



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DINAMICA ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN Y HUMEDALES EN  
BALANCAN-TENOSIQUE, TABASCO**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA:

**JUAN ROBERTO GARRIDO ORTIZ**

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

**DR. MIGUEL ÁNGEL PALOMEQUE DE LA CRUZ**

EN CODIRECCIÓN DE:

**DRA. TANIA GUDELIA NÚÑEZ MAGAÑA**

## Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día 14 del mes de noviembre del año 2025, los que suscriben **Juan Roberto Garrido Ortiz** alumno del Programa de **Ingeniería Ambiental** con número de matrícula **192G24011** adscritos a la **División Académica de Ciencias Biológicas** de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autora de la Tesis presentada para la obtención del título de **Licenciatura en Ingeniería Ambiental** y titulada "**DINAMICA ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN Y HUMEDALES EN BALANCAN-TENOSIQUE, TABASCO**" dirigida por el **Dr. Miguel Ángel Palomeque de la cruz** y **Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña**.

### DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente

Villahermosa, Tabasco a 14 de noviembre 2025.

Juan Roberto Garrido Ortiz  
Nombre y Firma del Tesista





**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 13 de Octubre de 2025

**ASUNTO:** Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON  
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION  
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES  
PRESENTE**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. JUAN ROBERTO GARRIDO ORTIZ** egresado de la Lic. en **ING. AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: "**DINAMICA ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN Y HUMEDALES EN BALACAN-TENOSIQUE, TABASCO**".

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica  
C.c.p.- Interesado

**UJAT  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DIRECCIÓN**



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**



OCTUBRE 13 DE 2025

**C. JUAN ROBERTO GARRIDO ORTIZ  
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL  
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 111 al 113 del Cap. IV del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"DINAMICA ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN Y HUMEDALES EN BALANCANTENOSIQUE, TABASCO"**, asesorado por el Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz y Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el Dr. José Luis Martínez Domínguez, Mtro. Manuel Fidel Azueta Domínguez, Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz, Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña y Dr. José Ángel Gaspar Génico.

**A T E N T A M E N T E  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

UJAT  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**DIRECCIÓN**

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
Archivo.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**2025**  
AÑO DE LA  
**Mujer**  
Indígena

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

10 de octubre de 2025

**C. JUAN ROBERTO GARRIDO ORTIZ**  
Egresado de la Lic. en Ingeniería Ambiental

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se implementó la revisión del trabajo recepcional (Tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad y el Código Institucional de Ética para la Investigación.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la revisión en la plataforma iThenticate de su trabajo recepcional **DINAMICA ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN Y HUMEDALES EN BALANCAN-TENOSIQUE, TABASCO.**

Se incluyó citas, se excluyó bibliografía y se estableció el umbral de exclusión de coincidencias pequeñas a 16 palabras.

<b>RESULTADO DE SIMILITUD</b>	<b>2 %</b>
	<b>56 páginas y 12069 palabras</b>

Finalmente, se le solicita al **C. JUAN ROBERTO GARRIDO ORTIZ**, integrar en la versión final del trabajo recepcional, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA**  
DIRECTOR

**UJAT**  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**DIRECCIÓN**

C.c.p. Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz. Director de tesis  
C.c.p. Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña. Codirectora de tesis  
C.c.p. Archivo

# JUAN ROBERTO GARRIDO ORTIZ

## DINAMICA ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN Y HUMEDALES EN BALANCAN- TENOSIQUE, TABASCO

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:510944170

Fecha de entrega

10 oct 2025, 6:00 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

10 oct 2025, 1:28 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

Juan Roberto Garrido Ortiz\_TR tesis.pdf

Tamaño del archivo

2.7 MB

56 páginas

12.069 palabras

68.679 caracteres

## 2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 16 palabras)
- ▶ Abstract
- ▶ Trabajos entregados

### Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

### Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad




#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

### Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
www.scielo.org.mx		1%
2	Internet	
eb359d5a-3948-46fa-aecd-3ec7b6969757.usrfiles.com		<1%
3	Internet	
www.ub.edu		<1%
4	Internet	
cienciasagricolas.inifap.gob.mx		<1%

## Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 14 de noviembre 2025

Por medio de la presente manifiesto haber colaborado como AUTOR en la producción, creación y/o realización de la obra denominada "DINAMICA ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN Y HUMEDALES EN BALANCAN TENOSIQUE, TABASCO". Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la universidad.

### COLABORADORES

Juan Roberto Garrido Ortiz \_\_\_\_\_  
Dra. Tania Gudella Núñez Magaña \_\_\_\_\_  
Dr. José Luis Martínez Sánchez \_\_\_\_\_

### TESTIGOS

Manuel F. Domínguez  
M.C. Manuel Fidel Domínguez Azueta

Dr. José Ángel Gaspar Génico  
Dr. José Ángel Gaspar Génico

## INDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	12
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>3. OBJETIVO GENERAL</b> .....	16
<b>4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	16
<b>5. JUSTIFICACIÓN</b> .....	17
<b>6. ANTECEDENTES</b> .....	19
<b>7. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	22
<b>8. METODOLOGIA</b> .....	24
<b>8.1. Adquisición del conjunto de datos.</b> .....	25
<b>8.2. Preprocesamiento y procesamiento de las imágenes satelitales.</b> .....	25
<b>8.3. Verificación de usos de suelo y vegetación.</b> .....	26
<b>8.3.1. Plantación forestal de cedro australiano y caoba africana.</b> .....	27
<b>8.3.2. Cultivo de palma africana.</b> .....	29
<b>8.3.3. Vegetación hidrófita</b> .....	32
<b>8.3.4. Reserva de la Biosfera Wanhá’</b> .....	32
<b>8.3.5. Vegetación Secundaria (Acahual).</b> .....	34
<b>8.4. Modelación del cambio de uso del suelo 1984-2000-2024.</b> .....	36
<b>8.5. Cálculo de tasa de cambio de uso del suelo.</b> .....	39
<b>9. RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	40
<b>9.1. Análisis del cambio de uso del suelo 1984-2000-2024</b> .....	40
<b>9.1.1. Cuerpos de agua</b> .....	41
<b>9.1.2. Selva baja inundable</b> .....	48
<b>9.1.4. Vegetación secundaria</b> .....	50
<b>9.1.6. Pastizales</b> .....	53
<b>9.1.7. Área agrícola</b> .....	54
<b>9.1.8. Plantaciones forestales</b> .....	55
<b>9.1.9. Palma de aceite</b> .....	57

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

<b>9.2. Aportes relevantes de la modelación del cambio del suelo en la Zona Sur de la Subcuenca San Pedro. ....</b>	<b>58</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>63</b>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## 1. RESUMEN

Las cuencas hidrográficas del Sureste de México cumplen funciones clave en la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos. Sin embargo, en las últimas décadas han enfrentado una transformación acelerada derivada de la deforestación, la expansión agropecuaria, la urbanización y la introducción de monocultivos como la palma de aceite. La Subcuenca del Río San Pedro, en Tabasco, constituye un caso representativo. A partir del Plan Balancán–Tenosique, la conversión de selvas a pastizales y agricultura se intensificó, generando impactos significativos en la estructura del paisaje. Mediante un análisis multitemporal (1984, 2000 y 2024) con *Land Change Modeler* en TerrSet Libera GIS se cuantificaron y localizaron las transiciones más relevantes. Los resultados muestran que los cuerpos de agua se redujeron de 1,700 ha en 1984 a 821 ha en 2024, por procesos de colmatación y sucesión hacia vegetación hidrófita. La vegetación secundaria disminuyó del 46% en 1984 al 21% en 2024, principalmente por su conversión a pastizales y usos productivos. Este proceso constituye el mayor impacto ambiental de las últimas dos décadas y evidencia la pérdida de biodiversidad derivada del cambio de uso del suelo para actividades económicas en detrimento de los ecosistemas. Los pastizales, por su parte, se duplicaron y actualmente abarcan el 42% del territorio, consolidándose como la cobertura dominante. El área agrícola, tras un máximo en 2000, se redujo a 2,709 ha en 2024. Asimismo, emergieron nuevas coberturas como plantaciones forestales (4,156 ha) y palma de aceite (608 ha), que, aunque aumentan la superficie arbórea, conllevan riesgos de homogeneización y pérdida de conectividad ecológica. El estudio resalta la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible, restauración de ecosistemas y corredores biológicos, a fin de mitigar la degradación ambiental.

## 2. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son unidades ecológicas fundamentales que proveen múltiples servicios ecosistémicos, incluyendo el suministro de agua, la regulación del clima, la biodiversidad y la protección contra desastres naturales a nivel mundial (Mendoza *et al.*, 2010). Estos servicios son esenciales para la vida y el bienestar humano: el suministro de agua permite el acceso al recurso para consumo doméstico, agrícola e industrial (Millennium Ecosystem Assessment, 2005); la regulación climática se manifiesta en la estabilización de temperaturas locales y en la absorción de carbono atmosférico (Bonan, 2008); y la biodiversidad contribuye al equilibrio ecológico, la polinización de cultivos, el control de plagas y la resiliencia de los ecosistemas (Myers *et al.*, 2000).

Sin embargo, la deforestación promovida por la expansión agropecuaria, el crecimiento urbano y los servicios turísticos ha reducido drásticamente la cobertura vegetal, afectando la infiltración del agua y aumentando la erosión del suelo. Estos cambios han provocado la pérdida de servicios ecosistémicos esenciales, alterando el ciclo del agua y generando un aumento en la vulnerabilidad ante fenómenos meteorológicos extremos (Cotler & Ortega, 2006).

Entre las cuencas hidrográficas más importantes del país se encuentran las de los ríos Grijalva y Usumacinta, las cuales conforman el sistema de agua dulce más caudaloso de México y abastecen de recursos hídricos a una gran parte del sureste del país. Su manejo adecuado es crucial, ya que cualquier alteración en su equilibrio puede generar impactos negativos tanto ecológicos como socioeconómicos (CONAGUA, 2016). En la región sureste, las actividades agropecuarias, la infraestructura urbana y turística han desplazado ecosistemas originales como

***Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz***

los humedales ribereños con vegetación riparia, vegetación hidrófita, las selvas altas, medianas y bajas, reduciendo su capacidad de regulación hídrica (Pérez-Sánchez & Gómez-Mendoza, 2020).

El Río San Pedro, ubicado en la Cuenca Usumacinta en el estado de Tabasco, ha sido sometido a una creciente presión por el desarrollo económico, urbano y turístico en sus márgenes debido al aumento de asentamientos humanos (IMTA, 2017). A lo largo de los años, la conversión del uso de suelo ha llevado a la deforestación masiva, resultando en la pérdida total de la selva que originalmente cubría el área. Esto ha sido consecuencia de múltiples factores, incluyendo la expansión agrícola y la ganadería extensiva (CONANP, 2023b).

