



## Cambios y fragmentación en el paisaje del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas (México)

Erika María Villatoro-Arreola<sup>1</sup>; Cristian Tovilla-Hernández<sup>2</sup>; Emilio Ismael Romero-Berny<sup>3</sup>; Javier Francisco Valle-Mora<sup>4</sup>

Recibido: 24 de mayo del 2021 / Enviado a evaluar: 26 de junio del 2021 / Aceptado: 9 de diciembre del 2022

**Resumen.** Se realizó un análisis de los cambios de uso de suelo y vegetación, y del grado de fragmentación en el paisaje del sistema lagunar Chantuto-Panzacola durante los años 1996 y 2020, con clasificación supervisada a partir del algoritmo de máxima verosimilitud e interpretación visual y métricas de paisaje a nivel de clase e índices de paisaje. Se registraron cambios de la actividad agrícola-pecuaria en favor de las plantaciones permanentes, principalmente de palma africana, pérdida de superficies en los cuerpos de agua, avance de los límites de la vegetación de manglar al interior de las lagunas y pérdida de dunas costeras en áreas cercanas a la bocabarra presente en el sistema. Se catalogó como un paisaje que presenta procesos de fragmentación con bajo grado de modificación.

**Palabras clave:** La Encrucijada; Fragmentación; Métricas de Paisaje; Chantuto-Panzacola; Palma africana.

### [en] Changes and fragmentation in the landscape of the Chantuto-Panzacola lagoon system, Chiapas (Mexico)

**Abstract.** In this study analysis of the changes in land use and vegetation and the degree of fragmentation in the landscape of the Chantuto-Panzacola lagoon system during the years 1996 and 2020 with a supervised classification based on the maximum likelihood algorithm, visual interpretation and metrics and landscape indexes. Changes were recorded in agricultural-livestock activity towards permanent plantations, mainly African palm, loss of surface areas in bodies of water and advance of the limits of mangrove vegetation inside the lagoons and loss of coastal dunes in areas near the bocabarra. It was classified as a landscape that presents fragmentation processes with a low degree of modification.

**Keywords:** The Crossroads; Fragmentation; Landscape Metrics; Chantuto-Panzacola; African palm.

<sup>1</sup> El Colegio de la Frontera Sur (México)  
E-mail: [erika.villatoro@estudianteposgrado.ecosur.mx](mailto:erika.villatoro@estudianteposgrado.ecosur.mx)

<sup>2</sup> El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula (México)

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones Costeras, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (México)

<sup>4</sup> El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula (México)

## [fr] Modifications et fragmentation du paysage du système lagunaire Chantuto-Panzacola, Chiapas (Mexique)

**Résumé.** Une analyse des changements dans l'utilisation des sols et de la végétation, et le degré de fragmentation du paysage du système lagunaire Chantuto-Panzacola au cours des années 1996 et 2020 a été réalisée avec une classification supervisée basée sur l'algorithme du maximum de vraisemblance et une interprétation visuelle et des métriques de paysage au niveau de la classe et des indices de paysage. Il y a eu des changements dans l'activité agricole-élevage vers des plantations permanentes, principalement de palmiers africains, une perte de surface dans les plans d'eau, une avancée des limites de la végétation de mangrove à l'intérieur des lagunes et une perte de dunes côtières dans les zones proches de la bocabarra présentes dans le système. Il a été classé comme un paysage présentant des processus de fragmentation avec un faible degré de modification.

**Mots-clés:** Les carrefours; Fragmentation; Métriques du paysage; Chantuto-Panzacola; palmier africain.

**Cómo citar.** Villatoro-Arreola, E.M., Tovilla-hernández, C., Romero-Berny, E.I. y Valle-Mora, J.F. (2022). Cambios y fragmentación en el paisaje del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas (México). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 42(2), 613-635.

**Sumario.** 1. Introducción. 2. Área de estudio. 3. Metodología. 4. Resultados. 4.1. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación, 1996. 4.2. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación, 2020. 4.3. Matriz de transición de Uso de Suelo y Vegetación 1996-2020. 4.4. Métricas e Índices de paisaje para el SLCP durante 1996 y 2020. 4.5. Análisis de Resultados. 5. Consideraciones finales. 6. Referencias bibliográficas.

### 1. Introducción

Los bosques tropicales del mundo resguardan aproximadamente el 50% de todas las especies descritas, cumple roles importantes en el ciclo del carbono y brindan servicios ecosistémicos que cambian a medida que las poblaciones humanas y la economía crecen (Wright, 2005). Estos se encuentran amenazados por la agricultura, la ganadería, la tala, introducción de extensas plantaciones, el desarrollo urbano, obras de rectificación de ríos que aceleran la pérdida de vegetación (Houghton, 1994; Lewis *et al.*, 2015) los cuales generan cambios en el paisaje.

El proceso de fragmentación consiste en la división de parches de cubierta forestal en áreas más pequeñas (Bogaert *et al.*, 2004; Laurance *et al.*, 2011), ya sea de origen natural o por causas antropogénicas (Wade *et al.*, 2003) algunas consecuencias derivadas son el aislamiento físico y genético de especies, pérdida de conectividad (Wright, 2005; Wade *et al.*, 2003; Dener *et al.*, 2021) y los efectos de borde que pueden afectar la distribución de recursos y la alteración en las características de los hábitats (Dener *et al.*, 2021) por tanto, debe ser evaluado como un proceso independiente de los cambios de uso de suelo y la deforestación (White y Murray, 2000).

En México, las áreas naturales protegidas son una de las herramientas de conservación más representativas, las instituciones RAMSAR, CONABIO, CONANP y otras coinciden al categorizar áreas costeras como regiones prioritarias y de alto valor biológico (RAMSAR, 1997; CONABIO-AvesMX, 2015). En Chiapas, la Reserva de Biosfera La Encrucijada es considerada una de las áreas más importantes de diversidad biológica en el estado y cuenta con dos zonas núcleo dentro de su zonificación primaria (CONANP, 1999) y presentan cambios de uso de suelo y conversión de áreas de vegetación hacia usos productivos como áreas agrícolas, pastizales, plantaciones de caña, bananas, palma africana, maíz, ajonjolí, jamaica, por mencionar algunos.

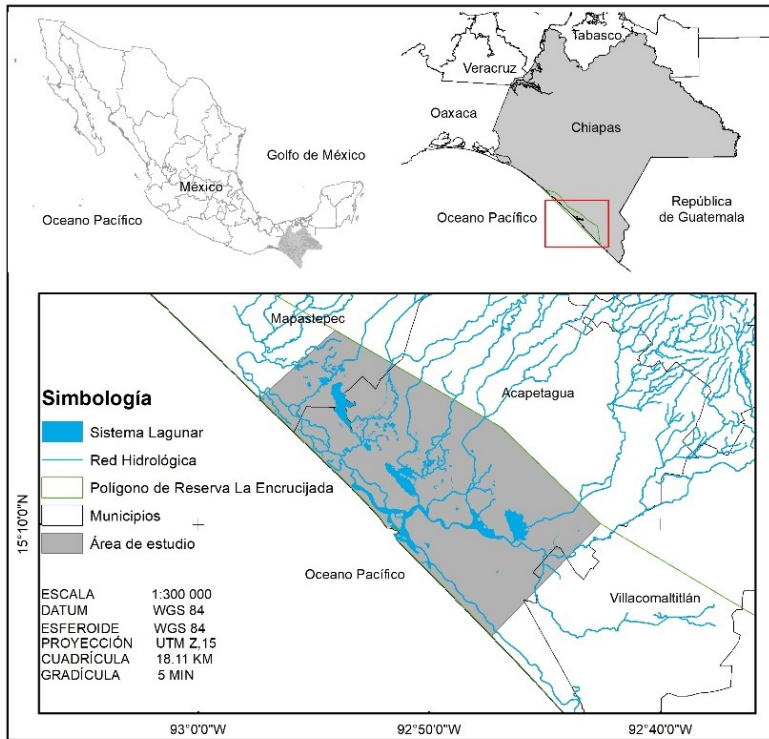
Carvajal, 2014; Hernández, 2014; Gálvez, 2017 y Altamirano, 2018; han generado información acerca de las obras que han impactado las lagunas costeras, cercanas a la zona núcleo “La Encrucijada” y otros estudios importantes en el área. Conocer estos cambios a escala de paisaje y los procesos derivados de las intervenciones antropogénicas, permitirán cuantificar el deterioro al que está sometida esta área y su situación actual. El objetivo de esta investigación fue analizar los cambios en las coberturas vegetales y de usos de suelo en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México y conocer el grado de fragmentación a escala de paisaje durante los años 1996 y 2020.

