



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO®

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

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

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

"CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL SISTEMA LAGUNAR DE MANDINGA Y SU  
IMPACTO EN LA PESQUERÍA DE *Crassostrea virginica*"

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA

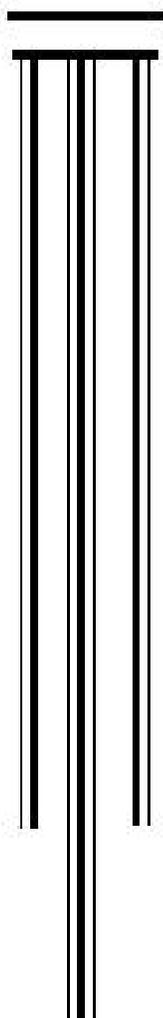
KARLA TERESA GONZÁLEZ FIGUEROA

DIRECTOR DE TESIS

DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO

12/JUNIO/2020

BOCA DEL RIO, VER





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

**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

Número Registro: A-0711-130818

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 12:00 horas del día 4 del mes de mayo de 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

**"CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL SISTEMA LAGUNAR DE MANDINGA Y SU IMPACTO EN LA PESQUERÍA DE *Crassostrea virginica*"**

Que presenta el (la) alumno(a):

KARLA TERESA GONZÁLEZ FIGUEROA

Aspirante al Grado de:

**Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental**

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

**LA COMISIÓN REVISORA:**

**Dra. Fabiola Lango Reynoso**  
Directora

**Dra. Verónica Lango Reynoso**  
Co-Directora

**Dra. María del Refugio Castañeda Chávez**  
Asesora

**Dr. Jesús Montoya Mendoza**  
Asesor





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

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

Boca del Río, Ver **12/mayo/2020**

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

**KARLA TERESA GONZÁLEZ FIGUEROA  
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN  
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
PRESENTE**

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

**"CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL SISTEMA LAGUNAR DE MANDINGA Y SU IMPACTO EN LA PESQUERÍA DE *Crassostrea virginica*"**

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

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

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



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



## **Dedicatoria**

A Dios por permitirme llegar a la culminación de esta etapa.

A mi familia por su apoyo incondicional.

A Brenda y Diana por su amor infinito.

## **Agradecimientos**

Al CONACYT por la beca otorgada en la formación del posgrado Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA.

Al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río por la formación dentro de sus instalaciones y por el apoyo al proyecto de investigación: CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL SISTEMA LAGUNAR DE MANDINGA Y SU IMPACTO EN LA PESQUERÍA DE "CRASSOSTREA VIRGINICA" PROYECTO TECNOLÓGICO 2020.

Al Colegio de Postgraduados por el apoyo dentro de sus instalaciones y los cursos brindados.

A mi comité académico. A la Dra. Fabiola Lango Reynoso por sus correcciones y apoyo. A la Dra. Verónica Lango Reynoso por su confianza y asesoramiento. A la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez y al Dr. Jesús Montoya Mendoza por sus consejos, correcciones y puntos de vista.

A mis compañeros de posgrado generación: enero 2018 – diciembre 2019 por ser los mejores compañeros, gracias por todo su apoyo y amistad brindada.

## Resumen

El Sistema Lagunar de Mandinga es un ecosistema donde las poblaciones que viven al margen de este se dedican a la actividad pesquera destacándose por la productividad de ostión *Crassostrea virginica*. Sin embargo, este sistema quedo inmerso en una zona de desarrollo urbano de alta plusvalía en el cual el crecimiento antrópico avanza aceleradamente. El objetivo de esta investigación es determinar la asociación entre el cambio en la productividad de la pesquería de *C. virginica* y el cambio de uso de suelo en los márgenes del Sistema Lagunar de Mandinga. Se calcularon las tasas de deforestación y de cambio de las clases de vegetación y uso de suelo, utilizando Sistemas de Información Geográfica, insumos geográficos de la CONABIO para los años 2005, 2010, 2015 e imágenes Sentinel 2A para el año 2019. Se realizó un análisis de tendencia con datos del INAPESCA y por último se realizó una correlación entre las áreas de cada clase de vegetación y uso de suelo con los datos de pesca. La clase *Desarrollo antrópico* tiene las tasas de cambio con mayor crecimiento entre los años 2010 y 2015 (5.72 %) y entre 2015 y 2019 (7.01 %), la tasa de deforestación con mayor disminución es para la clase *Otra vegetación* (-8.80 %) en el último periodo. El análisis demostró una tendencia a la baja para la pesca de ostión. La clase *Otra vegetación* presento una correlación negativa con la pesca de ostión sin significancia estadística. El análisis de los mapas de cambio del año 2019 y las tasas de deforestación presentaron una tendencia al crecimiento urbano en la línea de costa y los alrededores del margen lagunar de mandinga.

**Palabras clave:** sistemas de información geográfica, tasa de deforestación, manglar, laguna costera.

## Abstract

The Mandinga Lagoon System is an ecosystem where the populations that live on the margins of it dedicate to the fishing activity, standing out for the productivity of *Crassostrea virginica* oyster. However, this system remains immersed in a high-value urban development zone in which anthropic growth is advancing rapidly. The objective of this research is to determine the association between the change in the productivity of the *C. virginica* fishery and the change in land use on the margins of the Mandinga Lagoon System. Deforestation and change rates of vegetation classes and land use were calculated using Geographic Information Systems, geographic inputs from the CONABIO for the years 2005, 2010, 2015 and Sentinel 2A images for the year 2019. A trend analysis was performed with data from the INAPESCA and finally a correlation was made between the areas of each vegetation class and land use with the fishing data. The *Desarrollo antrópico* class has the exchange rates with the highest growth between 2010 and 2015 (5.72%) and between 2015 and 2019 (7.01%), the deforestation rate with the greatest decrease is for the *Otra vegetación* class (-8.80%) in the last period. The analysis showed a downward trend for oyster fishing. The *Otra vegetación* class presented a negative correlation with oyster fishing without statistical significance. The analysis of the year 2019 change maps and deforestation rates showed a trend of urban growth in the coastline and around the Mandinga lagoon margin.

**Keywords:** geographical information system, deforestation rate, mangrove, coastal lagoon.

## Índice

|   |     |
|---|-----|
| Resumen .....   | i   |
| Abstract .....  | ii  |
| Índice de figuras .....   | v   |
| Índice de cuadros .....   | vi  |
| Índice de ecuaciones.....   | vii |
| 1. Introducción.....  | 1   |
| 2. Antecedentes .....   | 3   |
| 3. Marco teórico.....   | 5   |
| 3.1. Lagunas costeras.....  | 5   |
| 3.2. Manglares .....  | 6   |
| 3.3 Humedales.....  | 8   |
| 3.4. Servicios ecosistémicos de los humedales .....   | 9   |
| 3.4.1. Servicios ecosistémicos del bosque de mangle en el Sistema Lagunar de Mandinga ..... | 10  |
| 3.5. Actividad pesquera.....  | 11  |
| 3.5.1. Actividad pesquera en el Sistema Lagunar de Mandinga .....                           | 12  |
| 3.6. Cambio de uso de suelo .....   | 13  |
| 3.6.1. Cambio de uso de suelo en el Sistema Lagunar de Mandinga .....                       | 15  |
| 3. 7. Formas de evaluar el cambio de uso de suelo en zonas costeras.....                    | 17  |
| 3.8. Datos históricos del Sistema Lagunar de Mandinga .....                                 | 18  |
| 3.9. Impactos ambientales .....   | 20  |
| 3.10. Legislación aplicable .....   | 21  |
| 3.11. Programas de ordenamiento urbano y territorial .....                                  | 23  |
| 4. Justificación.....   | 33  |
| 5. Objetivos .....  | 35  |
| 5.1. Objetivo general.....  | 35  |
| 5.2. Objetivos específicos .....  | 35  |
| 6. Materiales y métodos .....   | 36  |
| 6.1. Área de estudio.....   | 36  |
| 6.2. Determinación de la tasa de cambio de uso de suelo en el margen del SLM .....          | 38  |

|   |    |
|---|----|
| 6.3. Determinación de la tasa de cambio en la producción pesquera de ostión <i>C. virginica</i> del SLM.....  | 42 |
| 6.4. Evaluación de la asociación que existe entre la tasa de cambio de uso de suelo y la tasa de cambio en la producción pesquera de ostión del SLM ..... | 42 |
| 7. Resultados y discusión.....  | 43 |
| 7.1. Tasa de cambio de uso de suelo en el margen del SLM .....  | 43 |
| 7.2. Tasa de cambio en la producción pesquera de ostión .....   | 59 |
| 7.3. Asociación entre la tasa de cambio de uso de suelo y la tasa de cambio en la producción pesquera de ostión del SLM .....                             | 63 |
| 8. Conclusión.....  | 65 |
| 9. Literatura citada.....   | 66 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Municipios de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado .....   | 16 |
| Figura 2. Sistema Lagunar de Mandinga, municipio de Alvarado, Veracruz .....  | 37 |
| Figura 3. Habilitación de nuevos fraccionamientos .....   | 45 |
| Figura 4. Porcentaje de las áreas de las clases de suelo y vegetación del SLM en los diferentes años de estudio .....                                 | 46 |
| Figura 5. Terrenos en venta sobre el Boulevard Riviera Veracruzana .....  | 48 |
| Figura 6. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM año 2005 .....  | 49 |
| Figura 7. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM año 2010 .....  | 50 |
| Figura 8. Fraccionamientos habitados en el área de estudio, sobre el Boulevard Riviera Veracruzana .....  | 51 |
| Figura 9. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM año 2015 .....  | 52 |
| Figura 10. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM año 2019 .....   | 54 |
| Figura 11. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM años 2005, 2010, 2015 y 2019 .....   | 55 |
| Figura 12. Tasas anuales de deforestación de las clases de suelo del SLM de los periodos de estudio. TAD=Tasa Anual de Deforestación (FAO,1996) ..... | 58 |
| Figura 13. Tasas anuales de cambio de las clases de suelo del SLM. TAC= Tasa Anual de Cambio (Puryvaud, 2003) .....                                   | 59 |
| Figura 14. Ordenamiento pesquero para las Sociedades Cooperativas del Sistema Lagunar de Mandinga. Fuente: Aldassoro, (2015) .....                    | 61 |
| Figura 15. Análisis de tendencia de producción de ostión en el SLM .....  | 62 |

## Índice de cuadros

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Legislación aplicable al Sistema Lagunar de Mandinga.....  | 22 |
| Cuadro 2. Programas de Ordenamiento vigentes en la zona conurbada .....  | 23 |
| Cuadro 3. Sistema de clasificación utilizado en el procesamiento digital de las imágenes satelitales .....   | 39 |
| Cuadro 4. Matriz de confusión de la clasificación de las imágenes 2019 .....   | 44 |
| Cuadro 5. Uso de suelo y vegetación en Mandinga, Veracruz área en 2005 y 2010 y sus diferencias .....  | 47 |
| Cuadro 6. Uso de suelo y vegetación en Mandinga, Veracruz área en 2015 y 2019 y sus diferencias .....  | 47 |
| Cuadro 7. Tasas anuales de deforestación y cambio en el uso de suelo en Mandinga, Veracruz .....   | 58 |
| Cuadro 8. Cooperativas del Sistema Lagunar de Mandinga que reportan ostión ..  | 60 |
| Cuadro 9. Volumen de captura total de la producción pesquera de ostión del Sistema Lagunar de Mandinga del año 2005 al 2017. Fuente: INAPESCA (2018) .....   | 61 |
| Cuadro 10. Correlación de Pearson (valor de r) entre el área de las clases de uso de suelo años 2005, 2010 y 2015 con los volúmenes de captura de producción de ostión, en negritas valores significativos ( $p < 0.05$ )..... | 64 |

**Índice de ecuaciones**

(1) Tasa Anual de Deforestacion ..... 41  
(2) Tasa Anual de Cambio ..... 42

## 1. Introducción

El Sistema Lagunar de Mandinga (SLM), se encuentra localizado en el municipio de Alvarado, Veracruz. Colinda al norte con el municipio de Boca del Río y al noroeste con el municipio de Medellín, tiene una longitud aproximada de 20 km y está compuesto por seis cuerpos de agua interconectados (Aldasoro, 2015), tiene una orientación norte-sur y está asociado al Río Jamapa, arroyo Moreno y al mar (González *et al.*, 2018).

Una vegetación propia del SLM son los arboles de mangle conformada por los tipos *Avicenia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rizophora mangle*, los cuales proporcionan diversos servicios a su entorno. Entre los servicios ecosistémicos, son zona de crianza y crecimiento de diversas especies de peces y crustáceos (Lara-Domínguez *et al.*, 2009); en cuanto a los servicios de aprovisionamiento, se encuentra el autoconsumo de madera utilizada para leña, estantería, construcción de herramientas, viviendas e infraestructura turística (muelles) (Paniagua-Cano *et al.*, 2018); dentro de los servicios culturales, los pobladores afiliados a las cooperativas de lancheros de la Laguna de Mandinga realizan recorridos ecoturísticos.

La pesca en pequeña escala es la principal actividad económica de las comunidades asociadas al Sistema Lagunar de Mandinga, con la captura de ostión, jaiba y peces de escama como lebrancha, sargo, mojarra, chucumite y robalo; destacando el recurso ostión por su mayor volumen de captura.

El Sistema Lagunar de Mandinga se ubica en una zona de alta plusvalía donde el crecimiento urbano avanza aceleradamente desde hace 17 años. En el año 2002 inició con el proyecto “Riviera Veracruzana” como parte del Plan de Desarrollo de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado y con ello, se incrementó la venta de terrenos ejidales en toda la franja de la Carretera 150 Boca del Río-Antón Lizardo, actualmente llamado “Boulevard Riviera Veracruzana” (Gobierno del Estado de Veracruz, 2008a).

A partir del año 2010, se refleja un mayor avance del desarrollo antrópico en la franja paralela a la costa, el proceso de urbanización y las actividades económicas, en específico las turísticas, y recientemente las inmobiliarias, en donde se incluyen hoteles, fraccionamientos, plazas comerciales y centros educativos privados, mismos que afectan a los ecosistemas de esta zona, principalmente en las áreas de laguna y de manglar (Navarro, 2017).

La urbanización perturba al ecosistema por el crecimiento de las comunidades y la construcción de nuevos fraccionamientos alrededor del margen lagunar, provocando la tala de mangle y las descargas de aguas residuales (Aldeco *et al.*, 2015; Paniagua-Cano *et al.*, 2018).

Debido a que los eventos de cambio de uso de suelo se generan de forma acelerada, es pertinente conocer oportunamente el porcentaje de modificación de las zonas naturales a áreas urbanas o agrícolas para conocer su impacto en el entorno. Por ello el objetivo de esta investigación es analizar la asociación entre el cambio en la productividad de la pesquería artesanal de ostión *Crassostrea virginica* y el cambio en el uso de suelo ocurrido históricamente en los márgenes del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz; información que puede apoyar la planificación y el diseño de estrategias de gestión, conservación y restauración de la zona en beneficio directo de la comunidad de pescadores de mandinga e indirecto de la población en general de la región.

## 2. Antecedentes

Existen estudios sobre los aspectos que causan impacto a las zonas costeras, particularmente los efectos sobre las pesquerías (Ortiz *et al.*, 2010), mencionaron que un aspecto que influye negativamente en las pesquerías es la continua afectación del manglar derivada de la construcción de desarrollos residenciales, urbanos y turísticos; por ello, en la costa veracruzana se presentan efectos graves en la comunidad arrecifal en general y particularmente en la producción pesquera por el cambio de uso de suelo en la zona de manglares, arriesgando con ello la estabilidad de las costas, e incrementado la vulnerabilidad ambiental de la zona urbana costera veracruzana.

Moreno-Casasola y colaboradores (2002), consideraron al manglar como el principal factor relacionado con la magnitud de la producción pesquera. Sin embargo, no se observó una relación directa entre ambos aspectos ya que la mayor superficie de manglar no corresponde con la mayor producción pesquera, concluyendo que existen otros factores influyentes, como la cuenca hidrológica.

Existen investigaciones donde, además de la evaluación del cambio de uso de suelo, incluyen Sistemas de Información Geográfica debido a que son herramientas útiles para identificar estos efectos.

Zepeda y colaboradores (2012), determinaron el cambio de uso de suelo ocurrido entre los años 1973 y 2008 en las Ciénegas de Lerma y lo relacionaron con la diversidad de la vegetación acuática que conservan. Concluyen que la expansión de áreas agrícolas y urbanas desplazó a las áreas inundables, causando efectos negativos sobre la diversidad y estructura de la vegetación acuática de las Ciénegas.

Peralta y colaboradores (2015), analizaron los cambios de cobertura del suelo en la parte norte de Bolivia entre los años 1986 a 2011 a través de Sistemas de Información Geográfica para evaluar la tasa de cambio de cobertura y deforestación. Concluyen que la pérdida de vegetación ha ocurrido principalmente en la categoría de bosque con una

tasa de cambio de -0.22 % entre los años 1986 y 2000 y -0.74 % entre 2000 y 2011. Los principales actores de estos cambios son los propietarios de tierras privadas y no de las comunidades indígenas de la zona.

Gordillo-Ruiz y Castillo-Santiago (2017), evaluaron el cambio de uso de suelo en la cuenca del río Sabinal, concluyendo que los procesos de cambio de uso del suelo más importantes en la cuenca son el de bosque por terrenos agrícolas y la expansión de la mancha urbana en zonas de vegetación secundaria y cultivos. El 72 % del territorio de la cuenca tiene el mismo tipo de cobertura de suelo, mientras que 28 % tuvo algún tipo de cambio.

### **3. Marco teórico**

#### **3.1. Lagunas costeras**

De la Lanza y colaboradores (2013) , definen el término laguna costera como depresión de la línea de costa por debajo de nivel máximo de la pleamar con una comunicación marina permanente o estacional (efímera), protegida del mar por una barrera, en algunos casos alimentada en su cabecera por un río. Por su origen y evolución, una laguna puede estar conformada por varios cuerpos de agua comprendiendo el propio estuario y uno o varios esteros que se originan como lechos abandonados, formando un rosario de cuerpos de agua cegados por modificación del cauce de un río o de una laguna, de baja o somera dinámica e inundada por la marea.

Las lagunas costeras son creadas por fenómenos recientes de origen geológico y de vida corta, en constante alteración por erosión y depósito de sedimentos y por fluctuaciones del nivel del mar de carácter eustático (debidos a cambios del volumen de agua del océano) e isostáticos (debidos a cambios del nivel de la tierra). Aunado, las descargas de los ríos afluentes y los rangos de las mareas variando permanentemente, por tal motivo las lagunas costeras nunca logran alcanzar un estado de equilibrio definitivo. Son sistemas complejos de vida efímera, en permanente interacción y modificación (Farrera, 2004).

A nivel de ecosistema las lagunas costeras y estuarios presentan las siguientes características generales: 1) alta productividad, 2) complejidad ecológica, 3) estabilidad ecológica en un entorno físico variable, y 4) alta interacción con ecosistemas vecinos (Yáñez-Arancibia *et al.*, 2007).

Las lagunas costeras regularmente son áreas utilizadas para la protección, alimentación y reproducción de varios organismos marinos, por lo que la mayoría

de las pesquerías litorales dependen de la preservación de estos ecosistemas. Sus características hidrológicas y ecológicas crean en ellas hábitats ricos que presentan variaciones estacionales de gran importancia para la conservación de la biodiversidad (Contreras y Castañeda, 2004).

Tanto las lagunas costeras como los estuarios son ecosistemas que destacan por su importancia económica y social, ya que son áreas de pesca artesanal y medio de vida de miles de pescadores (Lara-Dominguez *et al.*, 2011).

El litoral veracruzano cuenta con 18 grandes ecosistemas costeros, entre los que sobresalen Pueblo Viejo, El Llano, Tamiahua, Tampamachoco, Casitas, La Mancha, Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y El Ostión. También los estuarios de los ríos Tuxpam, Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá, este último es el límite con el estado de Tabasco (Contreras-Espinosa *et al.*, 2002).

### **3.2. Manglares**

Los manglares corresponden al ecosistema constituido por árboles o arbustos que crecen en las zonas costeras de regiones tropicales y subtropicales. Los manglares son inundados regular u ocasionalmente por mareas marinas o estuarinas (“salobres”), sin o con poca influencia del oleaje, por lo que su hábitat se restringe a las orillas de suelos arenosos o limo-arcillosos de bahías, lagunas costeras, canales de mareas (esteros), desembocaduras de ríos, bajos y barras de arena o lodo y “marismas”, abarcando desde una estrecha franja de pocos metros de ancho, de forma continua o discontinua, hasta densos bosques de cientos de hectáreas. La distribución de los manglares, consecuentemente, va a depender en gran medida del intervalo de las mareas, del declive topográfico y de la salinidad del agua y suelo (Flores-Verdugo *et al.*, 2003).

