El Colegio de la Frontera Sur

Fragmentación del Paisaje Costero en El Sistema Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en Manejo y Conservación de los Recursos Naturales

por

Erika Maria Villatoro Arreola

2021

El Colegio de la Frontera Sur

Tapachula, Chiapas, 16 de junio de 2021.

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

___Erika Maria Villatoro Arreola_____

hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada

Fragmentación del Paisaje Costero en El Sistema Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

para obtener el grado de Maestro (a) en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

	Nombre	Firma
Director/a:	_Dr. Cristian Tovilla Hernández_____	
Asesor/a:	_M. en E. Javier Francisco Valle Mora_____	
Asesor/a:	_Dr. Emilio Ismael Romero Berny_____	
Sinodal adicional:	_Dra. Vera Camacho Valdez_____	
Sinodal adicional:	_Dr. Luis Humberto Valderrama Landeros_____	
Sinodal suplente:	_Dr. Darío Alejandro Navarrete Gutiérrez_____	

Dedicatoria

A mi amigo, el manglar, centinela silencioso que al unísono del viento sonríe, y saluda, vehementemente, al caminante que se aventura entre sus raíces; quien, buscándole a él, se encuentra consigo mismo.

A Capitán Nemo, compañero prolijo de mis estados de ánimo, en cada momento se detuvo frente a mí, con su cola de zorro, a robarme una sonrisa. Amigo: te aseguro que continuaremos con nuestras excéntricas aventuras.

A tu memoria, pequeña *Paquira*

Agradecimientos

A Dios, por la vida y la salud.

A CONACYT por la beca otorgada para la realización de este posgrado.

A ECOSUR, por la oportunidad de adquirir y desarrollar nuevos conocimientos en sus unidades.

Al comité de tesis, Dr. Cristian Tovilla Hernández (director), Dr. Emilio Ismael Romero Berny, Mtro. Javier Francisco Valle Mora, Dr. Luis Humberto Valderrama Landeros, Dra. Vera Camacho, y Dr. Darío de Jesús Navarrete (asesores), por la paciencia y dirección durante el desarrollo del trabajo.

A Gregoria Arreola, por encaminar mi vida con tu esfuerzo, enseñarme de luchas, amabilidad, compasión y recordarme que para lograr los objetivos se necesitan buenas dosis de perseverancia y determinación. Eres el mejor pilar que me ha tocado en esta vida errante y transitoria.

A Karla Villatoro, por las metas compartidas, por tu apoyo incondicional, la paciencia, complicidad y las vivencias que quedarán escritas y enlazadas en nuestras historias. Te adoro con todo mi corazón. Gracias, por tanto, ¡hermana!

A Irais Brito, Belinda Roblero y Stephani Cruz, por abrazarme con sus palabras, por la complicidad y por todo lo que ahora me une a ustedes, mi querida cofradía.

A mis compañeros de tutoría, Rita Salas y José Hernández, por las tardes memorables, el trabajo de campo en equipo y las lecciones de vida que, sin duda, me han ayudado a crecer como ser humano.

A Carlos, Luis Alberto, Maira, Miriam, Jessica, Violeta, Cesar Argueta, Hugo, Salvador; el apoyo y tiempo invaluable compartido conmigo, hizo el andar más ameno.

Y a todos aquellos que de una u otra manera formaron parte de esta meta, es un logro compartido.

"*Me lo contaron y lo olvidé, lo vi y lo entendí, lo hice y lo aprendí. Confucio*"

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 7
CAPÍTULO I 8
INTRODUCCIÓN 8
Preguntas de Investigación: 10
Justificación 10
Hipótesis 11
Objetivo 11
CAPÍTULO II 12
CAMBIOS Y FRAGMENTACIÓN EN EL PAISAJE DEL SISTEMA LAGUNAR CHANTUTO-PANZACOLA, CHIAPAS, MÉXICO. 13
RESUMEN 13
1. INTRODUCCIÓN 15
2. ÁREA DE ESTUDIO 16
3. METODOLOGÍA 17
4. RESULTADOS 20
4.1. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación, 1996 20
4.2. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación, 2020 25
4.3. Matriz de transición de Uso de Suelo y Vegetación 1996-2020 29
4.4. Métricas e Índices de paisaje para el SLCP durante 1996 y 2020. 32
4.5. Análisis de Resultados. 35
5. CONSIDERACIONES FINALES 39
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 40
CAPÍTULO III 46
CONCLUSIÓN 46
LITERATURA CITADA 48
ANEXOS 52
Anexo A 52
Anexo B 53
Anexo C. 56

Estructura de la tesis

Cuenta con tres capítulos principales, el *primer* capítulo (**INTRODUCCIÓN**) describe los bosques tropicales, su importancia, antecedentes más importantes de la zona en estudio y las amenazas que presenta, y como las herramientas de información geográfica y análisis de percepción remota nos permite generar información acerca de los cambios y procesos presentes en el área de estudio, las preguntas que orientaron esta investigación, hipótesis y objetivo. El *segundo* capítulo comprende el artículo titulado: (**CAMBIOS Y FRAGMENTACIÓN EN EL PAISAJE DEL SISTEMA LAGUNAR CHANTUTO-PANZACOLA, CHIAPAS, MÉXICO.**) enviado a la revista "Anales de Geografía de la Universidad Complutense" indexada en los acervos SCOPUS y Latindex. En el *tercer* capítulo (**CONCLUSIÓN**) se presentan las conclusiones más importantes derivadas de los resultados obtenidos en la investigación y una serie de sugerencias.

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 el periodo 1996-2020, con una clasificación supervisada a partir del algoritmo de máxima verosimilitud e interpretación visual, método en retrospectiva y métricas de paisaje a nivel de clase e índices de paisaje. Se registraron pérdidas de áreas con actividad agrícola-pecuaria (2480 ha de 1996 a 2020 y ganancias en plantaciones permanentes (2620.37 ha), principalmente de palma africana, pérdidas de superficies en cuerpos de agua (165.62 ha), avances de los límites de la vegetación de manglar al interior de las lagunas con diferencia de 1086 ha de 1996 a 2020 y pérdidas de dunas costeras en áreas cercanas a la bocabarra presente en el sistema, incluidas en las áreas sin vegetación y dunas. Aumento del número de parches (de 45 a 54) y reducción del tamaño medio de parche (de 25.37 a 14.28) en la vegetación de manglar en ambos años respectivamente, en los cuerpos de agua (74 y 3.49 a 94 y 2.99), aumento de los bordes totales en las áreas Agrícola-Pecuario (de 591 092 a 591 523 m), Manglar (de 500 082 a 501 848 m), Cuerpos de agua (346 452 a 394 246 m) y Plantaciones Permanentes (40 740 a 374 351 m) en los años de análisis. El área de estudio se clasificó como un paisaje fragmentado con bajo grado de modificación.

PALABRAS CLAVES: Área Natural Protegida, Métricas de paisaje, Zona Núcleo, Palma africana, Cambios de uso de suelo.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales resguardan aproximadamente el 50% de todas las especies descritas en el mundo y cumplen un rol importante en el ciclo global del carbono, la energía y mantienen una serie de servicios ecosistémicos que deriva en ganancias monetarias para los diferentes sectores económicos en un país pero que, al mismo tiempo, cambian a medida que las poblaciones humanas y la economía crecen (Wright 2005). En México, los bosques tropicales coinciden con zonas de transición marítimo-costeras, áreas esenciales en la actividad pesquera, turística y de conservación más representativas del país, donde los manglares, las selvas inundables y otros ecosistemas tienen presencia.

Los manglares son un ecosistema litoral importante por los servicios ambientales que proporcionan, como protección de la costa contra huracanes e inundaciones, fuente de nutrientes para peces y arrecifes, captura de carbono y gases de efecto invernadero, por mencionar algunos, mismo que en las últimas dos décadas ha tenido mayor importancia en temas de conservación y protección a nivel mundial y nacional (Valderrama et al 2017). La Convención de Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR), la Red de Comités y Reservas de Biosfera de Iberoamérica y el Caribe (IberoMAB), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y otras dependencias gubernamentales coinciden al considerar las áreas costeras como regiones prioritarias, de alto valor biológico y de conservación (CONABIO-AvesMX 2015; CONANP 1999; RAMSAR 1997; UNESCO 2006). En Chiapas, la Reserva de Biosfera La Encrucijada es considerada una de las áreas más importantes de diversidad biológica en el país (CONANP 2015; CONANP 1999), por lo que su conservación y manejo determinará en gran medida, que este recurso natural continúe funcional.