El Plan Balancán-Tenosique (década de 1970) impulsó la expansión agropecuaria en la Subcuenca del Río San Pedro, promoviendo la ganadería y cultivos comerciales mediante el desarrollo de tierras de riego (Vargas Téllez *et al.*, 1976). Este proceso intensificó la deforestación y la conversión del suelo, reduciendo la cobertura vegetal. La introducción de monocultivos como la palma de aceite y las plantaciones forestales aceleraron esta transformación, afectando la biodiversidad y la regulación térmica de la región.

Los proyectos de desarrollo actuales representan una oportunidad económica para las comunidades aledañas a la cuenca del Río San Pedro; sin embargo, al carecer de criterios de sustentabilidad, contribuyen significativamente a los cambios de uso de suelo y a la fragmentación del hábitat, afectando la regulación del agua y aumentando la vulnerabilidad ante fenómenos climáticos extremos. Además, la expansión urbana derivada del proyecto ha generado presión sobre los ecosistemas locales, alterando el equilibrio ecológico y comprometiendo la capacidad de restauración de los servicios ecosistémicos en la región (Gallardo-Cruz *et al.*, 2019).

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

La comparación de los datos climáticos de la estación climatológica “El Triunfo” en Balancán, Tabasco, muestra que entre los periodos 1973–1980 y 2016–2023 hubo un aumento de aproximadamente 2.3 °C en la temperatura máxima promedio anual, un indicador claro de alteración térmica acumulada (CONAGUA, 2025a).

Resulta fundamental analizar la dinámica espacial de las cuencas hidrológicas en el sureste de México, ya que ello permite identificar los principales impulsores de la deforestación vinculada al cambio de uso del suelo en ecosistemas tropicales. Este tipo de estudios aporta información estratégica para la planificación territorial, la conservación de los humedales y el diseño de estrategias orientadas al manejo sustentable de los recursos naturales.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo examinar la dinámica espacial de la vegetación y los humedales en la Zona Sur de la Subcuenca del Río San Pedro (Balancán y Tenosique, Tabasco), con el fin de evaluar los procesos de cambio de uso del suelo y generar insumos relevantes para la conservación y el manejo sustentable de los ecosistemas. Los resultados contribuirán a una mejor comprensión de los efectos de la deforestación y la transformación del territorio, brindando bases técnicas para la toma de decisiones en torno a la gestión ambiental y el ordenamiento ecológico.

### **3. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la dinámica espacial de la vegetación y humedales en la Zona Sur de la Subcuenca del Río San Pedro (Balancán y Tenosique, Tabasco), con el fin de evaluar los procesos de cambio de uso del suelo y generar insumos relevantes para la conservación y el manejo sustentable de los ecosistemas.

### **4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Analizar la dinámica espacial de la cobertura de la vegetación de humedales mediante el modelador de cambio de uso del suelo para la sustentabilidad (*Land Chage Modeler*).
2. Identificar las pérdidas, ganancias, cambios netos, y las principales transiciones entre las categorías de uso de suelo y vegetación.
3. Generar cartografía de la dinámica espacial que sirvan de apoyo para la planificación territorial y estrategias de conservación en la Zona Sur de la Subcuenca del Río San Pedro, Mártir.

## 5. JUSTIFICACIÓN

La conservación de los ecosistemas y el uso racional del territorio se han convertido en prioridades urgentes ante los desafíos ambientales que enfrenta el planeta. A escala global, el cambio de uso del suelo es una de las principales causas de pérdida de biodiversidad, alteración de los ciclos hidrológicos y aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2022). Frente a ello, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible promueve mediante los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la gestión integrada de los recursos naturales, especialmente en territorios clave como las cuencas hidrográficas (Tassara & Cecchini, 2016).

En México, el cambio acelerado en la cobertura del suelo —provocado por la expansión agropecuaria, la urbanización y los proyectos de infraestructura— ha generado importantes impactos ambientales, como la degradación del suelo, pérdida de selvas y fragmentación de ecosistemas. El país ha adoptado diversos mecanismos normativos y de planificación, como el Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET), para armonizar el desarrollo económico con la conservación ambiental. No obstante, la efectividad de estos instrumentos depende de contar con diagnósticos territoriales confiables y herramientas tecnológicas que permitan modelar escenarios futuros de ocupación del suelo (SEMARNAT, 2012).

En este contexto, los modelos geomáticos de análisis del cambio de uso del suelo, como el Land Change Modeler (LCM) integrado en el software TerrSet, han cobrado relevancia por su capacidad de analizar patrones pasados y proyectar escenarios de transformación futura con base en variables socioambientales, fisiográficas e infraestructurales. Estos modelos permiten identificar las zonas más vulnerables al cambio, evaluar la efectividad de las políticas de

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

conservación y facilitar la toma de decisiones para un ordenamiento territorial más justo y sustentable (Eastman, 2016).

El estado de Tabasco, y en particular la región de Los Ríos enfrenta una transformación acelerada de sus ecosistemas debido al avance de la ganadería, el cultivo de palma de aceite, las plantaciones forestales comerciales y la expansión urbana. Esta dinámica de cambio, si no es monitoreada y regulada, amenaza con colapsar servicios ecosistémicos fundamentales como la recarga de acuíferos, la regulación térmica y la protección ante inundaciones. Por ello, aplicar metodologías de modelación espacial para evaluar el cambio de uso del suelo resulta clave para anticipar impactos ambientales y diseñar políticas de desarrollo más sostenibles.

El presente estudio, centrado en la en la Zona Sur de la Subcuenca del Rio San Pedro (Balancán y Tenosique, Tabasco), se justifica en la necesidad de generar evidencia científica sobre las transformaciones del paisaje en una región estratégica para la biodiversidad, los recursos hídricos y el desarrollo social. A través del uso de imágenes satelitales de Landsat y el análisis con TerrSet, se busca identificar patrones de cambio, evaluar su impacto en la cobertura vegetal y proponer escenarios que contribuyan a un ordenamiento ecológico territorial más efectivo para la región.

## 6. ANTECEDENTES

Durante la década de los 70's, el gobierno mexicano implementó el Plan Balancán-Tenosique como una estrategia para fomentar la expansión agropecuaria en la región de los ríos. Según (Vargas Téllez *et al.*, 1976), este plan promovió la conversión masiva de áreas selváticas en terrenos ganaderos y de cultivo intensivo mediante el desarrollo de infraestructura hidráulica y de riego, lo que derivó en una profunda transformación del paisaje natural y en una pérdida significativa de biodiversidad.

En la Sierra Madrigal, ubicada también en Tabasco, (Salazar *et al.*, 2004) documentaron la pérdida de aproximadamente 2,042.7 hectáreas de vegetación natural, atribuida principalmente a actividades agrícolas y ganaderas. Este proceso de deforestación progresiva ha sido caracterizado como una de las principales causas de degradación ambiental en zonas de alta fragilidad ecológica.

Se estudió la dinámica del cambio de uso del suelo en el sureste mexicano, identificando como principales impulsores la expansión de la frontera agrícola, la ganadería extensiva y la carencia de políticas de manejo territorial sustentable (Mas *et al.*, 2004). Este trabajo subraya la importancia de emplear tecnologías geomáticas para el monitoreo espacial, lo cual permite comprender mejor estos procesos y apoyar la toma de decisiones.

En los Pantanos de Centla, Tabasco (Guerra y Ochoa, 2006) reportaron una notable reducción de selvas como consecuencia directa de la extracción maderera. Además, identificaron un aumento de pastizales inducidos, lo cual sugiere una intensificación del uso agropecuario que ha fragmentado estos ecosistemas humedales, considerados prioritarios para la conservación a nivel nacional e internacional.

***Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz***

En el municipio de Cárdenas, Tabasco (Pinkus-Rendón y Contreras-Sánchez, 2012) evaluaron los efectos de las actividades petroleras sobre la cobertura vegetal, concluyendo que estas prácticas han contribuido a la deforestación, alteración del suelo y contaminación del agua. Su estudio reveló cómo la explotación energética no solo representa una amenaza ecológica, sino que también interfiere con los servicios ecosistémicos que brindan las áreas naturales remanentes.

En Villahermosa, Tabasco (Palomeque *et al.*, 2017) evidenciaron la pérdida de 4,008 hectáreas de vegetación arbórea y 289 hectáreas de humedales entre 1984 y 2008, atribuida principalmente a la expansión urbana. Este fenómeno ha reducido la conectividad ecológica y ha incrementado los riesgos asociados a inundaciones, debido a la impermeabilización del suelo y la alteración del drenaje natural.

Mediante simulaciones espaciales, proyectaron escenarios futuros de cambio de uso del suelo en zonas tropicales del sureste mexicano (Mendoza-Ponce *et al.*, 2018). Sus resultados advierten que, sin una gestión territorial adecuada, se espera una pérdida acelerada de vegetación natural, lo que afectaría la resiliencia ecosistémica y la provisión de servicios ambientales clave.

En un estudio sobre la Cuenca del Usumacinta, (Gallardo-Cruz *et al.*, 2019) identificaron procesos de fragmentación del hábitat y una transformación acelerada del uso del suelo, vinculados con la expansión agrícola, ganadera y urbana. Los autores destacan que estos cambios están afectando de manera crítica la funcionalidad ecológica del paisaje y comprometiendo la viabilidad de conservación a largo plazo.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2023a) ha documentado que la Subcuenca del Río San Pedro, Mártir, ha sufrido la pérdida total de su selva original, como

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

resultado de la expansión agropecuaria y urbana en las últimas décadas. Esta transformación ha tenido implicaciones negativas sobre la regulación hídrica y la estabilidad del clima local.

Finalmente, datos recientes de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2025b) indican un aumento de 2.3 °C en la temperatura máxima promedio anual en el municipio de Balancán entre los periodos 1973–1980 y 2016–2023. Este cambio ha sido relacionado directamente con las alteraciones en la cobertura vegetal y la pérdida de áreas forestales, lo cual evidencia la influencia del uso del suelo en la dinámica climática local.

## 7. ÁREA DE ESTUDIO

La Zona Sur de la Subcuenca del Río San Pedro, Mártir, se localiza en la Región de los Ríos en Tabasco (Municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco), y constituye un área estratégica dentro de la Cuenca del Usumacinta, la cual concentra el mayor volumen de agua superficial en México debido a su alta pluviosidad. Esta región alberga vastas extensiones de selva tropical y manglares, ecosistemas esenciales para la conservación de la biodiversidad. Asimismo, contiene importantes sitios arqueológicos prehispánicos, que, en conjunto con el desarrollo del Tren Maya, representan una oportunidad para fortalecer el ecoturismo y el crecimiento socioeconómico local.