En México, principalmente se han registrado cuatro especies de mangle: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, y *Conocarpus erectus*. Sin embargo, en las costas de Oaxaca y Chiapas se ha observado la presencia de dos especies más: *Avicennia bicolor* y *Rhizophora harrisonii* (Troche-Souza *et al.*, 2016).

Troche-Souza y colaboradores (2016), mencionan los procesos importantes que contribuyen los manglares como:

- Control de inundaciones, huracanes y efectos del oleaje.
- Forman una barrera natural de protección de la línea costera, contienen la erosión de vientos y mareas.
- Fuente de materia orgánica y nutrientes para ecosistemas vecinos como pastos marinos y arrecifes de coral.
- Producen oxígeno, capturan gases de efecto invernadero y sumideros de bióxido de carbono.
- Hábitat de estadios juveniles de fauna marina, como moluscos y crustáceos.
- Hábitat y sitio de anidación de un amplio número de especies de aves locales y migratorias, vulnerables o en peligro de extinción.

A nivel mundial, en estas áreas se llevan a cabo importantes actividades pesqueras artesanales que aportan alimento y desarrollo económico a comunidades asentadas en la costa. Asimismo, parte de la actividad pesquera de las zonas costeras existe en virtud de que distintas especies que se aprovechan comercialmente, tuvieron al manglar como zona de crianza y crecimiento desde las primeras fases de su ciclo de vida: entre las raíces de los manglares se protegen y alimentan de larvas, postlarvas y alevines de peces y crustáceos. Algunos moluscos, como el ostión de mangle, utilizan las raíces de los manglares para fijarse y desarrollarse hasta alcanzar una talla apta para su consumo (Lara-Domínguez *et al.*, 2009).

### 3.3 Humedales

De acuerdo por la Secretaría de la Convención Ramsar (2016): los humedales comprenden “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, 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”.

Una descripción simple de humedal es la de terrenos cuyos suelos están permanente o periódicamente inundados o saturados, en ambientes con agua dulce o con algún grado de salinidad. Los humedales característicos del territorio veracruzano incluyen manglares, selvas inundables, lagunas interdunarias, llanuras de inundación, además de manantiales, lagos, lagunas costeras y estuarios e incluso ríos y arroyos permanentes o intermitentes y la vegetación riparia en sus márgenes (López *et al.*, 2010).

Bello y colaboradores (2009), clasifican cinco tipos de humedales de acuerdo con su influencia hídrica. *Costeros* (con influencia oceánica). *Marinos*: humedales costeros, lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral. *Estuarinos*: deltas, marismas de marea y manglares. *Dulceacuícolas* (de agua dulce). *Lacustres*: humedales asociados con lagos. *Ribereños*: humedales adyacentes a ríos y arroyos. *Palustres*: humedales “pantanosos” (marismas, pantanos y ciénagas).

Moreno-Casasola (2008), menciona en orden de importancia las principales causas de degradación de los humedales:

- a) Desecamiento de humedales.
- b) Desecamiento para construcción de desarrollos inmobiliarios.
- c) Construcción de obras de infraestructura como caminos.
- d) Represamientos de agua.

- e) Dragado de humedales y canalización para control de inundaciones y mosquitos.
- f) Contaminación.
- g) Invasión de especies.
- e) Extracción de agua.

Los humedales están en una pérdida continua de superficie, ya que históricamente se han usado grandes extensiones de humedales para transformarlos a usos de suelo para la ganadería, la agricultura y más recientemente son sustituidos por zonas urbanas, encontrándose actualmente entre los ecosistemas más amenazados (Moreno-Casasola *et al.*, 2009; Secretaría de la Convención Ramsar, 2016).

#### **3.4. Servicios ecosistémicos de los humedales**

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), define a los servicios ecosistémicos como “los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas”. Esto incluye servicios de aprovisionamiento, como alimento y agua; servicios reguladores, como la regulación de inundaciones, sequías, degradación de los suelos y enfermedades; servicios de apoyo, formación de suelos y ciclos de nutrientes; y servicios culturales de tipo recreativo, espiritual, religioso y otros beneficios no materiales”.

Los ecosistemas de humedales, incluyendo zonas costeras como lagunas costeras, manglares y humedales, proveen servicios que contribuyen al bienestar humano y a la mitigación de la pobreza. Las personas, que viven particularmente en las cercanías de los humedales, son dependientes de estos servicios y se ven directamente afectados cuando son degradados. Dos importantes servicios que ofrecen los humedales y que afectan directamente a los seres humanos son el suministro de pescado y el abastecimiento de agua. Asimismo, las pesquerías

asociadas a humedales contribuyen en forma importante a las economías nacionales y locales.

Otros servicios de los humedales fuertemente asociados al bienestar humano son: *Purificación del agua y detoxificación de desechos*: Los humedales y particularmente los pantanos, tienen una función clave en el tratamiento y detoxificación de una variedad de desechos.

*Regulación del clima*. Los humedales regulan el cambio climático global a través de la captura y emisión de una gran proporción del carbono fijado en la biosfera.

*Mitigación del cambio climático*. Humedales como los manglares y llanuras de inundación pueden funcionar como amortiguadores físicos de los impactos del cambio climático, tales como el aumento del nivel del mar y el incremento de las tormentas.

Actualmente estos servicios se ven amenazados por diversos factores de tipo antrópico como deforestación, cambio de uso de suelo, urbanización; ya que en cierta medida no se les da la importancia del valor que tienen. La mayor parte de los impactos detectados son a largo plazo o permanentes; esto quiere decir, que los ecosistemas se ven afectados por un extenso periodo de tiempo, lo que amenaza tanto a la biodiversidad como a los servicios que suministran los ecosistemas para el futuro (Menchaca y Alvarado, 2011).

#### **3.4.1. Servicios ecosistémicos del bosque de mangle en el Sistema Lagunar de Mandinga**

Paniagua-Cano y colaboradores (2018), identificaron los usos directos del bosque de mangle en la Laguna Grande de Mandinga, entre los servicios de aprovisionamiento se encuentra el autoconsumo de madera de *A. germinans* y *L. racemosa* utilizada para leña y cercas; construcción de herramientas y viviendas; infraestructura turística (muelles); y elaboración de trampas (tapos) para pesca de

camarón. Con respecto a *R. mangle*, sus órganos se utilizan con fines medicinales. En cuanto a los servicios culturales, los pobladores afiliados a las cooperativas de lancheros de la Laguna de Mandinga, realizan recorridos ecoturísticos, en los cuales se brinda información sobre la importancia ecológica y económica del ecosistema y se muestran manglar de borde y de isla, aves y técnicas de pesca.

### **3.5. Actividad pesquera**

La pesca es una actividad económica tradicional en Veracruz, es intrageneracional y ofrece empleo y sustento a un número importante de pescadores y sus familias, sin embargo, se encuentra en declive por los cambios actuales en el ambiente natural que rodean a la actividad (Ortiz *et al.*, 2010).

De la actividad pesquera dependen económicamente no sólo los pescadores y sus familias, sino una larga cadena de actores encargados de transportar, transformar y comercializar el producto tanto a nivel local, como regional, nacional e incluso internacional. Las empresas auxiliares constructoras de embarcaciones, motores fuera de borda, implementos de pesca, equipo de pesca e industrias fileteadoras o procesadoras también dependen de esta actividad. Indirectamente, también dependen de ella algunos servidores públicos, investigadores, profesionales y estudiantes, que encuentran en esta actividad su materia de trabajo (Ortiz *et al.*, 2010).

Dentro de la actividad pesquera el concepto que engloba todas aquellas actividades que derivan de ella es el de la “pesquería”. El Diario Oficial de la Federación (DOF) en el año 2015, define a la Pesquería como un “conjunto de sistemas de producción pesquera, que comprenden en todo o en parte las fases sucesivas de la actividad pesquera como actividad económica, y que pueden comprender la captura, el manejo y el procesamiento de un recurso o grupo de recursos afines y cuyos medios

de producción, estructura organizativa y relaciones de producción ocurren en un ámbito geográfico y temporal definido”.

Cabe mencionar una cualidad importante de la pesca, en específico la de pequeña escala, es su estrecha relación con la identidad personal y cultural de los pescadores, los cuales perciben la pesca no sólo como un medio de sustento, sino como un modo de vida fortalecido por valores que fundamentan aspectos decisivos de su identidad cultural (FAO, 2012; Jiménez *et al.*, 2018).

El estado de Veracruz se caracteriza por la abundancia de sus recursos hidrológicos, principalmente en la zona costera, su alta productividad primaria, establece que el estado posea diversas y abundantes especies, con complejas relaciones ecológicas entre peces, moluscos y crustáceos, dando soporte a una actividad pesquera de gran importancia económica y social. La riqueza y diversidad de recursos pesqueros en la zona costera ha determinado que más del 90 % de la captura proceda de la pesca ribereña. Los artes de pesca utilizados son en su mayoría artesanales, desde la colecta manual de ostión, almeja y caracol hasta redes de todo tipo, de enmalle, chinchorros, atarrayas, y gran diversidad de trampas, líneas y anzuelos, con sus correspondientes especificaciones según la zona y recurso (Quiroga *et al.*, 2002) .

### **3.5.1. Actividad pesquera en el Sistema Lagunar de Mandinga**

El Sistema Lagunar de Mandinga (SLM), se localiza en el municipio de Alvarado, Veracruz. Colinda al norte con el municipio de Boca del Río y al noroeste con el municipio de Medellín de Bravo.

La principal actividad económica de las comunidades que se encuentran alrededor del Sistema Lagunar de Mandinga es la pesca artesanal. Esta es aquella en la cual

se utiliza una embarcación pequeña con motor fuera de borda con una tripulación de alrededor de 4 pescadores (DOF, 2000).

El Sistema Lagunar de Mandinga, se destaca principalmente por la captura de ostión, jaiba, peces de escama como lebrancha, sargo, mojarra, chucumite y robalo. El recurso ostión (*C. virginica*) es el que cuenta con mayor volumen de captura dentro del SLM. Para este último recurso se emplean indistintamente dos métodos de extracción: el buceo libre, que se practica en áreas con profundidades menores a dos metros, y otro socorrido por un artefacto llamado “gafa”, el cual se construye con dos rastrillos unidos en la porción media del mango y que se opera como una pinza en áreas con profundidades mayores a los dos metros o en invierno. En un banco repoblado, cada “gafazo” logra extraer hasta 200 ostiones, de los cuales se seleccionan los de talla mayor a 7 cm y se regresan al banco los más pequeños (Palacios-Fest y Vargas-Rangel, 2002).

### **3.6. Cambio de uso de suelo**

El cambio de uso de suelo es una fuente de riesgo por estrés de origen antrópico al que están expuestos los ecosistemas, convirtiendo cubierta vegetal natural por sistemas dominados por el hombre. En México, la administración pública federal define los diversos usos de suelo como “los fines particulares a que podrán dedicarse determinadas zonas o predios de un Centro de Población o Asentamiento Humano” (DOF, 2016).

La expansión urbana conlleva un importante cambio en los usos del suelo, especialmente sobre el litoral (Barragán y de Andrés, 2016). En este sentido, en algunos puntos de la zona costera del estado de Veracruz tienen lugar actividades tan diversas que conforman un mosaico que se ha desarrollado a través del tiempo y que han conducido a diversos grados de crecimiento urbano. Estos crecimientos urbanos conllevan al cambio de uso de suelo y en consecuencia al cambio del

paisaje en la vegetación natural a construcciones urbanas o agrícolas. Esto, aunado a la construcción de la infraestructura necesaria para mantener a los habitantes, hace que se generen situaciones en donde la costa es afectada tanto en su perfil como en la composición del agua marina, ya que los desechos de las ciudades, de las actividades de la industria petrolera y de otras industrias son vertidos al mar. Todos estos elementos producen un perfil costero complejo de actividades y afectaciones (Ortiz *et al.*, 2010).

Los crecimientos poblacional acelerado y económico de las últimas décadas han resultado en grandes presiones sobre los recursos naturales. Estas presiones han fomentado la explotación y transformación de los paisajes naturales para satisfacer dichas necesidades, creando así cambios estructurales y funcionales en los ecosistemas reduciendo su capacidad de provisión continua de servicios ambientales a largo plazo (Mendoza-González *et al.*, 2012).

La alta productividad de los ecosistemas costeros permite una gran cantidad de actividades económicas, esto provoca que sea especialmente afectada por el crecimiento poblacional y el creciente desarrollo urbano (Mendoza-González *et al.*, 2012). La promoción de actividades económicas en la zona costera mediante la autorización de proyectos de desarrollo e industrias extractivas por parte del gobierno, han incrementado el estrés a los ecosistemas, ya que requieren la construcción de caminos, líneas eléctricas y demás infraestructura para su realización y operación (Xie *et al.*, 2012).

El cambio en el uso del suelo constituye la principal fuente directa de pérdida y degradación de humedales costeros, incluyendo pantanos de agua salada, manglares, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral. El aumento de la población en zonas costeras y el creciente desarrollo de la economía han sido los principales generadores indirectos de cambio (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

En la zona conurbada la expansión urbana está acabando con los ecosistemas; desafortunadamente el paisaje no convive con los asentamientos humanos, así el medio natural se ve afectado negativamente por la ocupación intensiva del suelo y las actividades urbanas; constantemente se aprecia que las causas inmediatas de la pérdida de humedales son fruto de los efectos de la ignorancia, fuerzas económicas y decisiones políticas que dejan los desarrollos en manos de los agentes inmobiliarios (Chong, 2015).

La meta poblacional propuesta para la zona conurbada en la Actualización al Programa de Ordenamiento Urbano es de 1 309 028 habitantes para el año 2020. Lo anterior representa una demanda de suelo, infraestructura y equipamiento urbano que agrava el gran déficit observado en la actualidad (Gobierno del Estado de Veracruz, 2008a).

### **3.6.1. Cambio de uso de suelo en el Sistema Lagunar de Mandinga**

El Sistema Lagunar de Mandinga quedó en una zona donde el crecimiento urbano avanza aceleradamente. En 2002 se lanzó el proyecto “Riviera Veracruzana” como parte del plan de desarrollo de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado (Figura 1), y con ello se incrementó la venta de terrenos ejidales en toda la franja de la carretera 150 Boca del Río-Antón Lizardo, actualmente llamado “Boulevard Riviera Veracruzana” (Gobierno del Estado de Veracruz, 2008a).

Al principio el Conchal y Mandinga eran propiedades ejidales las cuales contaban con amplias áreas naturales, principalmente dunas, sin embargo, en los últimos 20 años los inversionistas han ido adquiriendo a través de la compra a los ejidatarios sus parcelas; recientemente en esta zona la tierra ha sido fraccionada en unos casos y en otros se han desarrollado centros deportivos, comerciales, educativos y de esparcimiento (Salazar *et al.*, 2012).

En 2010, se refleja un mayor avance del desarrollo antrópico en la franja paralela a la costa, el proceso de urbanización y las actividades económicas, en específico las turísticas, y recientemente las inmobiliarias, en las que se incluyen hoteles, fraccionamientos, plazas comerciales y centros de educación privados, son los elementos que están influyendo en diferentes modificaciones negativas en los ecosistemas de esta zona, principalmente en la laguna y el manglar (Navarro, 2017).

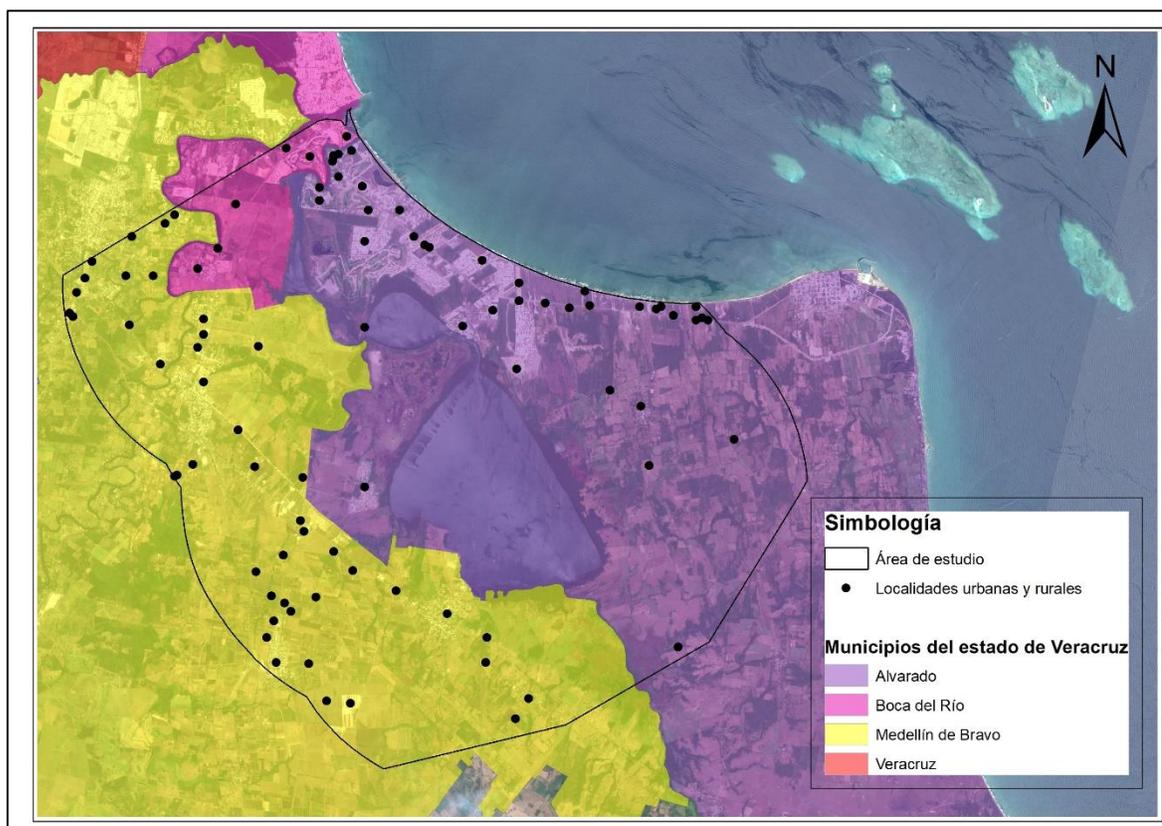


Figura 1. Municipios de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado. Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018; 2010.

Estas actividades antrópicas provocan daños severos tanto en la vegetación como en el ecosistema lagunar, principalmente por efecto de la degradación de las dunas de arena, el azolve, la descarga de aguas residuales y la alteración del flujo de agua (Paniagua-Cano *et al.*, 2018).

La urbanización afecta por la construcción de fraccionamientos alrededor del margen lagunar, provocando con ellos la tala de mangle, aunado a las descargas de aguas residuales de los fraccionamientos y de las comunidades asentadas a orillas de la laguna (Aldeco *et al.*, 2015).

### **3. 7. Formas de evaluar el cambio de uso de suelo en zonas costeras**

La clasificación de las zonas costeras y sus ecosistemas se distingue por la heterogeneidad de enfoques y criterios utilizados, por lo que no existe un sistema global que permita una clasificación sistemática de esta zona. Hay estudios sistemáticos, integrados e incluyentes de los sistemas costeros, que consideran la creciente disponibilidad de información y datos distribuidos a partir de tecnologías de punta, tales como mapas digitales integrados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los servidores de mapas a través de Internet (Bello *et al.*, 2009).

Una forma de evaluar el cambio en el uso del suelo es el empleo de la medición de los cambios en la cobertura vegetal y no vegetal del mismo (Bocco *et al.*, 2001). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son herramientas digitales importantes para realizar la evaluación de la dinámica de uso del suelo a través de la variable tiempo en años (Ramos-Reyes *et al.*, 2004).

Los SIG son programas digitales que identifican y representan espacialmente las áreas más susceptibles a cambios, además ayudan a entender los procesos y la dinámica de cambio que experimentan las distintas coberturas terrestres y usos del suelo de un territorio en específico (Camacho-Sanabria *et al.*, 2015).

De acuerdo con Killeen y colaboradores (2005), un SIG permite integrar información con referencia espacial geográfica para identificar patrones relacionales entre diferentes fuentes de información y se pueden aplicar a cualquier trabajo que se necesite representar geográficamente. Un SIG, es una base de información

relacionada de las coordenadas de la forma X (longitud), Y (latitud), Z (profundidad). Principalmente su función es mejorar la capacidad del usuario para la toma de decisiones en materia de investigación, planificación y gestión (Bhardwaj, 2009).

A través de los SIG se evalúan los cambios de uso de suelo con el apoyo de insumos cartográficos, tales como fotografías aéreas y de satélite, aunado a estos insumos se sugiere realizar una verificación en campo que permita corroborar los usos de suelo actuales, esto para minimizar el error en los mapas de cambio ya una vez realizada la clasificación de las imágenes.