Pese a ello, los componentes paisajísticos que conforman esta área se encuentran amenazados por presiones generadas por la agricultura, la ganadería, la tala, el desvío

de cauces de río y el desarrollo urbano, mismos que aceleran la pérdida de vegetación (Altamirano 2018; Carbajal 2015; Castellanos 2021; Gálvez 2017; Gómez 2013; Gómez et al 2019; Hernández 2014; Houghton 1994; Rincón et al 2020; Tovilla et al 2005; Tovilla et al 2020; Tovilla y Berny 2015; Velázquez 2019) y generan cambios que alteran el equilibrio en los patrones climáticos, de hábitat y ecosistémicos a largo plazo. Entre las consecuencias a nivel de paisaje podemos mencionar la evidencia de procesos de fragmentación (Wade et al 2003).

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), puede ser de origen natural o antropogénico (Wade et al 2003) y genera cambios en las poblaciones de especies y en las condiciones físicas y biológicas de su entorno, importantes para la sobrevivencia y recolonización de las unidades ecológicas (Sánchez et al 1999) que involucran su capacidad de resiliencia (Şekercioğlu et al 2015).

La fragmentación puede afectar a grupos funcionales específicos (Dener et al 2021) alterando así la composición de la comunidad y el entorno competitivo que experimenta un individuo. De manera similar y especialmente los efectos de borde que se asocian a ella y los posibles agentes de mortalidad que se originan en la matriz pueden afectar la distribución de los recursos disponibles de refugio y alimento, provocando la alteración en las características de los hábitats (Murphy y Lovett 2004; Ries y Sisk 2004), debido a ello, este proceso debe ser evaluado como una cuestión independiente de la deforestación (White y Murray 2000).

Existen áreas multidisciplinarias que permiten entender la relación entre el ser humano con su medio y evaluar los cambios de uso de suelo y de vegetación que ocurren en un área y sus efectos en la estructura y configuración espacial de un territorio, a partir de la ecología del paisaje, disciplina enfocada en estudios sobre la estructura, función y cambios en un paisaje (Forman y Godron 1986), desde su consolidación hasta la creación de numerosos métodos y técnicas. Se han desarrollado algoritmos para cuantificar las características específicas de los patrones en un paisaje, como los índices y las métricas de paisaje (McGarigal et al 2002). Estas fórmulas matemáticas permiten cuantificar diferentes características de los componentes de un paisaje como la forma, el tamaño, la

distancia entre ellos y diferentes índices de diversidad, de gran utilidad pese a los inconvenientes con la dependencia en la escala, la interpretabilidad, etcétera (Gustafon 1998).

Preguntas de Investigación:

Esta tesis planteó dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Qué cambios en las coberturas de los tipos de uso de suelo y vegetación se han presentado en el paisaje del sistema Chantuto-Panzacola durante el periodo 1996 y 2020? y, ¿Cuál es el grado de fragmentación que han generado estos procesos de cambios en el área de estudio?

Justificación

El sistema Chantuto-Panzacola constituye un área de la zona núcleo “La Encrucijada” de la reserva de biosfera con el mismo nombre. En las últimas décadas, ha presentado modificaciones en el régimen hidrológico, debido a actividades de canalización de los ríos y dragados en las lagunas costeras, conversión de áreas agrícolas a zonas de plantaciones de palma africana, principalmente en el municipio de Acapetahua y Mapastepec, y cambios de uso de suelo en la parte alta y media de las cuencas hidrográficas. Este estudio permitió actualizar la información relacionada a algunos cambios de uso de suelo en un periodo de 24 años y generar conocimiento acerca del grado de fragmentación presente en el área, que puede ser importante para la propuesta de estudios a nivel de comunidad y poblaciones de especies, y como un criterio a considerar en la elaboración de programas de desarrollo a nivel municipal y en modificaciones y/o actualizaciones de las categorías de conservación presentes en el área.

Hipótesis

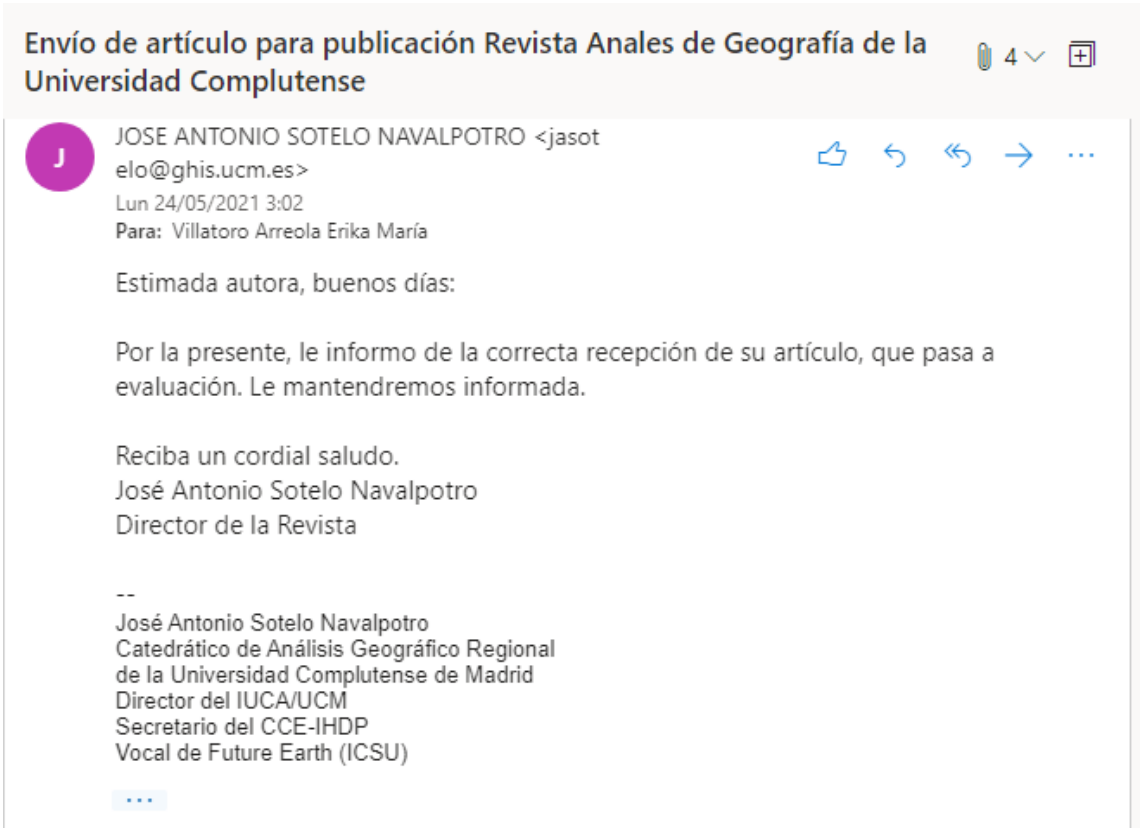
Se espera una reducción de la vegetación de manglar, otra vegetación y otros humedales por cambio de uso de suelo hacia áreas agrícola-pecuaria, plantaciones permanentes, crecimiento de las comunidades, además de disminución en superficie de los cuerpos de agua en el paisaje del sistema Chantuto-Panzacola de 1996 a 2020, y la presencia del proceso de fragmentación reflejado en el porcentaje las formas, tamaños y números de parches.

Objetivo

Conocer los cambios en el uso de suelo y vegetación y el grado de fragmentación en el paisaje del sistema Chantuto-Panzacola, Chiapas en el periodo 1996 y 2020, aplicando métodos de clasificación de imágenes satelitales y métricas e índices de paisaje.

CAPÍTULO II

Acuse de recibido del envío de artículo



Envío de artículo para publicación Revista Anales de Geografía de la Universidad Complutense

4

J

JOSE ANTONIO SOTELO NAVALPOTRO <jasotelo@ghis.ucm.es>

Lun 24/05/2021 3:02

Para: Villatoro Arreola Erika María

Estimada autora, buenos días:

Por la presente, le informo de la correcta recepción de su artículo, que pasa a evaluación. Le mantendremos informada.