El Río San Pedro tiene su origen en Guatemala, atraviesa el estado de Tabasco y desemboca en el Usumacinta, integrando los acuíferos *Los Ríos* y *Boca del Cerro*. Posee un escurrimiento promedio anual de 1,724.44 millones de m<sup>3</sup>, lo que lo convierte en una fuente hídrica clave en la región. Su cuenca se encuentra entre los paralelos 17°15'–18°10' de latitud norte y los meridianos 91°00'–91°42' de longitud oeste, y limita con los estados de Campeche y Chiapas, así como con el país vecino de Guatemala, lo que reafirma su importancia dentro del sistema hidrológico regional. Sin embargo, la expansión de actividades agropecuarias, como la ganadería y la agricultura de temporal, ha generado una deforestación progresiva que ha deteriorado significativamente los ecosistemas naturales, reduciendo su productividad primaria y exacerbando los impactos del cambio climático.

Este trabajo de investigación se articula con los objetivos de conservación de la zona Wanhá, recientemente decretada como Área Natural Protegida (ANP). Esta región representa un esfuerzo estratégico por conservar un espacio de alto valor ecológico, caracterizado por sus selvas tropicales, humedales y manglares. El área resguarda hábitats críticos para especies emblemáticas

como el jaguar, el tapir centroamericano y diversas aves endémicas, muchas de ellas en riesgo por la pérdida acelerada de su entorno natural.

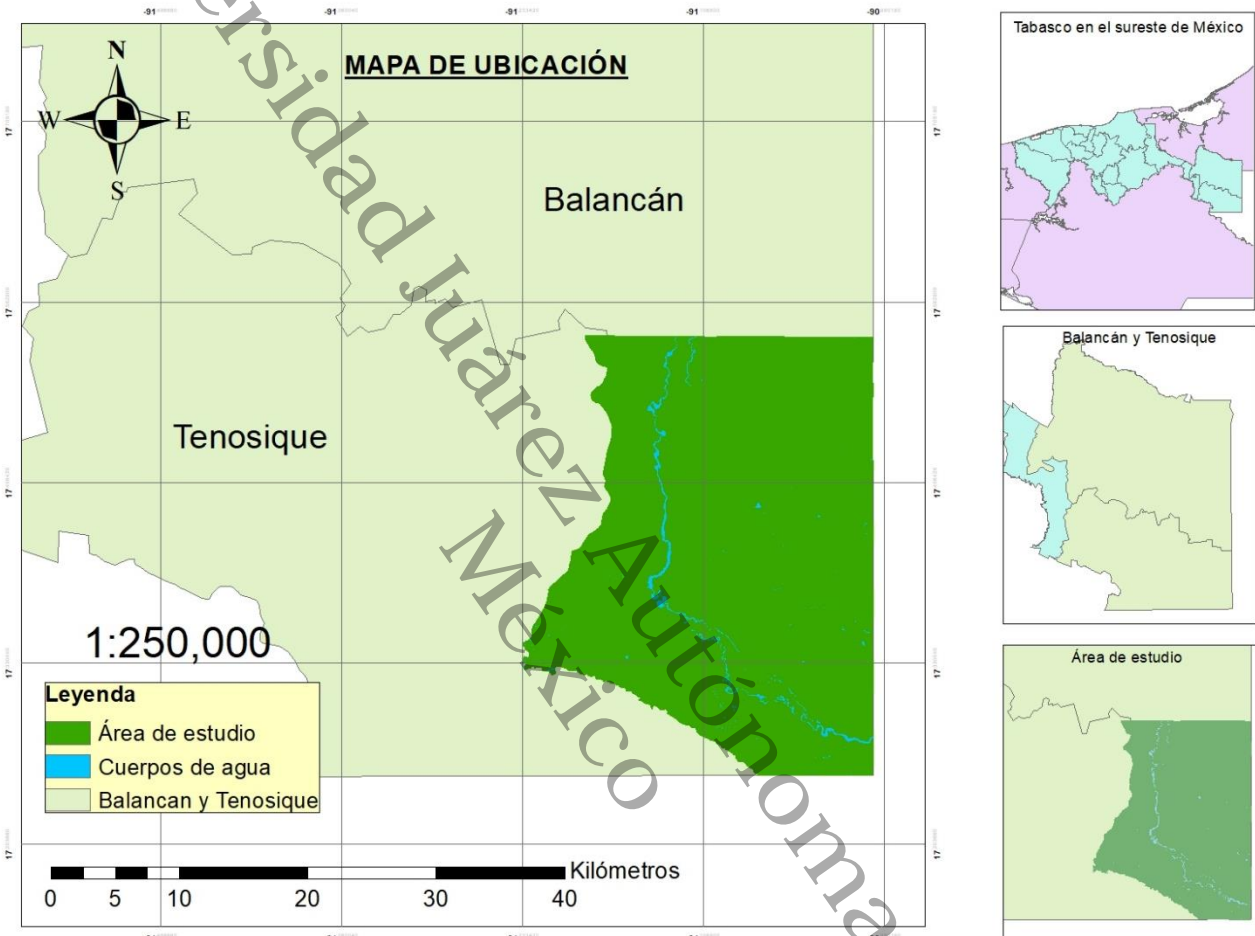
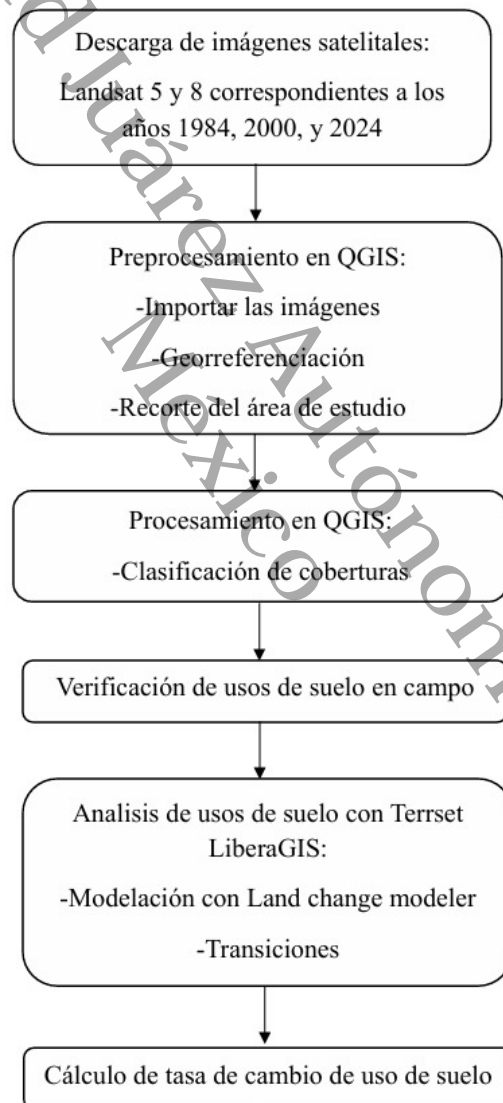


Figura 1. Localización del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

## 8. METODOLOGIA

A continuación, se describe la metodología desarrollada para cubrir los objetivos planteados en este trabajo, el cual integra técnicas de percepción remota y SIG. La figura 2, abarca desde la adquisición y preprocesamiento de imágenes hasta la modelación de escenarios de cambio.



*Figura 2. Diagrama general de la metodología. Fuente: Elaboración propia.*

### **8.1. Adquisición del conjunto de datos.**

En este trabajo se utilizaron tres imágenes satelitales multiespectrales de Landsat 5 y 8 correspondiente a los años 1984, 2000 y 2024 Recuperado de: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

### **8.2. Preprocesamiento y procesamiento de las imágenes satelitales.**

El preprocesamiento de las imágenes satelitales se llevó a cabo en el software QGIS Maidenhead 3.36. En primer lugar, se importaron las imágenes multitemporales y se generó el apilamiento de las bandas espectrales, seguido de la aplicación de correcciones atmosféricas y geométricas. Posteriormente, se realizó la georreferenciación con el sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) y datum WGS84. Finalmente, se efectuó el recorte del área de estudio correspondiente a la zona sur de la subcuenca del Río San Pedro Mártir que está compuesta por una porción Sur de Balancán, Tabasco y gran parte del territorio de Tenosique Tabasco.

Para el análisis, las imágenes de cada año de estudio se clasificaron de manera independiente mediante la técnica de clasificación supervisada. Se empleó el algoritmo de máxima verosimilitud (MLC) a través del complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) de QGIS Maidenhead 3.36, lo que permitió identificar y categorizar las diferentes coberturas y usos del suelo (Baidoo *et al.*, 2023).

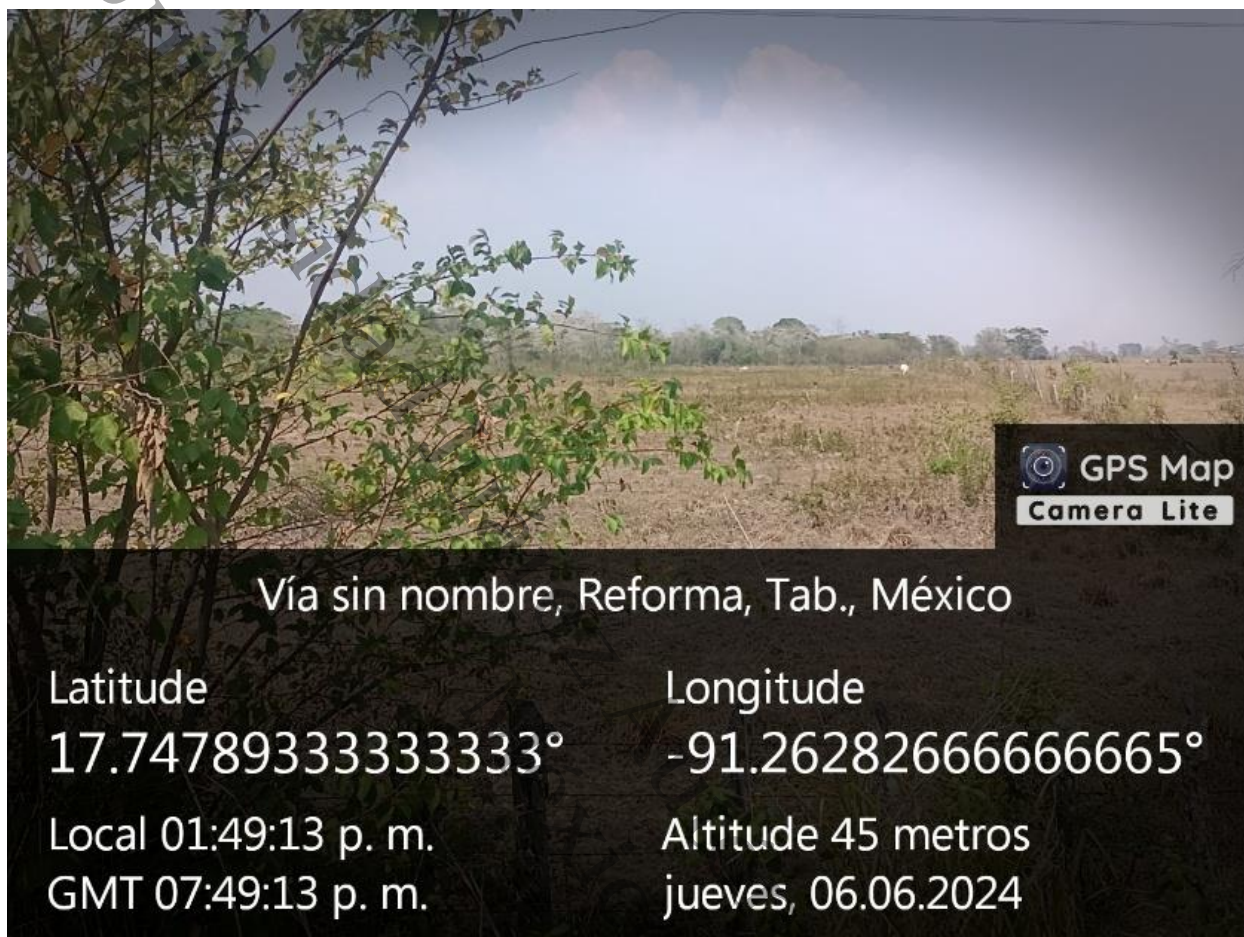
### **8.3. Verificación de usos de suelo y vegetación.**

