNUD, 2016. Objetivos de desarrollo sostenible. [En línea] Available at: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-9-industry-innovation-and-infrastructure.html> [Último acceso: octubre 2017].
- Agudo, A., 2009. *Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) Acercamiento a su problemática como riesgo laboral*. España: Process Print.
- Albert, L. A., 2004. Compuestos orgánicos persistentes. Cap.21. En: *Toxicología ambiental*. Ciudad Juárez: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, pp. 333-358.
- Ambiente, P. F. d. P. a., 2014. *México protege sus Manglares*. [En línea] Azuz-Adeath, I., & Rivera-Arriaga, E. (2009). Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005. *Papeles de población*, 15(62), 75-107.
- Andrade, Á., Arguedas, S. & Vides, R., 2011. *Guía para la aplicación y monitoreo del Enfoque Ecosistémico*. CEM-UICN, CI-Colombia: ELAP-UCI, FCBC, UNESCO-Programa MAB.
- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A. & Marotta, R., 1999. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. *Catalysis today*, Volumen 53, pp. 51-59.
- Anthony, A. y otros, 2009. Coastal Lagoons and Climate Change: Ecological and Social Ramifications in U.S. Atlantic and Gulf Coast Ecosystems. *Ecology and Society*, 14(1).
- Barnes, R. S. K., 1980. *Coastal lagoons*. Primera ed. Gran Bretaña: Cambridge University.
- Berlanga, C., Ruiz, A. & Lanza, G., 2008. Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas*, Boletín 66. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Issue ISSN 0188-4611.
- Bustamante, C. 2011. Una lectura de la relación sociedad naturaleza desde la historia ambiental mexicana.
- Caríssimo, M. S. y otros, 2013. *Ecosistemas acuáticos*, Buenos Aires: Instituto Nacional de Formación Docente.
- Castañeda López, O. & Contreras Espinosa, E., 2003. *Ecosistemas costeros mexicanos, una actualización*. [En línea] Available at: <http://investigacion.itz.uam.mx/ocl/mapa.html>
- Chun Chan, I., Holaski, R. & Arnold, W., 2005. Degradation of Drinking Water Disinfection Byproducts by Synthetic Goethite and Magnetite. *Environmental Science & Technology*, pp. 8525-8532.
- CIDA, W. B. a., 2001. *Persistent Organic Pollutants and the Stockholm Convention: A Resource Guide*, s.l.: s.n.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. México, D. F.: CONABIO.
- CONANP, C. N. d. Á. N. P., 2013. Humedales de México. [En línea] Available at: http://ramsar.conanp.gob.mx/la_conanp_y_los_humedales.php
- Conde, A. Ortiz, P. y Rodríguez, A. (coord.) El medioambiente como sistema socio-ambiental. Pp 105-116. México.
- Contreras, F., Castañeda, O., Barba-Macías, E. & Pérez H., M. A., 2002. *Caracterización e importancia de las lagunas costeras En: INPI/U. Ver_ (eds.) CRIP/INP/SAC,ARPA/ U.Veracruzana, México,, México: CRIP/INP/SAGARPA/U. Veracruzana.*
- Costanza, R., d'Arge, R., deGroot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387 (6630): 253–260.
- D. Enger, E. & S. Smith., B., 2010. *Environmental science: A study of Interrelationships*. 12 ed. Washington: MC Graw Hill.
- Daily, G. C. (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Pr.
- De la Cruz González, N., 2013. *Estudio de la eliminación de contaminantes en aguas mediante Procesos de Oxidación Avanzados*. Barcelona: Universitat de Barcelona.

- Estocolmo, S. d. C. d., 2011. *Convenio de Estocolmo, 10 aniversario*, Châtelaine, Ginebra: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Fernández, J. & Curt, M. D., s.f. *Métodos Analíticos para aguas residuales*. [En línea] Available at: <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%20Anexos1.pdf> [Último acceso: 5 diciembre 2017].