Reciba un cordial saludo.
José Antonio Sotelo Navalpotro
Director de la Revista

--
José Antonio Sotelo Navalpotro
Catedrático de Análisis Geográfico Regional
de la Universidad Complutense de Madrid
Director del IUCA/UCM
Secretario del CCE-IHDP
Vocal de Future Earth (ICSU)

CAMBIOS Y FRAGMENTACIÓN EN EL PAISAJE DEL SISTEMA LAGUNAR CHANTUTO-PANZACOLA, CHIAPAS, MÉXICO.

Villatoro-Arreola Erika María, El Colegio de la Frontera Sur.
erika.villatoro@estudianteposgrado.ecosur.mx C.P. 30700.

Tovilla-Hernández Cristian, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula.

Romero-Berny Emilio Ismael, Centro de Investigaciones Costeras, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Valle-Mora Javier Francisco, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula.

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 una 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 CLAVES: La Encrucijada, Fragmentación, Métricas de Paisaje, Chantuto-Panzacola, Palma africana

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.

KEY WORDS: The Crossroads, Fragmentation, Landscape Metrics, Chantuto-Panzacola, African Palm.

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 africa, 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: Carrefour, fragmentation, métriques du paysage, Chantuto-Panzacola, palmier africain.

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’ O.

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).

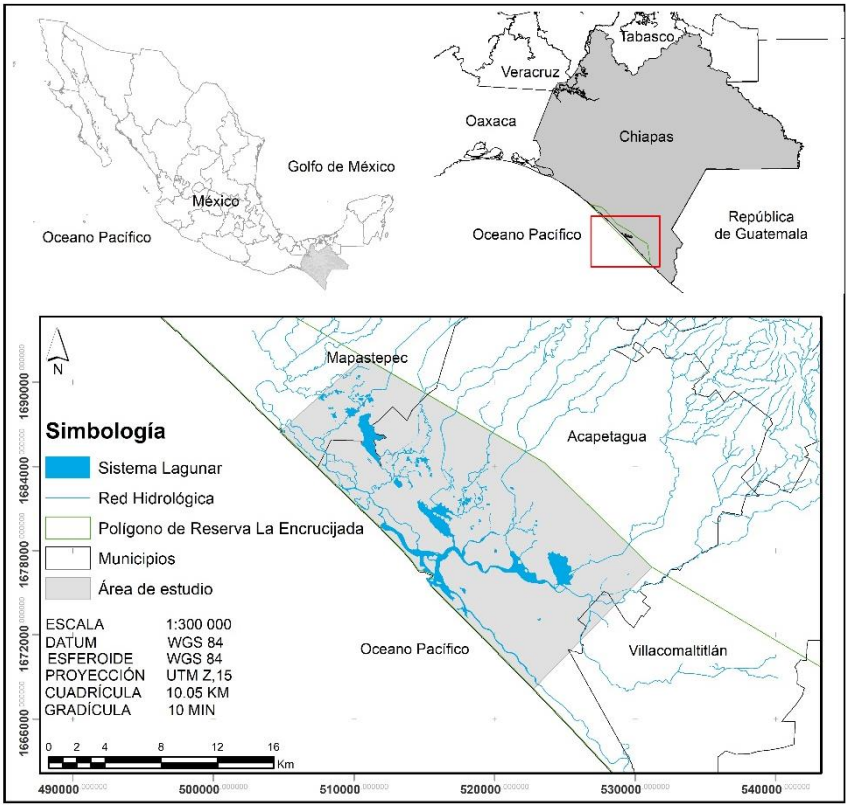


Figura 1. Localización del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

3. METODOLOGÍA

Se utilizaron escenas Sentinel con nivel de procesamiento 2A (Fechas: 13/01/2020, 18/01/2020, 01/07/2020) 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 y 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 (90); q, el de errores (q=1-p), y L el nivel permitido de error (5).

Obteniendo un total de 138 puntos, los sitios de verificación fueron georreferenciados con un GPS Etrex 10 (exactitud ± 5 m). 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 cartografiable 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 productor y 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 Analist (Rempel *et al*., 2012) del programa ArcGIS 10.1, basado en las métricas de Fragstats (Mc Garigal y Marks, 1995; Gustafson, 1998).

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	$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left[a_{ij} - \left(\frac{A}{N}\right)\right]^2}{N}}\left[\frac{1}{10\,000}\right]$
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).

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.	$SHDI = \sum_{i=1}^{m}(P_i \ln P_i)$
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.	$SHEI = \frac{\sum_{i=1}^{m}(P_i \ln P_i)}{\ln m}$

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.	$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{2In\, p_{ij}}{In\, a_{ij}}\right)}{N}$

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):

$$pérdida\ anual = \frac{s2 - s1}{t}$$

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

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

$$tasa\ de\ fragmentación = \left[\frac{NP2}{NP1}\right]^{1/n} \text{-}1$$

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. El resultado se multiplica por 100 para obtener los porcentajes.

4. RESULTADOS

4.1. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación, 1996

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

Tabla 3. Matríz de confusión de la clasificación de uso de suelo del año 1996 para el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

		Referencia									
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH	Total	Precisión usuario
Mapa	AP	**38**							3	41	92.68
	DA		**1**							1	100.00
	SVD			**1**						1	100.00
	MG				**62**			1		63	98.41
	CA					**12**			1	13	92.30
	PP						**1**			1	100.00
	OV							**14**		14	100.00
	OH								**4**	4	100.00
	Total	38	1	1	62	12	1	15	8	138	
Precisión producto		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	93.33	50.00		

Categorías: AP-Agrícola-Pecuario (7451.86 ha), DA-Desarrollo Antrópico (166.20 ha), SVD-Sin Vegetación / Dunas (286.07 ha), MG-Manglar (12060.75 ha), CA-Cuerpos de Agua (2440.82 ha), PP-Plantaciones Permanentes (207.46 ha), OV-Otra Vegetación (2896.64 ha), OH-Otros Humedales (1528.66 ha).

Tabla 4. Matríz de confusión ajustada de la clasificación de uso de suelo del año 1996 para el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

		Referencia								
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH	Total
Mapa	AP	**0.26**							0.02	0.28
	DA		**0.01**							0.01
	SVD			**0.01**						0.01
	MG				**0.44**			0.01		0.44
	CA					**0.08**			0.01	0.09
	PP						**0.01**			0.01
	OV							**0.11**		0.11
	OH								**0.06**	0.06
	Total	0.26	0.01	0.01	0.44	0.08	0.01	0.12	0.08	1.00

Categorías: AP-Agrícola-Pecuario (7451.86 ha), DA-Desarrollo Antrópico (166.20 ha), SVD-Sin Vegetación / Dunas (286.07 ha), MG-Manglar (12060.75 ha), CA-Cuerpos de Agua (2440.82 ha), PP-Plantaciones Permanentes (207.46 ha), OV-Otra Vegetación (2896.64 ha), OH-Otros Humedales (1528.66 ha).

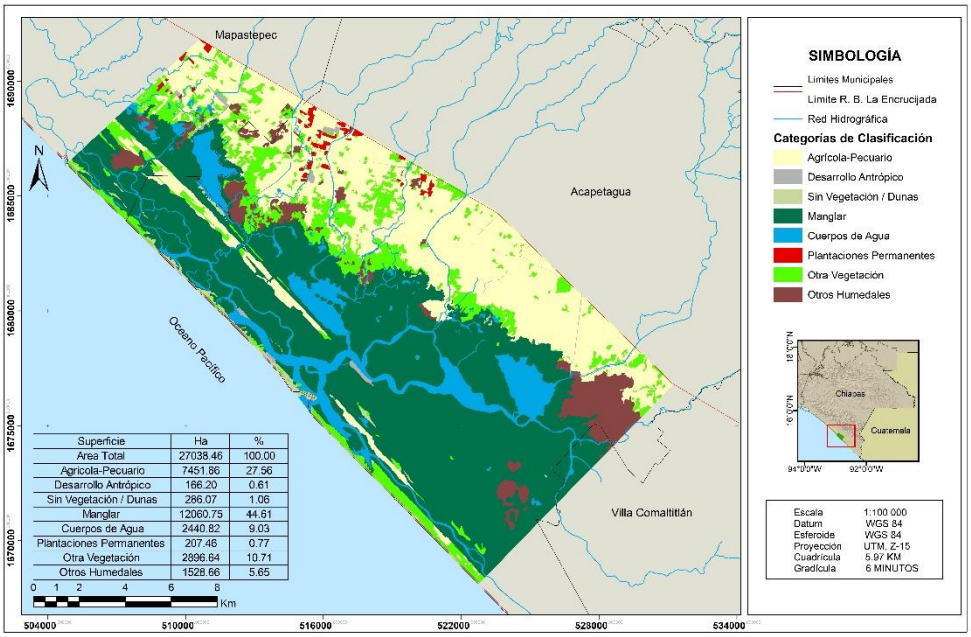
De la matriz ajustada, derivó información como los porcentajes de confiabilidad por categoría de clasificación, para estimar la precisión del usuario, del producto y los errores ajustados (Tabla 5).