## 2. Área de estudio

El Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola (SLCP) se encuentra ubicado en la planicie costera del pacífico sur de Chiapas, incluida en la Reserva de Biosfera La Encrucijada, área de gran interés por su diversidad biológica (Gómez *et al.*, 2012), considerada entre las áreas de importancia para la conservación de las aves (CONABIO-AvesMX, 2015), como región prioritaria terrestre no. 133 (Arriaga *et al.*, 2000) y zona de protección de humedales y manglares (RAMSAR, 1997), entre las coordenadas 92°45' y 92°55' N y los 15° 09' y 15° 17'.

Presenta un clima tropical Am(f)w cálido húmedo, con lluvias en verano y sequías en invierno. Está constituida por cinco lagunas: Chantuto, Campón, Teculapa, Cerritos y Panzacola, conectadas al mar por medio de la boca barra San Juan. Recibe la descarga de los ríos San Nicolás, Cacaluta, Cuilapa, Doña María y Cintalapa (Gómez *et al.*, 2012; Díaz *et al.*, 2014). Durante el estudio se contempló un área total de 28 035.46 ha y se delimitó a partir de los límites del polígono de la reserva y la extensión de las lagunas que incluye el sistema (Figura 1).

Figura 1. Localización del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.



Fuente: Elaboración propia.

### 3. Metodología

Se utilizaron escenas Sentinel con nivel de procesamiento 2A (Fechas: 13/01/2020, 18/01/2020, 07/07/2020) y un mosaico de ortofotos del INEGI para el año 1996 (d15b31d, d15b31e, d15b41a, d15b41b, d15b41c, d15b41e, d15b41f) georreferenciado con 15 puntos de control a partir de la primera escena; ambas fueron recortadas al tamaño del área de estudio considerando los límites del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, el polígono de la Reserva de Biosfera la Encrucijada e incluyendo una parte de la zona núcleo “La Encrucijada” (CONANP, 1999). Después se realizó una clasificación supervisada con el algoritmo de máxima verosimilitud (Díaz y Acosta, 2009) utilizando ocho categorías de los principales tipos de cobertura y uso de suelo en el área de estudio (Tabla 1) modificando la clasificación propuesta por la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) para las áreas adyacentes a la vegetación de manglar (Valderrama *et al.*, 2017): Agrícola-Pecuario, Desarrollo Antrópico, Sin Vegetación / Dunas, Manglar, Cuerpos de Agua, Plantaciones Permanentes, Otra Vegetación, Otros Humedales.

Obtenida la clasificación, se realizó un filtro kernel 3x3 (Chuvieco, 2016) y se realizó la verificación en campo utilizando un muestreo aleatorio estratificado donde cada categoría fue utilizada como unidad de muestreo, de acuerdo con los porcentajes de coberturas; el tamaño de muestra se estimó a partir de la ecuación propuesta por Chuvieco (2016):

$$n = \frac{Z^2 p q}{L^2}$$

Donde n es el número de muestra, Z es la abscisa de la curva normal; p indica el porcentaje estimado de aciertos; q, el de errores (q=1-p), y L el nivel permitido de error.

Tabla 1. Métricas por clase para el Sistema Chantuto-Panzacola, Chiapas.

Métrica	Descripción	Fórmula
Número de parche	Número total de parches para cada clase individual	$NP = N$
Tamaño medio de parche	Tamaño medio de parcela de los parches de una categoría.	$MPS = \frac{A}{N} \left( \frac{1}{10\ 000} \right)$
Desviación Estándar del Tamaño de Parche	Desviación estándar del área de parches	$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [a_{ij} - \left(\frac{A}{N}\right)]^2}{N}} \left[ \frac{1}{10\ 000} \right]$
Borde Total	Perímetro de los parches	$TE = E$
Densidad de borde	Relación entre el perímetro de cada clase por el área total del paisaje	$ED = \frac{E}{A} (10\ 000)$

Fuente: Definición de métricas y formulas (McGarigal and Marks, 1994 and McGarigal and Marks, 1995).

Obteniendo un total de 138 puntos, los sitios de verificación fueron georreferenciados con un GPS Etrex 10. Además, se utilizaron herramientas como Google Earth, Street view y sitios georreferenciados de la vegetación de manglar del proyecto “Inventario y Monitoreo de los Manglares de Chiapas y Oaxaca” (Tovilla *et al.*, 2020). Para el mapa de 1996 se utilizó el método interdependiente en retrospectiva (FAO, 1996) y al verificar la desactualización, se realizó con una escena Landsat 5 TM. Eventualmente se realizaron las correcciones de interpretación de la imagen y la redefinición de los límites, a partir de la interpretación visual, empleando la herramienta Growing del programa Erdas imagine 13. La clasificación obtenida se convirtió de ráster a polígono con unidad mínima de 1 hectárea y escala 1:50 000.

Las matrices de confusión se obtuvieron en el complemento AccurAssess del programa Qgis 2.18 de acuerdo con lo propuesto por Mas *et al.*, (2014) para obtener la precisión global, de producto, de usuario por categoría y el error de ajuste. Los insumos fueron utilizados para estimar la matriz de cambio de superficies durante el

periodo 1996-2020 (Loya *et al.*, 2013), la pérdida anual por categoría, la tasa de fragmentación y las métricas a nivel de clase (Tabla 1) e índices de paisaje (Tabla 2) con el uso del complemento Patch Analyst (Rempel *et al.*, 2012) del programa ArcGIS 10.1, basado en las métricas de Fragstats (Mc Garigal y Marks, 1995; Gustafson, 1998).

Tabla 2. Métricas de paisaje para el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas.

Métrica	Descripción	Fórmula
Índice de Diversidad de Shannon	Medida de la densidad relativa de parches, aumentará a medida que aumente el número de tipos de parches o la distribución proporcional de los tipos de parches.	$SHDI = \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)$
Índice de Uniformidad de Shannon	Medida de distribución y abundancia de parches, es igual a cero cuando la distribución de parches observada es baja y se acerca a uno cuando la distribución de los tipos de parches se vuelve más uniforme.	$SHEI = \frac{\sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)}{\ln m}$
Dimensión Fractal del Parche Medio	Medida de complejidad de la forma, se acerca a uno para formas con perímetros simples y se acerca a dos cuando las formas son más complejas.	$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{2ln p_{ij}}{\ln a_{ij}} \right)}{N}$

Fuente: Definición de métricas de (McGarigal and Marks, 1994 and McGarigal and Marks, 1995).

La pérdida de cada tipo de vegetación en el periodo de análisis fue estimada a partir de la fórmula propuesta por Díaz y Acosta, (2009):

$$p\acute{e}rdida\ anual = \frac{s2 - s1}{t}$$

Donde s1: la superficie de la fecha 1, s2: superficie de la fecha 2 y t: el periodo o tiempo de análisis.

La tasa de fragmentación se estimó con la fórmula propuesta por Romero *et al.*, (2015), para cada categoría:

$$tasa\ de\ fragmentaci\acute{o}n = \left[ \frac{NP2}{NP1} \right]^{1/n}$$

Donde: NP1: número de parches en el tiempo 1, NP2: número de parches en el tiempo 2 y n: número de años entre las dos fechas.

## 4. Resultados

### 4.1. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación, 1996

La clasificación realizada para el año 1996 reportó un porcentaje de precisión global de 96.59 con un intervalo medio de confianza de 2.90 (Tabla 3).

Tabla 3. Matriz de confusión de la clasificación de uso de suelo del año 1996.

		Referencia							
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH
Mapa	AP	38							3
	DA		1						
	SVD			1					
	MG				62			1	
	CA					12			1
	PP						1		
	OV							14	
	OH								4

Categorías: Agrícola-Pecuario (AP), Desarrollo Antrópico (DA), Sin Vegetación y Dunas (SVD), Manglar (MG), Cuerpos de Agua (CA), Plantaciones Permanentes (PP), Otra Vegetación (OV), Otros Humedales (OH).

Fuente: AccurAssess de Qgis (Mas *et al.*, 2014).

Tabla 4. Matriz de confusión ajustada de la clasificación de uso de suelo del año 1996.

		Referencia							
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH
Mapa	AP	0.26							0.02
	DA		0.01						
	SVD			0.01					
	MG				0.44			0.01	
	CA					0.08			0.01
	PP						0.01		
	OV							0.11	
	OH								0.06

Categorías: Agrícola-Pecuario (AP), Desarrollo Antrópico (DA), Sin Vegetación y Dunas (SVD), Manglar (MG), Cuerpos de Agua (CA), Plantaciones Permanentes (PP), Otra Vegetación (OV), Otros Humedales (OH).