#### **8.3.1. Pastizal con uso de ganadería extensiva de bovinos.**

La ganadería extensiva en la Región de Los Ríos se basa en la utilización de grandes extensiones de terreno para la cría de ganado bovino, orientada principalmente a la producción de carne y leche. Este sistema depende del aprovechamiento de pastizales naturales y mejorados, con un manejo tradicional y baja tecnificación. La producción lechera enfrenta limitaciones asociadas a prácticas poco especializadas, carencia de infraestructura y mínima suplementación alimenticia.

Los productores, en su mayoría de pequeña y mediana escala, emplean esquemas de alimentación basados en el pastoreo, y comercializan directamente su leche con queserías locales. En estas, se elaboran productos tradicionales como el queso de poro, fresco, botanero y de hebra. La producción presenta un marcado carácter estacional, influenciado por el régimen de lluvias, lo que incide tanto en la cantidad como en la calidad del producto.

La baja productividad por animal constituye un desafío recurrente, atribuible a factores como la deficiente genética del hato, la falta de capacitación técnica y la ausencia de infraestructura adecuada para el manejo higiénico y la conservación de la leche. Mejorar la competitividad del sector requiere inversiones en tecnologías de ordeño y refrigeración, así como el impulso de políticas públicas que favorezcan el acceso a mercados, financiamiento y asistencia técnica especializada.



*Figura 3. verificación en campo de pastizales utilizados para ganadería extensiva de bovinos.*

*Fuente: Elaboración propia.*

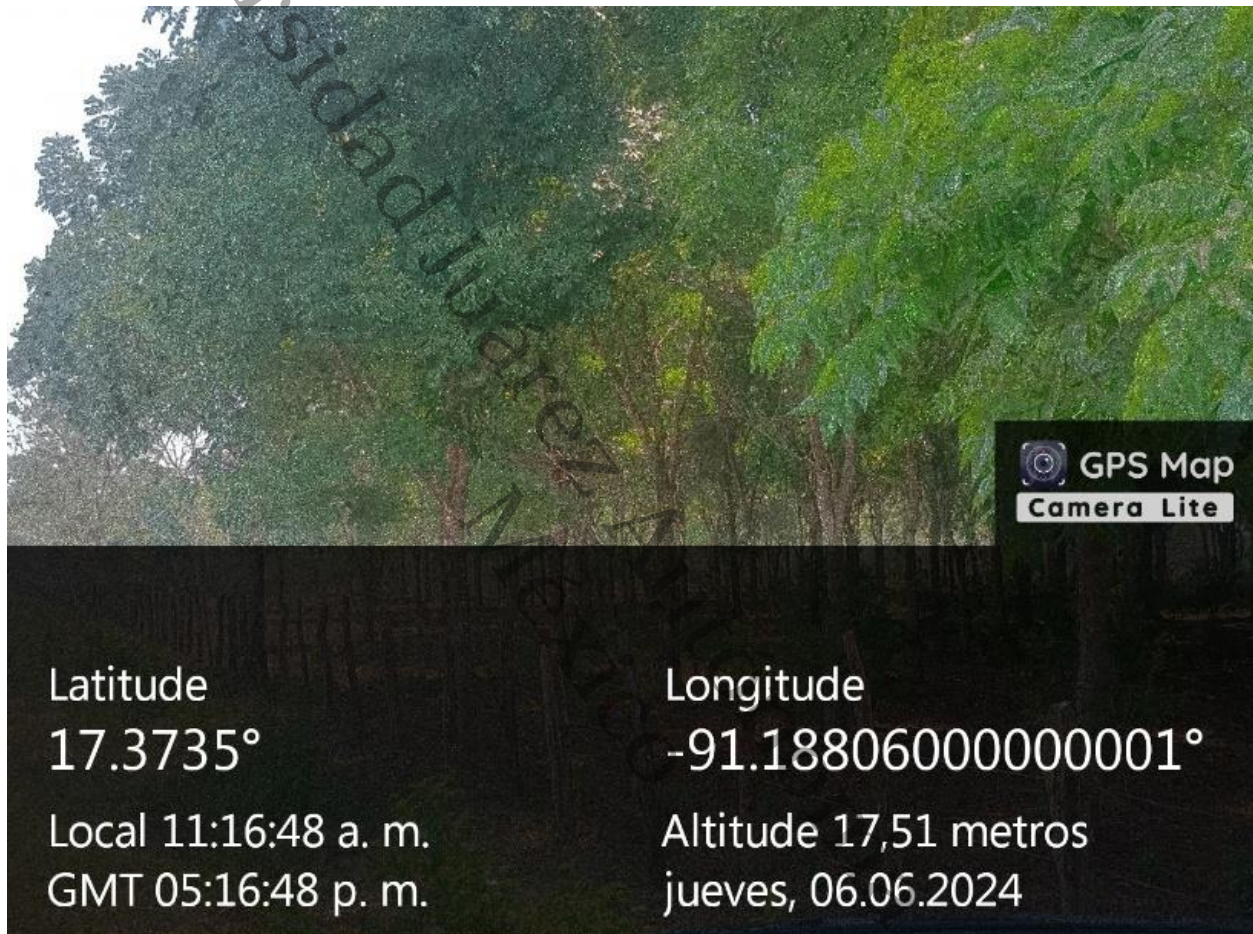
### **8.3.1. Plantación forestal de cedro australiano y caoba africana.**

En la región se han establecido plantaciones de especies exóticas como el cedro australiano (*Toona ciliata*) y la caoba africana (*Khaya ivorensis*), las cuales han emergido como alternativas productivas frente a las especies nativas, debido a su rápido crecimiento y su buena adaptabilidad a las condiciones del clima tropical húmedo. Estas especies permiten ciclos de producción más

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

cortos, lo que posibilita la obtención de madera comercializable en menor tiempo, resultando atractivas para inversionistas y productores que buscan retornos económicos más inmediatos.



*Figura 4. verificación en campo de plantación forestal de cedro australiano y caoba africana plantación forestal de cedro australiano y caoba africana. Fuente: Elaboración propia.*

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Una ventaja adicional es su mayor resistencia a plagas locales, como el barrenador que comúnmente afecta al cedro y a la caoba nativos. Sin embargo, la introducción de estas especies también implica riesgos ecológicos, entre ellos la posible alteración de la dinámica de los ecosistemas nativos y la competencia con especies locales.

Otras especies manejadas en el área, como *Tectona grandis* (teca) y *Gmelina arborea*, han cobrado relevancia como opciones sostenibles que favorecen tanto el desarrollo económico regional como la conservación ambiental. Estas plantaciones no solo generan empleo a nivel local, sino que también contribuyen a la diversificación de las actividades productivas y a la captura de carbono, alineándose con iniciativas de mitigación del cambio climático.

**8.3.2. Cultivo de palma africana.**

El cultivo agroindustrial de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) ha experimentado un notable crecimiento en la región de Los Ríos durante las últimas décadas, impulsado por la creciente demanda de aceite vegetal tanto a nivel nacional como internacional. Las condiciones agroclimáticas favorables —como la alta pluviosidad y la fertilidad de los suelos— han facilitado la expansión de esta oleaginosa, atrayendo inversiones de pequeños productores y grandes empresas por igual.

Este auge ha contribuido a la generación de empleo y al dinamismo de la economía local, especialmente en comunidades rurales donde representa una fuente importante de ingresos. No obstante, la expansión del monocultivo de palma ha generado diversas preocupaciones

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

ambientales, entre ellas la deforestación de selvas nativas, la pérdida de biodiversidad y la degradación de suelos, particularmente cuando no se aplican prácticas de manejo sostenible.



*Figura 5. verificación en campo del Cultivo de palma africana. Fuente: Elaboración propia.*

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Desde una perspectiva ecológica, el establecimiento de monocultivos extensivos reduce la resiliencia de los ecosistemas locales ante perturbaciones climáticas o biológicas. A nivel económico, otro reto significativo radica en la volatilidad de los precios internacionales del aceite de palma, lo cual puede afectar la rentabilidad y estabilidad financiera de los productores, especialmente los de pequeña escala.



*Figura 6. verificación en campo de Vegetación hidrófita. Fuente: Elaboración propia.*

### **8.3.3. Vegetación hidrófita**

La vegetación hidrófita en la Región de Los Ríos, Tabasco, está compuesta por especies adaptadas a ambientes acuáticos y suelos permanentemente saturados, propios de esta zona húmeda con alta densidad de cuerpos de agua. Entre las especies predominantes se encuentran los espadañales (*Typha latifolia*) y el pasto alemán (*Echinochloa polystachya*), los cuales colonizan amplias extensiones de pantanos, márgenes de ríos y canales de drenaje.

Estas comunidades vegetales desempeñan funciones ecológicas esenciales: estabilizan los suelos ribereños, actúan como filtros naturales de contaminantes, y brindan refugio y alimento a numerosas especies de fauna acuática y avifauna. Sin embargo, su integridad ecológica se ve amenazada por la expansión de la frontera agrícola, la contaminación del agua y la modificación de los flujos hidrológicos, por lo que se requiere una gestión ambiental integral que garantice su conservación y funcionalidad ecosistémica.