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
Exactitud 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. superior del IC	1.00	1.00	1.00	0.91	0.78	1.00	1.00	0.33
Lím. inferior del IC	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Exactitud 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. superior del IC	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	0.42
Lím. inferior 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. superior del IC	0.18	0.01	0.01	0.44	0.07	0.10	0.09	0.01
Lím. inferior del IC	0.21	0.01	0.01	0.49	0.09	0.10	0.13	0.05

Categorías: AP-Agrícola-Pecuario (7451.86 ha), DA-Desarrollo Antrópico (166.20 ha), SVD-Sin Vegetación / Dunas (286.07 ha), MG-Manglar (12060.75 ha), CA-Cuerpos de Agua (2440.82 ha), PP-Plantaciones Permanentes (207.46 ha), OV-Otra Vegetación (2896.64 ha), OH-Otros Humedales (1528.66 ha), IC-Intervalo Medio de Confianza.

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).



Superficie	Ha	%
Area Total	27038.46	100.00
Agricola-Pecuario	7451.86	27.56
Desarrollo Antrópico	166.20	0.61
Sin Vegetación / Dunas	286.07	1.06
Manglar	12060.75	44.61
Cuerpos de Agua	2440.82	9.03
Plantaciones Permanentes	207.46	0.77
Otra Vegetación	2896.64	10.71
Otros Humedales	1528.66	5.65

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

4.2. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación, 2020

La clasificación con año 2020 obtuvo un porcentaje de exactitud 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. Matríz de confusión de la clasificación de Uso de Suelo del año 2020 para el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

		Referencia									
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH	Total	Precisión usuario
Mapa	AP	**24**								24	100.00
	DA		**2**							2	100.00
	SVD			**2**						2	100.00
	MG				**67**			3		70	95.71
	CA					**12**			1	13	92.30
	PP						**14**			14	100.00
	OV							**9**		9	100.00
	OH	1							**3**	4	100.00
Total		25	2	2	67	12	14	12	4		
Precisión producto		96.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	75.00	75.00		

Categorías: AP-Agrícola-Pecuario (4971.37 ha), DA-Desarrollo Antrópico (317.05 ha), SVD-Sin Vegetación / Dunas (377.08 ha), MG-Manglar (13147.09 ha), CA-Cuerpos de Agua (2275.20 ha), PP-Plantaciones Permanentes (2827.83 ha), OV-Otra Vegetación (2351.79 ha), OH-Otros Humedales (771.05 ha).

Tabla 7. Matríz de confusión ajustada de la clasificación de Uso de Suelo del año 2020 para el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

		Referencia								
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH	Total
Mapa	AP	**0.18**								0.18
	DA		**0.01**							0.01
	SVD			**0.01**						0.01
	MG				**0.46**			0.02		0.48
	CA					**0.08**			0.01	0.08
	PP						**0.10**			0.10
	OV							**0.09**		0.09
	OH	0.01							**0.02**	0.03
	Total	0.19	0.01	0.01	0.46	0.08	0.10	0.11	0.03	

Categorías: AP-Agrícola-Pecuario (4971.37 ha), DA-Desarrollo Antrópico (317.05 ha), SVD-Sin Vegetación / Dunas (377.08 ha), MG-Manglar (13147.09 ha), CA-Cuerpos de Agua (2275.20 ha), PP-Plantaciones Permanentes (2827.83 ha), OV-Otra Vegetación (2351.79 ha), OH-Otros Humedales (771.05 ha).

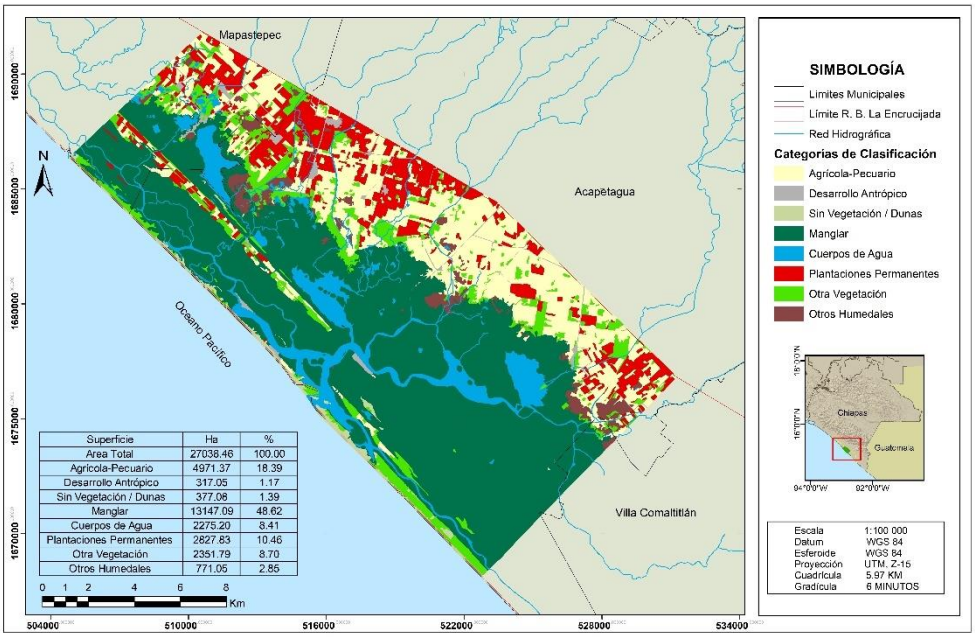
A partir de la matriz ajustada, se estimó el porcentaje por categoría de la precisión de usuario, del producto y el error de ajuste (Tabla 8).

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
Exactitud 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. superior del IC	0.85	1.00	1.00	0.95	0.78	1.00	1.00	1.00
Lím. inferior del IC	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Exactitud 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. superior del IC	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.47
Lím. inferior 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. superior del IC	0.23	0.01	0.01	0.42	0.07	0.01	0.10	0.06
Lím. inferior del IC	0.28	0.01	0.01	0.45	0.10	0.01	0.13	0.11

Categorías: AP-Agrícola-Pecuario (4971.37 ha), DA-Desarrollo Antrópico (317.05 ha), SVD-Sin Vegetación / Dunas (377.08 ha), MG-Manglar (13147.09 ha), CA-Cuerpos de Agua (2275.20 ha), PP-Plantaciones Permanentes (2827.83 ha), OV-Otra Vegetación (2351.79 ha), OH-Otros Humedales (771.05 ha), IC-Intervalo Medio de Confianza.

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 3).



Superficie	Ha	%
Area Total	27038.46	100.00
Agrícola-Pecuario	4971.37	18.39
Desarrollo Antrópico	317.05	1.17
Sin Vegetación / Dunas	377.08	1.39
Manglar	13147.09	48.62
Cuerpos de Agua	2275.20	8.41
Plantaciones Permanentes	2827.83	10.46
Otra Vegetación	2351.79	8.70
Otros Humedales	771.05	2.85

Figura 3. Mapa de Uso de suelo y Vegetación del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, 2020.

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 *Rhizophora mangle* y *Conocarpus erectus*.
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.

En la Tabla 10 y Figura 4, 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).

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).