### **3.8. Datos históricos del Sistema Lagunar de Mandinga**

En 1570, se fundó el poblado de Mandinga, conformado inicialmente por una aldea de esclavos, que creció y se estableció gracias a los recursos pesqueros del Sistema Lagunar (Aldeco *et al.*, 2015).

En 1934 se formó el ejido “Laguna y Monte Castillo” y en 1935 el ejido “Mandinga y Matoza”. En 1940, en la comunidad del Conchal, se formó la primer Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera (SCPP), en la Laguna de Mandinga y lleva por nombre SCPP “Ostionera”, un año después se forma la SCPP “Mandinga y Matoza” junto con el primer restaurante “Casa Uscanga” en la comunidad de Mandinga.

En 1952, se construyó la carretera Boca del Río-Antón Lizardo, con esto se mejoró el acceso, creció el número de restaurantes y estableció a la pesca como una de las principales actividades económicas de la comunidad, aumentando la presión sobre los recursos pesqueros al grado de no darse abasto teniendo que importarlo de Alvarado y Veracruz (Aldasoro, 2015).

A finales de 1970, se desarrolló la pesquería de cangrejo y era necesario la introducción de agua salina para aumentar la producción. En 1980, fue el primer

dragado en la laguna y los canales que la conectan con el río Jamapa (Heimo *et al.*, 2004), con lo cual influyo también a que aumentara la producción de ostión, sin embargo, mermo la producción de almeja. Con la promulgación de la Ley Federal del Fomento a la Pesca (1972), se declaró la exclusividad de siete especies para las SCPP, entre ellas el ostión el cual es el principal recurso pesquero de la laguna hasta la fecha (Aldasoro, 2015).

En 1992 se declara el Área Metropolitana de la Zona Conurbada de Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado (Gobierno del estado de Veracruz, 2008a).

En el año 1994 se inauguró el primer fraccionamiento en la parte norte del “Estero” (Aldasoro, 2015), propiciando que se mejorara el acceso a la localidad de “El Conchal”, sin embargo, generó que cada vez más fraccionamientos se desarrollaran en esta zona y en la actualidad, se ha marginado espacialmente a este poblado (Navarro, 2017).

A partir del año 2002, el proyecto “Riviera Veracruzana” comenzó a desarrollarse; en la actualidad es el proyecto dominante del contexto territorial del municipio de Alvarado. En los años 2009 a 2013 comienza a reflejarse un mayor avance sobre áreas de origen privado con la construcción de las unidades residenciales creadas de *Playa Dorada*, *Real Mandinga* y *Lomas de la Rioja* (Sánchez, 2015), así mismo, en la parte norte de El Estero se realizó un desarrollo comercial que lleva por nombre *El Dorado* (Navarro, 2017), por parte de *Promotora y Constructora Estero de Mandinga S. A. de C. V.* la Secretaría de Comunicaciones y Transportes otorga la concesión en junio de 2007 (DOF, 2007). Estos son solo algunos de los fraccionamientos y plazas comerciales que se encuentran habilitados en el área de estudio, entre otros que se están construyendo.

### **3.9. Impactos ambientales**

Un impacto desde la “Guía de análisis de impactos y sus fuentes en áreas naturales” de acuerdo con Andrade y colaboradores (1999), es la reacción o el efecto negativo, ecológico o fisiológico, de un objeto de conservación, ocasionado por circunstancias de origen humano o natural (por ejemplo, deforestación, disminución de poblaciones, contaminación).

El Impacto Ambiental es definido por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (1988) como: “la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza”.

Dicho impacto ambiental es atribuido principalmente a actividades agropecuarias, desarrollo de infraestructura del sector público y privado (camino, carreteras, canales dragados , entre otros), turísticas y portuarias, acuícolas, además de los problemas ocasionados por la apertura artificial de bocas, construcción de termoeléctricas, asentamientos humanos, descargas de aguas urbanas e industriales, actividad petrolera y efectos agrícolas (erosión del suelo, incrementando turbidez-disminución de la fotosíntesis), aporte de fertilizantes, pesticidas y otras sustancias que pueden ser adversas para los manglares, praderas de pastos y arrecifes de coral (Villalobos-Zapata y Mendoza, 2010).

Para poder identificar y evaluar un impacto ambiental se recurre a indicadores. Una definición genéricamente utilizada del concepto “indicador” es definida por Ramos (1987) que establece que éste es “un elemento del medio ambiente afectado, o potencialmente afectado, por un agente de cambio” citado en Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2002).

### 3.10. Legislación aplicable

Lo que prevalece alrededor del margen del SLM son los nuevos fraccionamientos, centros y plazas comerciales que se construyen de una forma acelerada, para construirlos se necesita una serie de permisos incluidos en ellos la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), la cual se encuentra en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual fue publicada en 1988 (Cuadro 1).

Dentro de las Normas Oficiales Mexicanas cabe recalcar la adición a la NOM-022-SEMARNAT-2003, que menciona:

**Artículo Único.** - Se adiciona la especificación 4.43 a la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar, para quedar como sigue:

4.43 La prohibición de obras y actividades estipuladas en los numerales 4.4 y 4.22 y los límites establecidos en los numerales 4.14 y 4.16 podrán exceptuarse siempre que en el informe preventivo o en la manifestación de impacto ambiental, según sea el caso se establezcan medidas de compensación en beneficio de los humedales y se obtenga la autorización de cambio de uso de suelo correspondiente.  
(DOF,2004, p. 1)

A los numerales que se refiere esta adición el 4.4 y el 4.20 es en cuanto a la construcción de infraestructura marina fija en humedales costeros y acuícola en áreas de manglar respectivamente; el 4.14 y 4.16 determinan mantener una distancia de 100 m a la vegetación de humedales costeros. Al agregar esta adición los humedales y zonas de manglar, quedan más vulnerables y a disposición de las

inmobiliarias y constructoras, ya que justifican las acciones en contra de los humedales con medidas de compensación.

También dentro del estado de Veracruz se encuentran leyes aplicables a la protección de las áreas naturales como la Ley número 576 de vida silvestre para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y la Ley Estatal de Protección Ambiental, su última reforma publicada en la gaceta oficial el 21 diciembre de 2011.

Cuadro 1. Legislación aplicable al Sistema Lagunar de Mandinga

| Ley o norma   | Objetivo   | Aplicación al SLM  |
|---|--|--|
| Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano  | Fijar las normas básicas e instrumentos de gestión de observancia general, para ordenar el uso del territorio y los Asentamientos Humanos en el país.  | Evitar construir en zonas cercanas al Sistema Lagunar y que haya una mejor planificación territorial.  |
| Reglamento de la Ley Número 241 de Desarrollo Urbano, Ordenamiento Territorial y Vivienda para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave                                   | Artículo 41. Reservas Ecológicas, aquellas áreas previstas para el desarrollo de actividades productivas del sector primario, o las que no sean aptas para el crecimiento urbano, ya sea porque no correspondan a la tendencia de expansión prevista, o constituyan zonas de riesgo para la población.   | Preservación del Sistema Lagunar de Mandinga y de las zonas de manglar, por ser suelo apto para ser reserva ecológica restrictiva.   |
| Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente  | Preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.<br>Queda prohibida la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos. | Respecto a las zonas de manglar en la Sección V, Evaluación de Impacto Ambiental, Artículo 28.   |
| Ley General de Vida Silvestre. Título VI Conservación de la Vida Silvestre, Capítulo I Especies y Poblaciones en Riesgo y Prioritarias para la Conservación, Artículo 60 Ter. |  | Al construir plazas comerciales y fraccionamientos se pierden áreas de humedales.  |
| NOM-022-SEMARNAT-2003   | Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.   | <i>Rhizophora mangle</i> (mangle rojo), <i>Laguncularia racemosa</i> (mangle blanco), <i>Avicennia germinans</i> (mangle negro). Se encuentran el Sistema Lagunar de Mandinga.       |
| NOM-059-SEMARNAT-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  | Las especies de manglar, <i>R. mangle</i> , <i>A. germinans</i> y <i>L. racemosa</i> se encuentran bajo la categoría de amenazadas en la Norma Oficial Mexicana NOM059-SEMARNAT-2010 |

Fuente: Elaboración propia con información de la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano; Reglamento de la Ley número 241 de desarrollo urbano, ordenamiento territorial y vivienda para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave; Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; Ley General de vida silvestre. Título VI conservación de la vida silvestre, capítulo I especies y poblaciones en riesgo y prioritarias para la conservación, artículo 60 ter.; NOM-022-SEMARNAT-2003; NOM-059-SEMARNAT-2010.

### 3.11. Programas de ordenamiento urbano y territorial

El Estado cuenta con varios programas de ordenamiento territorial para el municipio de Alvarado (Cuadro 2), dentro de los cuales la Actualización del Programa de Ordenamiento de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado (VBMA), tiene más acciones sobre el SLM.

Cuadro 2. Programas de Ordenamiento vigentes en la zona conurbada

| No | Programa   | Año de elaboración | Municipios                              | Publicación en Gaceta Oficial                 | Horizontes de planeación |
|----|--|--------------------|---|---|--------------------------|
| 1  | Actualización del Programa de Ordenamiento Urbano de la Zona Conurbada Veracruz- Boca del Río-Medellín-Alvarado, Ver.  | 2001               | Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado | Alcance No. Extraordinario 267 18/Agosto/2008 | 2003 al 2020             |
| 2  | Programa de Desarrollo Urbano de la Reserva Territorial de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado   | 2005               | Veracruz, Boca del Río y Medellín       | Alcance No. Extraordinario 269 19/Agosto/2008 | 2006 al 2025             |
| 3  | Prog. Parcial de Diseño Urbano del Área Norte de la Zona Conurbada Veracruz, Boca del Río, Medellín, Alvarado, La Antigua, Puente Nacional, Úrsulo Galván, Paso de Ovejas, Cotaxtla, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Soledad de Doblado y Tlalixcoyan | 2006               | Veracruz, La Antigua                    | Alcance No. Extraordinario 269 19/Agosto/2008 | 2007 al 2030             |

La estructura del Programa contiene 6 apartados en los que se desglosa toda la información necesaria para el desarrollo del mismo. Estos apartados corresponden a las siguientes fases metodológicas: Antecedentes, Diagnóstico, Normatividad, Estrategias, Programación e Instrumentación.

*Antecedentes*, incluye todas las bases jurídicas y de aplicación del cual emana el programa. En esta sección también existe un párrafo de la evaluación de los programas anteriores, ya que esta es la tercera actualización del programa. Asimismo, puntualiza que la expansión de la mancha urbana siguió dos vertientes claramente definidas: por una parte, se dio una utilización de las áreas determinadas

como reservas en la anterior actualización; sobre todo al Norte, y por otro lado continuó la presión expansionista sobre terrenos no aptos localizados al poniente y Norponiente los cuales están constituidos por un sistema de dunas activas o semi activas o bien sujetos a inundabilidad.

*Diagnóstico*, realizaron un análisis de los factores que intervienen en la realidad del paisaje a manera de compararlo con la conformación del programa. En esta sección destaca la orientación para los servicios turísticos, los cuales comprenden al noroeste de la zona portuaria como al sur en la franja costera, contenida entre las localidades de Boca del Río y Antón Lizardo, así como en torno, al sistema lagunar de Mandinga estos predios suman una superficie de 3 019.6461 ha (6.62 %). Cabe mencionar que se tienen contempladas 62 989 ha para la actualización del programa. Además, tiene en cuenta otras áreas relativas a reservas de protección ecológica restrictiva, en áreas con potencial de preservación, así como, por constituir un peligro para el asentamiento de población; éstas se localizan en los predios inmediatos al sur de la mancha urbana de Boca del Río. En específico al oeste de la zona urbana de Veracruz, al sur de la zona urbana de Boca del Río y en torno al SLM. Este programa ya considera las zonas inundables así también como zonas de vulnerabilidad sin embargo actualmente se sigue construyendo sobre estas superficies. También menciona que, por medio del ordenamiento urbano, se definen las áreas físicas con potencial de desarrollo, se señalan los usos, destinos y reservas apropiadas para las funciones presentes y futuras de un centro de población. Según sea el tamaño, importancia o dinámica de crecimiento de las ciudades, éstas propuestas pueden desarrollarse desde un programa de fortalecimiento municipal, de apoyo a las comunidades, hasta programas de ordenamiento urbano y planes de desarrollo de las zonas conurbadas o a escala regional. Por lo tanto, el ordenamiento es un modelo urbano de amplio espectro. Con la finalidad de hacer una propuesta operativa, ésta debe ser concensada entre la población y no decretarse como un acto de autoridad. Para que su operación sea aceptada por la ciudadanía, ésta debe participar en su definición y aceptación.

Además, no debe pasarse por alto la atribución jurídica y administrativa del ordenamiento urbano que corresponde por ley a los municipios. Debido al impacto social de la propuesta de ordenamiento, ésta tendrá que discutirse con amplitud con las comunidades. El grado de legitimidad de una propuesta urbana depende de la capacidad para lograr consensos acerca de la misma dentro de un contexto de racionalidad, para discernir con criterio amplio la oferta de desarrollo urbano que ofrece la autoridad.

*Normatividad*, se determinó las condicionantes normativas para la comparación de estos con la realidad observada en la zona conurbada; se establecen los objetivos generales y específicos del programa, así como las normas y criterios de ordenamiento territorial, ordenamiento ecológico y desarrollo urbano. Con base a esta normatividad vigente se establece la dosificación del equipamiento urbano y los servicios para los distintos horizontes de planeación. Cabe mencionar que en esta sección detalla programas que aplican a algunas de las zonas contempladas, así como un Programa de Desarrollo Regional de Mandinga.

El Programa Regional de Mandinga constituye un Programa de Gran Visión para la zona de Mandinga que propone establecer los derechos de vía de la Red Vial Principal y la Zonificación Primaria. El programa señala que la zona de estudio ha sido utilizada tradicionalmente para actividades recreativas tanto de la población de Veracruz, así como para los turistas que visitan la ciudad.

En la actualidad, el crecimiento de la Ciudad de Veracruz, ha saturado a la zona de Boca del Río y se está expandiendo sobre la zona de Mandinga, propiciando su integración al resto de la zona metropolitana de la Ciudad de Veracruz.

Es por ello que el Programa de Desarrollo Regional de Mandinga propone estructurar un Plan Rector de Desarrollo de la zona que contemple los fraccionamientos aprobados y construidos, los fraccionamientos en proceso, los asentamientos irregulares, la red vial; con una adecuada asimilación a la zona, sin afectar negativamente las características y atractivos naturales existentes.

Otro de los objetivos primordiales del Programa es el de incrementar la actividad turística, tanto regional, como nacional e internacional. Para esto se ha dedicado a la identificación de sitios con un potencial como destinos turísticos. La propuesta corresponde a los estudios que definen el “Plan Rector de Desarrollo de la zona del Boca del Río-Mandinga” y su Proyecto Ejecutivo, misma que comprende un polígono de aproximadamente 1 760 ha, delimitado por Boca del Río, el Río del Estero, la Laguna de Mandinga, el poblado de las Chivas y el Golfo de México.

Menciona que ha crecido el número de construcciones, enfocadas fundamentalmente a la vivienda y al esparcimiento familiar, sin embargo, la propuesta hotelera y corporativa no se ha iniciado. El desarrollo a efectuar aprovecha las vocaciones naturales del suelo, y propone usos del mismo que conservan el ambiente natural, y permiten un equilibrio ecológico y de beneficio para todos los estratos socioeconómicos.

Cabe resaltar que en internet no se encontró información alguna de este programa.

*Estrategias*, se estableció políticas de desarrollo que deberán de adoptarse para el logro de los objetivos planteados en la Normatividad, analizando planteamientos alternativos y seleccionando la estrategia más conveniente en cada uno de los elementos en los cuales se ha dividido la estructura urbana, dosificando las acciones de acuerdo a los horizontes de planeación establecidos para el presente programa. Dentro de las políticas que maneja se encuentran:

- Políticas de control, de la expansión urbana hacia áreas no aptas para el desarrollo urbano, como áreas naturales protegidas, áreas de dunas activas o semi activas, sistemas lagunares y esteros, así como áreas con vestigios arqueológicos, así como la constitución de áreas de amortiguamiento en el espacio comprendido entre las zonas industriales y las áreas urbanas.
- Políticas de ordenamiento ecológico, estas tienen la finalidad de establecer la base para el ordenamiento ecológico de la Zona Conurbada.
- Política de control ecológico, establecimiento de una comisión municipal de inspección y vigilancia del uso racional del medio ambiente. Control de la

expansión urbana sobre áreas con ecosistemas sensibles como son los manglares localizados principalmente entorno a los esteros de Boca del Río y al sistema lagunar de Mandinga.

Cabe recalcar que en el Programa considera los usos no urbanos en específico el ecológico restrictivo, sin embargo, estas áreas ya tienen fraccionamientos a su alrededor, la definición que otorgan para estas áreas es la “Reserva ecológica con carácter restrictivo”, es de suma importancia en virtud de que la Ley General del Equilibrio Ecológico establece una serie de acciones tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos generadores del medio natural. Es por ello que la presente estrategia ha determinado definir la siguiente tipología para la reserva ecológica restrictiva. Asimismo, considera al Sistema Lagunar de Mandinga como una importante reserva ecológica restrictiva en función de la existencia de manglares localizados en áreas inundables con agua salobre.

*Programación*, se estableció una interpretación cuantitativa de los lineamientos establecidos en el nivel estratégico mismos que se han establecido para procurar un desarrollo urbano equilibrado en la zona conurbada VBMA.

*Instrumentación*, se identificaron las herramientas y los medios que permitirán trasladar a la realidad la imagen objetivo establecida en el programa en concordancia con los recursos existentes no solamente del sector público, sino de los que disponen el sector privado y el sector social.

*Instrumentos jurídicos*, los instrumentos jurídicos son las leyes, decretos y acuerdos que constituyen el origen y fundamento del desarrollo urbano y del ordenamiento territorial planeados, éstos permiten al gobierno municipal el desempeño de sus funciones y atribuciones, así como las que en materia de desarrollo urbano regulan las acciones de los particulares.

*Instrumentos Operativos*, se componen de instrumentos administrativos e instrumentos programáticos. Los primeros son las dependencias y unidades administrativas con funciones relativas al desarrollo urbano y ordenamiento territorial. En el ámbito estatal son las siguientes dependencias: Secretaría de Desarrollo Regional; Secretaría de Comunicaciones; Secretaría de Finanzas y Planeación y Secretaría de Desarrollo Económico.

A escala municipal son las autoridades municipales. Se recomienda complementar los instrumentos administrativos municipales con las siguientes acciones:

- Institución del Consejo de Planeación de Desarrollo Urbano de la Zona Conurbada VBMA, conformado por los representantes de los sectores privado y social que tendrán la función de participar, opinar, conjuntamente con la autoridad competente, sobre la pertinencia y beneficios que aporten las acciones y proyectos que incidan en el ámbito urbano.
- Conformación del Gabinete Técnico del Programa de Ordenamiento Urbano de la Zona Conurbada VBMA el cual su función será la de atender y resolver los problemas relacionados con la aplicación del programa y ser la responsable de su seguimiento y control.

Los instrumentos programáticos, están constituidos por la estructuración ordenada de las metas (acciones y obras cuantificadas) con los objetivos del programa y los recursos disponibles en cada ejercicio presupuestal.

*Implementación Operativa*, menciona que la Planeación del desarrollo urbano no es nueva en nuestro país, en muchos casos no se ha implementado operativamente por muchos factores de carácter político. La eficacia y fuerza jurídica del Programa de Ordenamiento urbano de la Zona Conurbada VBMA, depende en gran medida de la voluntad política de la autoridad municipal en su aplicación.

Señala a la instancia municipal la administración y ordenamiento de su territorio y por consiguiente de los centros de población ubicados dentro de este ámbito, por ello se recomienda que la administración municipal en materia de desarrollo urbano se organice bajo los siguientes lineamientos:

- El gabinete técnico, se encargará exclusivamente de la implementación de las acciones emanadas en el presente programa de ordenamiento urbano para que se vigile el cumplimiento de la normatividad encaminada al ordenamiento de la Zona Conurbada.
- Los municipios involucrados en la conurbación deberán implementar el Gabinete Técnico con el objetivo de ser la dependencia encargada de vigilar y ejecutar el cumplimiento del Programa con apego a la legislación y reglamentación vigente. Los municipios señalarán sus funciones específicas, así como su estructura administrativa y operativa.
- El Gabinete Técnico tendrá facultades para expedir permisos y licencias que fomenten, controlen o limiten el crecimiento de la ciudad sobre la base de los criterios emanados del propio Programa de Ordenamiento Urbano.
- Cumplimiento del proceso de planeación urbana con la entrada en vigencia del programa de ordenamiento urbano a partir de su publicación en la Gaceta Oficial y su inscripción en el Registro público de la propiedad y el comercio. Lo anterior para que se tenga la validez jurídica que respalde la legitimidad de los dictámenes emitidos por la autoridad municipal a través de su Gabinete Técnico y sea de acatamiento por parte de los agentes involucrados.