### **8.3.4. Reserva de la Biosfera Wanhá’**

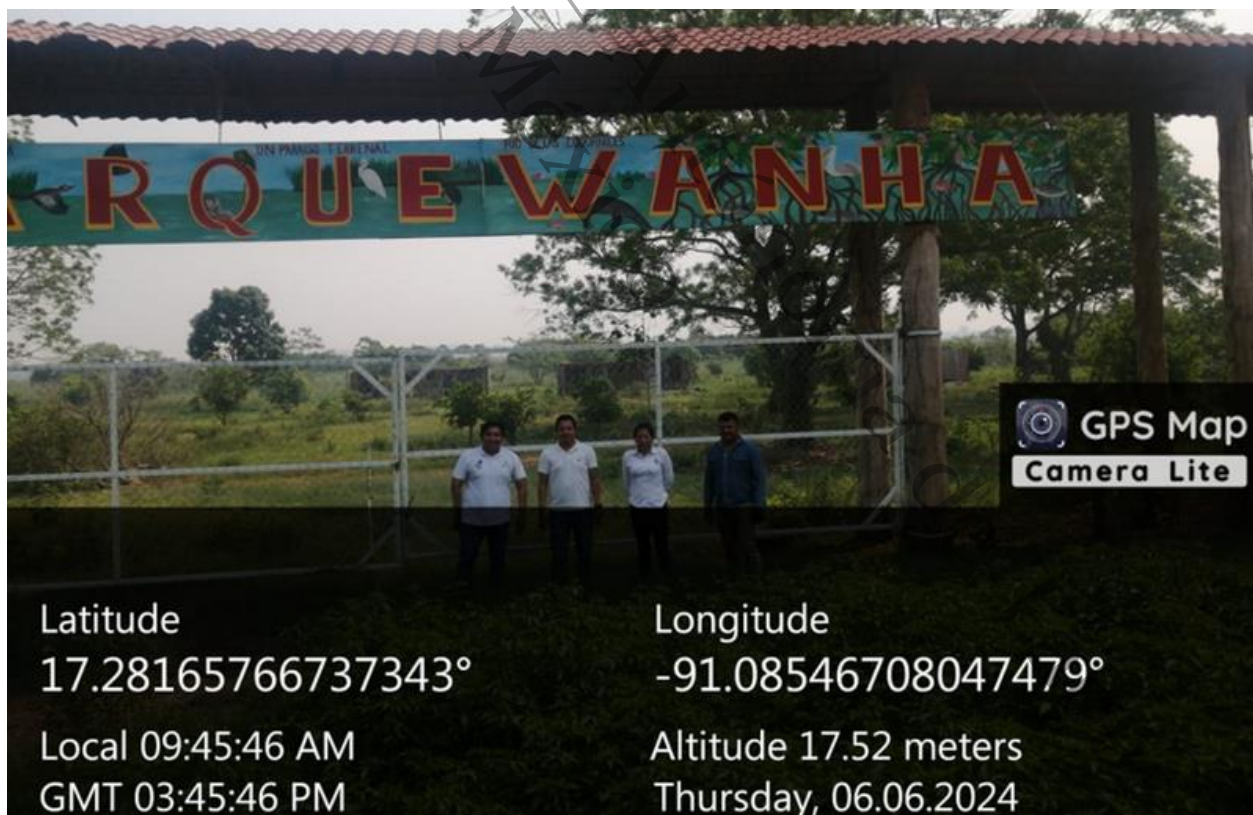
La Reserva de la Biosfera Wanhá’, localizada en la Región de Los Ríos, Tabasco, constituye una de las áreas naturales protegidas de mayor relevancia ecológica en el estado. Esta reserva representa un mosaico de ecosistemas tropicales, incluyendo selva alta perennifolia, selva mediana, humedales, pantanos y cuerpos de agua, que albergan una notable diversidad biológica.

Entre las especies de fauna más emblemáticas que habitan en la zona destacan el jaguar (*Panthera onca*), el manatí del Caribe (*Trichechus manatus*) y una amplia variedad de aves acuáticas y migratorias, lo que la convierte en un sitio clave para la conservación de especies en

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

riesgo. La flora también es altamente diversa e incluye especies de importancia ecológica, cultural y económica.

Además de su función ecológica como refugio de biodiversidad y regulador de procesos ecosistémicos, la reserva cumple un papel fundamental en el sustento de las comunidades locales, quienes desarrollan actividades como la pesca artesanal, la agricultura tradicional y el ecoturismo de bajo impacto. No obstante, la reserva enfrenta presiones crecientes derivadas de la deforestación, la contaminación hídrica, el cambio de uso del suelo y la expansión de la frontera agropecuaria.



*Figura 7. verificación en campo de reserva de la Biosfera Wanza'. Fuente: Elaboración propia.*

Para garantizar su conservación a largo plazo, es imprescindible fortalecer un modelo de gestión participativa que promueva el uso sustentable de los recursos, la educación ambiental, y el involucramiento activo de las comunidades locales en la toma de decisiones y en la vigilancia del territorio.

### **8.3.5. Vegetación Secundaria (Acahual).**

En la Región de Los Ríos, Tabasco, los acahuales representan formaciones de vegetación secundaria que se desarrollan tras la perturbación de las selvas primarias, principalmente debido a actividades humanas como la agricultura de roza-tumba-quema y la ganadería extensiva. Estas comunidades vegetales están compuestas por una combinación de herbáceas, arbustos y árboles jóvenes que colonizan de forma natural los suelos alterados.

Entre las especies pioneras más comunes se encuentran *Guazuma ulmifolia* (guásimo), *Cecropia peltata* (guarumo) y *Vernonia patens* (hierba del chivo), que destacan por su capacidad de adaptación y rápida regeneración. Asimismo, especies como *Bursera simaruba* (palo mulato) y *Hamelia patens* (coralillo) aportan diversidad estructural y funcional al ecosistema. Estas plantas no solo contribuyen a la recuperación de la fertilidad del suelo, sino que también proporcionan hábitat, refugio y alimento a diversas especies de fauna silvestre.

A pesar de su relevancia ecológica, el proceso de sucesión natural de los acahuales se ve limitado por el uso intensivo y frecuente del suelo, lo que impide su transición hacia etapas más maduras de vegetación. La conservación y manejo adecuado de estos espacios es fundamental, ya

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

que actúan como corredores biológicos, amortiguan el impacto de actividades humanas sobre ecosistemas más frágiles y fortalecen la resiliencia ecológica del paisaje regional.



*Figura 8. verificación en campo de vegetación Secundaria (Acahual). Fuente: Elaboración*

*propia.*

#### **8.4. Modelación del cambio de uso del suelo 1984-2000-2024.**

Para realizar el análisis espacio temporal durante el periodo 1984-2000, y 2000-2024, se ejecutará el cruce de las imágenes raster usando el módulo Land Change Modeler (LCM) *for Ecological Sustainability* integrada en TerrSet Libera GIS® (Clark Labs, 2015). Utilizando el comando CrossTab para validar la matriz de probabilidad (Eastman, 2012).

La sobreposición de las imágenes, generarán dos matrices de probabilidad de cambio con estadísticos para demostrar que los cruces de los periodos de tiempo son confiables para el análisis de cambio de uso del suelo del territorio (Eastman, 2012).

Los resultados generales incluirán el resumen de las matrices que muestra la superficie de cada categoría, en la comparación con otras en términos de ganancias, pérdidas, cambios netos y transiciones.

Estudios de Pontius *et al.*, (2004) (Tabla 1) señalan que en dichas matrices las filas representan las categorías del mapa en el tiempo 1 ( $T_1$ ) y las columnas las categorías del mapa en el tiempo 2 ( $T_2$ ).

Asimismo, la diagonal principal muestra las persistencias entre el  $T_1$  y  $T_2$ , mientras que los elementos fuera de la diagonal principal dan cuenta de las transiciones ocurridas entre el  $T_1$  y  $T_2$  para cada categoría.

En la fila 6 se recoge el total ocupado por cada categoría en el  $T_2$  ( $P_{+j}$ ), mientras que en la columna 6 se recoge el total de cada categoría en el tiempo  $T_1$  ( $P_{i+}$ ). La fila 7 mostraría la ganancia que tuvo cada categoría entre el  $T_1$  y  $T_2$  y la columna 7 la pérdida que tuvo cada categoría entre el  $T_1$  y  $T_2$ .

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Una vez obtenida la matriz de tabulación cruzada, es posible calcular una serie de parámetros de gran importancia en el análisis de los cambios de ocupación del suelo:

Las ganancias, expresadas como la diferencia de la suma total de la fila  $i$  y los valores de la diagonal principal, es decir  $G_{ij} = P_{+j} - P_{jj}$ ;

Las pérdidas, expresadas como la diferencia de la suma total de la columna  $j$  y los valores de la diagonal principal, es decir  $L_{ij} = P_{j+} - P_{jj}$ .

El cambio neto, expresado como el valor absoluto de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría  $D_j = |L_{ij} - G_{ij}|$ ;

Las transiciones, expresado como el doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas, es decir  $S_j = 2 \times \text{MIN} (P_{j+} - P_{jj}, P_{j+} - P_{jj})$ .

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Tabla 1. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferentes fechas (Pontius et al., 2004).

		Tiempo 2					
Tiempo 1	1	2	3	4	5	6	
1	Clase 1	Clase 2	.....	Clase n	Total T1		
2	Clase 1	P11	P12	.....	P 1n	P 1+	
3	Clase 2	P21	P22	.....	P2n	P 2+	
4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
5	Clase n	P n1	Pn2	.....	Pnn	Pn+	
6	Total T2	P+1	P+2	.....	P+n	P	

### **8.5. Cálculo de tasa de cambio de uso del suelo.**

Otro indicador que identifica el tipo y magnitud de la presión sobre los recursos naturales es la tasa de cambio de uso del suelo, lo cual indica de manera porcentual el cambio anual de la superficie de una categoría de uso al inicio de cada año de análisis (Velásquez *et al.*, 2002; Palacio *et al.*, 2004). Para su cálculo, se utilizaron las áreas de cada categoría de cobertura y uso de los periodos y regiones de estudio definidas anteriormente mediante la fórmula:

$$T = [(S2/S1)^{1/n} - 1] \cdot 100$$

Dónde:

$S1$ , es el área cubierta por determinado uso del suelo al inicio del período

$S2$ , es el área cubierta por determinado uso del suelo al final del periodo

$n$ , es el número de años del periodo de análisis

$T$ , es la tasa de cambio de uso de suelo

## **9. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **9.1. Análisis del cambio de uso del suelo 1984-2000-2024**

En esta sección se presentan los resultados del análisis multitemporal del cambio de uso de suelo y vegetación en la Subcuenca del Río San Pedro (Municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco), correspondientes a los años 1984, 2000 y 2024 con el módulo Land Change Modeler for ecological sustainability integrado en TerrSet Libera GIS® (Clark Labs, 2015). Se describen las variaciones de ocupación en términos de ganancia, y pérdidas cada categoría, así como las transiciones más relevantes ocurridas entre ellas. Asimismo, se presentan las tasas de cambio y se discuten los procesos ecológicos y antropicos que explican dichas transformaciones, con especial énfasis en la dinámica de los humedales, selvas y áreas destinadas a actividades agropecuarias.