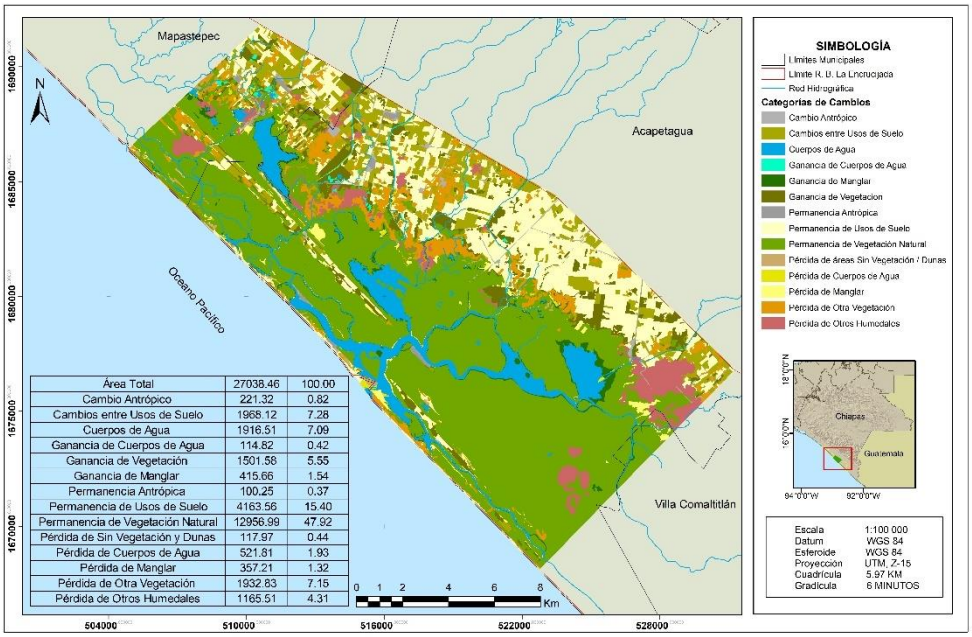
Los cuerpos de Agua presentan reducción en superficie por crecimiento de Manglar (415.7 ha) en los límites y actividades de reforestación, hacia Otra Vegetación (38.4 ha) y Otros Humedales (24.6 ha) en las lagunas Chantuto, Cerritos y Teculapa. En menor superficie, hacia áreas con Desarrollo Antrópico, 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).

Tabla 11. Matriz de Cambios para el periodo 1996-2020 en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

Cambios de Uso		Mapa 2020								
		AP	DA	SVD	MG	CA	PP	OV	OH	Total
Mapa 1996	AP	**3821.10**	134.38	14.19	110.14	111.67	1887.76	1116.17	256.45	7451.86
	DA	36.23	**100.25**	0.23	4.95	2.17	16.44	5.59	0.35	166.20
	SVD	8.41	5.75	**162.35**	42.84	6.96	3.10	54.79	1.87	286.07
	MG	45.23	11.19	18.20	**11692.34**	108.91	7.07	112.76	65.04	12060.75
	CA	22.50	2.51	12.20	415.66	**1916.51**	8.42	38.44	24.58	2440.82
	PP	13.26	5.17			0.97	**180.11**	6.85	1.10	207.46
	OV	704.38	42.72	103.94	467.42	45.81	526.67	**921.10**	84.60	2896.64
	OH	339.39	19.60	2.06	416.88	94.28	203.12	109.79	**343.55**	1528.66
	Total	4990.51	321.56	313.16	13150.22	2287.28	2832.71	2365.48	777.54	**27038.46**

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



Área Total	27038.46	100.00
Cambio Antrópico	221.32	0.82
Cambios entre Usos de Suelo	1968.12	7.28
Cuerpos de Agua	1916.51	7.09
Ganancia de Cuerpos de Agua	114.82	0.42
Ganancia de Vegetación	1501.58	5.55
Ganancia de Manglar	415.66	1.54
Permanencia Antrópica	100.25	0.37
Permanencia de Usos de Suelo	4163.56	15.40
Permanencia de Vegetación Natural	12956.99	47.92
Pérdida de Sin Vegetación y Dunas	117.97	0.44
Pérdida de Cuerpos de Agua	521.81	1.93
Pérdida de Manglar	357.21	1.32
Pérdida de Otra Vegetación	1932.83	7.15
Pérdida de Otros Humedales	1165.51	4.31

Figura 4. Mapa de cambios de uso de suelo y vegetación para el periodo 1996-2020 en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

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

El análisis basado en las métricas presenta aumento en el número de parches para todas las clases con excepción de las áreas Sin Vegetación / Dunas que presentó una reducción de 29 a 19 parches. Las clases con mayor aumento en el número de parches fueron las áreas Agrícola-Pecuaria de 80 a 180 parches, Plantaciones Permanentes de 34 a 188 parches y Otra Vegetación de 230 a 267 parches, de 1996 a 2020 respectivamente (Tabla 11).

Las clases Agrícola-Pecuaria y Plantaciones Permanentes presentaron aumento en el tamaño medio de parche, mientras que las clases Desarrollo Antrópico, Sin Vegetación / Dunas, Manglar, Cuerpos de agua, Otra Vegetación y Otros Humedales mostraron una reducción en el mismo (Tabla 11). Dicha métrica es importante debido

a que un menor tamaño medio de parche, evidencia mayor posibilidad de que un área se encuentre fragmentada.

Las clases Agrícola-Pecuaria, Cuerpos de Agua, Otra Vegetación y Otros Humedales presentaron una disminución en la variabilidad del tamaño de los parches que indican formas más uniformes en los parches, a diferencia de las clases Desarrollo Antrópico, Sin Vegetación / Dunas, Plantaciones Permanentes y Manglar, que presentaron mayor variabilidad en los tamaños de parches, mismo que indica diferencias muy marcadas en sus formas (Tabla 11) y responden a las diferencias en coberturas y la dinámica del sistema.

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. En este estudio se observó el aumento de los bordes totales para las clases Desarrollo Antrópico, Manglar, Cuerpos de Agua y Plantaciones Permanentes. No así con las clases Agrícola-Pecuario, Sin Vegetación / Dunas, Otra Vegetación y Otros Humedales que reflejaron aumentos en los bordes totales (Tabla 11).

Las clases con mayor densidad de borde fueron Desarrollo Antrópico, Cuerpos de Agua y Plantaciones Permanentes y las que reportan una disminución en la densidad son las clases Sin Vegetación / Dunas, Otra Vegetación y Otros Humedales; para el caso de las clases Agrícola-Pecuario y Manglar, alcanzaron valores muy similares para ambos años con 21.69 y 21.64 ha de 1996 a 2020 y 18.35 y 18.36 ha, respectivamente (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 (ind.)	MedPS (ha)	PSSD (ha)	TE (m)	ED (m/ha)
Agrícola-Pecuario	1996	80	4.46	257.23	591092	21.69
	2020	180	6.00	73.30	591523	21.64

Desarrollo Antrópico	1996	18	6.46	9.63	80699	2.96
	2020	23	5.04	15.69	140188	5.12
Sin Vegetación / Dunas	1996	29	3.18	24.47	98354	3.60
	2020	19	2.43	47.66	79800	2.91
Manglar	1996	45	25.37	717.49	500082	18.35
	2020	54	14.28	761.98	501848	18.36
Cuerpos de Agua	1996	74	3.49	206.50	346452	12.71
	2020	94	2.99	158.20	394296	14.42
Plantaciones Permanentes	1996	34	4.42	5.25	40739	1.49
	2020	188	4.66	34.26	374351	13.69
Otra Vegetación	1996	230	3.45	33.21	534678	19.62
	2020	267	3.42	19.90	476627	17.43
Otros Humedales	1996	50	8.42	98.12	145680	5.34
	2020	55	4.87	23.46	120915	4.42

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

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

La tasa de fragmentación mostró mayores porcentajes en las categorías Agrícola-Pecuaria y Plantaciones Permanentes (3.44% y 7.39%) debido a los cambios entre actividades productivas. Los menores porcentajes fueron observados en la categoría Sin Vegetación / Dunas, Manglar, Otra Vegetación y Otros Humedales, áreas que coinciden con el polígono de la zona núcleo La Encrucijada (Tabla 13).

La pérdida anual se observó 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):

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 (%)	Cambio Neto Anual (ha/año)
Agrícola-Pecuario	3.44	-103.35
Desarrollo Antrópico	1.03	6.29
Sin Vegetación y Dunas	-1.75	3.79
Manglar	0.76	45.26
Cuerpos de Agua	1.00	-6.90
Plantaciones Permanentes	7.39	109.18
Otra Vegetación	0.62	-22.70
Otros Humedales	0.40	-31.57

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 compleja 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. Espacialmente, el Manglar presentó ganancias que compensan las áreas perdidas debido al avance del límite hacia cuerpos de agua y algunas actividades de restauración realizadas en la región (Tovilla *et al.*, 2005), ganancias similares a las reportadas para la categoría Manglar en la Reserva de Biosfera los Tuxtlas (Vega *et al*., 2018).