- Flores Primo, A. y otros, 2015. Crecimiento y sobrevivencia de *Vibrio parahaemolyticus* en ostión americano (*Crassostrea virginica*) almacenado en refrigeración. *Salud pública de México*, 57(3), pp. 211-218.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. 2005. Global Consequences of Land Use. *SCIENCE* 209, 570.
- García Gámez, C., Gortáres Moroyoqui, P. & Drogui, D., 2011. Tratamientos biológicos y de oxidación avanzada combinados para una solución a la biotecnología ambiental. *Ideas CONACYTEG*, 7(71), pp. 585-605.
- García, R., 2006. *Sistemas complejos*. Primera ed. Barcelona: Gedisa.
- Gutiérrez Pulido, H. & de la Vara Salazar, R., 2012. *Análisis y diseño de experimentos*. Tercera ed. D.F.: Mc Graw Hill.
- Guzmán-García, X., Botello, A., Martínez-Tabche, L. & González-Márquez, H., 2009. Effects of heavy metals on the oyster (*Crassostrea virginica*) at Mandinga Lagoon, Veracruz, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 57(4), pp. 955-962.
- Hamann Pastorino, A., 2013. *El marketing verde*, s.l.: Universidad ESAN,
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, M. d. P., 2014. *Metodología de la Investigación*. Sexta ed. México: Mc Graw Hill.
- Hídricos, P. M. d. E. d. I. R., 2003. *Agua para todos. Agua para la vida.*, París: UNESCO.
- Hinojosa Reyes, M., 2015. *Nanocatalizadores Au/TiO₂-X (X = Ni, Fe, Cu) y su aplicación en la producción/purificación sustentable de H₂ y en la oxidación de CO a baja temperatura*. San Luis Potosí: INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C..
- INECC, 1997. *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. Propuesta Ejecutiva Nacional*. [En línea] Available at: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/144/cap4.html> [Último acceso: 26 Octubre 2016].
- INEGI, 2005 Y 2010. *CONTEO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA*. Veracruz: CONEVAL.
- INEGI-SEPESCA, 1987. *Carta básica nacional de información pesquera*. s.l.:DGI, SNIIP.
- J. Kennish, M. & W. Paerl, H., 2010. *Coastal Lagoons. Critical habits of environmental change*. USA: Marine science series.
- Jie, G., Hong, F. 2011. Structure of Land Use Change and Its Affecting Factors: Based on Hubei Province. *Energy Procedia* 5: 2617–2622.
- Johnson Retsrepo, B. y otros, 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons and their hydroxylated metabolites in fish bile sediments from coastal waters of Colombia. *Environmental Pollution*, Volumen 151, pp. 452-459.
- Kanzari, F. y otros, 2012. Aliphatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, organochlorine, and organophosphorous pesticides in surface sediments from the Arc river and the Berre lagoon, France. *Environmental Science Pollution Rs*, Volumen 19, pp. 559-576.
- Kjerfve, B., 1994. Chapter 1 Coastal Lagoons. *Elsevier Oceanography Series*, Volumen 60, pp. 1-8.
- Lambin, E.F., Turner, B.L., Geista, H.J., Agbolac, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzog, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Lin, X., Morano, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skanes, H., Steffent, W., Stone, G.D., Svedin, U.,

- Veldkampw, T.A., Vogelx, C., Xuy, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261 – 269.
- Lankford, R., 1977. *Coastal lagoons of Mexico, Their origin and classification*„. Nueva York: M Wiley.
 - Lara-Domínguez, A. L., López-Portillo, J., Martínez-González, R. & Vazquez-Lule, A. D., 2009. *Caracterización del sitio manglar Mandinga, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*, México, D. F.: Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica.
 - Márquez, G., 1992. *Algunos aspectos fisiográficos, fluviales y sedimentológicos de la cuenca hidrográfica asociada a la laguna de Mandinga, Veracruz. Res. III Reunión Nal.*, s.l.: s.n.
 - Mass, J. M. & Martínez, A., 1990. *Los Ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto. Ciencias.* s.l.:s.n.