Fuente: AccurAssess de Qgis (Mas *et al.*, 2014).

Los valores de la matriz de conteo fueron ajustados con lo propuesto por Mas *et al.*, (2014), misma que utiliza una media insesgada de la proporción total del área de estudio (Tabla 4). De la matriz ajustada, derivó información como los porcentajes de confiabilidad por categoría de clasificación, para estimar la precisión del usuario, del producto y los errores ajustados (Tabla 5).

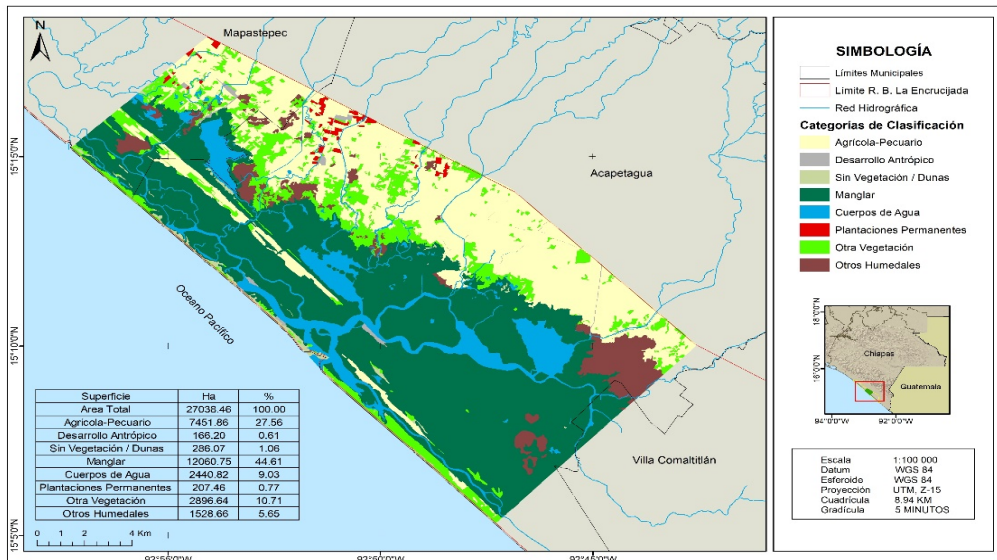
Tabla 5. Confiabilidad de usuario, producto y error de ajuste, obtenidos por el complemento AccurAssess de Qgis para la clasificación 1996 (Mas *et al.*, 2014).

Categorías	AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH
Precisión Usuario	1.00	1.00	1.00	0.96	0.92	1.00	1.00	0.75
IC	0.00	0.00	0.00	0.05	0.14	0.00	0.00	0.42
Lím. sup. del IC	1.00	1.00	1.00	0.91	0.78	1.00	1.00	0.33
Lím. Inf. del IC	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Precisión Producto	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81	0.77
IC	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.35
Lím. sup. del IC	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	0.42
Lím. Inf. del IC	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
Error de ajuste	0.19	0.01	0.01	0.46	0.08	0.10	0.11	0.03
IC	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02
Lím. sup. del IC	0.18	0.01	0.01	0.44	0.07	0.10	0.09	0.01
Lím. Inf. del IC	0.21	0.01	0.01	0.49	0.09	0.10	0.13	0.05

Categorías: Agrícola-Pecuario (AP), Desarrollo Antrópico (DA), Sin Vegetación y Dunas (SVD), Manglar (MG), Cuerpos de Agua (CA), Plantaciones Permanentes (PP), Otra Vegetación (OV), Otros Humedales (OH), Intervalo Medio de Confianza (IC).

Fuente: Elaboración propia, a partir de Mas *et al.*, 2014.

Figura 2. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, 1996.



Fuente: Elaboración propia.



El paisaje del SLCP en 1996 estuvo dominado por la vegetación de manglar con más del 40% de superficie, seguido de las actividades Agrícola-Pecuaria con el 27%. Otra Vegetación y Cuerpos de Agua representaron un 20% de superficie aproximadamente y las categorías con menor extensión fueron Otros Humedales, Sin Vegetación y Dunas, y Plantaciones Permanentes (Figura 2).

### 4.2. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación, 2020

La clasificación con año 2020 obtuvo un porcentaje de precisión global de 96.56 con un intervalo medio de confianza de 2.87 y se obtuvo la matriz ajustada de acuerdo con Mas *et al.*, (2014) (Tabla 6 y 7).

Tabla 6. Matriz de confusión de la clasificación de uso de suelo del año 2020.

		Referencia							
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH
Mapa	AP	24							
	DA		2						
	SVD			2					
	MG				67			3	
	CA					12			1
	PP						14		
	OV							9	
	OH	1							3

Categorías: Agrícola-Pecuario (AP), Desarrollo Antrópico (DA), Sin Vegetación y Dunas (SVD), Manglar (MG), Cuerpos de Agua (CA), Plantaciones Permanentes (PP), Otra Vegetación (OV), Otros Humedales (OH).

Fuente: AccurAssess de Qgis (Mas *et al.*, 2014).

Tabla 7. Matriz de confusión ajustada de la clasificación de uso de suelo del año 2020.

		Referencia							
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH
Mapa	AP	0.18							
	DA		0.01						
	SVD			0.01					
	MG				0.46			0.02	
	CA					0.08			0.01
	PP						0.10		
	OV							0.09	
	OH	0.01							0.02

Categorías: Agrícola-Pecuario (AP), Desarrollo Antrópico (DA), Sin Vegetación y Dunas (SVD), Manglar (MG), Cuerpos de Agua (CA), Plantaciones Permanentes (PP), Otra Vegetación (OV), Otros Humedales (OH).

Fuente: AccurAssess de Qgis (Mas *et al.*, 2014).

A partir de la matriz ajustada, se estimó el porcentaje por categoría de la precisión de usuario, del producto y el error de ajuste (Tabla 8).

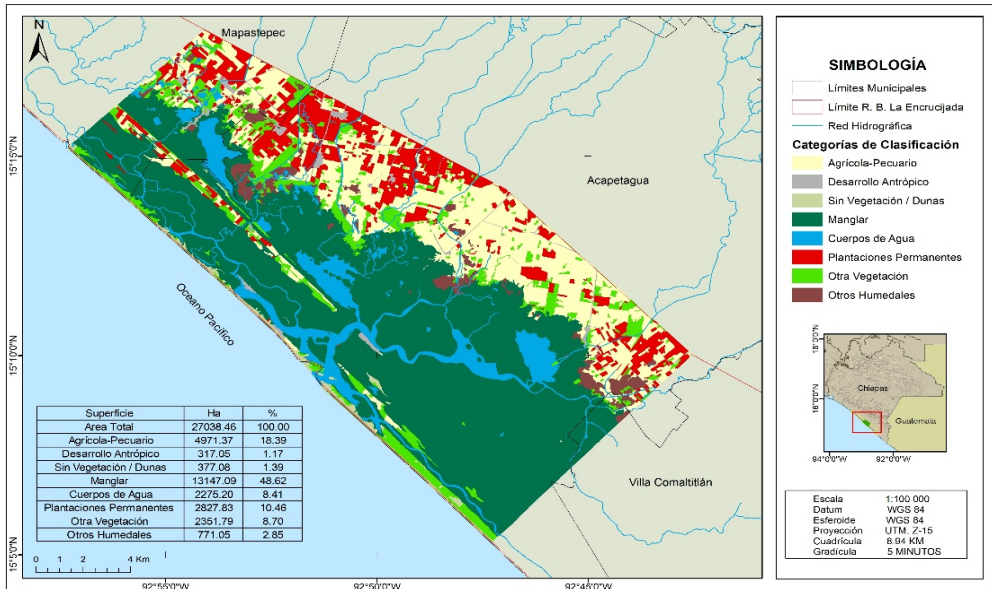
Tabla 8. Confiabilidad de usuario, producto y error de ajuste, obtenidos por el complemento AccurAssess de Qgis para la clasificación 2020 (Mas et al., 2014).