El propósito de esta sección es ofrecer una interpretación integral de los patrones observados, situándolos en el contexto regional y en relación con investigaciones previas, para aportar elementos que faciliten la comprensión de las tendencias actuales y sus posibles implicaciones en la gestión del territorio.

### **9.1.1. Cuerpos de agua**

En 1984 los cuerpos de agua ocupaban el 2% de territorio (1,700 ha) (Tabla 2). Allí se encuentra la Zona Núcleo de la Reserva de Biosfera de Wanha' asociada al Río San Pedro Mártir, también hay humedales lacustres en la parte norte de Tenosique (Burelo-Ramos *et al.*, 2024).

En el 2000, aumentó a 2295 ha, lo que representó el 3% del territorio con una tasa de cambio positiva (Tabla 2). Las transiciones de 1984-2000 señalan que 775 ha de vegetación hidrofita se transformaron a cuerpos de agua; por otra parte, otra transición sobresaliente fue el cambio de 274 ha de área agrícola a cuerpos de agua. Estas dos transiciones señalan que, estas son áreas sujetas a inundación y poco aptas para el desarrollo de actividades productivas (Calix de Dios, 2014);

En el 2024 se presentaron pérdidas netas de 1,591 ha (1% de ocupación) con una tasa de cambio negativa de 4% (Tabla 2). Las transiciones del periodo 2000-2024 destacan que la pérdida de cuerpos de agua se debe principalmente al crecimiento de 1,415 ha de vegetación hidrofita sobre los cuerpos de agua (Figura 13). La acumulación de sedimentos y materia orgánica reduce la profundidad del agua, favoreciendo la colonización de plantas acuáticas, hasta que el humedal queda completamente ocupado por vegetación (Yu *et al.*, 2019).

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

*Tabla 2. Resumen general del cambio de uso de suelo (2000-2024). Fuente: Elaboración propia.*

Categoría	1984	%	2000	%	2024	%	Cambio neto		
							84-00	00-24	84-24
CA	1700	2%	2295	3%	821	1	594	-1473	-879
SBI	5008	7%	6074	9%	6231	9	1066	157	1223
VH	7284	11%	6852	10%	8588	13	-432	1737	1304
VS	31513	46%	24513	36%	14202	21	-6999	-10311	-17311
AH	171	0%	239	0%	2268	3	68	2029	2097
PZ	15860	23%	14244	21%	28476	42	-1616	14232	12616
AA	6525	10%	13838	20%	2709	4	7314	-11129	-3816
PF	0	0%	6	0%	4156	6	6	4151	4156
PA	0	0%	0	0%	608	1	0	608	608
<b>Total</b>	<b>68061</b>	<b>100%</b>	<b>68061</b>	<b>100%</b>	<b>68061</b>	<b>100</b>			

	Ganancias(g) y pérdidas (p)				Tasa de cambio (Tc)		
	1984-2000		2000-2024		1984-2000	2000-2024	1984-2024
	g	P	g	p	Tc	Tc	Tc
CA	1147	-553	118	-1591	1.89	-4.19	-2.99
SBI	3837	-2771	4234	-4077	1.21	0.11	0.91
VH	2268	-2700	3821	-2084	-0.38	0.95	0.69
VS	6682	-13681	6707	-17018	-1.56	-2.25	-3.27
AH	234	-167	2088	-59	2.10	9.83	11.37
PZ	7372	-8988	19514	-5283	-0.67	2.93	2.47
AA	12095	-4781	2008	-13138	4.81	-6.57	-3.60
PF	6	0	4156	-6	NA	31.64	NA
PA	0	0	608	0	NA	NA	NA

CA: Cuerpos de agua | SBI: Selva baja inundable | VH: Vegetación hidrófita | VS: Vegetación secundaria | AH: Asentamientos humanos | PZ: Pastizales | AA: Área agrícola | PF: Plantaciones forestales | POA: Palma de aceite.

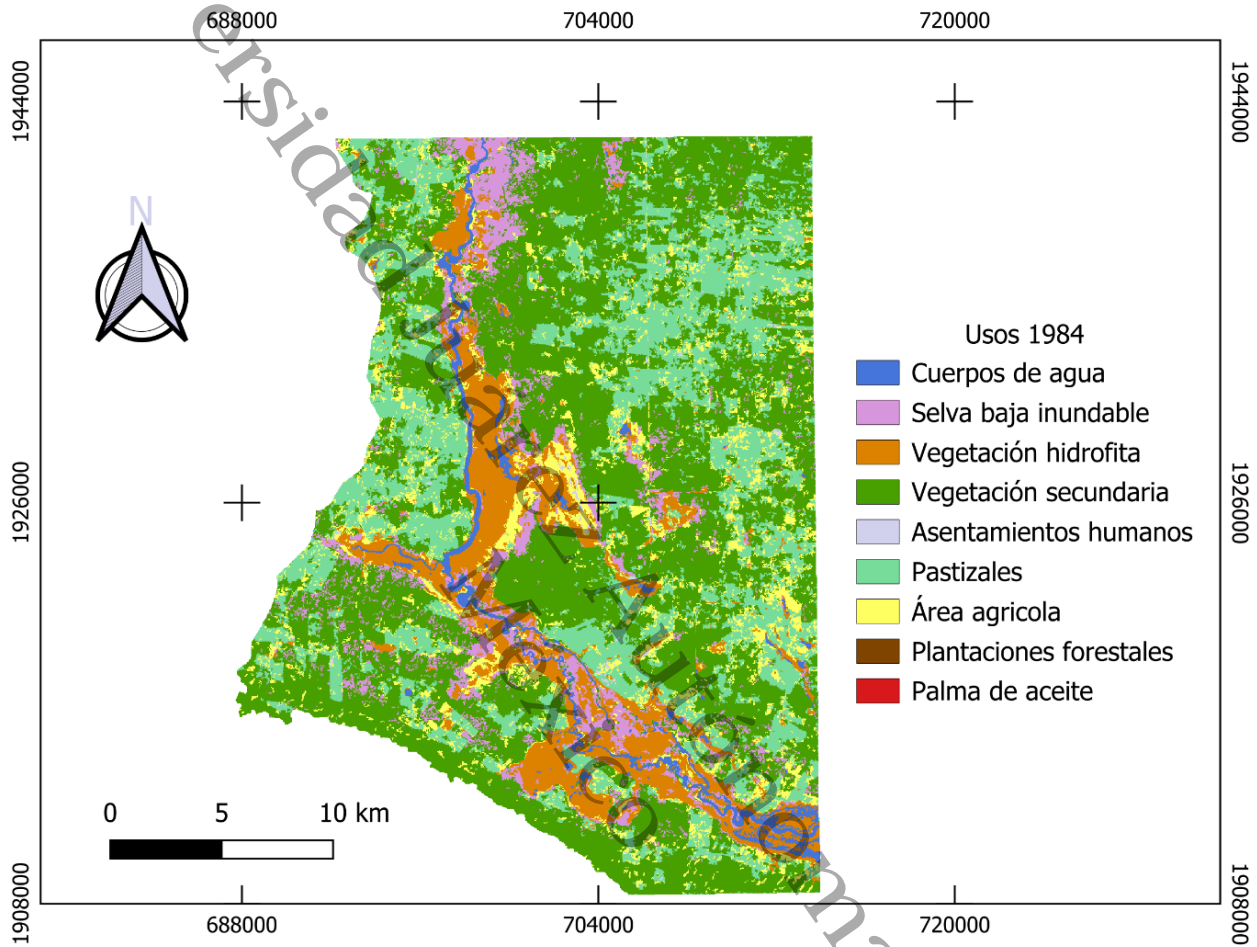


Figura 9. Mapa de usos de suelo (1984). Fuente: Elaboración propia.

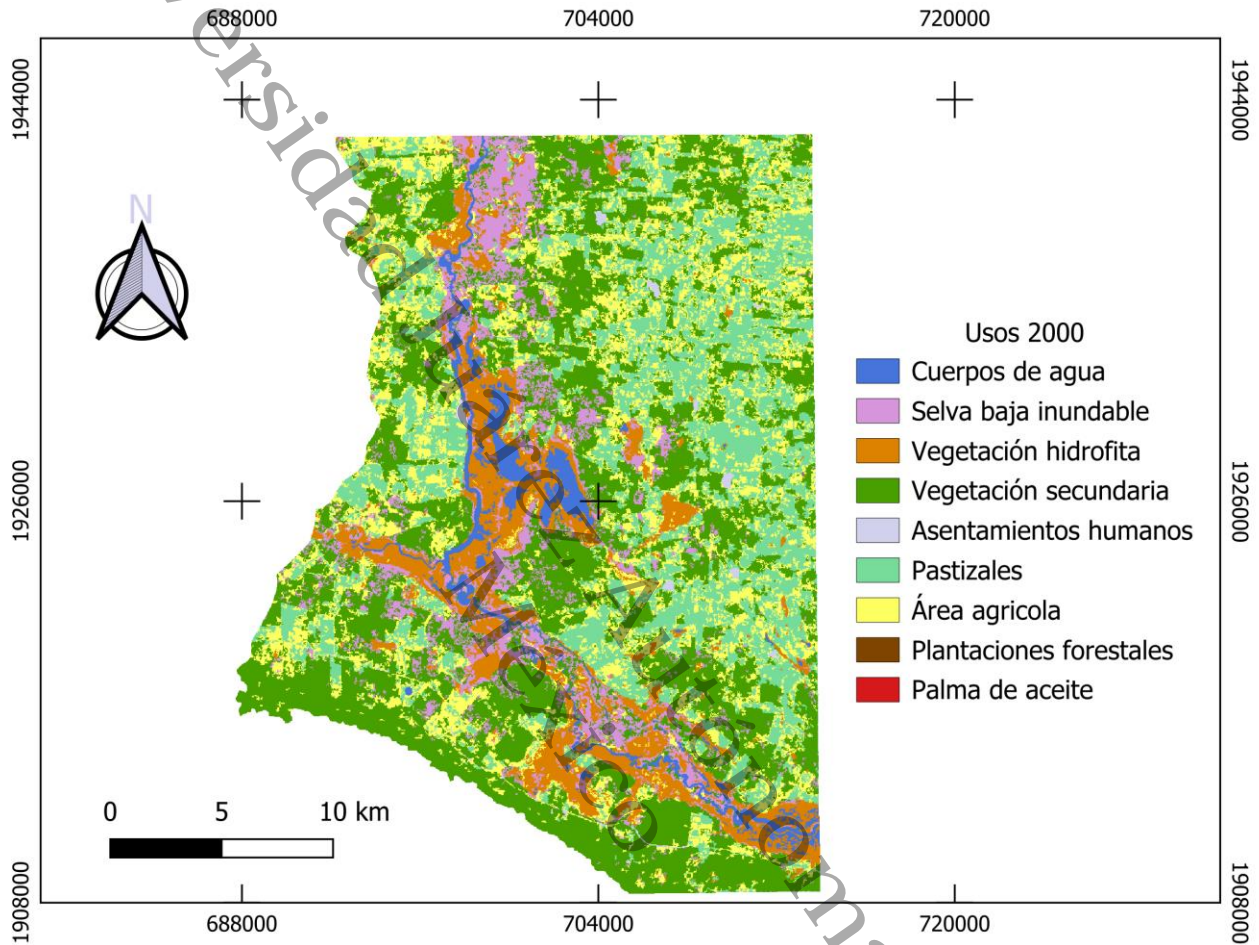


Figura 10. Mapa de usos de suelo (2000). Fuente: Elaboración propia.