Como se señala anteriormente, el éxito de los objetivos establecidos en el Programa, está estrechamente relacionado con la existencia de un órgano municipal encargado de su cumplimiento. En este sentido la Ley General de Asentamientos Humanos establece las bases para la creación de este, el cual tendrá facultades de gestoría ante instancias Estatales y Federales siempre bajo la vigilancia y supervisión de los H. Ayuntamientos Constitucionales involucrados en la conurbación.

*Vertientes Administrativas*, las vertientes administrativas para la operación del programa son básicamente cuatro:

- Obligatoriedad, son las funciones, actividades y acciones de cumplimiento obligatorio para todas las instancias y organismos a los cuales les han sido legalmente atribuidas.
- Coordinación, con la finalidad de alcanzar un fin de beneficio colectivo, la instancia de gobierno correspondiente podrá pactar contratos de naturaleza pública con particulares o sectores de la sociedad civil.
- Concertación, los tres niveles de gobierno promoverán su concurrencia con la finalidad de conjuntar esfuerzos y recursos encaminados a lograr un fin de beneficio colectivo.
- Inducción, corresponde a las acciones de la autoridad encaminadas al sector privado o social para que estos ejecuten u omitan acciones en razón de lograr la consecución de un fin previsto.

*Operación del Programa*, en esta sección cabe resaltar lo referente al papel que el Gobierno estatal juega en este proceso, es importante señalar que esta instancia gubernamental apoyará a los Ayuntamientos en la vigilancia del contenido del programa encargándose de la atención de las solicitudes de dictámenes de uso del suelo que impliquen desarrollos de gran magnitud o que no se encuentren previstos en el Programa. El Gobierno tendrá derechos de preferencia en predios ubicados en áreas consideradas como reservas territoriales, industriales y ecológicas, así como los considerados como destinos.

Seguimiento, Control y Evaluación del Programa de Ordenamiento Urbana, se requiere hacer la diferenciación entre los instrumentos operativo y programático, con relación a los primeros, se ha mencionado la importancia que representa la creación de un gabinete técnico que absorba la operación del Programa a partir de la expedición de las licencias y la vigilancia en atención a las normas que establecen las modalidades de uso de los lotes y áreas ubicados dentro de los límites de la Zona Conurbada.

Instrumentos de Comunicación, Participación e Información de la Ciudadanía, estos son los medios útiles para fomentar y promover la toma de conciencia dentro de la comunidad en relación con la elaboración, operación y evaluación del Programa de

Ordenamiento Urbano de la Zona Conurbada. Puede haber resistencia de la población a ciertas disposiciones de las autoridades por creerse afectados sus intereses particulares, asimismo, en muchos casos las autoridades tienen resistencia a informar a la comunidad por qué considera imposible la conciliación de los complejos intereses en juego.

La idea de participación crea en la población un sentimiento de responsabilidad hacia lo que considera le ha representado un esfuerzo propio y no parte de una imposición vertical de las autoridades. Por lo anterior es de suma importancia la constante participación ciudadana a través del siguiente instrumento:

- Conformación de un Consejo Consultivo de Desarrollo Urbano de la Zona Conurbada VBMA; a través de éste la ciudadanía tendrá una permanente representación en la rectoría del desarrollo urbano. En este organismo estarán representados todos los sectores de la localidad, así como colegios de profesionales e instituciones de Educación Superior, asimismo, deberá de intervenir conjuntamente con las tres instancias de gobierno en las decisiones tanto normativas como de inversiones relacionadas con el desarrollo urbano.

*Instrumentos de financiamiento*, son el conjunto de normas, de derechos tributario a cargo de las personas físicas o morales para cubrir el gasto público, éstas servirán para llevar a cabo las acciones por parte del gobierno municipal. Cuando los recursos de las tesorerías municipales no alcanzan para dar cumplimiento a las metas programadas en este sentido la Ley de Planeación establece otras fuentes de financiamiento.

Debe señalarse que la capacidad de crédito del H. Ayuntamiento está sujeta a su aprobación por parte de la H. Legislatura del Estado sin menoscabo de la concurrencia de los sectores privado y social de la localidad. Con relación a esto, en los últimos años se ha implementado en muchas ciudades las concesiones de servicios públicos de manera tal que se trasladen al sector privado erogaciones que de esta forma pueden dirigirse a acciones de mejoramiento directo de la población. Esto se puede comprobar con la concesión del servicio potable de agua al grupo

CAB (Compañía de Agua del Municipio de Boca del Río) que surge el 15 de diciembre del 2017.

Lo anterior demuestra que, aunque existan programas de ordenamiento territorial, la tendencia sigue en expandir las zonas urbanas hacia las periferias, aunado a que ya hay zonas contempladas como inundables y en las cuales continua la expansión urbana. La actualización del programa está orientada y planeada a los servicios turísticos principalmente. También hace hincapié en la conformación de un consejo consultivo por parte de la ciudadanía para los desacuerdos que existan de las decisiones tomadas por los municipios. En este sentido la ciudadanía también puede exigir que las autoridades vigilen y controlen que se respeten las áreas que están contempladas como reservas restrictivas y que manejen sus estrategias lo más apegados realmente a las leyes de protección.

#### 4. Justificación

Las actividades humanas a lo largo del tiempo han generado un impacto significativo en los ecosistemas. Actualmente, uno de los tantos efectos desfavorables es el cambio de uso de suelo en las áreas naturales, el cual consiste en la modificación de zonas prístinas a zonas urbanas, agrícolas o ganaderas; en este sentido, las áreas circundantes de las lagunas costeras no se excluyen de estos fenómenos debido a que en su entorno existen abundantes recursos naturales.

El impacto al cambio de uso de suelo en las lagunas costeras es mayor que en otros ecosistemas debido a que son un hábitat rico en especies animales y vegetales, tales como ostiones, jaibas, lebrancha, sargo, mojarra, chucumite, robalo y pato real, entre otros; particularmente entre la vegetación se encuentran tres tipos de mangle, rojo (*Rhizophora mangle*), negro (*Avicennia germinans*) y blanco (*Laguncularia Racemosa*). Esta composición vegetal forma una barrera de protección y amortiguamiento en contra de desastres naturales y vientos del norte, se utiliza como zonas de alimentación, refugio, reproducción y anidación de especies de peces y crustáceos, y como trampa de sedimentos; así mismo, favorecen la carga y recarga del manto freático, el mantenimiento de la calidad del agua, y la regulación microclimática del área (Lara-Domínguez *et al.*, 2009).

Debido a que los eventos de cambio de uso de suelo se generan de forma acelerada, es pertinente conocer oportunamente el porcentaje de modificación de las zonas naturales a áreas urbanas o agrícolas para conocer su impacto en el entorno. Por ello, es importante determinar el porcentaje de pérdida de cobertura vegetal alrededor del margen del Sistema Lagunar de Mandinga, para establecer el impacto de este cambio hacia la actividad pesquera, y generar información actualizada sobre este ecosistema.

### **Pregunta de investigación**

¿Cuál es el nivel de asociación que tiene el cambio de uso de suelo ocurrido históricamente en el Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz, con la productividad de la pesquería artesanal de ostión *Crassostrea virginica*?

### **Hipótesis**

El cambio en la productividad de la pesquería artesanal de ostión *C. virginica* del Sistema Lagunar de Mandinga se asocia con el cambio de uso de suelo ocurrido históricamente en sus márgenes.

## **5. Objetivos**

### **5.1. Objetivo general**

Determinar el nivel de asociación entre el cambio en la productividad de la pesquería artesanal de ostión *C. virginica* y el cambio en el uso de suelo ocurrido históricamente en los márgenes del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz.

### **5.2. Objetivos específicos**

1. Determinar la tasa de cambio de uso de suelo en el margen del Sistema Lagunar de Mandinga.
2. Determinar la tasa de cambio en la producción pesquera de ostión *C. virginica* del Sistema Lagunar de Mandinga.
3. Evaluar la asociación que existe entre la tasa de cambio de uso de suelo y la tasa de cambio en la producción pesquera de ostión del Sistema Lagunar de Mandinga.

## **6. Materiales y métodos**

### **6.1. Área de estudio**

El área de estudio (Figura 2) se encuentra entre los 19° 00' y 19° 06' de latitud norte y los meridianos 96° 02' y 96° 06' de longitud oeste, en el municipio de Alvarado. El SLM tiene una orientación norte-sur, está asociada al río Jamapa, el cual nace con los deshielos del Pico de Orizaba. Recorre 150 km y corre de oeste a este; recibe varios afluentes de los ríos Huatusco, Cotaxtla, Totolapan, desembocando en el Golfo de México, en el municipio de Boca del Río próximo a la ciudad de Veracruz (Contreras, 2006). Cuenta con una superficie de 139 395.42 km<sup>2</sup> en donde se encuentran 91 localidades en la zona de influencia (Lara-Domínguez *et al.*, 2009).

El SLM tiene una longitud aproximada de 20 km y está compuesto por seis cuerpos de agua interconectados: Estero del Conchal, Laguna Larga, Estero de Horcones, Laguna de Mandinga Chica (Laguna Redonda), Estero de Mandinga, y Laguna de Mandinga Grande (Aldasoro, 2015).

El SLM tiene una superficie de 3 250 ha, su clima es cálido. En cuanto a su batimetría tiene un promedio de 1.60 m, en algunas partes hasta 3 m de profundidad. Su régimen de salinidad es oligohalina y mesohalina (Contreras, 2006).

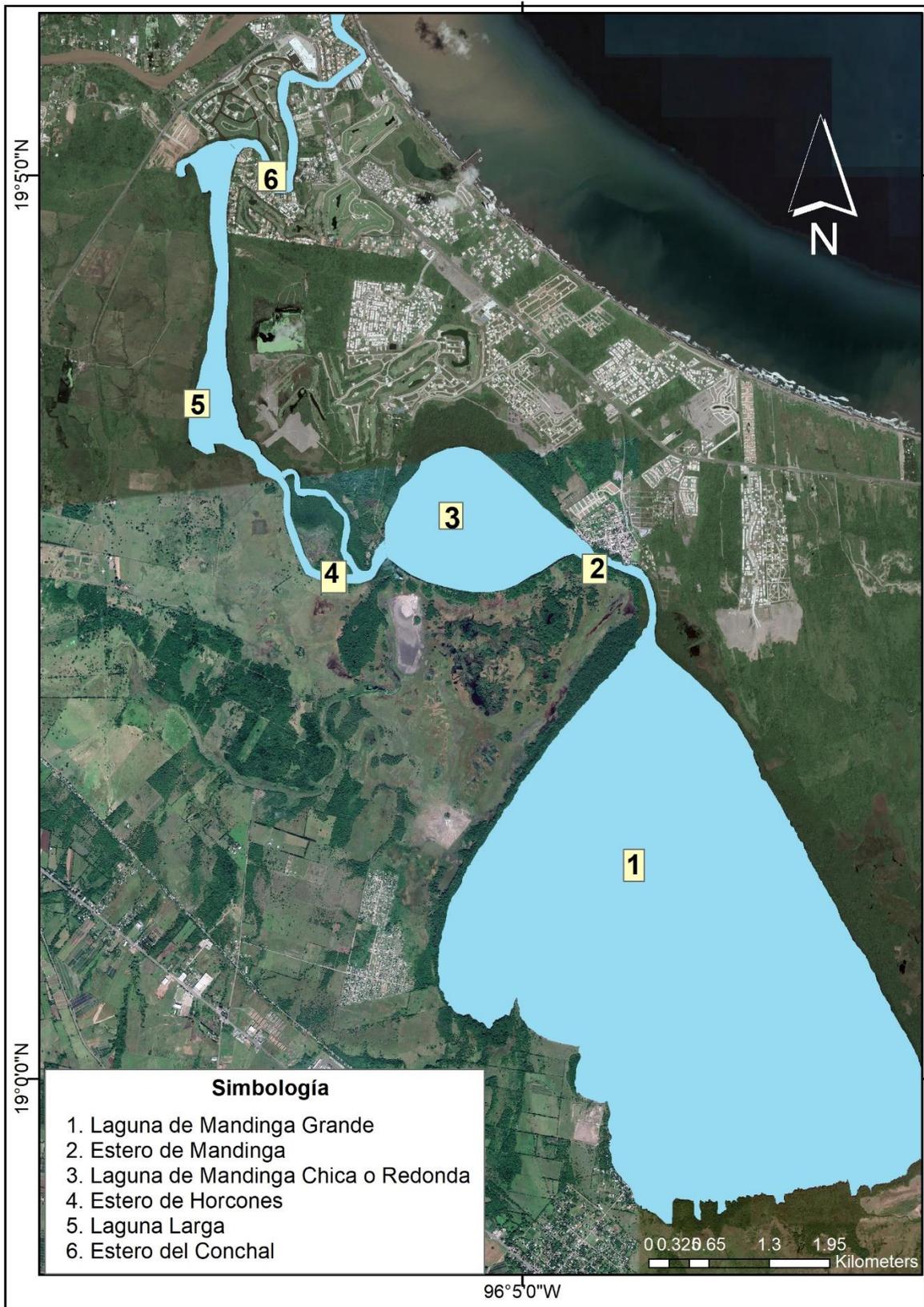


Figura 2. Sistema Lagunar de Mandinga, municipio de Alvarado, Veracruz

## **6.2. Determinación de la tasa de cambio de uso de suelo en el margen del SLM**

Las evaluaciones de uso de suelo se definieron para cuatro años: 2005, 2010, 2015 y 2019. Para la realización de los mapas de cambio se utilizaron los mapas de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Región Golfo de México de los años 2005, 2010 y 2015 de CONABIO. Se utilizó el polígono de la zona 48 de Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica de CONABIO.

Los insumos cartográficos se procesaron utilizando el software ArcGIS 10.3. Se realizó la georreferenciación de los mapas y se cambió la proyección cónica conforme de Lambert WGS84 que tenían los mapas, esta se utiliza para visualizar mejor los cambios a nivel país. Posteriormente se realizó la modificación de los archivos de CONABIO, se utilizó la metodología empleada por Silva-Cardoza (2017), para cortar el área de estudio. Una vez que se cortó el área de estudio con el polígono de la zona 48 se procedió a actualizar las áreas por cada tipo de clase. Las clases de uso de suelo se identificaron de acuerdo con la clasificación de Rodríguez-Zúñiga y colaboradores (2012), para tener la misma similitud de estas (Cuadro 3). De estas clases se utilizaron siete, a excepción de las que no aplicaron para efectos de este estudio y evaluación del área prioritaria de la zona 48, que son *Manglar perturbado* y *Otros*.

Cuadro 3. Sistema de clasificación utilizado en el procesamiento digital de las imágenes satelitales

| ID | Clase                             | Descripción  |
|----|-----------------------------------|--|
| 1  | Desarrollo antrópico <sup>1</sup> | Incluye poblados, estanques acuícolas, granjas camaroneras, salineras, caminos y carreteras, así como obras de infraestructura hidráulica que incluye canales.   |
| 2  | Agrícola-Pecuaria                 | Incluye las tierras utilizadas para agricultura de temporal, riego y los pastizales dedicados a la actividad pecuaria. Esta categoría corresponde a coberturas antrópicas destinadas a la producción de alimento, así como los monocultivos perennes arbolados propios de cada región, y otros agroecosistemas. Incluye áreas agrícolas en descanso. |
| 3  | Otra vegetación                   | Incluye la vegetación arbustiva y arbórea de selvas bajas perennifolias y subperennifolias inundables y selva mediana subperennifolia inundables, diferentes tipos de vegetación secundaria arbórea y arbustiva y la vegetación secundaria herbácea.   |
| 4  | Sin vegetación                    | Incluye las áreas sin vegetación aparente y con erosión, dunas costeras de arena y playas.   |
| 5  | Manglar                           | Incluye humedales arbustivos y arbóreos conformados por la asociación vegetal de una o más especies de mangle: mangle blanco ( <i>Laguncularia racemosa</i> ), mangle rojo ( <i>Rhizophora mangle</i> ), mangle negro ( <i>Avicennia germinans</i> ) y mangle botoncillo ( <i>Conocarpus erectus</i> ).  |
| 6  | Manglar perturbado                | Incluye humedales conformados por parches de árboles y/o arbustos de manglar muerto o en regeneración. Esta categoría se refiere a la cubierta forestal perturbada por huracanes, tormentas, ciclones y por la construcción de infraestructura hidráulica, carreteras y caminos.   |
| 7  | Otros humedales                   | Incluye la vegetación hidrófita de Popal-Tular-Carrizal <sup>2</sup> , además de pastizales inundables, vegetación hidrófita o halófila con individuos de mangle dispersos o en pequeños islotes y los terrenos salinos costeros con poca cubierta vegetal.  |
| 8  | Cuerpos de agua                   | Incluye océanos, bahías, esteros, lagunas, ríos, presas, cenotes, aguadas.   |
| 9  | Otros                             | Se refiere a la cobertura de nubes y la sombra derivada de las mismas  |

Notas: 1. Esta clase se digitalizó en pantalla con interpretación visual y con ayuda de otras fuentes (INEGI 2001, INEGI 2005). 2 Popal. Vegetación herbácea enraizada que se desarrolla en lugares pantanosos de las planicies costeras con agua permanente. Las principales especies que lo conforman son: *Calathea sp.*, *Thaliageniculata*, *Heliconia spp.*, *Leersia sp.*, *Paspalum spp.*, *Panicum spp.* y *Cyperus spp.*, entre otros. Tular. Asociación vegetal de plantas herbáceas enraizadas sobre terrenos pantanosos, en orillas de lagos, lagunas y otros cuerpos de agua. Sus componentes tienen hojas alargadas y angostas o carecen de ellas. Se les conoce como tules y pertenecen principalmente a los géneros *Typha spp.*, *Scirpus spp.*, y *Cyperus spp.* Carrizal. Esta comunidad vegetal se desarrolla sobre áreas pantanosas y está compuesta de plantas enraizadas que incluyen los llamados "carrizales" de *Phragmites communis* y *Arundo donax* y los "saibadales" de *Cladium jamaicense*, principalmente.

Fuente: Rodríguez-Zúñiga *et al.* (2012).

## Clasificación año 2019

Se utilizaron dos imágenes Sentinel 2A de fechas 23 de febrero de 2019 y 25 de marzo de 2019, con una resolución de 10 m. Las imágenes se eligieron correspondientes con la época de secas, cuando es más factible obtener imágenes libres de nubes (Mas y Flamenco, 2011).

Se utilizó la herramienta *composite bands* para poner en color natural las imágenes, se utilizaron las bandas 2,3,4 y 8 que son las de resolución de 10 m. Posteriormente se unieron las dos imágenes con *Arctoolbox / Data Management Tools / Raster / Raster DataSet / Mosaic To New Raster* (se cuidó que las imágenes unidas tuvieran el mismo número de bandas y bits). A continuación, se procedió a cortar el área de estudio utilizando la herramienta *Raster by mask* con el polígono de la zona 48 de Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica.

Primero se realizó clasificación supervisada con la herramienta *maximum likelihood classification*, también se realizó clasificación no supervisada con el modulo *Iso Cluster Unsupervised Classification*, posterior se realizó clasificación con el módulo *Interactive supervised classification*, sin embargo, la clasificación que se obtuvo no fue la más óptima ya que aparecían pequeños parches de diferentes clases en todas las áreas y unas clases no correspondían al valor que representaban en la realidad. Por último, se sobrepuso la imagen Sentinel con el *raster* del área de estudio del mapa uso de suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares de la región golfo de México del año 2015 para realizar la clasificación mediante interpretación visual, basado en el método interdependiente, este método consiste en actualizar la interpretación con base en dos fechas, una fecha anterior (inicial) con la imagen de la fecha siguiente (final), permitiendo obtener una serie temporal de mapas de forma más congruente que si fuera obtenida con base en interpretaciones independientes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1996).

Se modificaron las áreas que presentaron cambios sustantivos y se agruparon a la clase correspondiente. Una vez realizada la agrupación se actualizó el área de cada una de las clases, para obtener las hectáreas que cambiaron a otro uso de suelo. Para la evaluación de la exactitud de los mapas de cambio, Congalton (1991), sugiere verificar por lo menos 50 sitios por categoría o clase, sin embargo, dependiendo de los objetivos del estudio puede modificarse este número o no incluirse todas las categorías para la evaluación de los campos. Por lo cual se registraron 350 puntos de muestreo para el mapa correspondiente al año 2019, 50 puntos por cada clase de uso de suelo. Para evaluar la exactitud del mapa resultante se utilizó una matriz de confusión, el coeficiente de exactitud global (Congalton y Green, 1999) y el estadístico de Kappa (Congalton y Green, 2009).