Categorías	AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH
Precisión Usuario	0.93	1.00	1.00	0.98	0.92	1.00	1.00	1.00
IC	0.08	0.00	0.00	0.03	0.14	0.00	0.00	0.00
Lím. sup. del IC	0.85	1.00	1.00	0.95	0.78	1.00	1.00	1.00
Lím. Inf. del IC	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Precisión Producto	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.68
IC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.21
Lím. sup. del IC	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.47
Lím. Inf. del IC	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88
Error de ajuste	0.26	0.01	0.01	0.44	0.08	0.01	0.12	0.08
IC	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03
Lím. sup. del IC	0.23	0.01	0.01	0.42	0.07	0.01	0.10	0.06
Lím. Inf. del IC	0.28	0.01	0.01	0.45	0.10	0.01	0.13	0.11

Categorías: Agrícola-Pecuario (AP), Desarrollo Antrópico (DA), Sin Vegetación y Dunas (SVD), Manglar (MG), Cuerpos de Agua (CA), Plantaciones Permanentes (PP), Otra Vegetación (OV), Otros Humedales (OH), IC: Intervalo Medio de Confianza.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Mas *et al.*, 2014.

Figura 2. Mapa de Uso de suelo y Vegetación del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

El paisaje del SLCP en 2020 presentó la vegetación de manglar como la categoría de mayor superficie, seguido de las actividades Agrícola-Pecuaria con 18.39% que corresponden a parcelas ganaderas, áreas de pastizales, y cultivos temporales de maíz, ajonjolí, caña, sandía y calabaza. Las Plantaciones Permanentes mostraron un incremento, seguido de los Cuerpos de Agua con reducción por ganancia en la vegetación de manglar. Las categorías con menor superficie son Sin Vegetación y Dunas, Otra Vegetación, Otros Humedales y Desarrollo Antrópico (Figura 2).

### 4.3. Matriz de transición de Uso de Suelo y Vegetación 1996-2020

Para cuantificar los cambios con mayor detalle, se estimó una nueva matriz y fue categorizada a partir de las siguientes clases (Tabla 9):

Tabla 9. Categorías de clasificación de matriz de cambios para el periodo 1996-2020 del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas.

Clases de Cambios	Descripción
Cambios Antrópicos:	Todos los usos que cambiaron a asentamientos humanos, caminos y carreteras como parte del desarrollo antrópico.
Cambios entre Usos de Suelo	Las áreas de uso antrópico como agrícola-pecuaria, plantaciones permanentes, desarrollo antrópico y las áreas sin Vegetación y dunas que cambiaron entre sí.
Cuerpos de Agua	Áreas de cuerpos de agua presente en ambas fechas.
Ganancia de Cuerpos de Agua	Otras zonas donde se reportó cuerpos de agua para la fecha 2020.
Ganancia de Vegetación	Los usos de suelo que pasaron a otros humedales y otra vegetación.
Ganancia de Manglar	Áreas de cuerpos de agua que fueron sustituidos por el avance de los límites de la vegetación de manglar y actividades de reforestación realizada en depósitos de arena.
Permanencia Antrópica	Áreas con desarrollo antrópico sin presencia de cambios.
Permanencia de Uso de Suelo	Áreas de uso de suelo que permanecieron en la misma categoría.
Permanencia de Vegetación Natural	Áreas de manglar, otra vegetación y otros humedales que permanecieron sin cambios.
Pérdida de áreas Sin Vegetación y Dunas	Áreas de playa, zonas ausentes de vegetación y áreas con depósitos de sedimentos, resultado de los diferentes proyectos de dragados en lagunas del sistema que presentan algún tipo de uso o vegetación por actividades de uso de suelo o actividades de reforestación con <i>Rhizophora mangle</i> y <i>Conocarpus erectus</i> .
Pérdida de Cuerpos de Agua	Cuerpos de agua que cambiaron a otro uso o tipo de vegetación.
Pérdida de Manglar	Vegetación de manglar que cambió a otros usos.
Pérdida de Otra Vegetación	Otra vegetación que presentó cambios a otros usos.
Pérdida de Otros Humedales	Otros humedales que presentó cambios a otros usos.

Fuente: Elaboración propia.

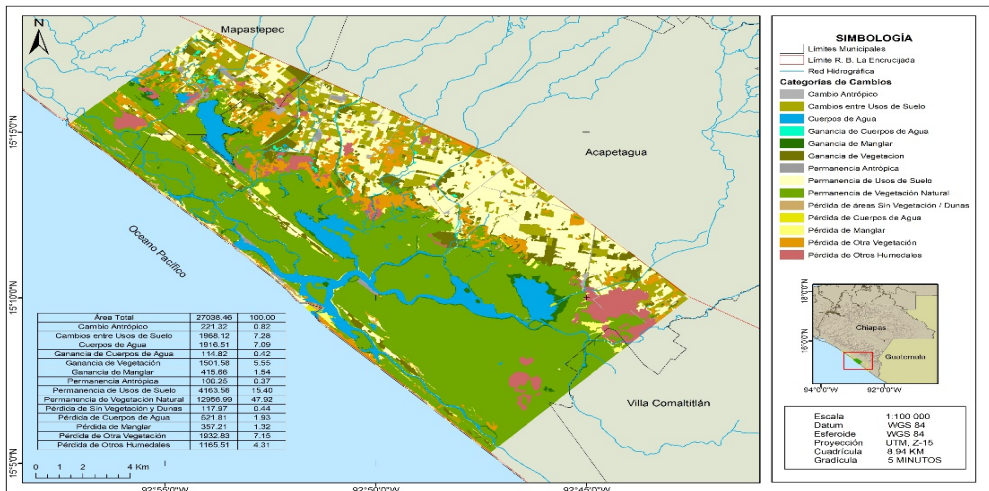
En la Tabla 10 y Figura 3, se muestra la matriz de cambios obtenida para el periodo 1996- 2020. Las áreas de “Desarrollo Antrópico” presentaron cambios hacia zonas Agrícola-Pecuaria (36.2 ha) y Plantaciones Permanentes (16.4 ha). Las áreas Sin Vegetación y Dunas hacia áreas de Manglar (42.8 ha) en zonas conocidas como “tarquinas” en laguna Chantuto y hacia Otra Vegetación (54.8 ha).

Tabla 10. Matriz de Cambios para el periodo 1996-2020 en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas.

		2020								Total
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH	
1 9 9 6	AP	<b>3821.1</b>	134.4	14.2	110.1	111.7	1887.8	1116.2	256.5	7451.9
	DA	36.2	<b>100.2</b>	0.2	4.9	2.2	16.4	5.6	0.3	166.2
	SVD	8.4	5.7	<b>162.3</b>	42.8	7.0	3.1	54.8	1.9	286.1
	MG	45.2	11.2	18.2	<b>11692.3</b>	108.9	7.1	112.8	65.0	12060.8
	CA	22.5	2.5	12.2	415.7	<b>1916.5</b>	8.4	38.4	24.6	2440.8
	PP	13.3	5.2			1.0	<b>180.1</b>	6.8	1.1	207.5
	OV	704.4	42.7	103.9	467.4	45.8	526.7	<b>921.1</b>	84.6	2896.6
	OH	339.4	19.6	2.1	416.9	94.3	203.1	109.8	<b>343.6</b>	1528.6
Total		4990.5	321.6	313.2	13150.2	2287.3	2832.7	2365.5	777.5	<b>27038.5</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Mapa de cambios de uso de suelo y vegetación para el periodo 1996-2020 en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.



Fuente: Elaboración propia.

La vegetación de la clase Manglar reporta cambios hacia cuerpos de agua en áreas cercanas a la bocabarra, en una zona quemada y hacia áreas Agrícola-Pecuaria por expansión de la frontera de uso de suelo (45.2 ha), Otra Vegetación (112.8 ha) y Otros Humedales (65 ha), en superficies menores transición a Desarrollo Antrópico, áreas Sin Vegetación y Dunas, y Plantaciones Permanentes (Tabla 10). Los cuerpos de Agua presentan reducción en superficie por crecimiento de Manglar (415.7 ha) en los límites y actividades de reforestación, hacia Otra Vegetación (38.4 ha) y Otros Humedales (24.6 ha) en las lagunas Chantuto, Cerritos y Teculapa. En menor superficie, hacia áreas con Desarrollo Antrópico, Sin Vegetación o Dunas, y Plantaciones Permanentes (8.42 ha). Las Plantaciones Permanentes cambiaron hacia áreas Agrícola-Pecuaria (13.3 ha) y Desarrollo Antrópico (5.2 ha) principalmente (Tabla 10).