 - Mathias Weber, K., s.f. *Tecnologías ambientales*. Madrid: Acción innovadora.
 - Mendoza-González, G., Martínez, M.L., Lithgow, D., Pérez-Maqueo, O., Simonin, P. 2012. Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. *Ecological Economics* 82: 23–32.
 - Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. En: Washington: Island Press, p. 155.
 - Moreno Casasola, P. y otros, 2010. Composición florística, diversidad y ecología de humedales herbáceos emergentes en la planicie costera central de Veracruz, México. *Sociedad Botánica de México*, Issue 87.
 - Moreno Jiménez, J. M., Aguarón Joven, J. & Escobar Urmeneta, M. T., 2001. Metodología científica en valoración y selección ambiental. *Pesquisa Operacional*, 21(1), pp. 1-16.
 - Net, S. y otros, 2015. Overview of persistent organic pollution (PAHs, Me-PAHs and PCBs) in freshwater sediments from Northern France. *Elsevier- Journal of Geochemical Exploration-Science Direct*, Volumen 148, pp. 181-188.
 - Neyens, E. & Baeyens, J., 2003. A review of classic Fenton’s peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials*, pp. 33-50.
 - NOM-059-SEMARNAT-2010, S. d. M. A. y. R. N., 2010. *Protección ambiental - especies nativas de México de flora y fauna silvestres- categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - lista de especies en riesgo..* México: Diario Oficial.
 - Olaniyi, A.O., Abdullah, A.M., Ramli, M.F., Alias, M.S. 2012. Assessment of drivers of coastal land use change in Malaysia. *Ocean & Coastal Management* 67: 113 – 123.
 - Ortiz-Lozano, J. A. 2015. *Modificación en la provisión de los servicios ambientales por efecto del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa, Veracruz, México. Tesis de Doctor en Ciencias.* Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Boca del Río, Veracruz, México. 86 p.
 - Ortiz Pérez, M. A. , M. A. & de la Lanza Espino, G., 2006. *Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional*, s.l.: Serie Textos universitarios, Instituto de Geografía, UNAM.
 - Ortiz Salinas, R., Cram, S. & Sommer, I., 2012. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en suelos de la llanura aluvial baja del estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 28(2), pp. 131-144.
 - Otto, R., Krüsi, B.O., Kienast, F. 2007. Degradation of an arid coastal landscape in relation to land use changes in Southern Tenerife (Canary Islands). *Journal of Arid Environments* 70: 527–539.
 - Padrón, J., 2007. Tendencias Epistemológicas de la Investigación Científica en el Siglo XXI. *Cinta de Moebio*, Volumen 28, pp. 1-28.
 - Palacios Fest, M. & Vargas Rancel, R., 2002. Pesquería de ostión. En: B. C. Q. L. C. D. C. D. F. M. C. C. & G. S. L. A. P. Guzmán, ed. *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*. México: SAGARPA-UV, pp. 96-111.

- Paniagua Ruiz, I. Carranza Sánchez, I. Ramírez Ramírez, M.I. (2011). Método Híbrido Para La Detección De Cambios En La Cubierta De Suelo En Áreas Naturales Protegidas. Memorias de la XIX Reunión Nacional SELPER-México. México, DF: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, 36-42.
- Pérez Andrade, J., 2013. *Nanopartículas de magnetita como catalizadores heterogéneos para reacciones Fenton*. Puebla: UDLAP.
- Pérez Garrido, C., León Rodríguez, M. L. & Delgadillo García, G. R., 2013. *Tratamiento de aguas. Manual de laboratorio*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pérez-Cruz, Y. G., Rangel-Ruiz, L.J. & Gamboa-Aguilar, J., 2013. Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de la Biósfera “Pantanos de Centla” Tabasco, México. *Hidrobiológica*, 23(1), pp. 1-8.
- Ponce-Vélez, G., & Botello, A. V. (1991). Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la Laguna de Términos, Campeche. *Hidrobiológica*, 1(2), 1-10.