La evaluación de la exactitud fue calculada con 350 puntos de referencia utilizando un método estratificado aleatorio para representar diferentes clases de cobertura del suelo. En total fueron 79 puntos de datos de campo y 271 puntos fueron verificados usando el programa Google Earth Pro y Google Maps. Zani y colaboradores (2013), consideran que el uso de Google Earth, permite percibir detalles suficientes y observar áreas que serían inaccesibles para verificar en campo mediante la visualización de imágenes de alta resolución y puede ser satisfactorio como referencia para validación a escala 1:100 000.

Para determinar las tasas de cambio para los diferentes tipos de clases se utilizaron las ecuaciones que utilizaron en su estudio Peralta-Rivero y colaboradores (2015), ya que permiten la comparación con otros estudios. La primera es utilizada por la FAO (1996):

$$TAD = [1 - (A_2 / A_1)1 / n] * 100 \quad (1)$$

Dónde:  $TAD$  = Tasa Anual de Deforestación,  $A_1$  = área al inicio del periodo,  $A_2$  = área al final del periodo y  $n$  = número de años del periodo.

La segunda es propuesta por Puyravaud (2003), que tiene un significado matemático y biológico, se utiliza para cálculos financieros de interés compuesto, además, esta tasa de deforestación arroja valores más altos que la tasa sugerida por FAO cuando la deforestación es más alta porque considera la pérdida de los recursos forestales y su implicación en la parte biológica de estos ecosistemas:

$$TAC = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1} \quad (2)$$

Dónde:  $TAC$  =Tasa Anual de Cambio,  $A_1$ =superficie al inicio del periodo,  $A_2$  = superficie al final del periodo,  $t_1$ =año al inicio del periodo y  $t_2$  año al final del periodo.

### **6.3. Determinación de la tasa de cambio en la producción pesquera de ostión *C. virginica* del SLM**

Se solicitó información al Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), sobre los datos de captura del Sistema Lagunar de Mandinga. Los años para el estudio se limitaron del año 2005 al año 2017 debido a la disponibilidad de información sobre captura registrada en la base de datos.

Los registros contienen, año, lugar, cooperativa, y peso desembarcado en toneladas.

Con los datos de los pesos desembarcados por año, se realizó un análisis de tendencia con el software Minitab 18.

### **6.4. Evaluación de la asociación que existe entre la tasa de cambio de uso de suelo y la tasa de cambio en la producción pesquera de ostión del SLM**

Para determinar el nivel de asociación que existe entre la producción pesquera con el cambio de uso de suelo, se realizó una correlación entre las coberturas de cada clase de vegetación y uso de suelo y las capturas de producción pesquera de ostión en los años que se analizó la cobertura del área de estudio 2005, 2010, y 2015.

## 7. Resultados y discusión

### 7.1. Tasa de cambio de uso de suelo en el margen del SLM

En términos generales, para el mapa del año 2019, del total de 350 puntos de verificación, 309 coincidieron con las clases de la leyenda del mapa clasificado y 41 pertenecen a una clase diferente respecto de los píxeles clasificados. Anderson y colaboradores (1976), establecen una precisión general estándar para mapas de cobertura y uso de la tierra entre 85 y 90 por ciento (Lins y Kleckner, 1996). En este estudio se obtuvo una exactitud global de 88.28 % y un índice de kappa de 67.54 %. Con el resultado de los datos de campo se modificó el archivo de la interpretación visual para mejorar la precisión de la clasificación de la imagen con el fin de aumentar la exactitud del mapeo del año 2019.

En la matriz de confusión (Cuadro 4), se observa que las clases mejor representadas en el mapa son *Cuerpos de agua* y *Agrícola-Pecuaria*, con confusiones con la clase *Sin vegetación* y *Otros humedales* con *Otra vegetación*. Existe un grado de confusión para la clase *Sin vegetación*, ya que se confunde con la clase *Desarrollo antrópico*, principalmente a que áreas sin vegetación aparente se están aplanando y habilitando para construir fraccionamientos (Figura 3).

La distribución de las clases en la fecha inicial del estudio mostro dos clases de suelo dominantes que son la *Agrícola-pecuaria* (62 %) y *Otra vegetación* (12 %), sumando 74 % de superficie del área de estudio; lo anterior coincide con los resultados presentados por Berlanga y colaboradores (2010), quienes analizaron los patrones de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en la región de la costa norte de Nayarit, donde la clase dominante en los años 1973 y 1990 fue la de bosques, cubriendo 48 % y 40 % del área total, esta condición cambio para el año 2000, pasando a ser la clase dominante la agricultura con 41 %.

Cuerpos de agua cuenta con 12 %, seguido de *Desarrollo antrópico* y *Otros humedales* con 5 % para ambas clases, *Manglar* (2 %) y *Sin vegetación* (1 %).

Cuadro 4. Matriz de confusión de la clasificación de las imágenes 2019

|                          | Datos de referencia      |                       |                     |                    |             |                     |                           | Totales       |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|-------------|---------------------|---------------------------|---------------|
|                          | 1.- Desarrollo antrópico | 2.- Agrícola-Pecuaria | 3.- Otra vegetación | 4.- Sin vegetación | 5.- Manglar | 6.- Otros humedales | 7.- Cuerpos de agua       |               |
| 1.- Desarrollo antrópico | 49                       | 0                     | 1                   | 0                  | 0           | 0                   | 0                         | 50            |
| 2.- Agrícola-Pecuaria    | 0                        | 50                    | 0                   | 0                  | 0           | 0                   | 0                         | 50            |
| 3.- Otra vegetación      | 0                        | 8                     | 42                  | 0                  | 0           | 0                   | 0                         | 50            |
| 4.- Sin vegetación       | 10                       | 2                     | 4                   | 34                 | 0           | 0                   | 0                         | 50            |
| 5.- Manglar              | 0                        | 0                     | 1                   | 0                  | 47          | 2                   | 0                         | 50            |
| 6.- Otros humedales      | 0                        | 5                     | 7                   | 1                  | 0           | 37                  | 0                         | 50            |
| 7.- Cuerpos de agua      | 0                        | 0                     | 0                   | 0                  | 0           | 0                   | 50                        | 50            |
| <b>Totales</b>           | <b>59</b>                | <b>65</b>             | <b>55</b>           | <b>35</b>          | <b>47</b>   | <b>39</b>           | <b>50</b>                 | <b>350</b>    |
|                          |                          |                       |                     |                    |             |                     | <b>Exactitud Global %</b> | <b>88.286</b> |
|                          |                          |                       |                     |                    |             |                     | <b>^K %</b>               | <b>67.548</b> |

Para el año 2010, la distribución de dominancia se mantiene para las clases *Agrícola-pecuaria* (61 %) y *Cuerpos de agua* (12 %), sumando 73 % de la cobertura, seguida de *Otra vegetación* (11 %). Por otro lado, tienen un incremento *Desarrollo antrópico* (7 %) y *Manglar* (3 %), las clases que se mantienen son *Otros humedales* (5 %) y *Sin vegetación* (1 %).

En el año 2015, la distribución de dominancia es *Agrícola-pecuaria* (57 %) y *Otra Vegetación* (13 %) sumando 70 % de la cobertura; seguida de *Cuerpos de agua* (12 %). Se mantienen las clases *Otros humedales* (5 %) y *Sin vegetación* (1 %). Se aprecia un incremento de área en términos de superficie total para *Desarrollo antrópico* (9 %) con un ligero aumento para *Manglar* (3 %), este último resultado para la clase *Manglar* concuerda con el estudio de Ortiz-Lozano y colaboradores (2015), el cual la misma clase representa 3 % del territorio en área de manglar.



Figura 3. Habilitación de nuevos fraccionamientos

Para el último periodo de estudio del año 2019, la clase predominante es *Agrícola-Pecuaría* con 59 % desplazando a *Otra vegetación* con 9 % por *Desarrollo antrópico* y *Cuerpos de agua*, ambas clases con 12 % cada una (Figura 4). En este sentido y de acuerdo con Rosete y colaboradores (2009), a nivel regional los principales cambios de uso del suelo y vegetación son de origen antrópico originados por el crecimiento de las ciudades y la expansión de las actividades agropecuarias, principalmente en los extremos norte y sur.

Por otra parte, se mantiene la clase *Manglar* (3 %) y *Sin vegetación* (1 %); disminuyendo la clase *Otros humedales* (4 %). Este último resultado en la disminución de la clase humedales pone en evidencia lo descrito por Gerez-Fernández y Pineda-López (2011), en los últimos cincuenta años el estado de Veracruz perdió la mayor parte de sus bosques, selvas y vegetación de zonas inundables.

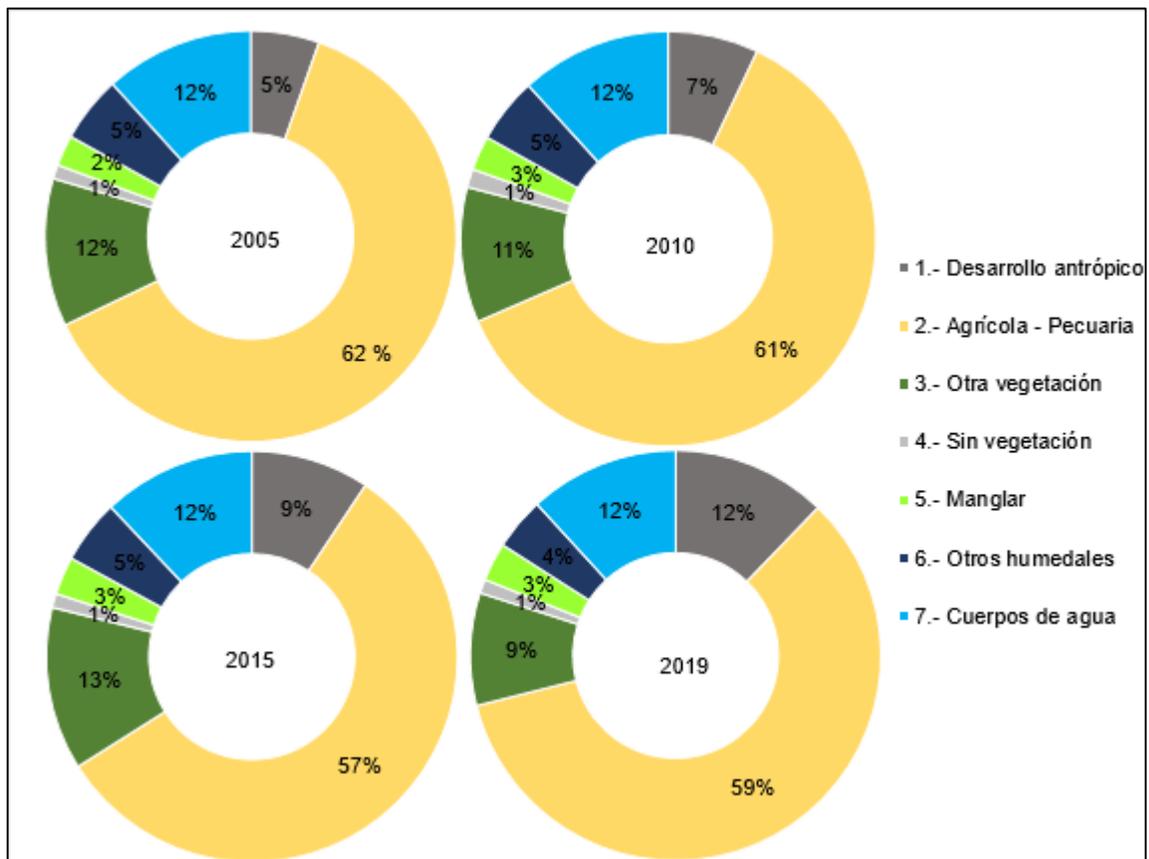


Figura 4. Porcentaje de las áreas de las clases de suelo y vegetación del SLM en los diferentes años de estudio

Estos resultados son similares a los presentados por Kuenzer y colaboradores (2014), quienes caracterizaron la geografía del Delta de Nigeria, entre los años 1986 al 2013; donde concluyeron que las áreas urbanas se expandieron 1 516 km<sup>2</sup> de 1986 a 1 730 km<sup>2</sup> al año 2013 y la superficie agrícola aumentó 31 700 km<sup>2</sup> a 33 895 km<sup>2</sup> respectivamente. El área de bosques y pantanos disminuyó de 18 325 km<sup>2</sup> a 15 408 km<sup>2</sup> y el bosque de manglares permaneció casi igual con 10 311 km<sup>2</sup> en el año 1986 y 10 072 km<sup>2</sup> en el año 2013, con un período de disminución hasta el año 2003 y una estabilización por las actividades de protección y rehabilitación.

Cuadro 5. Uso de suelo y vegetación en Mandinga, Veracruz área en 2005 y 2010 y sus diferencias

| Clases                   | 2005         |            | 2010         |            | Diferencia<br>(2010-2005) |
|--------------------------|--------------|------------|--------------|------------|---------------------------|
|                          | ha           | %          | ha           | %          | ha                        |
| 1.- Desarrollo antrópico | 1019         | 5          | 1308         | 7          | 289                       |
| 2.- Agrícola – Pecuaria  | 11577        | 62         | 11394        | 61         | -183                      |
| 3.- Otra vegetación      | 2160         | 12         | 1954         | 11         | -206                      |
| 4.- Sin vegetación       | 205          | 1          | 265          | 1          | 60                        |
| 5.- Manglar              | 448          | 2          | 498          | 3          | 50                        |
| 6.- Otros humedales      | 968          | 5          | 946          | 5          | -22                       |
| 7.- Cuerpos de agua      | 2171         | 12         | 2182         | 12         | 11                        |
| <b>Total</b>             | <b>18548</b> | <b>100</b> | <b>18548</b> | <b>100</b> |                           |

Cuadro 6. Uso de suelo y vegetación en Mandinga, Veracruz área en 2015 y 2019 y sus diferencias

| Clases                   | 2015         |            | 2019         |            | Diferencia<br>(2019-2015) |
|--------------------------|--------------|------------|--------------|------------|---------------------------|
|                          | ha           | %          | ha           | %          | ha                        |
| 1.- Desarrollo antrópico | 1727         | 9          | 2265         | 12         | 538                       |
| 2.- Agrícola – Pecuaria  | 10519        | 57         | 10917        | 59         | 398                       |
| 3.- Otra vegetación      | 2380         | 13         | 1647         | 9          | -733                      |
| 4.- Sin vegetación       | 204          | 1          | 203          | 1          | -1                        |
| 5.- Manglar              | 554          | 3          | 561          | 3          | 7                         |
| 6.- Otros humedales      | 934          | 5          | 768          | 4          | -166                      |
| 7.- Cuerpos de agua      | 2230         | 12         | 2188         | 12         | -42                       |
| <b>Total</b>             | <b>18548</b> | <b>100</b> | <b>18548</b> | <b>100</b> |                           |

En la Figura 6 (Cuadro 5 y 6), se observan las diferentes clases de uso de suelo y vegetación al inicio del periodo evaluado, resaltando la clase *Agrícola-Pecuaria* (11 577 ha), al cubrir gran parte del área de estudio, así mismo se destaca este sistema lagunar por estar rodeado de la clase *Manglar* (448 ha) y *Otros humedales* (968 ha). En el área de estudio se encuentran varios terrenos en venta (Figura 5), cubiertos en su mayoría por la clase *Otra vegetación* (2 160 ha), los cuales, al ejecutarse la compra, se habilitan para *Desarrollo antrópico* (1 019 ha).



Figura 5. Terrenos en venta sobre el Boulevard Riviera Veracruzana

El cambio estructural del régimen de propiedad privada a ejidal demuestra que la configuración urbana se transforma radicalmente, ya que habiéndose cumplido los procesos de acreditación de dominio pleno del parcelario ejidal, la mejor opción para los acreditados fue ofrecer conjuntos de parcelas a los inversionistas, los cuales en forma inmediata iniciaron sus procesos de urbanización, promoviendo unidades residenciales en los espacios recién incorporados. Así, el plano de la expansión urbana cambia repentinamente, ubicándose en las nuevas áreas urbanizables de la “Riviera Veracruzana”, unidades residenciales dirigidas a los estratos medio y alto (Sánchez, 2015).

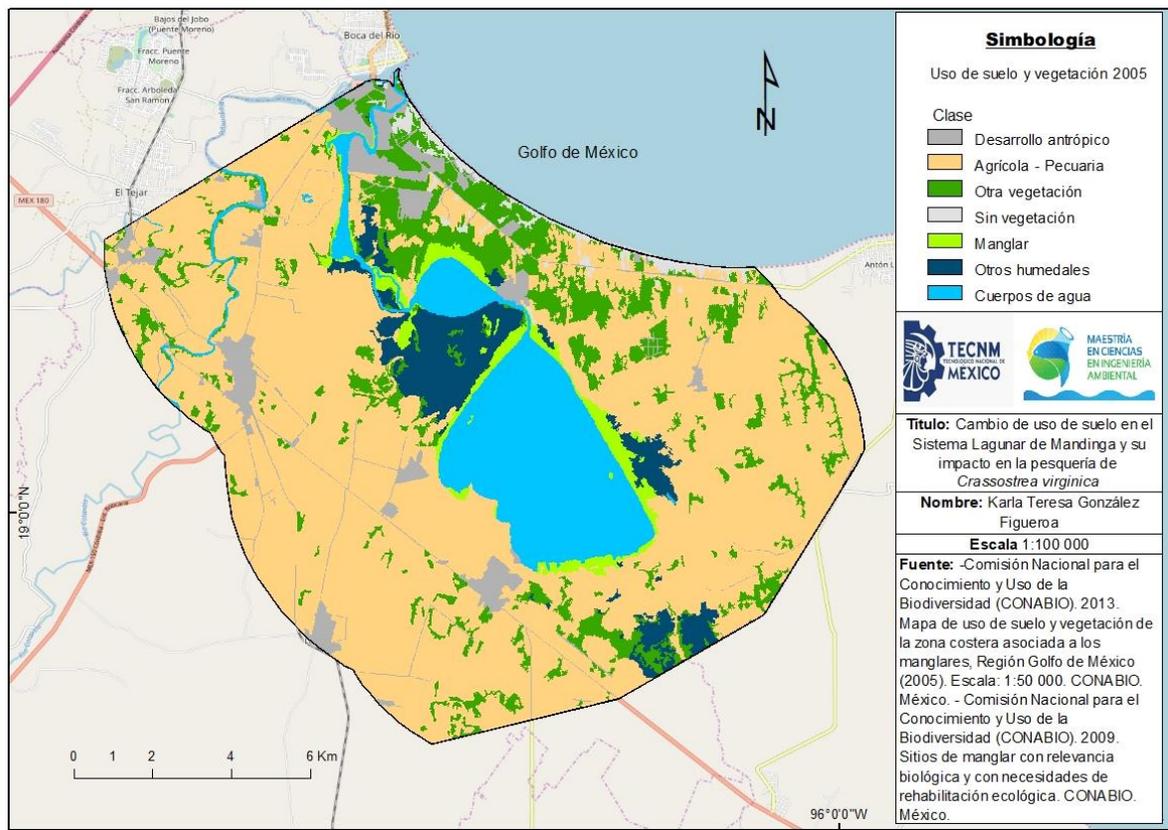


Figura 6. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM año 2005

La clase *Desarrollo antrópico* se desplaza hacia la zona de la costa, siendo esta área ocupada por las clases *Otra vegetación*, *Sin vegetación* y *Agrícola-Pecuaria*; demostrando que la urbanización es un proceso que ineludiblemente resulta del desarrollo económico y rápido crecimiento de la población (Alphan, 2003), concentrándose principalmente en las zonas costeras (Barragán y de Andrés, 2016). También se aprecia la clase *Sin vegetación* (205 ha), que comprende dunas, litoral y zonas en las cuales el suelo se encuentra erosionado. La clase *Cuerpos de agua* (2 171 ha), conformada en la mayor parte por el Sistema Lagunar de Mandinga.

En el mapa del año 2010 (Figura 7), sigue el crecimiento de la clase *Desarrollo antrópico* (1 308 ha), hacia la costa, demostrando la expansión de las zonas urbanas sobre el litoral. En esta zona continúan desarrollándose principalmente fraccionamientos alrededor del sistema Lagunar y condominios habitacionales sobre la línea de costa (Figura 8), en este contexto se puede notar como existe una fragmentación de las zonas naturales con las zonas urbanas, en donde paulatinamente las primeras áreas son desplazadas por las segundas. De acuerdo con Sekovski y colaboradores (2012), la urbanización de la costa tiene importantes consecuencias como: degradación del paisaje, alteración de procesos naturales como los flujos de nutrientes y energía, degradación de hábitats, pérdida de biodiversidad, disminución del patrimonio natural y cultural entre otros, cuyos efectos crean alteración en las funciones ecosistémicas, que se relacionan a conflictos ambientales y socioculturales.