Se presentó transición de Otra Vegetación en 1996 hacia áreas Agrícola-Pecuaria (704.4 ha), Plantaciones Permanentes (526.7 ha) y Desarrollo Antrópico (42.7 ha), algunas zonas cercanas a la playa perdieron superficie (103.9 ha). Los cambios hacia Manglar coinciden con sus límites (467.4 ha) y pequeñas lagunas (45.8 ha), y Otros Humedales como popal, tular y vegetación halófila (84.6 ha). Otros Humedales cambiaron a zonas Agrícola-Pecuaria, Manglar, Plantaciones Permanentes y Otra Vegetación con 339.4, 416.9, 203.1 y 109.8 ha cercano a las comunidades Las Salinas, Laguna Cerritos, y en menor proporción hacia áreas Sin Vegetación y Desarrollo Antrópico (Tabla 10).

#### **4.4. Métricas e Índices de paisaje para el SLCP durante 1996 y 2020**

El análisis basado en las métricas presenta reducción del tamaño medio del parche en las clases Desarrollo Antrópico de 6.46 ha en 1996 a 3.0 ha en 2020, la clase Manglar con 25.37 ha en 1996 a 2.43 ha en 2020 y en Otra Vegetación de 3.46 ha en 1996 a 3.43 ha para 2020 (Tabla 11).

Sin embargo, entre 1996 y 2020, algunas clases aumentaron el tamaño medio del parche como el Agrícola-Pecuario que va de 4.47 ha a 6.0 ha, las áreas Sin Vegetación y Dunas de 3.19 ha a 4.87 ha. Los Cuerpos de Agua presentaron un tamaño medio mayor (de 3.50 ha a 5.05 ha), las Plantaciones Permanentes (de 4.43 ha a 4.67 ha) y la clase Otros Humedales (de 8.42 ha a 14.28 ha) (Tabla 11).

Todas las clases presentaron parches de tamaños muy diferentes en ambas fechas, a excepción de la categoría Plantaciones Permanentes, en 1996 mostró tamaños más uniformes a diferencia de 2020. Entre periodos, las categorías Desarrollo Antrópico y Otros Humedales presentaron variabilidad en los tamaños de parche, de 9.64 ha a 158.21 ha y de 98.12 ha a 761.98 ha, e indica diferencias muy marcadas en sus formas (Tabla 11).

El borde total de un paisaje tiene importancia para algunos fenómenos ecológicos, este efecto puede ser evaluado a partir de las métricas de borde total y densidad de borde. Así, para este estudio, se observó aumentos en los bordes totales de las categorías Agrícola-Pecuario (431 m), Desarrollo Antrópico (313 597 m), Sin Vegetación y Dunas (22 560 m), Plantaciones Permanentes (333 611 m) y Otros

humedales (356 168 m). A diferencia de las categorías Manglar, Cuerpos de Agua y Otra Vegetación, quienes presentan una disminución en el borde total (Tabla 11).

Las categorías con mayor densidad de borde para el año 1996 fueron Agrícola-Pecuario con 21.69 m/ha, Manglar con 18.35 m/ha, cuerpos de agua (12.72 m/ha) y Otra Vegetación (19.62 m/ha), no así para 2020 donde las categorías Desarrollo Antrópico (14.43 m/ha), Sin Vegetación / Dunas (4.42 m/ha), Plantaciones Permanentes (13.70 m/ha) y Otros Humedales (18.36 m/ha), presentaron las mayores densidades de borde; para el caso de la categoría Agrícola-Pecuario presento valores muy similares para ambos años (21.64 m/ha en 2020) (Tabla 11).

En un periodo de 24 años, el número del tipo de parches presentó un aumento (de 1.45 a 1.54) y la distribución de los tipos de parches fueron considerados moderadamente uniformes (0.70 a 0.74). La complejidad de las formas en el área es moderadamente compleja (Tabla 12).

Tabla 11. Métricas por clase para el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas.

Categoría		NumP	MedPS	PSSD	TE	ED
Agrícola-Pecuario	1996	80	4.47	257.23	591092	21.69
	2020	180	6.00	73.30	591523	21.64
Desarrollo Antrópico	1996	18	6.46	9.64	80699	2.96
	2020	94	3.00	158.21	394296	14.43
Sin Vegetación / Dunas	1996	29	3.19	24.48	98355	3.61
	2020	55	4.87	23.47	120915	4.42
Manglar	1996	45	25.37	717.49	500082	18.35
	2020	19	2.43	47.66	79800	2.92
Cuerpos de Agua	1996	74	3.50	206.51	346452	12.72
	2020	23	5.05	15.69	140188	5.13
Plantaciones Permanentes	1996	34	4.43	5.25	40740	1.50
	2020	188	4.67	34.26	374351	13.70
Otra Vegetación	1996	230	3.46	33.22	534678	19.62
	2020	267	3.43	19.90	476627	17.44
Otros Humedales	1996	50	8.42	98.12	145680	5.35
	2020	54	14.28	761.98	501848	18.36

Observaciones: Numero de Parches (NumP), Tamaño Medio del Parche (MedPS), Desviación Estándar del Tamaño del Parche (PSSD), Borde Total (TE), Densidad de Borde (ED).

Fuente: Elaboración propia, a partir de Mas *et al.*, 2014.

Tabla 12. Métricas de paisaje para el sistema lagunar Chantuto-Panzacola.

Índices	1996	2020
Índice de Diversidad de Shannon	1.45	1.54
Índice de Uniformidad de Shannon	0.70	0.74
Dimensión Fractal del Parche Medio	1.35	1.34

Fuente: Elaboración propia.

La tasa de fragmentación fue estimada a partir del número de parches para cada clase y se observó un aumento del número promedio anual de parches para la categoría Plantaciones Permanentes y Agrícola-Pecuario con 5.42 y 3.17 parches y una disminución de parches para las categorías Sin Vegetación y Dunas, Manglar y Cuerpos de Agua con -1.42, -0.63 y -0.17 parches respectivamente, indicando una reducción de la superficie ocupada (Tabla 13).

Tabla 13. Tasa de fragmentación y pérdida anual en el paisaje del sistema lagunar Chantuto-Panzacola para el periodo 1996-2020.

Categoría	Tasa de Fragmentación	Pérdida anual
Agrícola-Pecuario	3.17	-103.35
Desarrollo Antrópico	-0.79	6.29
Sin Vegetación y Dunas	-1.42	3.79
Manglar	-0.63	45.26
Cuerpos de Agua	-0.17	-6.90
Plantaciones Permanentes	5.42	109.18
Otra Vegetación	0.54	-22.70
Otros Humedales	-0.79	-31.57

Fuente: Elaboración propia.

La pérdida anual se estimó a partir de la diferencia de superficies para cada clase y se observó pérdidas en áreas Agrícola-Pecuaria con -103.35 ha anuales, seguido de Otra Vegetación (-22.70 ha anuales) y Otros Humedales (-31.57 ha) y ganancia en áreas de Plantaciones Permanentes (109.18 ha), Manglar (45.26 ha), Desarrollo Antrópico (6.29 ha), Sin Vegetación y Dunas (3.79 ha) (Tabla 13).

#### 4.5. Análisis de Resultados

La clase Manglar es la más importante para el SLCP en ambas fechas (44.61% de superficie en 1996 y 48.62% en 2020). Los esfuerzos realizados por Velázquez *et al.*, (2019) y Tovilla y Berny, (2015) le describen como altamente complejo en su estructura y con un patrón de productividad determinada por el conjunto de características ambientales locales y regionales, es decir, por la interacción de procesos a diferentes escalas. Especialmente, el Manglar presentó ganancias que

compensan las áreas pérdidas debido al avance del límite hacia cuerpos de agua y algunas actividades de restauración realizadas en la región (Tovilla *et al.*, 2005), pero no significa que cuente con condiciones favorables en su ecología, si bien, sus requerimientos y métodos de dispersión de semilla le han permitido avanzar en cobertura, es necesario realizar investigaciones adecuadas para obtener información más detallada.

La zona Agrícola-Pecuaría es la segunda categoría más dominante en cobertura (27.56% en 1996 y 18.39% en 2020) con cambios de superficie de más de 2000 ha hacia otros usos, principalmente, la conversión hacia Plantaciones Permanentes de palma africana, que aumentaron las superficies ocupadas de 1996 con 207.46 ha a 2827.83 ha reportadas para 2020 en la zona noroeste del área de estudio. Un caso similar se reportó en la cuenca Vado Ancho, donde la intensificación del uso de suelo presentó una conversión de zonas de cultivos temporales a cultivo perenne (3009.21 ha) (Gálvez, 2017). La conversión de bosques hacia la agricultura y su influencia a nivel de cuenca o en otro tipo de delimitación geográfica tiene efectos colaterales que afectan principalmente los bordes de la vegetación (Lewis *et al.*, 2015) y a la relación entre fragmentación y la dispersión (Taubert *et al.*, 2019).