La zona Agrícola-Pecuaria 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 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 la relación entre fragmentación y 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 bocabarra 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), 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, 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.

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 aumento en el número de parches, de 1996 a 2020 al igual que las diferentes categorías con excepción de las áreas Sin Vegetación/ Dunas. 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, 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 a considerar. Para este estudio, la vegetación de Manglar, Otra Vegetación y Otros Humedales fueron consideradas "cobertura natural" y se obtuvo un porcentaje para 1996 de 60.97% y en 2020 de 60.17%. Esto refleja 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.

Por otro lado, el tamaño promedio del parche se redujo de 1996 a 2020 para todas las clases con excepción de las áreas Agrícola-Pecuaria (de 4.46 a 6.00 ha) y las Plantaciones Permanentes (de 4.42 a 4.46 ha), McGarigal y Marks (1994 y 1995) mencionan que, a menor tamaño de parche, mayor fragmentación en un hábitat. Ahora bien, la disposición espacial de los elementos que le conforman también define la aptitud de este (Matteucci, 2009) y responde a los tipos de transformación al que se expone el patrón de un paisaje, como la atricción, creación de parches, ampliación, fragmentación y perforación (Bogaert *et al*., 2004) presentes en el sistema y principalmente en las clases Agrícola-Pecuaria en ambos años, Otra Vegetación en 1996 y Manglar en 2020.

En cuanto a la densidad de los parches, las Plantaciones Permanentes experimentaron aumento en la densidad (1996:1.50 ha - 2020:13.69 ha), mientras que las clases Otra Vegetación (1996:19.62 ha - 2020:17.43 ha) y Otros Humedales (1996:5.35 ha - 2020:4.42 ha) se ven disminuidas. 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. Consentino y Schooley, (2018) mencionan

que, pese a la naturaleza de los humedales de ser sistemas irregulares, pueden ser afectados por procesos como la fragmentación, cuando la densidad disminuye, el aislamiento físico de los humedales restantes aumenta y en consecuencia se pierde conectividad estructural y la probabilidad de colonización de especies que ocupan estas zonas como hábitat.

Respecto a la tasa de fragmentación para la vegetación Manglar, el obtenido por este estudio es menor (0.68 % anual) al reportado para los sitios RAMSAR Cabildo Amatal y Gancho-Murillo (4.9 % anual) (Romero *et al*., 2015), que sugiere diferencias debido a la región y las categorías de conservación presentes en ambos sistemas.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Se demuestran cambios en el paisaje del sistema lagunar Chantuto-panzacola que reflejan pérdida en superficies de vegetación natural y aumento de las actividades productivas orientados a sistemas de plantaciones permanentes entre 1996 y 2020. Además, presenta procesos de transformación como la atricción, creación de nuevos parches, ampliación, fragmentación y perforación.

Los resultados señalan que el sistema Chantuto-Panzacola presenta procesos de fragmentación con bajo grado de modificación, influenciado por 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 y degrada paulatinamente a los ecosistemas.

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 aislados 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

Bogaert J., Ceulemans R. y Salvador-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.

Castro S.G. (2009): La palma africana en México. Los cultivos desastrosos. Otros Mundos. Enlace: https://www.biodiversidadla.org/content/view/full/50056

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

CONABIO-AvezMX. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves. Enlace: http://avesmx.conabio.gob.mx/FichaRegion.html#AICA_168

Cosentino B. y Schooley R. (2018): Dispersal and Wetland Fragmentation. En Finlayson C. et al. (Ed.): The Wetland Book. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9659-3_56

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_del_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

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

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 espaciotemporal 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. http://dx.doi.org/10.1155/2014/372349 Enlace: 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 Rodriguez (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

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

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/ris/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., Rödig 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

Valderrama L.L.H., Martell D.R., Ressl R., Silva C. R., Cruz R.C.J. y Muñoz P.J.J. (2019): Dinamics 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 Ressl 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

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.inecol.mx/index.php/myb/article/view/e2531885

Wade T.G., Ritters K.H., Wickham J.D. y Bruce J. K. (2003): Distribution and Cauces 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

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

CAPÍTULO III

CONCLUSIÓN

El uso y aplicación de herramientas de percepción remota y sistemas de información geográfica son importantes para realizar evaluaciones y analizar la configuración espacial en un paisaje, es decir, saber de qué manera se distribuyen los elementos que le conforman, y sus tendencias de cambio. Resultan también apropiados para evidenciar el impacto de las actividades humanas a los ecosistemas y la biodiversidad, generando a partir de ellas, estrategias flexibles y dinámicas que permitan un aprovechamiento adecuado y la reducción de los efectos que a largo plazo se puedan presentar.

Los cambios en el patrón del paisaje del sistema Chantuto-Panzacola responden a diferentes procesos de transformación, impulsados por el aumento de las actividades productivas orientadas a extender las plantaciones de palma africana, lo que ha ocasionado pérdidas de superficie de vegetación natural como humedales, acahuales de selvas bajas inundables, medianas y manglar. En el paisaje, dichos cambios se registran como atricción (reducción de numero de parches en las coberturas), creación de nuevos parches (mismos que aumentan el número de parches), ampliación (expansión del tamaño de los parches), fragmentación (división de un área en secciones de menor tamaño) y perforación (interrupción de la vegetación por aperturas, clareos o perdida de vegetación en áreas compactas).

El paisaje del sistema Chantuto-Panzacola presenta procesos de fragmentación con bajo grado de modificación, lo que aumenta la heterogeneidad en el área y degrada de manera paulatina los tipos de ecosistemas presentes en la zona. Por otro lado, la vegetación de manglar es el ecosistema más extenso e importante en el área de estudio, si bien, presenta algunas características que evidencian el proceso de fragmentación en ella, como el menor tamaño medio de parche reportado, esto no afecta hasta ahora, su conexión espacial, pero puede generar deficiencias en el funcionamiento del sistema a largo plazo.

Considerando la categoría de conservación en que se encuentra catalogada el área de estudio, se sugiere que la fragmentación sea considerada como un elemento más en la planificación de medidas de acción y ordenamiento realizadas por las dependencias correspondientes.

Un paisaje es más efectivo para amortiguar perturbaciones cuando su vegetación es densa y compacta, esto le permite reducir los efectos no favorables del entorno y, además, mantener conectividad entre sus parches. La conectividad en un paisaje permite el movimiento de las especies y su intercambio genético (Tischendorf y Fahrig 2000), por lo que se sugiere realizar esfuerzos dirigidos a la evaluación de la conectividad de los ecosistemas presentes en la Reserva de Biosfera La Encrucijada.

Los procesos de fragmentación regularmente se evalúan a partir de vegetación boscosa, pero en un paisaje costero, las áreas de humedales representan vegetación natural e involucran una serie de interacciones con el sistema que deben considerarse, por lo que no puede quedar aislado de los criterios de clasificación como “vegetación natural” en las evaluaciones de fragmentación.

Es importante mejorar las estrategias de conservación dentro de la Reserva de Biosfera La Encrucijada para prevenir futuros deterioros o impactos, principalmente en la zona núcleo “la encrucijada”, pues mientras más heterogéneo es un paisaje, regularmente implica que existan diferentes y diversas condiciones en los microclimas que a largo plazo se traducen en pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Realizar estudios sobre poblaciones o comunidades de especies ayudaría a comprender mejor como el paisaje interviene en estos procesos e interacciones.

De acuerdo con Bogaert et al 2004 se observaron cambios en el patrón del paisaje por actividad antropogénica, como la disección, perforación, fragmentación y achicamiento. Se sugiere identificar y hacer un seguimiento de estas áreas a fin de generar propuestas de áreas piloto para actividades de restauración ecológica y/o el control de la ejecución de proyectos verdaderamente amigables y beneficiosos para la zona.