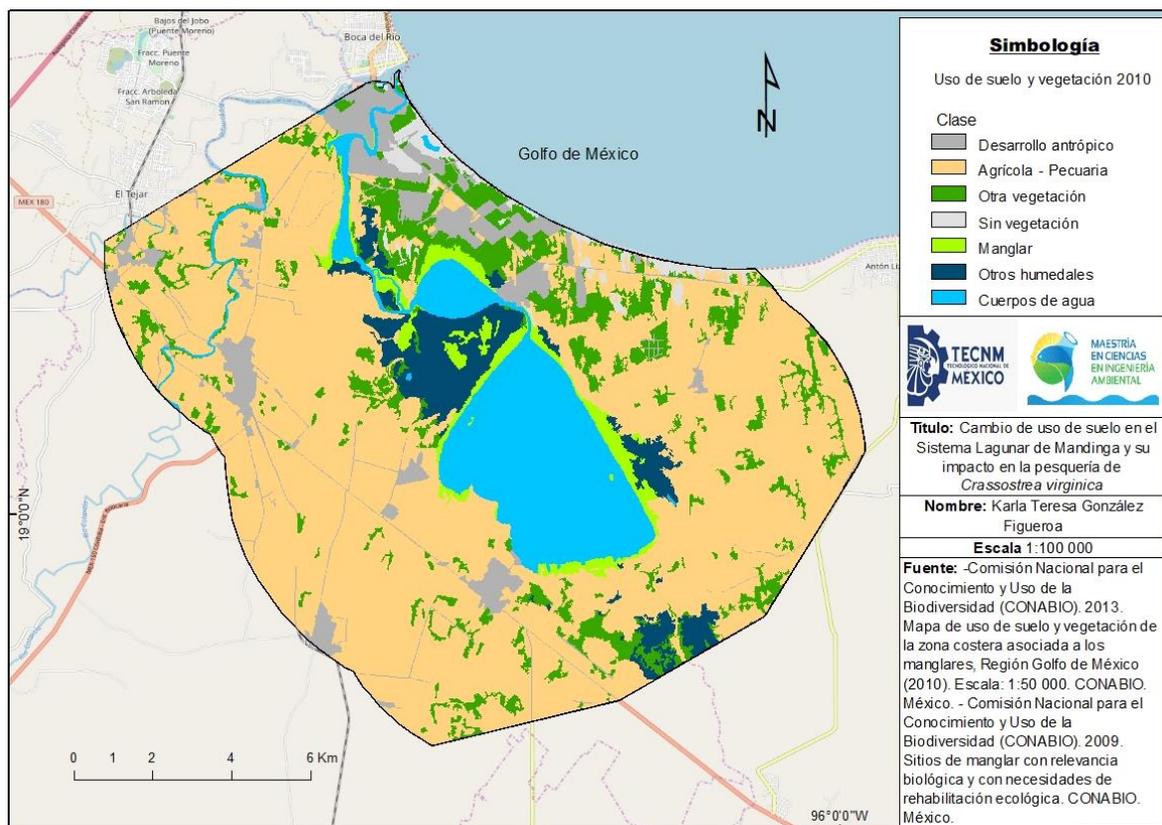


Figura 7. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM año 2010



Figura 8. Fraccionamientos habitados en el área de estudio, sobre el Boulevard Riviera Veracruzana

En el año 2015 (Figura 9), persiste el crecimiento de la clase *Desarrollo antrópico* (1 727 ha), en el municipio de Alvarado que es el más cercano al municipio de Boca del Río, el acceso a la carretera 150 aunado a la cercanía al mar provoca que sean estas áreas idóneas por las inmobiliarias.

La clase *Otra vegetación* (2 380 ha) tiene un crecimiento en área, así como la clase *Manglar* (554 ha), y *Cuerpos de agua* (2 230 ha). Las clases con disminución son *Otros humedales* (934 ha, *Sin vegetación* (204 ha) y *Agrícola-pecuaria* (10 519 ha). En el municipio de Medellín continúa predominando clase *Agrícola-pecuaria* la cual permanece con mayor porcentaje en el área de estudio como en años anteriores.

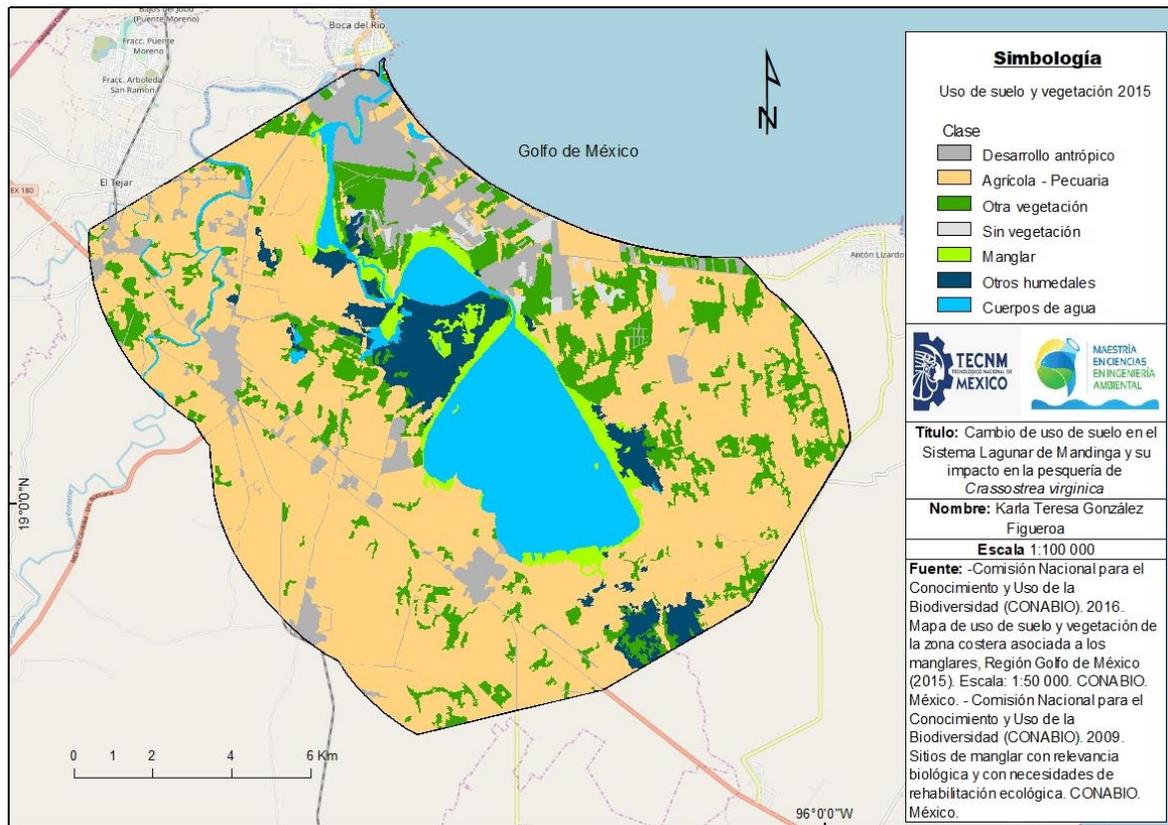


Figura 9. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM año 2015

El mapa del año 2019 (Figura 10), se muestra un crecimiento en la clase *Desarrollo antrópico* (2 265 ha), este avance sigue siendo pronunciado hacia la costa, sin embargo, se puede notar un desplazamiento de esta clase hacia la zona sur-este del área de estudio, especialmente en el municipio de Medellín donde reemplazo a las clases *Sin vegetación* (203 ha) y *Agrícola-Pecuaria* (10 917 ha). De acuerdo con Popkin (2001), el crecimiento urbano aumenta la demanda de alimentos pero, al mismo tiempo, reduce la disponibilidad de tierras cultivables, como se muestra con la disminución de la última clase en el área de estudio, ya que esta zona se dedica principalmente a las actividades agrícolas y pecuarias, y está siendo recientemente habilitada para construir fraccionamientos.

Otro aspecto que resalta es la disminución de la clase *Otros humedales*, con una tendencia a la baja, comparado al inicio del año 2005 con 968 ha y al año 2019 con 768 ha estos resultados coinciden con autores como Huq *et al.* (2019), Xu *et al.* (2016) Lin *et al.* (2013), y Mendoza-González *et al.* (2012), en donde las evaluaciones de cambio de uso de suelo presentaron disminución en los humedales. Con el fenómeno de “dispersión urbana”, estos eventos se intensifican fomentando el incremento de la distancia de los asentamientos urbanos desde el centro de la ciudad, consumiendo suelo hacia lugares cada vez más periféricos, presionando espacios naturales de gran importancia como los humedales (Rojas *et al.*, 2013).

Los humedales se degradan y pierden hectáreas más rápidamente que otros ecosistemas debido a cambios en el uso de la tierra, desvío de cursos de agua y desarrollo de infraestructuras. Entre 1 000 y 2 000 millones de personas de todo el mundo cada vez tienen menos acceso al agua dulce, repercutiendo negativamente a la producción de alimentos, la salud humana y el desarrollo económico, y puede provocar un aumento de los conflictos sociales (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

La clase *Otra vegetación* (1 647 ha) y *Cuerpos de agua* (2 188 ha) tienen una disminución en área comparada con el periodo anterior, a diferencia de la clase *Manglar* (561 ha), que se mantiene en preservación en comparación con el año 2015. Estos resultados son parecidos a los reportados por Carrasquilla (2011), dentro del complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule en Sinaloa, donde el área de manglar no presentó cambios importantes en los años 1990 a 2009. Por el contrario, se presentó un incremento comprendido entre los años 1990 y 1994 pasando de 10451 ha a 11,886 ha.

De acuerdo con Romero-Berny y colaboradores (2013), las tasas de deforestación varían dependiendo la región y el periodo, pudiendo reflejar eventos naturales causantes de mortalidad masiva de la vegetación como los huracanes o tendencias y medidas del éxito en políticas de manejo.

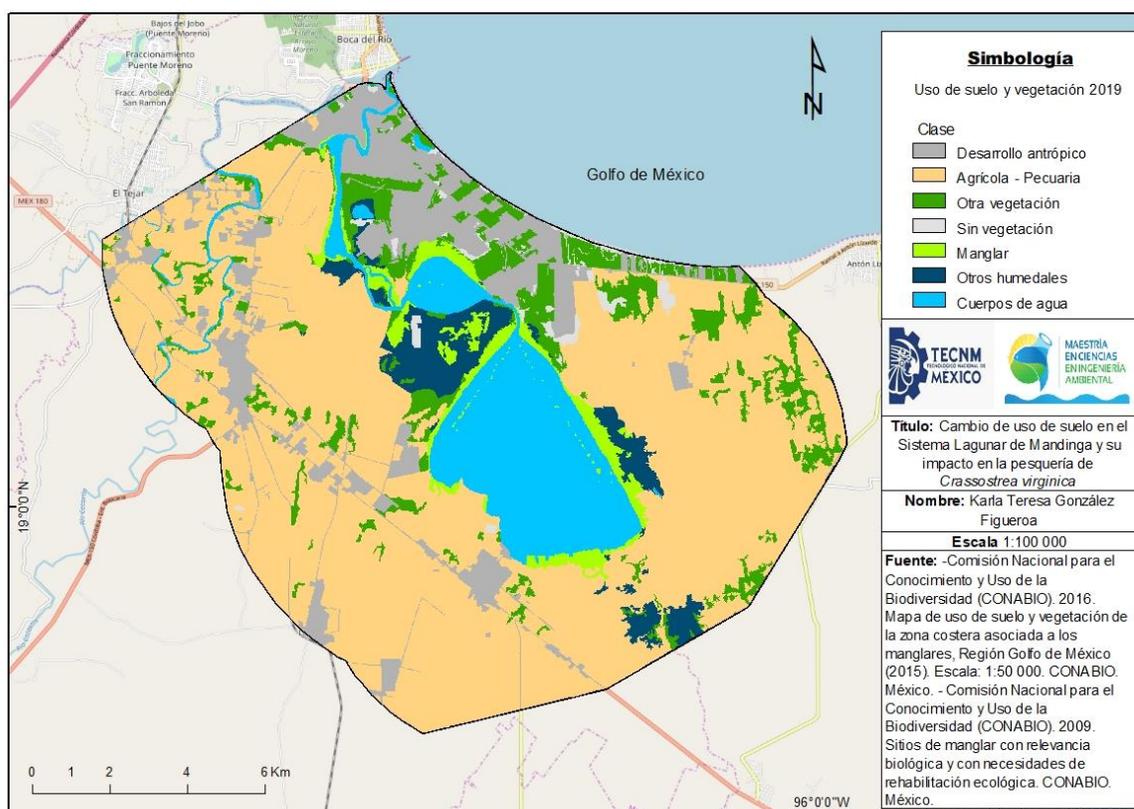


Figura 10. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM año 2019

En la Figura 11, se muestra una comparación de los años evaluados, el cual muestra como la clase *Desarrollo antrópico* tiene mayor crecimiento sobre el litoral y como va desplazando a las clases *Otra vegetación*, *Agrícola-pecuaria* y *Sin vegetación*.

Las tasas anuales de deforestación y de cambio se muestran en el Cuadro 7, en el primer periodo de evaluación, que abarca del año 2005 al 2010, las clases con tasas altas son *Desarrollo antrópico* (TAD 5.12 % y TAC 4.99 %), seguida de la clase *Sin vegetación* (TAD 5.32 % y TAC 5.18 %), *Manglar* (TAD 2.13 % y TAC 2.11), por último, la clase *Cuerpos de agua* con ambas tasas de 0.11 %. En contraste se encontró una pérdida de las clases *Otra vegetación* (TAD -1.98 % y TAC -2.00 %), *Otros humedales* y *Agrícola-Pecuaria* con tasas de -0.46 % y -0.32 % respectivamente.

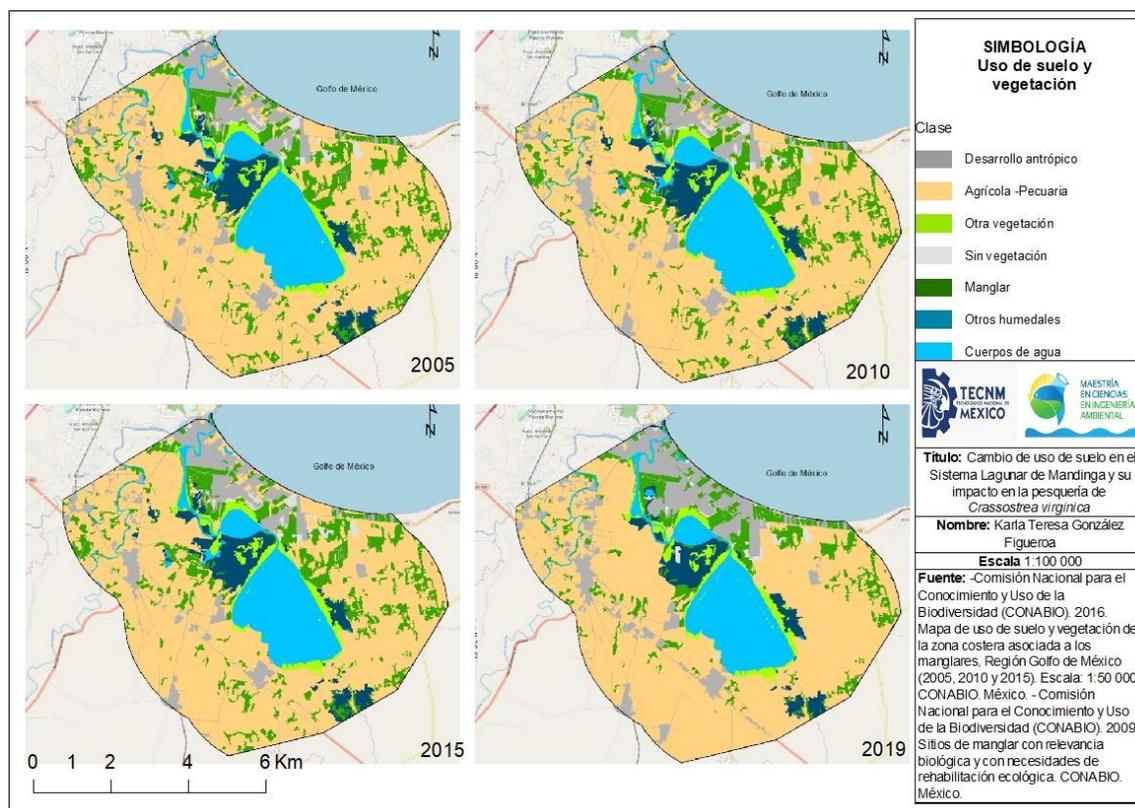


Figura 11. Mapa de uso de suelo y vegetación del SLM años 2005, 2010, 2015 y 2019

El segundo periodo del año 2010 al 2015 (Figura 12), sigue la tendencia de crecimiento por parte de la clase *Desarrollo antrópico* con (TAD 5.72 % y TAC 5.57 %), *Otra vegetación* (TAD 4.02 % y TAC 3.94 %), *Manglar* (TAD 2.17 % y TAC 2.15 %) y *Cuerpos de agua* con ambas tasas de 0.43 %. Por el lado contrario las clases con disminución son *Sin vegetación* (TAD -5.10 % y TAC -5.23 %), *Agrícola-Pecuaría* (TAD -1.59 % y TAC -1.60 %), y *Otros humedales* con tasas de -0.26 %.

Los resultados del tercer periodo de los años 2015 al 2019 señalaron que la clase *Otra vegetación* (TAD -8.80 % y TAD= -9.21 %) y la clase *Otros humedales* (TAD -4.77 % y TAD -4.89 %) obtuvieron las pérdidas más importantes en su tipo de cobertura; como consecuencia de la presión demográfica muchas de las áreas de humedales cercanas al puerto de Veracruz han sido utilizadas por los desarrollos inmobiliarios (López *et al.*, 2010). Otras clases que sufrieron pérdidas en menor medida son *Cuerpos de agua* con una tasa de deforestación y cambio de -0.47 % y *Sin vegetación* con ambas tasas de -0.19 %. Por otro lado, en el mismo periodo, la clase *Desarrollo antrópico* presentó mayor crecimiento con la tasa de deforestación y de cambio de 7.01 % y 6.77 % respectivamente, *Agrícola-Pecuaría* con 0.93 % y *Manglar* con 0.32 % (Figura 13). La clase *Manglar* se ha mantenido en la zona, coincidiendo el ultimo resultado de acuerdo con Hernández y colaboradores (2016), en un estudio que realizaron en la costa de Tabasco, donde concluyeron que las perturbaciones antrópicas favorecieron un ambiente propicio para la colonización del manglar, impactando de manera negativa en el agroecosistema ganado-pastizal.

Asimismo, Hauser y colaboradores (2017), mapearon la fragmentación dinámica de los bosques centrales de manglar entre los años 2004 y 2013 basados en un análisis posterior de los cambios en la cobertura del suelo en la península de Ca Mau, Vietnam. Concluyeron que los bosques de manglares disminuyeron de 44 % en 2004 a 37 % en 2009. El origen de la pérdida del bosque de manglar fue la conversión productiva a espacios acuícolas durante los años 2004 a 2009. Entre los

años 2004 y 2013, alrededor de 7 849 ha se reforestaron y rehabilitaron los manglares, constituyeron alrededor de 31 % de la cubierta forestal total de manglares en 2013. Estos parches forestales "restaurados" se establecieron, entre los años 2009 y 2013, mediante la conversión de cobertura del suelo acuícola (6 933 ha).

La clase *Manglar* no presenta disminución en áreas, debido a las campañas de reforestación que se han realizado por diversas dependencias del sector público y privado. Estas han colaborado con mantener esta clase con la misma proporción existente en los diferentes años evaluados por el estudio, concentrándose principalmente en la Laguna de Mandinga Grande. Las islas de árboles de mangle son propiciadas; el sustrato utilizado es una combinación de conchas de ostiones (apiladas para servir de base a nuevos ostiones), principalmente, y azolve de los lodos, producto de los dragados por la apertura de canales para las embarcaciones. Esto ha actuado como un caso exitoso de restauración para el manglar de Mandinga (Paniagua-Cano *et al.*, 2018).