La producción de palma es una estrategia agraria implementada a nivel nacional y teóricamente establecida en suelos con previo uso agrícola (Castro, 2009; Gálvez, 2017). Los resultados muestran que la superficie de las categorías Manglar, Otra Vegetación y Otros Humedales están siendo remplazadas por este tipo de plantaciones. Gálvez, (2017) reporta en la cuenca Vado Ancho la conversión de otros usos de suelo a palma africana. Hernández, (2014) reporta datos similares en la cuenca del río Cacaluta y reporta el cambio de humedales y manglares hacia el establecimiento de nuevas parcelas.

Esta plantación productivamente eficiente a largo plazo implica una constante demanda de nutrientes y agua en el sistema (Hernández, 2014), elimina la capa orgánica del suelo y se suma al problema de la dispersión de las semillas por corrientes del agua de ríos y arroyos u otro medio y la colonización de áreas no cultivadas, desplazamientos que pueden alterar los procesos de sucesión natural, las cadenas tróficas, la perturbación (Carboni *et al.*, 2011; Hernández, 2014; Altamirano, 2018) y la biodiversidad (Dirzo *et al.*, 2014; Tamaris *et al.*, 2017).

Otro cambio importante en el SLCP es el establecimiento de los asentamientos humanos con un aumento de 150.85 ha de 1996 a 2020 por crecimiento de las comunidades, y la desecación de tierras por rectificación de cauces de ríos (Gómez *et al.*, 2019) así como la acumulación de sedimentos extraídos de las lagunas por obras de dragados (Romero *et al.*, 2015) y canalización de ríos, incluidos en la categoría Sin Vegetación y Dunas. Estas obras causaron ganancia de Manglar y de otros tipos de vegetación en algunas áreas adyacentes a laguna Cerritos. Carbajal, (2015) describe una disminución significativa de la profundidad del cuerpo de agua y el establecimiento de manglar, tule y otras plantas acuáticas que imposibilitan la pesca en la zona. Por otro lado, la línea de costa es de las zonas más dinámicas y cambiantes, su desplazamiento depende del efecto de la marea, el intercambio de agua en la bocanarra y demás; en este estudio se obtuvo una pérdida de 117.97 ha entre 1996 y



2020, principalmente en áreas cercanas a la bocabarra, similar a lo reportado para la línea de costa en algunos estados como Campeche, Nayarit, Sinaloa y Baja California (Valderrama *et al.*, 2017; Valderrama *et al.*, 2019).

Los Cuerpos de Agua, disminuyeron en superficie; algunos autores reportan procesos de sedimentación, cambios en los parámetros ambientales, procesos de eutrofización, pérdida de profundidad y volumen de agua en Laguna Cerritos (Gómez, 2013; Carbajal, 2014; Gómez *et al.*, 2019), observando el desplazamiento de las especies de peces, crustáceos, moluscos y camarones conforme avanza el límite de la vegetación de manglar y vegetación flotante. En laguna Panzacola se reporta disminución de la profundidad, disminución de la pesca y cambios en el tipo de sedimentos (Gómez, 2013; Gálvez, 2017). También se menciona el paso del Huracán Mitch y Stan en 1998 y 2005 para la región (Tovilla *et al.*, 2005; Romero *et al.*, 2015; Gómez *et al.*, 2019; Tovilla *et al.*, 2020), eventos que arrastraron sedimentos y redujeron de manera importante las áreas de pesca, vegetación de manglar y algunos pantanos de agua dulce (Gómez *et al.*, 2019).

Durante los recorridos de verificación en campo, se observó la presencia del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y balona (*Nymphaea ampla*). Gálvez, (2017) reporta la aparición de las mismas especies en laguna Panzacola, fenómeno documentado desde los años 2014 y 2015, y menciona que la laguna no es considerada como parte de un sistema que tiene interacción con el río y la vegetación aledaña, será importante evaluar esta problemática en estudios posteriores dentro del sistema lagunar.

Sin lugar a duda, la vegetación considerada en las categorías Otra Vegetación y Otros Humedales tienen problemas similares, donde la pérdida de cobertura de estas zonas (1932.23 ha en 1996 a 1165.51 ha en 2020) se ha visto afectada por el avance de la frontera agrícola y de plantaciones permanentes, que reducen las áreas potenciales de distribución, creando en el paisaje un efecto de aislamiento entre las áreas aun existentes.

En términos de paisaje, el SLCP tiene una matriz representada por la vegetación de manglar en ambas fechas (Forman y Godron, 1986), con diferentes usos de suelo y presenta una reducción en el número de parches, de 1996 a 2020: Manglar y Cuerpos de Agua; otras áreas que presentaron mayor número de parches, como las categorías Otra vegetación y Otros humedales, y con uso de suelo como las categorías Agrícola-Pecuario, Desarrollo Antrópico, Sin Vegetación y Dunas y Plantaciones Permanentes respectivamente. Estas características de disminución y aumento en el número de parches han sido reportadas en la Reserva de Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz (Vega *et al.*, 2018), en parte de la reserva forestal de la Amazonia, el área de protección regional Ariari-Guayabero y la Zona de Reserva Campesina del Guaviare, en Colombia (Mesa y Armenteras, 2018).

En los bosques tropicales, los procesos de fragmentación globalmente reflejan patrones en las formas y tamaños de los parches independientemente de las causas de deforestación (Lewis *et al.*, 2015). Sin embargo, tiene efectos en mecanismos como la dispersión de semillas y algunos efectos indirectos en las características ambientales bióticas y abióticas (Dener *et al.*, 2021) y en el microclima forestal (Laurance *et al.*, 2011).

De acuerdo con McIntyre y Hobbs, (1999), un paisaje puede ser considerado como fragmentado si la retención del paisaje natural presenta entre el 10% y 60% de cobertura natural. Es importante mencionar que los procesos de fragmentación se evalúan a partir de vegetación boscosa, pero en un paisaje costero, las áreas de humedales representan vegetación natural y una serie de interacciones con el sistema que deben considerarse, por lo que, en este estudio se consideró como vegetación natural las categorías: Manglar, Otra Vegetación y Otros Humedales, obteniendo un total para 1996 de 60.97% y para 2020 de 60.17% de vegetación natural, por lo que el SLCP puede considerarse un paisaje fragmentado con bajo grado de modificación, que puede explicarse por la gestión de nuevas políticas para el área, asumidas al decretar la Reserva de Biosfera La Encrucijada en 1995 con una extensión de 144 868 ha., y donde el área de estudio coincide con la zona núcleo “La Encrucijada”.

Esta última, se encuentra afectada por áreas donde la presencia de plantaciones permanentes y la zona agrícola-pecuaria generan presión, a esto se suma la problemática de colonización e invasión de territorio en zonas interiores de la Reserva (CONANP, 2020), que de forma paulatina se apropian de áreas de terreno para construcción de viviendas o establecimiento de parcelas. Un deterioro similar se reporta en la zona núcleo de la Reserva de Biosfera Bosawás en Nicaragua (Vado *et al.*, 2017) y en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí (Castro *et al.*, 2017) derivado de la tala y quema de la cobertura vegetal, por lo que no se observa una regulación clara de las estrategias que considera el uso de suelo en las zonas núcleo y de amortiguamiento de los programas de manejo de las áreas naturales protegidas, mismas que continúan cambiando.

No obstante, el patrón de fragmentación es visible en las áreas de uso productivo que incluyen pérdida de superficie en los cuerpos de agua; la categoría Otra Vegetación se encuentra rodeada de áreas Agrícola-Pecuaria y de Plantaciones Permanentes, principalmente de palma africana. El tamaño promedio del parche se vio reducido de 1996 a 2020 para las categorías Desarrollo Antrópico (de 6.46 ha a 3.0 ha), Manglar (de 25.37 ha a 2.43 ha) y Otra Vegetación (de 3.46 ha a 3.43 ha). McGarigal y Marks (1994 y 1995) mencionan que, a menor tamaño de parche, mayor fragmentación en un hábitat por lo que la vegetación de manglar y otra vegetación podrían presentar una configuración espacial que influya en las poblaciones de especies que habitan la zona; se sugiere que los próximos estudios enfocados a inventarios de diversidad o distribución de especies de aves, flora, fauna e insectos bioindicadores, consideren la escala de paisaje, pues la disposición espacial de los elementos que le conforman definen la aptitud de hábitat para un sitio (Matteucci, 2009).