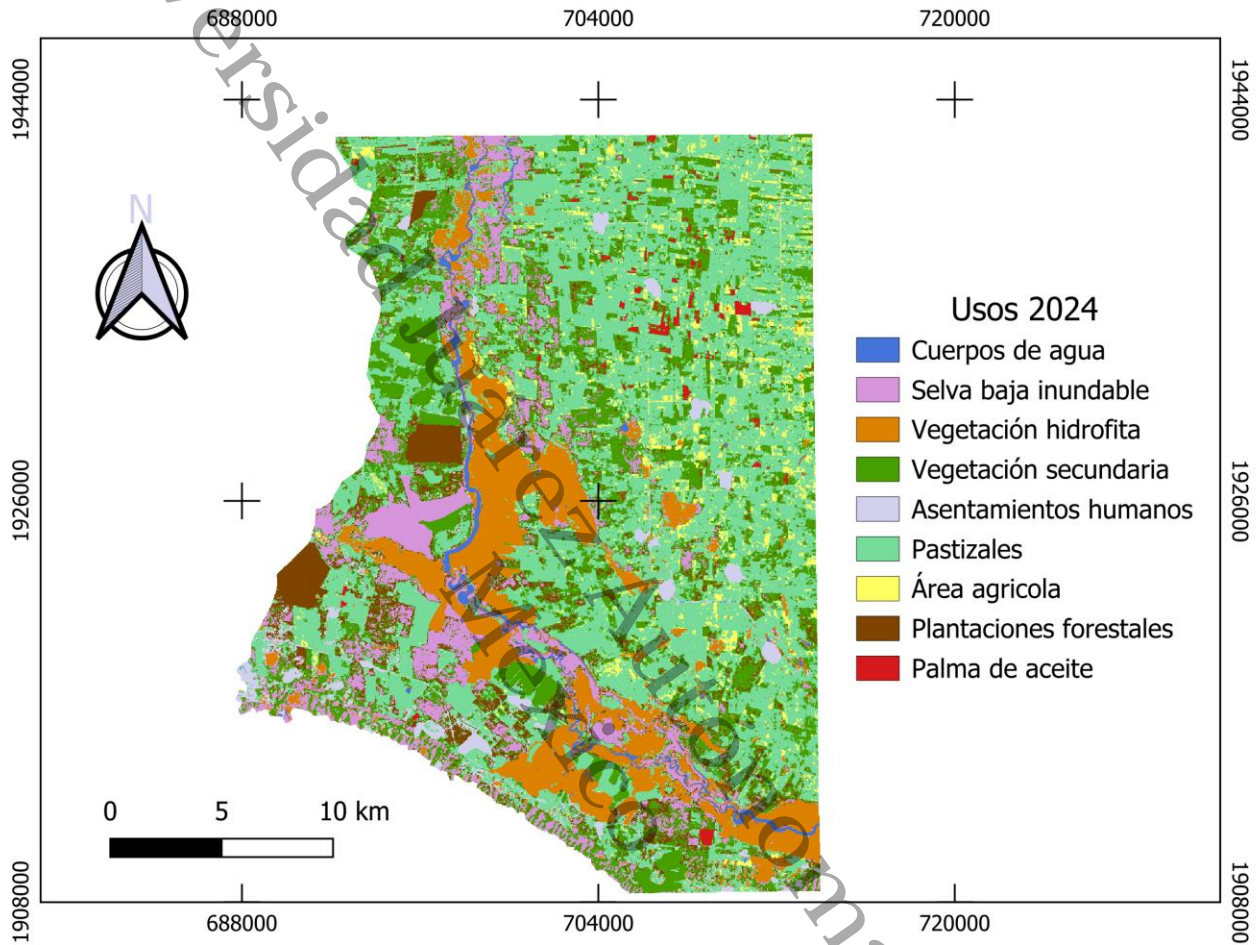


Figura 11. Mapa de usos de suelo (2024). Fuente: Elaboración propia.

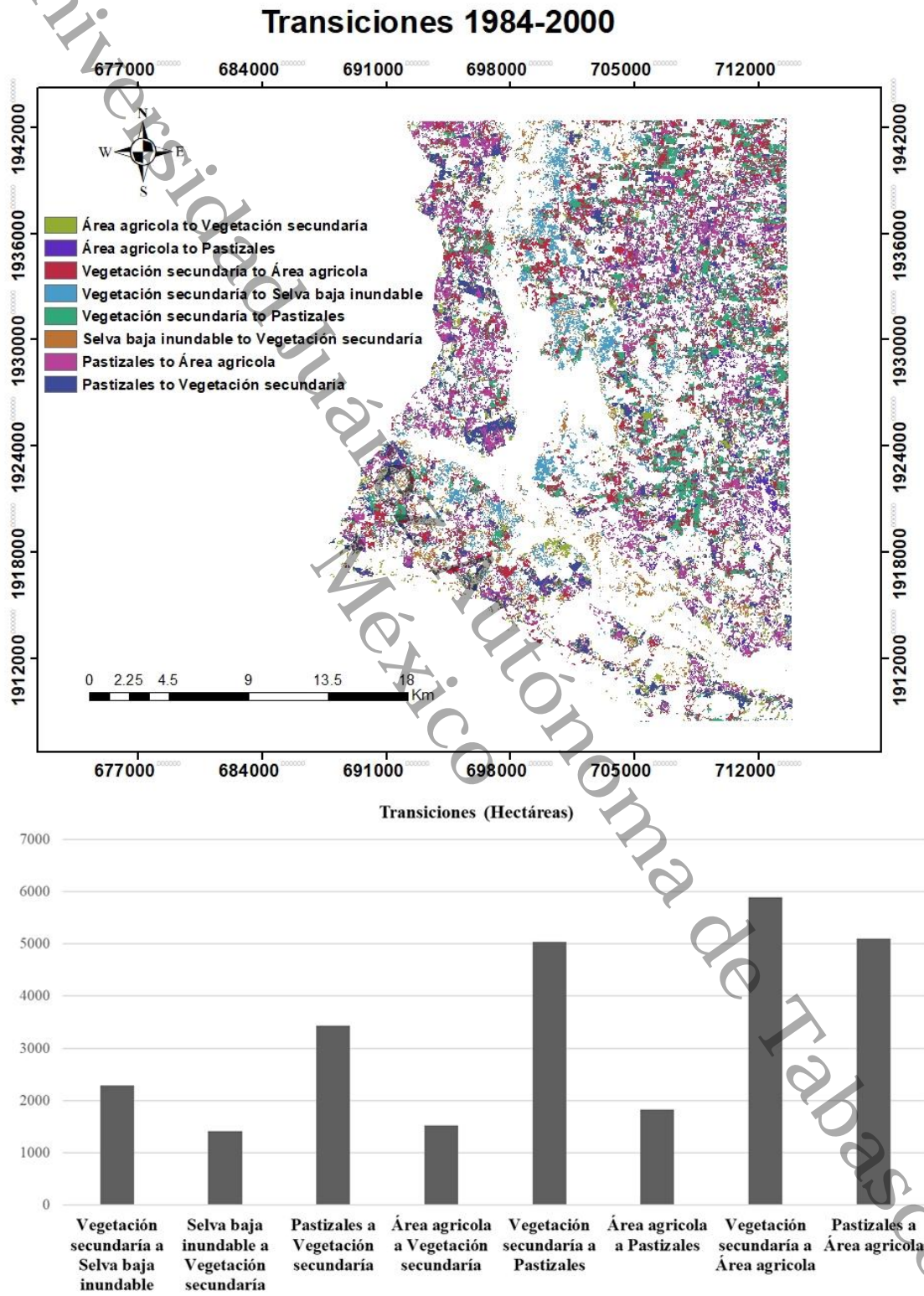
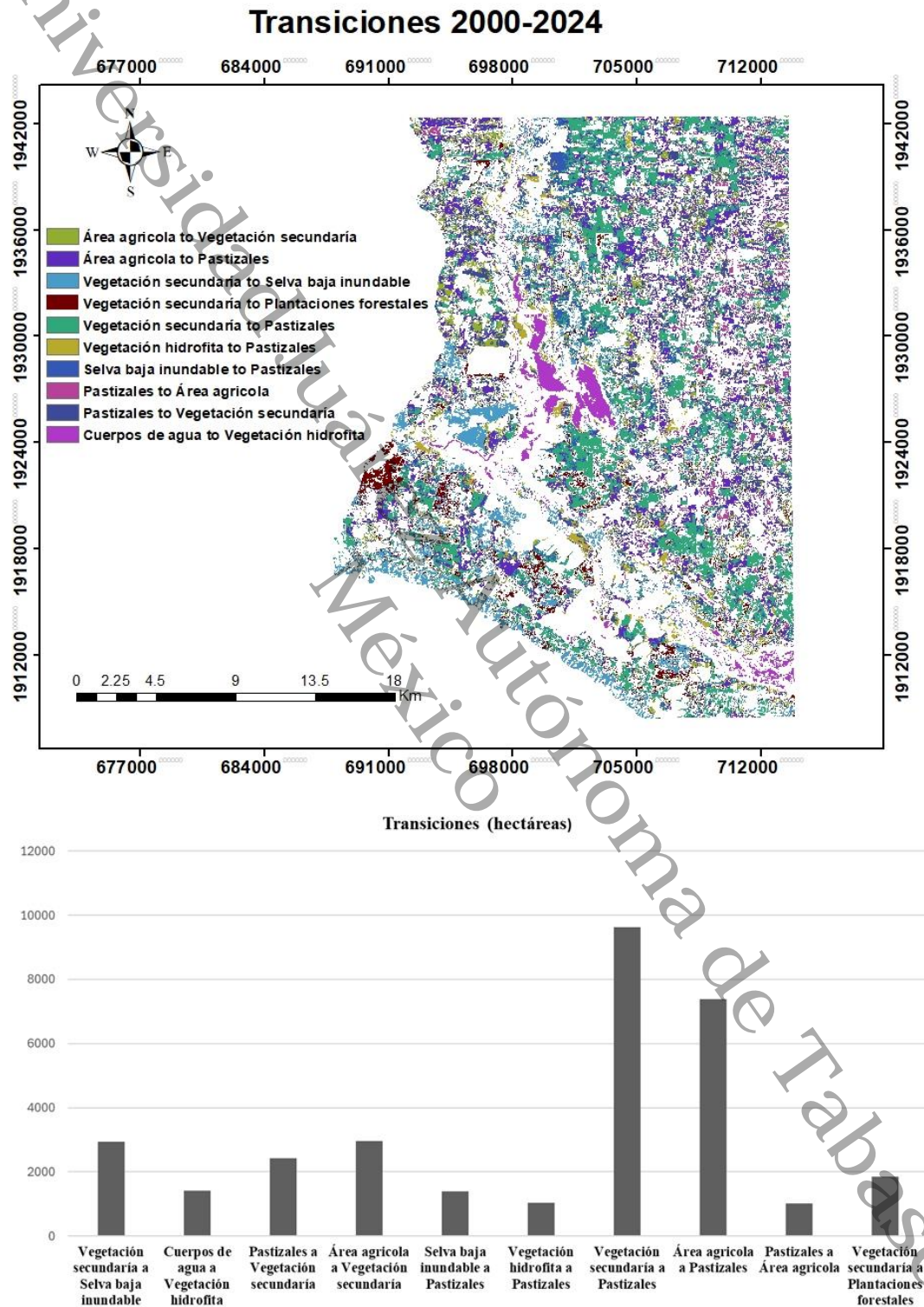