Estos parches de árboles de mangle, coadyuvan a mantener hábitats para las especies de animales, entre ellas las nativas y las migratorias. Estos sistemas albergan importantes grupos de aves, de las 1 038 especies de aves registradas para todo el país pertenecientes a 86 familias, 22 % se desarrollan en zonas acuáticas (Lara-Dominguez *et al.*, 2011). En el SLM se han identificado 185 especies de aves y 25 de otros organismos (Contreras, 2006), 40 especies de peces (De la Cruz *et al.*, 1985), y 32 de moluscos (Reguero y García-Cubas, 1993).

Cuadro 7. Tasas anuales de deforestación y cambio en el uso de suelo en Mandinga, Veracruz

| Clases                   | Tasa anual 2005-2010 (%) |       | Tasa anual 2010-2015 (%) |       | Tasa anual 2015-2019 (%) |       | Tasa anual 2005-2019 (%) |       |
|--------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
|                          | TAD                      | TAC   | TAD                      | TAC   | TAD                      | TAC   | TAD                      | TAC   |
| 1.- Desarrollo antrópico | 5.12                     | 4.99  | 5.72                     | 5.57  | 7.01                     | 6.77  | 5.84                     | 5.67  |
| 2.- Agrícola - Pecuaria  | -0.32                    | -0.32 | -1.59                    | -1.60 | 0.93                     | 0.93  | -0.42                    | -0.42 |
| 3.- Otra vegetación      | -1.98                    | -2.00 | 4.02                     | 3.94  | -8.80                    | -9.21 | -1.91                    | -1.93 |
| 4.- Sin vegetación       | 5.32                     | 5.18  | -5.10                    | -5.23 | -0.19                    | -0.19 | -0.07                    | -0.07 |
| 5.- Manglar              | 2.13                     | 2.11  | 2.17                     | 2.15  | 0.32                     | 0.32  | 1.61                     | 1.60  |
| 6.- Otros humedales      | -0.46                    | -0.46 | -0.26                    | -0.26 | -4.77                    | -4.89 | -1.63                    | -1.64 |
| 7.- Cuerpos de agua      | 0.11                     | 0.11  | 0.43                     | 0.43  | -0.47                    | -0.47 | 0.06                     | 0.06  |

TAD=Tasa Anual de Deforestación (FAO,1996) y TAC= Tasa Anual de Cambio (Puryvaud, 2003).

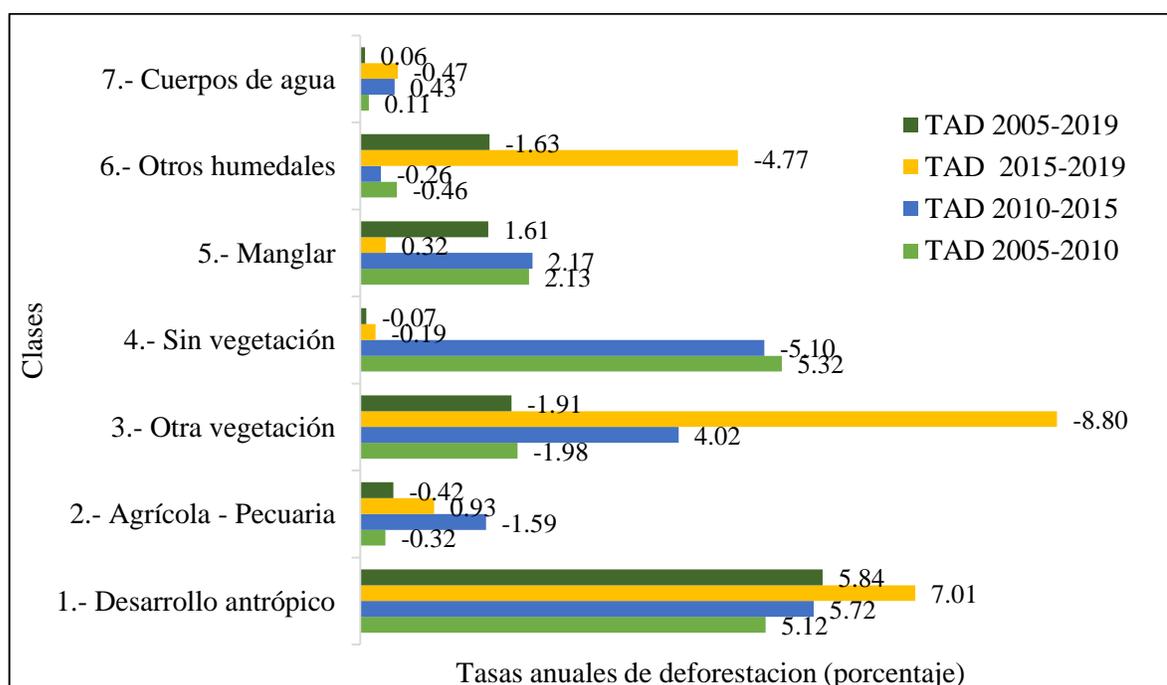


Figura 12. Tasas anuales de deforestación de las clases de suelo del SLM de los periodos de estudio. TAD=Tasa Anual de Deforestación (FAO,1996)

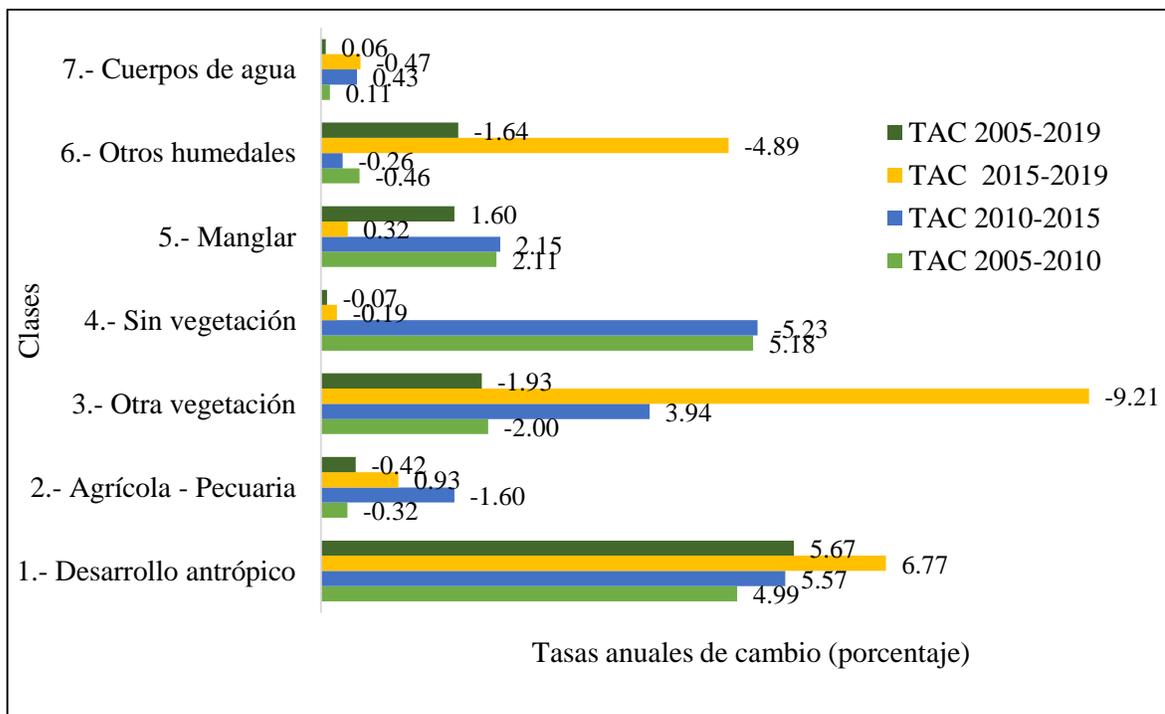


Figura 13. Tasas anuales de cambio de las clases de suelo del SLM. TAC= Tasa Anual de Cambio (Puryvaud, 2003)

## 7.2. Tasa de cambio en la producción pesquera de ostión

Estas son las sociedades cooperativas que extraen ostión como principal recurso pesquero en el Sistema Lagunar de Mandinga (Cuadro 8). Las cooperativas tienen permiso de CONAPESCA para la extracción de diversas especies como lebrancha, lisa, mojarra, jaiba y ostión. En la Figura 14, se puede observar la distribución y ordenamiento pesquero de las sociedades cooperativas en el SLM.

La pesquería del ostión es una pesquería ribereña, tradicional entre los pobladores de las lagunas costeras del golfo de México. Hasta 1991 era un recurso reservado exclusivamente a las sociedades cooperativas de producción pesquera y pesquera ejidal para su extracción, cultivo, aprovechamiento y protección. Otorgándose después acceso al Sector Privado (Palacios-Fest y Vargas-Rangel, 2002).

El ostión es el recurso pesquero más importante por su volumen en el Golfo de México. Contribuye a la producción nacional de ostión con más del 93 %; sin embargo, es uno de los productos con menor precio y aceptación debido a su calidad sanitaria (DOF, 2012).

Cuadro 8. Cooperativas del Sistema Lagunar de Mandinga que reportan ostión

---

SCPP Ostionera, S.C.L.  
SCPP de Mandinga y Matosa, S.C.L.  
SCPP La Fortunata, S.C.L.  
SCPP Fraternidad de Mandinga, S.C. de R.L.  
SCPP y Servicios Turísticos Nuevos Pescadores de la Laguna  
SCPP de Bienes y/o Servicios Pescadores Unidos de Mandinga  
SCPP y Acuícola de Bienes y/o Servicios Monte del Castillo

---

Las capturas totales de los reportes suman 2 152 toneladas (Cuadro 9), los valores de captura más altos están reportados para los años 2006 y 2010 con 350.9 t y 260.2 t respectivamente. El año 2009 con 253.8 t y el año 2008 con 175.5. De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (2012), en los diez últimos años, la tendencia de la producción en Veracruz es al alza debido al crecimiento en el esfuerzo de pesca, incrementándose el número de pescadores en un 27% al incorporarse 1,400 más del año 2007 al año 2009, sin embargo, en el año 2008 se registra una baja del 10% en la misma, por lo que no se recomienda incrementar el esfuerzo pesquero para esta zona. Esto concuerda con los datos de pesca presentados para el SLM.

Por el contrario, el volumen de captura más bajo fue reportado en el año 2014 con 28 toneladas. En los años 2009, 2010 y 2011 las capturas se mantuvieron a un valor promedio de 239 t, a diferencia del año 2011 con un valor total de 203.9 toneladas. Para el año 2012 se obtuvo un valor de 137.4 t, para los próximos dos años siguientes 2013 y 2014 disminuyó a 30.5 t y 28 t respectivamente. En el año 2015 hubo un aumento en el volumen de captura con 193 toneladas.

Los años posteriores 2016 y 2017, tuvieron valores de captura de 82.4 y 38 toneladas respectivamente (Figura 15).

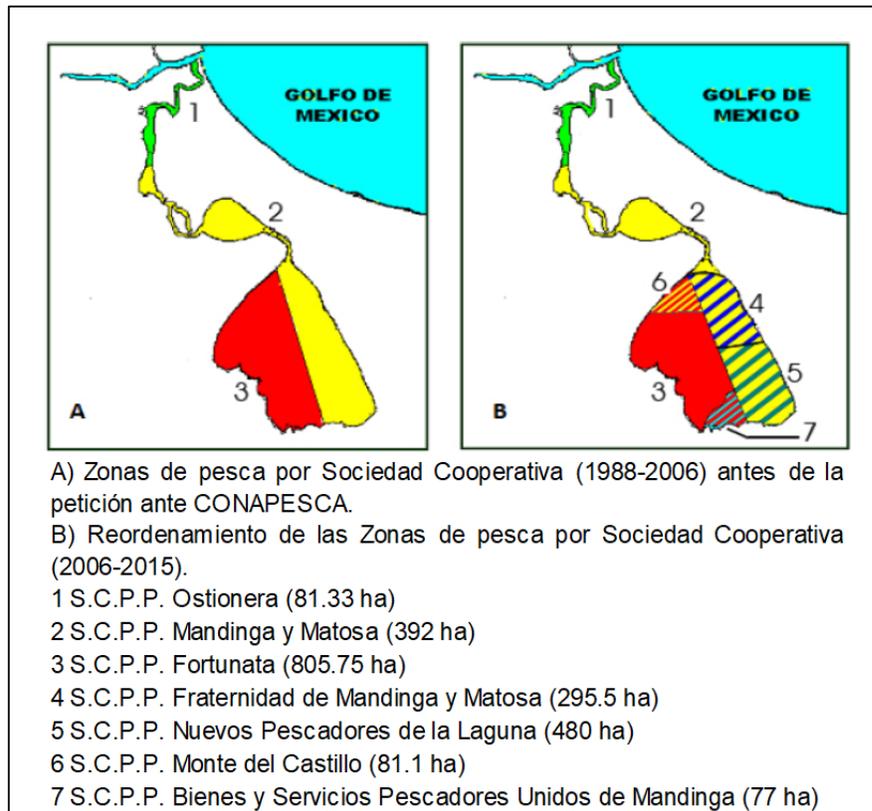


Figura 14. Ordenamiento pesquero para las Sociedades Cooperativas del Sistema Lagunar de Mandinga. Fuente: Aldasoro, (2015)

Cuadro 9. Volumen de captura total de la producción pesquera de ostión del Sistema Lagunar de Mandinga del año 2005 al 2017. Fuente: INAPESCA, (2018)

| <b>Años</b>  | <b>Toneladas</b> | <b>Porcentaje</b> |
|--------------|------------------|-------------------|
| 2005         | 186.9            | 8.7               |
| 2006         | 350.9            | 16.3              |
| 2007         | 212.1            | 9.9               |
| 2008         | 175.5            | 8.2               |
| 2009         | 253.8            | 11.8              |
| 2010         | 260.2            | 12.1              |
| 2011         | 203.9            | 9.5               |
| 2012         | 137.4            | 6.4               |
| 2013         | 30.5             | 1.4               |
| 2014         | 28.0             | 1.3               |
| 2015         | 193.0            | 9.0               |
| 2016         | 82.4             | 3.8               |
| 2017         | 38.0             | 1.8               |
| <b>TOTAL</b> | <b>2,152</b>     | <b>100.0</b>      |

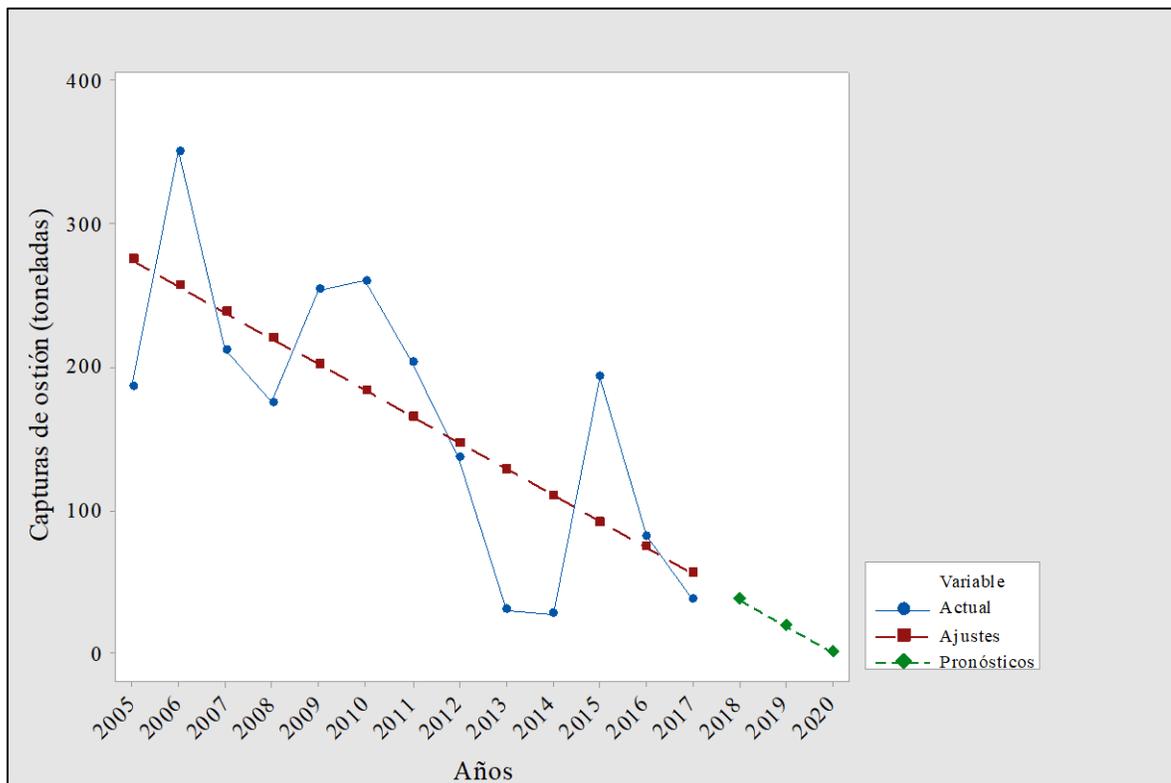


Figura 15. Análisis de tendencia de producción de ostión en el SLM

Arias (2014), encontró que las principales causas de disminución en las existencias de bancos de ostión son la sobreexplotación pesquera, la contaminación ambiental, el uso de artes de pesca prohibidos y el azolvamiento de lagunas, asimismo recalco que en todos los estados la principal causa es la sobreexplotación, sin embargo, Veracruz y particularmente Mandinga cuenta con todas estas causas de disminución sumado la cantidad de desechos que recibe, provenientes de los asentamientos humanos de su alrededor y de la creciente actividad turística (Aldeco *et al.*, 2015; Contreras, 2006).

Los cambios de origen antrópicos han generado un desequilibrio en el SLM, afectando la vida acuática, la circulación interior y un riesgo preocupante para la producción ostrícola y pesquera. Particularmente se ha visto afectado por el cambio de uso de suelo, el reparto agrario, dragados incorrectos, las mejoras en las vías de

acceso, el incremento a la actividad turística y desarrollos habitacionales (González *et al.*, 2018).

### **7.3. Asociación entre la tasa de cambio de uso de suelo y la tasa de cambio en la producción pesquera de ostión del SLM**

Las áreas de las diferentes clases de suelo obtenidas de los años 2005, 2010 y 2015 fueron correlacionadas con los volúmenes de captura y con las mismas clases.

La clase *Desarrollo antrópico* muestra una correlación negativa fuerte y sin significativa estadística con la clase *Agrícola-Pecuaria*. Asimismo, la clase *Desarrollo antrópico* muestra una correlación positiva fuerte con la clase *Manglar* siendo estadísticamente significativa. Con excepción de la clase *Otra vegetación*, *Sin vegetación* y el volumen de captura pesquera, las otras clases obtuvieron correlaciones fuertes de 0.9 pero sin significancia estadística (Cuadro 10). Estas clases son *Otros humedales* (-0.963) y *Cuerpos de agua* (0.971).

La clase *Agrícola-Pecuaria* muestra una correlación negativa fuerte y estadísticamente significativa con la clase *Cuerpos de agua*. Por otro lado, a excepción de la clase *Sin vegetación* y el volumen de captura pesquera, las otras clases muestran correlaciones fuertes negativas sin significancia estadística de valores entre -0.7 y -0.9 con las clases *Otra vegetación* y *Manglar* respectivamente asimismo una correlación de 0.8 con la clase *Otros humedales*.

La clase *Otra vegetación* muestra correlaciones negativas fuertes, pero sin significancia estadística con la clase *Sin vegetación* (-0.864) y el volumen de captura pesquera (-0.815). Por otro lado, *Cuerpos de agua* cuenta con una correlación de 0.777. Las otras clases *Manglar* y *Otros humedales* no mostraron correlación.

La clase *Sin vegetación* sola muestra una correlación fuerte, pero sin significancia estadística con el volumen de captura pesquera (0.996). La clase *Manglar* muestra una correlación positiva con la clase *Cuerpos de agua* (0.951) y una negativa con *Otros humedales* (-0.980) ambas sin significancia estadística.

A partir de los resultados anteriores se puede establecer que el volumen de las capturas pesqueras es afectado por la disminución de la clase *Otra vegetación*. De acuerdo con Moreno-Casasola y colaboradores (2002), los datos de pesca obtenidos sufren de la misma problemática general que el resto de estos datos en el ámbito nacional, esto significa que ignoran valores que pueden ser determinantes para su interpretación como la pesca de autoconsumo, que es de gran importancia en varios de los sistemas, sobre todo los de menor tamaño. Aunado a ello, está la falta de informes de capturas por parte de los pescadores a las autoridades locales.