La variabilidad en la forma de los parches responde a las diferencias en coberturas y la dinámica del sistema, la categoría Agrícola-Pecuaria presentó el mayor borde total reportado para ambos años, seguido de las categorías Otra Vegetación para 1996 y Otros Humedales en 2020. Esto responde a los cambios en el patrón de transformación del paisaje, como la atricción, creación de parches, ampliación, fragmentación y perforación (Bogaert *et al.*, 2004) y además sugiere que el efecto de borde se encuentra presente, principalmente en estas categorías. En cuanto a la

densidad de parches, es posible que existan procesos de fragmentación más acelerados en ciertas categorías como las Plantaciones permanentes y Otros Humedales. Es importante resaltar que si bien, las plantaciones son un tipo de vegetación boscosa productiva económicamente, dista mucho de ser una prioridad si consideramos las interrelaciones ecosistémicas dentro del paisaje, a diferencia de los humedales, de quienes poco se menciona y de importancia en este tipo de estudios, por lo que se sugiere el replanteamiento de lo que se considera o no vegetación natural en sistemas costeros.

## 5. Consideraciones finales

Los cambios en el patrón del paisaje del sistema lagunar Chantuto-panzacola responde a diferentes procesos de transformación como la atricción, creación de nuevos parches, ampliación, fragmentación y perforación, y a pérdida en superficies de vegetación natural y aumento de las actividades productivas orientados a sistemas de plantaciones permanentes.

El sistema Chantuto-Panzacola presenta procesos de fragmentación con bajo grado de modificación, donde tienen su influencia las políticas de gestión asumidas al decretar la Reserva de Biosfera La Encrucijada en 1995; pese a ello, es una situación que aumenta la heterogeneidad, degrada paulatinamente a los ecosistemas y puede generar problemas en el funcionamiento del sistema, principalmente de la vegetación de manglar.

Es importante mencionar que los procesos de fragmentación se evalúan a partir de vegetación boscosa, pero en un paisaje costero, las áreas de humedales representan vegetación natural y una serie de interacciones con el sistema que deben considerarse, por lo que no pueden quedar aislado de los criterios de clasificación

## 6. Referencias bibliográficas

- Altamirano P.L.A. (2018): Distribución y Cambios de la vegetación y uso de suelo de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México. Centro de Investigaciones Costeras, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Arriaga L., Espinosa J.M., Aguilar C., Martínez E.L.G. y Loa E. (2000): El Triunfo-La Encrucijada-Palo Blanco. Regiones Territoriales Prioritarias de México. RTP-133,519-524. Enlace: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp\\_133.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_133.pdf)
- Bogaert J., Ceulemans R. y Salvavador-Van E.D. (2004): Decision Tree Algorithm for Detection of Spatial Processes in Landscape Transformation. *Environmental Management*. 33,1,62-73. Enlace: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00267-003-0027-0>
- Carboni M., Santoro R. y Acosta A. (2011): Dealing with scarce data to understand how environmental gradients and propagule pressure shape fine-scale alien distribution patterns on coastal dunes. *Journal of Vegetation Science*. 22,5,751-765. Enlace: <https://doi-org.ezproxy.ecosur.mx/10.1111/j.1654-1103.2011.01303.x>

- Carvajal E.S.S. (2014): Evaluación del impacto del azolvamiento en la Laguna Cerritos a partir de la canalización del Río Cintalapa. El Colegio de la Frontera Sur. Enlace: <https://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000053276>
- Carbajal E.S.S., Tovilla H.C., Díaz G.J.R., Infante M.D.M. y Acosta V.J. (2015): Evaluación del impacto del azolvamiento en la Laguna Cerritos como consecuencia de la canalización del río Cintalapa, Chiapas. En Velázquez V.E., Romero B.E.I. y Rivera V.G. (Ed.): Reserva de la Biosfera La Encrucijada, dos décadas de investigación para su conservación. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Enlace: [https://www.researchgate.net/publication/337545496\\_Evaluacion\\_del\\_impacto\\_del\\_azolvamiento\\_en\\_la\\_Laguna\\_Cerritos\\_como\\_consecuencia\\_de\\_la\\_canalizacion\\_del\\_rio\\_Cintalapa\\_Chiapas](https://www.researchgate.net/publication/337545496_Evaluacion_del_impacto_del_azolvamiento_en_la_Laguna_Cerritos_como_consecuencia_de_la_canalizacion_del_rio_Cintalapa_Chiapas).
- Castro S.G. (2009): La palma africana en México. Los cultivos desastrosos. Otros Mundos. Enlace: <https://www.biodiversidadla.org/content/view/full/50056>
- Castro N.J., Sahagún S.F.J. y Reyes H.H. (2017): Dinámica de fragmentación en la Sierra Madre Oriental y su impacto sobre la distribución potencial de la avifauna. *Maderas y Bosques*. 23,2,99-117. Enlace: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1405-04712017000200099&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-04712017000200099&lng=es&nrm=iso)
- Chuvieco E. (2016): Fundamentals of Satellite Remote Sensing, An Environmental Approach. Taylor y Francis Group.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (1999): Programa de Manejo Reserva de la Biosfera La Encrucijada, México. Instituto Nacional de Ecología. Enlace: <http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/anp/AN09.pdf>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2020): Se recuperan 911 hectáreas invadidas en la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Chiapas. Prensa. Enlace: <https://www.gob.mx/conanp/prensa/se-recuperan-911-hectareas-invadidas-en-la-reserva-de-la-biosfera-la-encrucijada-chiapas-232294?idiom=en>
- CONABIO-AvezMX. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves. Enlace: [http://avesmx.conabio.gob.mx/FichaRegion.html#AICA\\_168](http://avesmx.conabio.gob.mx/FichaRegion.html#AICA_168)
- Dener E., Ovadia O., Shemesh H., Altman A., Chen S-C. y Giladi I. (2021): Direct and indirect effects of fragmentation on seed dispersal traits in a fragmented agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 309, 107273. Enlace: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107273>
- Díaz G. J.R. y Acosta V. J. (2009): Tendencias en la transformación del uso de suelo y la vegetación aledaña. En Espinoza J., Islebe G. y Hernández H. (Ed.): El Sistema ecológico de la Bahía de Chetumal/Corozal: Costa Occidental del Mar Caribe. El Colegio de la Frontera Sur, México. 226-237. Enlace: [https://www.researchgate.net/publication/337495981\\_Tendencias\\_en\\_la\\_transformacion\\_d\\_el\\_uso\\_del\\_suelo\\_y\\_la\\_vegetacion\\_aledana](https://www.researchgate.net/publication/337495981_Tendencias_en_la_transformacion_d_el_uso_del_suelo_y_la_vegetacion_aledana)
- Díaz R.S., Cano Q.E., Aguirre L.A. y Ortega B.R. (2014): Diversidad, abundancia y conjuntos ictiofaunísticos del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*. 52,1,187-199. Enlace: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/14879>