Metodológicamente se sugiere evaluar fechas intermedias para identificar la dinámica de cambio y de fragmentación que presenta el sistema y agregar información de campo de

mayor detalle cómo sitios o transectos en los límites de cada tipo de vegetación para evaluar procesos de conectividad, efecto de borde a diferentes escalas y entender como sus dimensiones y formas en el paisaje dan como resultado la irregularidad del patrón espacial que se muestra.

LITERATURA CITADA

Altamirano-Pérez LA. 2018. Distribución y Cambios de la vegetación y uso de suelo de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México. [Tesis de licenciatura] Centro de Investigaciones Costeras, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, 76 p.

Bogaert J, Ceulemans R, Salvador-Van ED. 2004. Decision Tree Algorithm for Detection of Spatial Processes in Landscape Transformation. Environmental Management. 33 (1):62–73.

Carbajal-Evaristo SS, Tovilla-Hernández C, Díaz-Gallegos JR, Infante-Mata DM, Acosta-Velázquez J. 2015. Evaluación del impacto del azolvamiento en la Laguna Cerritos como consecuencia de la canalización del río Cintalapa, Chiapas. En: Velázquez VE, Romero BEI, Rivera VG. eds. Reserva de la Biosfera La Encrucijada, dos décadas de investigación para su conservación. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, p. 253-264.

Castellanos NA. 2021. Oil palm dispersal into protected wetlands: Human-environment dichotomies and the limits to governance in southern México. Land Use Policy. 103, 105304.

[CONANP] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 1999. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera La Encrucijada, México. Desarrollo Gráfico Editorial.

[CONANP] Comisión de Áreas Naturales Protegidas. 2015. Estudio Previo Justificativo para la modificación de la declaratoria de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas.

CONABIO-AvesMX. 2015. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves. [Consultada 2021 abril 4] http://avesmx.conabio.gob.mx/AICA.html

Dener E, Ovadia O, Shemesh H, Altman A, Chen S-C, Giladi I. 2021. Direct and indirect effects of fragmentation on seed dispersal traits in a fragmented agricultural landscape. Agriculture, Ecosystems and Environment. 309, 107273.

Forman RTT, Godron H, 1986. Landscape ecology. NCASI Tech Bull.

Gálvez MM. 2017. Impacto en la canalización del Río Vado Ancho sobre la cuenca baja, Laguna Panzacola y la pesquería. [Tesis de maestría] El Colegio de la Frontera Sur, 94 p.

Gómez OR. 2013. Ecología del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, basada en la aplicación e interpretación de algunos índices tróficos, parámetros fisicoquímicos y biológicos. [Tesis de Maestría] El Colegio de la Frontera Sur, 109 p.

Gómez OR, Ramos SE, Romero BEI, 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.

Gustafson EJ, 1998. Pattern : What Is the State of the Art ?. Ecosystems. 1,143–156.

Hernández HJL. 2014. Caracterización de uso de suelo y evaluación de la calidad riparia del Río Cacaluta, Acacoyagua, Chiapas, México. [Tesis de maestría] El Colegio de la Frontera Sur, 179 p.

Houghton R. 1994. The worldwide extent of land-use change: In the last few centuries, and particularly in the last several decades, effects of land-use change have become global. BioScience. 44(5): 305–313.

Laurance WF, Camargo JLC, Luizão RCC, Laurance SG, Pimm SL, Bruna EM, Stouffer PC, Bruce WG, Benítez-Malvido J, Vasconcelos HL, et al. 2011. The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. Biological Conservation. 144(1): 56–67.

McGarigal K, Cushman SA, Neel MC, Ene E. 2002. FRAGSTATS v3: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts, Amherst. http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html

Murphy HT, Lovett-Doust J. 2004. Context and connectivity in plant metapopulations and landscape mosaics: does the matrix matter? Oikos 105, 3–14.

[RAMSAR] Convención de Humedales de Importancia Internacional. 1997. Ficha informativa de los humedales de Ramsar: Reserva de la Biosfera La Encrucijada. [Consultada 2021 abril 17]. Enlace: https://rsis.ramsar.org/es/ris/815?language=es

Ries L, Sisk TD. 2004. A predictive model of edge effects. Ecology. 85,2917–2926.

Rincón PM, Infante MD, Moreno CP, Hernández AME, Barbas-Macías E, García AJR. 2020. Patrones de distribución y estructura de la vegetación en el gradiente de humedales costeros El Castaño, Chiapas, México. Revista de Biología Tropical. 68(1):242-259.

Sánchez D, López G, Gama J. 1999. Fragmentación del hábitat y manejo de áreas protegidas. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. 5(1): 5–13.

Şekercioğlu ÇH, Loarie SR, Oviedo-Brenes F, Mendenhall CD, Daily GC, Ehrlich PR, 2015. Tropical countryside riparian corridors provide critical habitat and connectivity for seed-dispersing forest birds in a fragmented landscape. Journal of Ornithology. 156,343–353.

Tischendorf L, Fahrig, L. 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. Oikos. 90: 7–19.

Tovilla HC, Romero BEI. 2015. Producción de hojarasca en manglares ribereños de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. En: Velázquez VE, Romero BEI, Rivera VG. eds. Reserva de la Biosfera La Encrucijada: Dos décadas de investigación para la conservación. DeLaurel, p. 127-138.

Tovilla HC, De la Presa PJC, Ovalle EF, Salas RRL, De la Cruz MG, Lan RA. 2020. Inventario y Monitoreo del Estado Actual de los Bosques de Manglar Chiapas y Oaxaca. Informe Final. El Colegio de la Frontera Sur.

Tovilla HC, De la Presa PJC, Salas RRL, Romero BEI, Ovalle ELF, Gómez OR, Hernández GA. 2005. Segundo informe COCYTECH: Inventario Forestal de los Bosques de Manglar de la Costa de Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur.

[IberoMAB] Red regional: Red de Comités y Reservas de Biosfera de Iberoamérica y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2006. [Consultado 2021 abril 19]. https://en.unesco.org/biosphere/lac/la-encrucijada

Velázquez PC, Tovilla HC, Romero BEI, De Jesús NA. 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.

Wade TG, Riitters KH, Wickham JD, Jones KB. 2003. Distribution and Causes of Global Forest Fragmentation. Conservation Ecology. 7(2):17.

White R, Murray S, Rohweder M. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Grassland Ecosystems. World Resource Institute. https://www.wri.org/research/pilot-analysis-global-ecosystems-grassland-ecosystems

Wright SJ. 2005. Tropical forests in a changing environment. Trends in Ecology Evolution. 20(10):553–560.