- Pozo, K. y otros, 2011. Levels and spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Lengua Estuary, central Chile. *Elsevier*, Volumen 62, pp. 1572-1576.
- Rabodonirina, S. y otros, 2015. Distribution of persistent organic pollutants (PAHs, Me-PAHs, PCBs) in dissolved, particulate and sedimentary phases in freshwater systems. *Environmental Pollution*, Volumen 206, pp. 38-48.
- Reyes Velázquez, C. y otros, 2010. Pathogenic vibrios in the oyster *Crassostrea virginica* in the lagoon system of Mandinga, Veracruz, Mexico. *Hidrobiológica*, 20(3), pp. 239-245.
- Rubio Clemente, A., Chica Arrieta, E. L. & Peñuela Mesa, G. A., 2013. Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. *Revista Ambiente & Agua*, 8(3), pp. 93-103.
- www.sagarpa.gob.mx, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Pesquero 2012. Consultado en línea en enero 2019.
- Salas C., G., 2010. Tratamiento por oxidación avanzada (reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 13(1), pp. 30-38.
- Sánchez Salinas, E., Ortiz Hernández, M. L. & Castrejón Godínez, M. L., 2014. *Contaminación urbana del aire*. Primera ed. Morelos: Programa de gestión ambiental universitario.
- Santiago, H. R., & Botello, A. V. (1987). Contaminación enterobacteriana en la red de agua potable y en algunos sistemas acuáticos del sureste de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 3(1), 37-53.
- Shalaby, A., Tateishi, R. 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography* 27: 28 – 41.
- Shengxiao, . Z. y otros, 2009. Superparamagnetic Fe₃O₄ nanoparticles as catalysts for the catalytic oxidation of phenolic and aniline compounds. *Journal of Hazardous Materials*, Volumen 167, pp. 560-566.
- Smith, R. L., 1980. *Ecology and Field Biology*. Tercera ed. Nueva York: Harper & Row.
- Stasinaskis, A. S., 2008. Use of selected advanced oxidation processes (AOPs) for wastewater treatment. *Global Nest Journal*, 10(3), pp. 376-385.
- Tang, Z., Engel, B.A., Pijanowski, B.C., Lim, K.J. 2005. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management* 76: 35–45.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., ... & Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292(5515), 281-284.
- Timaná Castillo, M. S., 2009. *Compuestos orgánicos persistentes en el aire*. Lima: s.n.
- Toledo Ibarra, G. y otros, 2016. Assessment pollution of the Boca de Camichin Estuary in Nayarit (Mexico) and its influence on oxidative stress in *Crassostrea corteziensis* oysters. *Comparative Biochemistry and Physiology*, pp. 47-55.

- UNEP-ONU, 2008. *Convention Stockholm*. [En línea] Available at: <http://chm.pops.int/Home/tabid/2121/Default.aspx> [Último acceso: 20 Septiembre 2019].
- Valiela, I., McClelland, J., Hauxwell, J., Behr, P. J., Hersh, D., & Foreman, K. (1997). Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnology and Oceanography*, 42(5part2), 1105-1118.
- Vázquez Botello A, Calva LG y Ponce Velez G. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Coastal Lagoons of Veracruz State, Gulf of Mexico. (2001). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67: 889-897.
- Vázquez-Yáñez, C., 1971. La vegetación de la laguna de Mandinga, Ver.. *Anales del Instituto de Biología*, 42(1), pp. 49-94.
- Vives, I., Grimalt, J. O. & Guitart, R., 2001. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos y la salud humana. *Apuntes de ciencia y tecnología*, Volumen 3, pp. 45-51.
- Volke Sepúlveda, T. & Velasco Trejo, J. A., 2002. *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. México: INE-SEMARNAT.
- Xie, Z., Xu, L., Duan, X., Xu, X. 2012. Analysis of boundary adjustments and land use policy change e A case study of Tianjin Palaeocoast and Wetland National Natural Reserve, China. *Ocean & Coastal Management* 56: 56 – 63.