- Gómez G.A.E., Velázquez V.E., Rodiles H.R., González D.A.A., González A. A.F. y Castro A.J.L. (2012): Lista Sistemática de la ictiofauna en la Reserva de Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 83,3,674-686. Enlace: <http://www.revista.ib.unam.mx/index.php/bio/article/view/993/901>
- Gómez O.R. (2013): Ecología del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, basada en la aplicación e interpretación de algunos índices tróficos, parámetros fisicoquímicos y biológicos. *El Colegio de la Frontera Sur.* Enlace: <https://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000052431>
- Gómez O.R., Ramos S.E y Romero B.E.I., (2019): Problemas asociados con la rectificación y el cambio de cauce de ríos en los sistemas lagunares de la costa de Chiapas, México. *Ciencia Pesquera.* 27,2,59-67. Enlace: [https://www.researchgate.net/publication/340364113\\_Problemas\\_asociados\\_con\\_la\\_rectificacion\\_y\\_cambio\\_de\\_cauce\\_de\\_rios\\_en\\_los\\_sistemas\\_lagunares\\_de\\_la\\_costa\\_de\\_Chiapas\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/340364113_Problemas_asociados_con_la_rectificacion_y_cambio_de_cauce_de_rios_en_los_sistemas_lagunares_de_la_costa_de_Chiapas_Mexico)
- Gustafon E.J. (1998): Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is The State of the Art?. *Ecosystems.* 1,143-156. Enlace: <https://doi.org/10.1007/s100219900011>
- Hernández H.J.L. (2014): Caracterización de uso de suelo y evaluación de la calidad riparia del Río Cacaluta, Acacoyagua, Chiapas, México. *El Colegio de la Frontera Sur.* Enlace: <https://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000054653>
- Hobbs R. (1997): Future landscapes and the future of landscape ecology. *Landscape and Urban Planning.* 37, 1-2, 1-9. Enlace: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(96\)00364-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(96)00364-7)
- Houghton R.A. (1994): The worldwide Extent of Land-Use Change. *BioScience.* 44,5,305-313. Enlace: <https://doi.org/10.2307/1312380>
- Laurance W.F., Camargo J.L.C., Luizão R.C.C., Laurance S.G., Pimm S.L., Bruna E.M., Stouffer P.C., Bruce W.G., Benítez M.J., Vasconcelos H.L., Van H.K.S., Zartman C.E., Boyle S.A., Didham R.K., Andrade A. y Lovejoy T.E. (2011): The fate of Amazonian Forest Fragments: a 32-years investigation. *Biological Conservation.* 144,1,56-67. Enlace: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.021>
- Lewis S.L., Edwards D.P. y Galbraith D. (2015): Increasing human dominance of tropical forest. 349, 6250, 827-832. Enlace: <https://science.sciencemag.org/content/349/6250/827>
- Loya C.J.O., Aguilar E.S.A., Bravo P.L.C. y Sánchez F.E. (2013): Evaluación espacio-temporal del impacto del crecimiento urbano sobre la cobertura vegetal en la región fronteriza Nogales, México y Arizona, Estados Unidos, durante el periodo 1995-2010. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales.* 9,1,124-140. Enlace: <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v9-n1-16-evaluacion-espacio-temporal-del-impacto-del-crecimiento-urbano-sobre-la-cobertura-vegetal-en-la-region-fronteriza.pdf>
- Mas J.F., Pérez V.A., Ghilardi S., Martínez J., Loya C.J. y Vega E. (2014): A Suite of Tools for Assessing Thematic Map Accuracy. *Geography Journal.* 372349, 10. Enlace: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/372349>  
<https://www.hindawi.com/journals/geography/2014/372349/>
- Matteucci S.D. (2009): Cambios de uso de la tierra en el entorno de las áreas protegidas en la llanura chiqueña. Posibles consecuencias sobre la efectividad de las reservas naturales. En Morello y Rodríguez (Ed): *El Chaco sin bosque: la pampa o el desierto del futuro.*

- Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. Enlace: [https://www.researchgate.net/publication/269222570\\_Cambios\\_de\\_uso\\_de\\_la\\_tierra\\_en\\_el\\_entorno\\_de\\_las\\_areas\\_protegidas\\_en\\_la\\_llanura\\_chaquena\\_Posibles\\_consecuencias\\_sobre\\_la\\_efectividad\\_de\\_las\\_reservas\\_naturales](https://www.researchgate.net/publication/269222570_Cambios_de_uso_de_la_tierra_en_el_entorno_de_las_areas_protegidas_en_la_llanura_chaquena_Posibles_consecuencias_sobre_la_efectividad_de_las_reservas_naturales)
- McGarigal K. y Marks B.J. (1994): FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference Manual. Oregon State University. Corvallis, Oregon. Enlace: <https://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>
- McGarigal K. y Marks B.J. (1995): FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, Oregon. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351> Enlace: [https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw\\_gtr351.pdf](https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr351.pdf)
- McIntyre S. y Hobbs R. (1999): A framework for Conceptualizing Human Effects on Landscapes and Its Relevance to Management and Research Models. *Conservation Biology*. 13,6,1282-1292. Enlace: <https://www.jstor.org/stable/2641952?seq=1>
- Meza E.M.C. y Armenteras D. (2018). Uso del Suelo y Estructura de la Vegetación en Paisajes Fragmentados en la Amazonia, Colombia. *Colombia Forestal*. 21,2,205-223. Enlace: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v21n2/0120-0739-cofo-21-02-00205.pdf>
- Rampel R.S., Kaukinen D. y Carr A.P. (2012): Patch Analyst and Patch Grid. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.
- RAMSAR, (1997): Ficha informativa de los Humedales de Ramsar: Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Enlace: <https://rsis.ramsar.org/es/rsis/815?language=es>
- Romero B.E.I., Acosta V.J., Tovilla H.C., Schmook B., Gómez O. R. (2015): Cambios de cobertura y fragmentación de manglares en la región del Soconusco, Chiapas, México, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central*. 1,54,153-169. Enlace: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744545007>
- Tamaris T.D.P., López A.H.F. y Romero R.N. (2017): Efecto de la estructura del cultivo de palma de aceite *Elaeis guineensis* (Arecaceae) sobre la diversidad de aves en un paisaje de la Orinoquía colombiana. *Revista de Biología Tropical*. 65,4, 1569-1581. Enlace: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v65i4.26735>
- Taubert F., Fischer R., Groeneveld J., Lehmann S., Müller M.S., Rödiger E., Wiegand T. y Huth A. (2018): Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature*. 554, 519-522. Enlace: <https://doi.org/10.1038/nature25508>
- Tovilla H.C., De la Presa P.J.C., Ovalle E.F., Salas R.R.L., De la Cruz M.G. y Lan R.A. (2020). Inventario y Monitoreo del Estado Actual de los Bosques de Manglar Chiapas y Oaxaca. Informe Final. El Colegio de la Frontera Sur. Enlace: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfFN005.pdf>
- Tovilla H.C., De la Presa P.J.C., Salas R.R.L., Romero B.E.I., Ovalle E.L.F., Gómez O.R. y Hernández G.A. (2005): Segundo informe COCYTECH: Inventario Forestal de los Bosques de Manglar de la Costa de Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur.
- Tovilla H.C. y Romero B.E.I. (2015): Producción de hojarasca en manglares ribereños de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. En Velázquez V.E., Romero B.E.I. y Rivera V.G. (Ed.): *Reserva de la Biosfera La Encrucijada: Dos décadas de investigación para la conservación*. DeLaurel, 127-138. Enlace:

- [https://www.researchgate.net/publication/324953129\\_Produccion\\_de\\_hojarasca\\_en\\_manglares\\_riberenos\\_de\\_la\\_Reserva\\_de\\_la\\_Biosfera\\_La\\_Encrucijada](https://www.researchgate.net/publication/324953129_Produccion_de_hojarasca_en_manglares_riberenos_de_la_Reserva_de_la_Biosfera_La_Encrucijada)
- Vado J.C., Melguins A.M. y Vado S.I. (2017): Estimación del Cambio de Uso de Suelo en la zona núcleo de la Reserva de Biosfera Bosawás, Nicaragua, en el periodo 2015, con apoyo de técnicas de sensoramiento remoto y métricas de paisaje. *Revista AIDIS, de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica.* 10,2,179-188. Enlace: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/57535/54157>
- Valderrama L.L.H., Martell D.R., Ressler R., Silva C. R., Cruz R.C.J. y Muñoz P.J.J. (2019): Dynamics of coastline changes in México. *Journal of Geographical Sciences.* 29,10,1637-1654. Enlace: <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1679-x>
- Valderrama L.L.H., Rodríguez Z.M.T., Troche S.C.H., Velázquez S.S., Villeda C.E., Alcántara M.J.A., Vázquez B.B., Cruz L.M.I. y Ressler R. (2017): Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980-2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. Enlace: <https://agua.org.mx/biblioteca/manglares-mexico-actualizacion-exploracion-los-datos-del-sistema-monitoreo-19701980-2015/>
- Vega V.V., Muñoz R.C.A., Rodríguez L. E., López A.J.C. y Serna L.R. (2018): Análisis de la fragmentación del paisaje de la Reserva de Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios.* 5, 14, 227-238. Enlace: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-90282018000200227](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282018000200227)
- Velázquez P.C., Tovilla H.C., Romero B.E.I. y De Jesús N.A. (2019): Estructura del manglar y su influencia en el almacén de carbono en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México. *Maderas y Bosques.* 25,3, e2531885. Enlace: <https://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/view/e2531885>
- Wade T.G., Ritters K.H., Wickham J.D. y Bruce J. K. (2003): Distribution and Causes of Global Forest Fragmentation. *Conservation Ecology.* 7,2,7. Enlace: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/5569>
- White R. y Murray S.R.M. (2000): Pilot Analysis of Global Ecosystems: Grassland Ecosystems. World Resource Institute. Enlace: [https://files.wri.org/d8/s3fs-public/pdf/page\\_grasslands.pdf](https://files.wri.org/d8/s3fs-public/pdf/page_grasslands.pdf)
- Wright S.J. (2005): Tropical forest in a changing environment. *Trends in Ecology and Evolution.* 20, 10. Enlace: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.07.009>.