ANEXOS

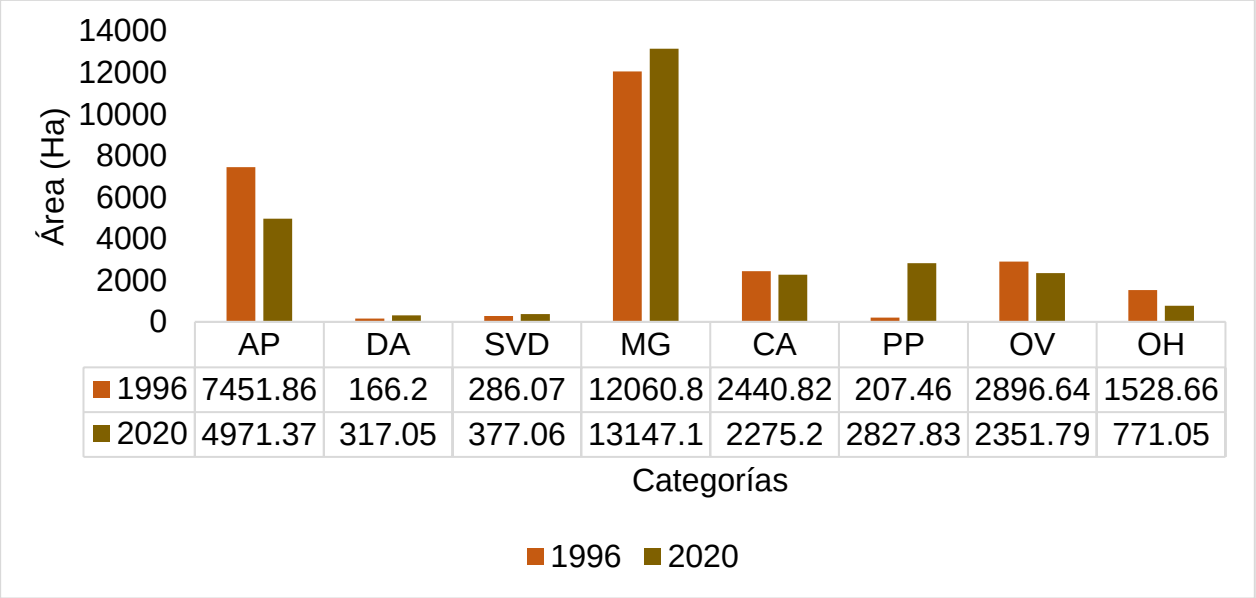
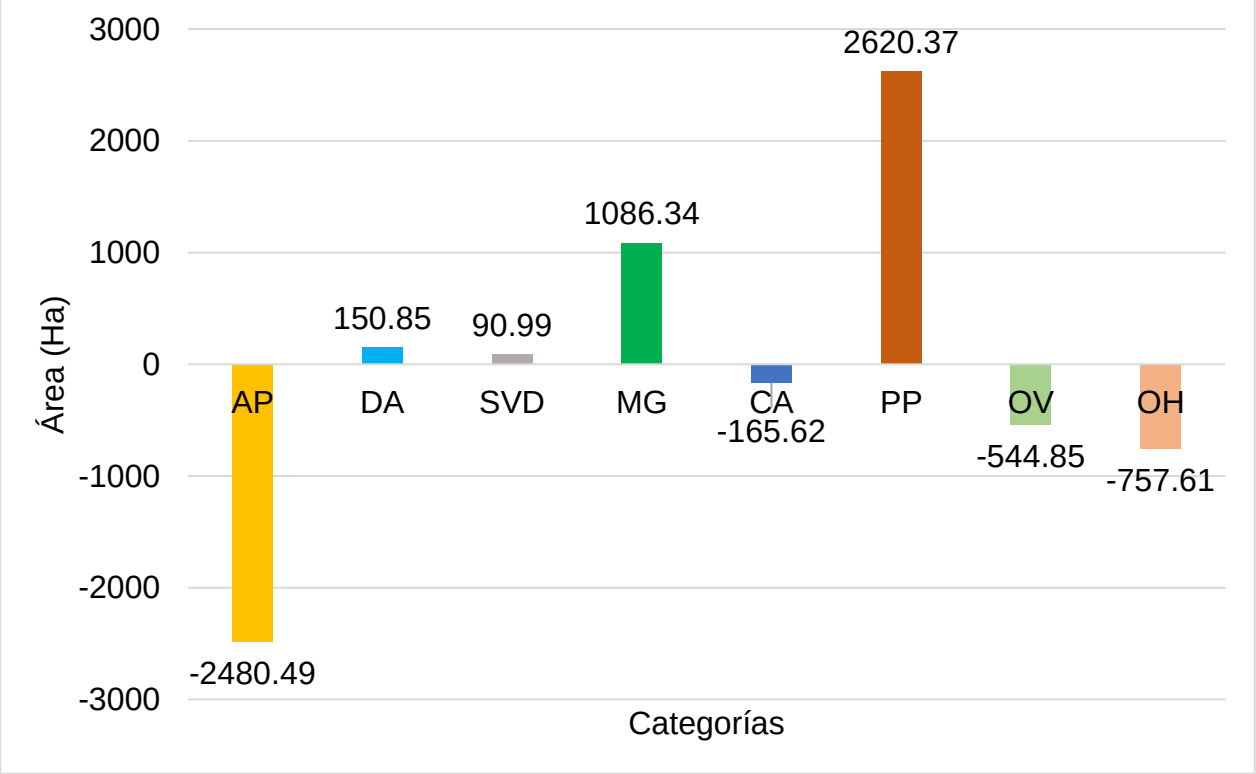
Anexo A. Características principales de las imágenes Sentinel.

Características de imágenes Sentinel utilizadas en el área de estudio.		
Insumo	Sentinel	Ortofotos
Plataforma	ESA	INEGI
Sensor	2A y 2B	Fotografía aérea
Resolución espacial	10 m	2 m
Resolución espectral	4 bandas (RGB e IR)	Pancromática
Fecha	13/01/2020 18/01/2020 01/07/2020	1996
Identificador de descarga	S2A_MSIL2A_20200113T163631_N0213_R083_T15PWS_20200113T203838 S2B_MSIL2A_20200118T163619_N0213_R083_T15PWS_20200118T205438 S2A_MSIL2A_20200701T162901_N0214_R083_T15PWS_20200701T224948	d15b31d d15b31e d15b41a d15b41b d15b41c d15b41e d15b41f
Sitio de descarga	https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home	https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes

Anexo B. Descripción de métricas de clase e índices de paisaje utilizados en el área de estudio.

Métrica	Formula	Descripción
Número de parche	$NP = N$	Expresa el número total de parches por tipo de clase o categoría de uso de suelo en el mapa y se expresa como la muestra del paisaje, que corresponde al área de estudio.
Tamaño medio de Parche	$MPS = \frac{A}{N}\left(\frac{1}{10\,000}\right)$	Expresa el tamaño medio de los parches por tipo de clase o categoría de uso de suelo. Donde: A es la superficie total del paisaje, N es el número total de parches, dividido por 10 000 para convertirlo en hectárea.
Desviación estándar del tamaño de parche	$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left[a_{ij} - \left(\frac{A}{N}\right)\right]^2}{N}}\left[\frac{1}{10\,000}\right]$	Expresa la variación del tamaño de los parches en torno del valor medio de cada clase o categoría de uso de suelo. Una mayor variabilidad indica menos uniformidad en el patrón de cada clase. Donde PSSD es igual a la raíz de la suma de las desviaciones típicas de las áreas de los parches respecto al tamaño medio del parche, dividido entre el número total de parches y dividido por 10 000 para convertirlo a hectárea.

Borde total	$TE = E$	Comprende el perímetro total para cada o categoría de uso de suelo. Para este caso, el valor del perímetro incluye el borde de los límites. Unidad en metros. Donde TE es la suma de todas las longitudes de todos los bordes de parches de una clase o categoría de uso de suelo.
Densidad de borde	$ED = \frac{E}{A}(10\,000)$	Expresa la relación entre el perímetro de cada clase por el área total del paisaje, es decir, la cantidad de borde en relación con el área del paisaje. Unidad en metros/hectárea. Donde ED es la suma de las longitudes de los bordes de parches presentes en una clase o categoría de uso de suelo entre los bordes de parches presentes en todo el paisaje, multiplicado por 10 000 para convertirlo a hectárea.
Índice de Diversidad de Shannon	$SHDI = \sum_{i=1}^{m}(P_i \ln P_i)$	Expresa el número de tipos diferentes de parches (la riqueza de los parches). Su valor es mayor o igual a cero, sin límite superior. Donde SHDI es igual a la suma para todos los tipos de parches, de la abundancia proporcional de cada tipo de parche multiplicado por el logaritmo natural de tal abundancia proporcional.

Índice de Uniformidad de Shannon	$SHEI = \frac{\sum_{i=1}^{m} (P_{1_} \ln P_1)}{\ln m}$	Expresa las diferencias entre áreas de los distintos tipos de parches. Su valor varía de 0 a 1, donde cero representa solo un único parche y 1 cuando la distribución de áreas entre los diferentes tipos de parches es perfectamente igual. Donde el SHEI es la suma, para todos los tipos de parches, de las abundancias proporcionales de cada tipo de parche, multiplicado por el logaritmo natural de tal proporción, todo esto dividido por el logaritmo del número de tipo de parches.
Dimensión Fractal del Parche Medio	$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{2In\, p_{ij}}{In\, a_{ij}} \right)}{N}$	Indica una separación respecto a la métrica euclídea (es decir, un incremento de las formas irregulares y más complejas de la forma del parche. El rango de resultado es mayor o igual a 1 y tiene límite superior igual a 2, se acerca a 1 cuando las formas de los parches son sencillas como los círculos o cuadrados y se aproxima a 2 cuando los perímetros tienen lóbulos o formas más complejas. Donde es la sumatoria del doble del logaritmo del perímetro de todos los parches dividido por el logaritmo del área de cada parche del paisaje, dividido entre el número de parche total.

Anexo C. Cambios netos de Uso de Suelo y Vegetación durante el periodo 1996-2020 en el sistema Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.