Cuadro 10. Correlación de Pearson (valor de r) entre el área de las clases de uso de suelo años 2005, 2010 y 2015 con los volúmenes de captura de producción de ostión, en negritas valores significativos ( $p < 0.05$ )

|                         | 1.- Desarrollo antrópico | 2.- Agrícola - Pecuaria | 3.- Otra vegetación | 4.- Sin vegetación | 5.- Manglar | 6.- Otros humedales | 7.- Cuerpos de agua |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|-------------|---------------------|---------------------|
| 2.- Agrícola - Pecuaria | -0.968                   |                         |                     |                    |             |                     |                     |
| 3.- Otra vegetación     | 0.604                    | -0.786                  |                     |                    |             |                     |                     |
| 4.- Sin vegetación      | -0.120                   | 0.367                   | -0.864              |                    |             |                     |                     |
| 5.- Manglar             | <b>0.997</b>             | -0.947                  | 0.544               | -0.047             |             |                     |                     |
| 6.- Otros humedales     | -0.963                   | 0.863                   | -0.366              | -0.153             | -0.980      |                     |                     |
| 7.- Cuerpos de agua     | 0.971                    | <b>-1.000</b>           | 0.777               | -0.354             | 0.951       | -0.870              |                     |
| Captura Pesquera        | -0.031                   | 0.282                   | -0.815              | 0.996              | 0.042       | -0.241              | -0.269              |

## 8. Conclusión

De acuerdo con las tasas de deforestación las clases de uso de suelo con mayor porcentaje de crecimiento en el Sistema Lagunar son *Desarrollo antrópico*, *Agrícola Pecuaria*, y *Cuerpos de agua*, con una directriz a seguir aumentando las primeras dos clases debido a las necesidades de vivienda y alimentación por parte del crecimiento poblacional. La clase *Otros humedales* es la más propensa a seguir perdiendo áreas, así como *Otra vegetación* y *Cuerpos de agua*. La clase *Manglar*, aunque se mantiene en porcentaje en el área de estudio, es un ecosistema vulnerable que puede colapsar en años posteriores debido a causas antrópicas alrededor del margen del Sistema Lagunar.

La producción de ostión en Mandinga, tiene una tendencia a la baja de acuerdo con el análisis de tendencia, asimismo la clase *Otra vegetación* es la que se asocia con la disminución de ostión con correlación negativa. En el Sistema Lagunar de Mandinga, convergen otros elementos que pueden recaer en la disminución como la pesca furtiva, artes de pesca no apropiadas, y la calidad del agua de la Laguna.

El análisis de las tasas de deforestación y de cambio, con los mapas de cambio del año 2019, reflejan el crecimiento urbano descontrolado hacia la línea de costa y los márgenes del Sistema Lagunar por lo que es necesario un plan de manejo de estas áreas naturales, así como una constante vigilancia por parte de las autoridades para evitar el relleno, poda o construcción en estas áreas sin contar con los permisos correspondientes. Así mismo un monitoreo de que las constructoras están cumpliendo y apegándose a las medidas preventivas y de remediación propuestas.

## 9. Literatura citada

- Aldasoro, G. A. (2015). *La microcuenca de mandinga: aportaciones a su historia ambiental*. Universidad Veracruzana.
- Aldeco, J., Cortés, G. y Jurado, J. (2015). Adaptaciones culturales y económicas a cambios provocados por tala de mangle y deterioro pesquero en Mandinga, Veracruz. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 15(29), 137-158.
- Alphan, H. (2003). Land-use change and urbanization of Adana, Turkey. *Land degradation & development*, 14(6), 575-586.
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T. y Witmer, R. E. (1976). *A land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data*. Washington, D.C.: United States.
- Andrade, M., Morales, G. y Hernández, A. (1999). *Guía de análisis de impactos y sus fuentes en áreas naturales*: Nature Conservancy.
- Arias, C. (2014). *La pesquería mexicana del ostión Crassostrea virginica (Gmelin, 1791) del Golfo de México: limitantes de su desarrollo*. (Tesis Inédita de Doctorado), Universidad Veracruzana, Boca del Río, Ver.
- Barragán, J. M. y de Andrés, M. (2016). Expansión urbana en las áreas litorales de América Latina y Caribe. *Revista de geografía Norte Grande*, 129-149.
- Bello, J., Ortiz, L., Ramírez, E., Aquino, R., Castillo, S., Gómez, L., Ocaña, D. y Neri, C. (2009). Humedales: definición, servicios ambientales y amenazas. *Adaptaciones a los Impactos del Cambio Climático en los Humedales Costeros del Golfo de México*, 54-65.
- Berlanga, C. A., García, R. R., López, J. y Ruiz, A. (2010). Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones geográficas*(72), 7-22.
- Bhardwaj, R. K. (1 de septiembre del 2009). Aplicación de la tecnología GIS para la gestión de la zona costera: una perspectiva hidrográfica. Recuperado de <https://www.geospatialworld.net/article/application-of-gis-technology-for-coastal-zone-management-a-hydrographer-perspective/>
- Bocco, G., Mendoza, M. y Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*(44), 18-36.
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan, J. I., Pineda, N. B., Cadena, E. G., Bravo, L. C. y Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y bosques*, 21(1), 93-112.
- Carrasquilla, M. (2011). *Análisis de la cobertura del Bosque de Manglar y su correlación con la pesca ribereña entre 1993 y 2009 en el sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa, México*. (Tesis inédita de maestría), Instituto Politécnico Nacional, Sinaloa.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2009). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*, Proyecto: GQ004, México, D.F. Recuperado de

- <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/sitpriogw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc html.xsl& indent=no>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2013). *Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Región Golfo de México (2005)*, escala: 1:50000. Proyecto: GQ004, Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2da y 3era etapas. México, DF. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/gmoc2005gw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc html.xsl& indent=no>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2013). *Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Región Golfo de México (2010)*, escala: 1:50000. Proyecto: GQ004, Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2da y 3era etapas. México, DF. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/gmoc2010gw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc html.xsl& indent=no>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2016). *Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Región Golfo de México (2015)*, escala: 1:50000. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM). Ciudad de México, México. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/gmoc2015gw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc html.xsl& indent=no>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2014). Localidades rurales y urbanas 2, 2010, escala: 1:1. Datos estadísticos del 2010, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). México, D.F. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/unikloc10gw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc html.xsl& indent=no>
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.
- Congalton, R. G. y Green, K. (1999). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Boca Raton: CRC Press.
- Congalton, R. G. y Green, K. (2009). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices* (Second ed.): CRC press.
- Contreras-Espinosa, F., Castañeda-López, O., Barba-Macías, E. y Pérez-Hernández, M. A. (2002). Caracterización e importancia de las lagunas costeras. *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, 31-43.
- Contreras, F. (2006). Lagunas costeras de Veracruz. En P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A. Travieso-Bello (Eds.), *Estrategia para el manejo costero integral* (pp. 478). Veracruz, México: Instituto de Ecología A.C. .
- Contreras, F. y Castañeda, O. (2004). La biodiversidad de las lagunas costeras. *Ciencias*, 76, 46-56.
- Chong, G. M. C. (2015). *Expansión y transformación del territorio: La ineficiencia de los fraccionamientos urbanizados Zona conurbada de Veracruz, México*.

- (Tesis inédita de doctorado), Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Madrid.
- De la Cruz, A., Franco-López, G. A. y Abarca, L. G. (1985). Caracterización ictiofaunística de los sistemas estuarinos del estado de Veracruz, México. *Memorias del VIII Congreso Nacional de Zoología*, 175-187.
- De la Lanza, G., Ortiz, M. A. y Carbajal, J. L. (2013). Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2013(81), 33-50. doi: <https://doi.org/10.14350/rig.33375>
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (1998). Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). México, 28 de enero de 1988, Art. 3º, Frac. XX. Última reforma DOF. 04/06/2012.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2000). Carta Nacional Pesquera.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2004). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. ACUERDO que adiciona la especificación 4.43 a la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Diario Oficial, 07 de mayo de 2004.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2007). Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Concesión otorgada en favor de “Promotora y Constructora Estero de Mandinga” S. A. de C. V. Diario Oficial, 02 de junio de 2007.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2012). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Actualización de la Carta Nacional Pesquera.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2015). Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. Última reforma publicada Diario Oficial, 04 de junio de 2015.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2016). Ley general de asentamientos humanos, ordenamiento territorial y desarrollo urbano. 28 de noviembre de 2016.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). *Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report*. Washington: Island Press, D.C.
- Farrera, S. (2004). Hidrodinámica de Lagunas Costeras (Apuntes de texto de posgrado de las postrimerías del siglo XX). *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Mexico*.
- Flores-Verdugo, F. J., Agraz-Hernández, C. M., Carrera, E. y de la Fuente, G. (2003). Manglares y marismas. En J. L. Cñientes y J. Gaxiola (Eds.), *Atlas de los ecosistemas de Sinaloa* (pp. 207-214). Culiacán, Sinaloa: El Colegio de Sinaloa.
- Gaceta Ecológica (2016). SEMARNAT/DGIRA. Publicación N° DGIRA/060/16. Recuperado de [http://sinat.semarnat.gob.mx/Gacetas/archivos2016/gaceta\\_60-16.pdf](http://sinat.semarnat.gob.mx/Gacetas/archivos2016/gaceta_60-16.pdf)
- Gerez-Fernández, P. y Pineda-López, M. R. (2011). Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+. *Madera y bosques*, 17(3), 7-27.
- Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. (2008a). *Actualización del Programa de Ordenamiento de la Zona Conurbada de Veracruz-Boca del Río- Medellín-Alvarado*. 3a ed. México.

- Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. (2008b). *Programa de Desarrollo Urbano de la Reserva Territorial de la Zona Conurbada de Veracruz-Boca del Río- Medellín-Alvarado*. 1a ed. México.
- Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. (2008c). *Programa Parcial de Diseño Urbano del Área Norte de la Zona Conurbada Veracruz, Boca del Río, Medellín, Alvarado, La Antigua, Puente Nacional, Úrsulo Galván, Paso de Ovejas, Cotaxtla, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Soledad de Doblado y Tlalixcoyan*. México.
- González, J. A., Hernández, E. y Jacobo, M. A. (2018). *Análisis de circulación en estuarios* Trabajo presentado en XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina. [https://www.ina.gob.ar/congreso\\_hidraulica/resumenes/LADHI\\_2018\\_RE\\_6\\_1.pdf](https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_6_1.pdf)
- Gordillo-Ruiz, M. C. y Castillo-Santiago, M. Á. (2017). Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4, 39-49.
- Hauser, L. T., Nguyen Vu, G., Nguyen, B. A., Dade, E., Nguyen, H. M., Nguyen, T. T. Q., Le, T. Q., Vu, L. H., Tong, A. T. H. y Pham, H. V. (2017). Uncovering the spatio-temporal dynamics of land cover change and fragmentation of mangroves in the Ca Mau peninsula, Vietnam using multi-temporal SPOT satellite imagery (2004–2013). *Applied Geography*, 86, 197-207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.06.019>
- Heimo, M., Siemens, A. H. y Hebda, R. (2004). Prehispanic changes in wetland topography and their implications to past and future wetland agriculture at Laguna Mandinga, Veracruz, Mexico. *Agriculture and Human Values*, 21(4), 313-327.
- Hernández, G. I., Ruíz, O., Sol, Á. y Valdez, J. I. (2016). Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(14), 2757-2767. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v0i14.444>
- Huq, N., Bruns, A. y Ribbe, L. (2019). Interactions between freshwater ecosystem services and land cover changes in southern Bangladesh: A perspective from short-term (seasonal) and long-term (1973–2014) scale. *Science of The Total Environment*, 650, 132-143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.430>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (01/06/2018). Áreas Geoestadísticas Municipales, junio 2018, escala: 1:250000. Aguascalientes, México. Recuperado de [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/muni\\_2018cw.xml? ht\\_tpcache=yes&xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/muni_2018cw.xml?ht_tpcache=yes&xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&indent=no)
- Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) (2018). *Programa de Investigación de Ostión del Golfo de México*.
- Killeen, T. J., Siles, T. M., Soria, L. y Correa, L. (2005). Estratificación de vegetación y cambio de uso de suelo en los Yungas y Alto Beni de La Paz. *Ecología en Bolivia*, 40(3), 32-69.
- Kuenzer, C., van Beijma, S., Gessner, U. y Dech, S. (2014). Land surface dynamics and environmental challenges of the Niger Delta, Africa: Remote sensing-

- based analyses spanning three decades (1986–2013). *Applied Geography*, 53, 354-368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.07.002>
- Lara-Dominguez, A. L., Contreras, F., Castañeda-López, O., Barba-Macías, E. y Pérez-Hernández, M. A. (2011). Lagunas costeras y estuarios. En A. Cruz (Ed.), *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de caso* (pp. 297-313). México: Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana (UV), Instituto de Ecología AC (INECOL).
- Lara-Domínguez, A. L., López-Portillo, J., Martínez-González, R. y Vázquez-Lule, A. D. (2009). Caracterización del sitio de manglar Mandinga *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Ley No. 241 de Desarrollo Urbano, Ordenamiento Territorial y Vivienda para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. (2011). Gaceta Oficial del Gobierno del Estado, Xalapa, Veracruz, México.
- Ley número 576 de vida silvestre para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. (2011). Ley Estatal de Protección Ambiental, Gaceta oficial, 21 de diciembre de 2011.
- Lin, T., Xue, X., Shi, L. y Gao, L. (2013). Urban spatial expansion and its impacts on island ecosystem services and landscape pattern: A case study of the island city of Xiamen, Southeast China. *Ocean & Coastal Management*, 81, 90-96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.06.014>
- Lins, K. S. y Kleckner, R. L. (1996). Land cover mapping: An overview and history of the concepts. En J. M. Scott, T. H. Tear y F. W. Davis (Eds.), *Gap analysis: A landscape approach to biodiversity planning*. Bethesda, Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- López, J. A., Vázquez, V. M., Gómez, L. R. y Priego, A. G. (2010). Humedales. En E. Florescano y J. Ortiz (Eds.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz* (Vol. 1, pp. 227-248). México: Universidad Veracruzana. Gobierno del Estado de Veracruz. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.
- Mas, J. F. y Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*, 5(1), 1-24.
- Menchaca, D. M. d. S. y Alvarado, M. E. L. (2011). Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del río Pixquiác. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(SPE1), 85-96.
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Lithgow, D., Pérez-Maqueo, O. y 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.018>
- Moreno-Casasola, P. (2008). Los humedales en México: tendencias y oportunidades. 10-18. doi: 10.14198/cdbio.2008.28.02
- Moreno-Casasola, P., Rojas, J. L., Zárate, D., Ortiz, M. A., Lara, A. L. y Saavedra, T. (2002). Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y bosques*, 8(1), 61-88.

- Moreno-Casasola, P., Rosas, H. L., Mata, D. I., Peralta, L., Travieso-Bello, A. y Warner, B. (2009). Environmental and anthropogenic factors associated with coastal wetland differentiation in La Mancha, Veracruz, Mexico. *Plant Ecology*, 200(1), 37-52.
- Navarro, C. L. (2017). *Organización Territorial e Identidades de los pueblos de la Laguna de Mandinga, Veracruz*. (Tesis inédita de maestría), Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", A.C, México.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (1996). *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Roma. 154 p.
- Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., Espejel, I., Salas-Pérez, J. y González-Gándara, C. (2015). La zona costera de Veracruz a Antón Lizardo: un análisis sobre la vulnerabilidad de sus servicios ambientales. *E-Bios*, 2(8), 151-178.
- Ortiz, L. D., Arceo, P., Granados, A., Salas, D. y Jiménez, M. L. (2010). Zona costera. En E. Florescano y J. Ortiz (Eds.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz* (Vol. 1, pp. 123-146). México: Universidad Veracruzana. Gobierno del Estado de Veracruz. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.
- Palacios-Fest, M. y Vargas-Rangel, R. (2002). Caracterización e importancia de las lagunas costeras. *Pesquería del ostión*, 235-241.
- Paniagua-Cano, E., Granados-Sanchez, D. y Granados-Victorino, R. L. (2018). Structure, goods and services of the Mandinga mangrove in Veracruz. *REVISTA CHAPINGO SERIE CIENCIAS FORESTALES Y DEL AMBIENTE*, 24(2), 171-181. doi: 10.5154/r.rchscfa.2017.05.034
- Peralta-Rivero, C., Torrico-Albino, J. C., Vos, V. A., Galindo-Mendoza, M. G. y Contreras-Servín, C. (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. *Ecología en Bolivia*, 50(2), 91-114.
- Popkin, B. M. (2001). The nutrition transition and obesity in the developing world. *The Journal of nutrition*, 131(3), 871S-873S.
- Puyravaud, J.-P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest ecology and management*, 177(1-3), 593-596.
- Quiroga, C., Valdéz, A., Hernández, I., García, M. y Guzmán, P. (2002). Peces ribereños. *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, 155-165.
- Ramos-Reyes, R., Palma-López, D. J., Ortiz-Solorio, C. A., Ortiz-García, C. F. y Díaz-Padilla, G. (2004). Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 267-278.
- Reguero, M. y García-Cubas, A. (1993). Moluscos del complejo lagunar larga-redonda-mandinga, Veracruz, México: sistemática y ecología. *Hidrobiológica*, 3(1, 2), 41-70.
- Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez-Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., UribeMartínez, A., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Cruz-López, M. I. y Ressler, R. (2012). Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2ª y 3era

- etapas *Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. GQ004*. Mexico, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Rojas, C., Pino, J., Basnou, C. y Vivanco, M. (2013). Assessing land-use and-cover changes in relation to geographic factors and urban planning in the metropolitan area of Concepción (Chile). Implications for biodiversity conservation. *Applied Geography*, 39, 93-103.
- Romero-Berny, E. I., Santamaría-Damián, S., Gómez-Ortega, R. y Velázquez-Velázquez, E. (2013). Una aproximación a las tasas de deforestación de los manglares en México. *LACANDONIA*, 7(2), 51-58.
- Rosete, F. A., Pérez, J. L. y Bocco, G. (2009). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 1(1), 70-82.
- Salazar, M. E., Cruzado, J. y Leal, L. (2012). *La influencia de la modernización en el paisaje turístico de una región costera*. Trabajo presentado en Retos de las ciencias administrativas desde las economías emergentes: Evolución de sociedades.
- Sánchez, L. A. (2015). *Diferenciación social en el espacio urbano. Procesos de transformación del parcelario en Boca del Río, Veracruz, México (1976-2012)*. (Tesis inédita de doctorado), Universitat Politècnica de Valencia, Valencia.
- Secretaría de la Convención de Ramsar (2010). *Uso racional de los humedales: Conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales*. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 1. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Secretaría de la Convención Ramsar (2016). Introducción a la convención sobre los humedales (5 ed., Vol. 1). Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2002). Guía para la presentación de la manifestación de impacto ambiental para proyectos que requieran CAMBIO DE USO DE SUELO O PROYECTOS AGROPECUARIOS Modalidad: particular. ISBN 968-817-528-5.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003. Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Diario Oficial, 10 de abril de 2003.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-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. Diario Oficial, 30 de diciembre de 2010.
- Sekovski, I., Newton, A. y Dennison, W. C. (2012). Megacities in the coastal zone: Using a driver-pressure-state-impact-response framework to address complex environmental problems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 48-59.

- Silva-Cardoza, A. I. (2017). Tasa de cambio de cobertura forestal (2003-2013) en tres tipos de vegetación de encino en el estado de Durango. *Universidad Autónoma Chapingo*.
- Troche-Souza, C., Rodríguez-Zúñiga, M., Velázquez-Salazar, S., Valderrama-Landeros, L., Villeda-Chávez, E., Alcántara-Maya, A., Vázquez-Balderas, B., Cruz-López, M. y Ressler, R. (2016). Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo (1970/1980-2015). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF*.
- Villalobos-Zapata, G. J. y Mendoza, J. (2010). La biodiversidad en Campeche: estudio de estado: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera.
- Xie, Z., Xu, L., Duan, X. y Xu, X. (2012). Analysis of boundary adjustments and land use policy change—A case study of Tianjin Palaeocoast and Wetland National Natural Reserve, China. *Ocean & Coastal Management*, 56, 56-63.
- Xu, C., Pu, L., Zhu, M., Li, J., Chen, X., Wang, X. y Xie, X. (2016). Ecological security and ecosystem services in response to land use change in the coastal area of Jiangsu, China. *Sustainability*, 8(8), 816. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su8080816>
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A. L., Sánchez-Gil, P. y Day, J. W. (2007). Estuary-sea ecological interactions: a theoretical framework for the management of coastal environment. *Environmental analysis of the Gulf of Mexico. The Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Special Publication(1)*, 271-301.
- Zani, M. V., Rosário, L. S., Barros, R. y Cruz, C. B. (2013). *Uso de mineração de dados na identificação da cobertura vegetal através de modelos espectrais: uma contribuição metodológica para o mapeamento na escala 1:100.000* Trabajo presentado en Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Iguazu, Brasil.
- Zepeda, C., Nemiga, X. A., Lot, A. y Madrigal, D. (2012). Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones geográficas(78)*, 48-61.