Figura 12. Mapa de transiciones 1984-2000. Fuente: Elaboración propia.



*Figura 13. Mapa de transiciones 1984-2024. Fuente: Elaboración propia.*

### **9.1.2. Selva baja inundable**

La selva baja inundable ocupaba el 7% (5,008 ha) del territorio en 1984 (Tabla 2). En esta región, dichas selvas están compuestas por especies tolerantes a la saturación del suelo, tales como *Haematoxylum campechana* (palo de tinte), *Lonchocarpus rugosus*, y *Annona glabra*. Este tipo de vegetación desempeña un papel ecológico crucial al actuar como almacén de carbono, zona de amortiguamiento hídrico, y hábitat para fauna acuática y terrestre (Cáliz de Dios, 2014). En el año 2000 se tuvo una ganancia de 3,837 ha, representando ahora un 9% del territorio con una tasa de cambio positiva (Tabla 2).

Las transiciones de 2000-2024 destaca la ganancia de 4,234 ha, de los cuales la mayoría fueron cedidos por 2,938 ha de vegetación secundaria (Tabla 2) mediante el proceso de resiliencia ecológica, en el cual, bajo condiciones hidrológicas estables y sin perturbaciones severas, el ecosistema original puede recuperar su estructura y funcionalidad a mediano plazo (Chazdon, 2014). De igual forma se tuvo una pérdida de 4,077 ha de los cuales 1,403 ha fueron tomadas por los pastizales (Figura 13) reflejando un proceso de degradación ecológica, generalmente asociado a actividades agropecuarias, principalmente la ganadería extensiva (Cáliz de Dios, 2014).

Comparando con otras regiones del Sureste de México, las tasas de cambio observadas en la selva baja inundable del Sur de San Pedro, coinciden con patrones generales de pérdida y fragmentación de selvas tropicales. Por ejemplo, Velázquez et al. (2002) reportan que en el Sureste del País las selvas han presentado tasas de pérdida de hasta 1.2% anual durante las últimas décadas, impulsadas principalmente por la expansión agrícola y ganadera. En la región de Los Ríos, Tabasco, Martínez *et al.* (2020) documentan una pérdida acumulada de más del 35% de cobertura selvática entre 1980 y 2015, con cambios especialmente intensos en zonas bajas e inundables.

***Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz***

Estos resultados son consistentes con el comportamiento registrado en esta zona de estudio, donde si bien se ha observado un proceso de resiliencia ecológica hacia 2024, también se mantiene una fuerte presión antropogénica sobre estas coberturas forestales.

***9.1.3. Vegetación hidrófita***

En 1984, la vegetación hidrófita ocupaba el 11% del territorio (7,284 ha), distribuyéndose principalmente en áreas sujetas a anegamiento estacional o permanente, como zonas pantanosas, bordes de cuerpos de agua y planicies de inundación (Tabla 2). Este tipo de vegetación incluye comunidades de *Typha domingensis*, *Eichhornia crassipes* y *Cyperus spp.*, estas cumplen funciones clave como la filtración de nutrientes, la regulación hidrológica y el soporte a especies acuáticas (Cáliz de Dios, 2014).

Para el año 2000, esta cobertura experimentó una reducción de 2,700 ha, alcanzando las 6,852 ha (10% del territorio) (Tabla 2). Las transiciones de 1984–2000 muestran que 775 ha de vegetación hidrófita pasaron a cuerpos de agua y 584 ha fueron convertidas en selva baja inundable. Esta dinámica refleja los procesos naturales de inundación y drenaje que provocan retrocesos o desplazamientos de las comunidades hidrófitas (Yu *et al.*, 2019).

Entre 2000 y 2024, la vegetación hidrófita tuvo una recuperación significativa con una ganancia de 3,821 ha, alcanzando una cobertura de 8,588 ha (13% del territorio), lo que representa una de las expansiones más notables en este periodo (Tabla 2). Destaca que 1,415 ha provinieron de antiguos cuerpos de agua, lo que evidencia un proceso de sucesión ecológica en humedales someros, donde la acumulación de sedimentos y materia orgánica favorece la colonización por plantas emergentes y flotantes hasta formar sistemas densamente vegetados (Yu *et al.*, 2019).

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Además, se sumaron 980 ha procedentes de selva baja inundable y 668 ha desde vegetación secundaria, lo cual puede asociarse a disturbios previos y condiciones hidrológicas favorables para el establecimiento de comunidades acuáticas (Figura 13).

**9.1.4. Vegetación secundaria**

En 1984, la vegetación secundaria representaba la categoría de cobertura más extensa, con una ocupación de 31,513 ha, equivalente al 46% del territorio (Tabla 2). Esta cobertura es resultado de la regeneración de áreas previamente deforestadas o utilizadas para actividades agropecuarias, en las que se ha interrumpido el uso intensivo del suelo. Estas formaciones suelen estar dominadas por especies pioneras o de rápido crecimiento, como *Cecropia obtusifolia*, *Trema micrantha* y *Piper auritum*, que desempeñan un papel fundamental en la recuperación estructural y funcional del ecosistema (Chazdon, 2014).

Para el año 2000, la vegetación secundaria se redujo drásticamente a 24,513 ha (36%), con una tasa de cambio negativa y una pérdida de 13,681 ha (Tabla 2). Las transiciones del periodo 1984–2000 muestran una transformación significativa de esta cobertura hacia otros usos: 5,041 ha se convirtieron en pastizales, y 5,893 ha pasaron a formar parte de áreas agrícolas, evidenciando una intensificación productiva y una fuerte presión sobre los ecosistemas regenerados. Sin embargo, también se registró una ganancia de 6,682 ha, principalmente desde pastizales (3,435 ha) y áreas agrícolas (1,520 ha), reflejando una alternancia entre procesos de regeneración y degradación según las condiciones de uso y abandono del terreno (Figura 12).

Durante el periodo 2000–2024, la vegetación secundaria sufrió una pérdida aún más drástica, reduciéndose a 14,202 ha (21%), con una pérdida total de 17,018 ha (Tabla 2). Este

***Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz***

descenso se explica principalmente por su conversión a pastizales (9,622 ha) y áreas agrícolas (747 ha), lo que indica que estas áreas de regeneración fueron nuevamente intervenidas por actividades agropecuarias. La vegetación secundaria también cedió superficies de 2,938 ha hacia selva baja inundable, lo cual puede estar asociado a procesos de regeneración más avanzados bajo condiciones ecológicas favorables (Chazdon, 2014).

Durante el periodo 2000–2024, la vegetación secundaria sufrió una pérdida aún más drástica, reduciéndose a 14,202 ha (21%), con una pérdida total de 17,018 ha (Tabla 2). Este descenso se explica principalmente por su conversión a pastizales (9,622 ha) y áreas agrícolas (747 ha), lo que indica que estas áreas de regeneración fueron nuevamente intervenidas por actividades agropecuarias. La vegetación secundaria cedió 2,938 ha hacia selva baja inundable, lo que podría estar relacionado con procesos de regeneración más avanzados bajo condiciones ecológicas favorables (Chazdon, 2014). Comparado con otros estudios en la Región del Sureste de México, la tasa de pérdida registrada en esta zona es coherente con lo reportado por Velázquez *et al.* (2002), quienes documentaron reducciones anuales promedio de 1.1% en cobertura forestal secundaria. En la Subregión Balancán–Tenosique, Martínez *et al.* (2020) observaron que las áreas de vegetación secundaria han sido especialmente vulnerables a la expansión de la ganadería y la agricultura mecanizada, con una pérdida acumulada superior al 40% en las últimas tres décadas. Estas tendencias reflejan una presión continua sobre los ecosistemas secundarios, incluso en paisajes donde se había iniciado un proceso de recuperación estructural.

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

**9.1.5 Asentamientos humanos.**

En 1984, la superficie ocupada por asentamientos humanos era de apenas 171 ha, representando menos del 0.3% del territorio (Tabla 2). Estas áreas estaban concentradas en pequeñas localidades rurales y núcleos de población dispersos, con baja densidad habitacional y escasa infraestructura urbana. Su expansión en ese periodo era limitada, reflejando un patrón de ocupación tradicional con bajo impacto espacial.

Para el año 2000, los asentamientos humanos aumentaron ligeramente a 239 ha (0.35%), con una ganancia de 234 ha y una pérdida de 167 ha (Tabla 2), lo que sugiere que parte del crecimiento se dio mediante el desplazamiento o reconfiguración de zonas habitadas, debido a procesos de reubicación, inundaciones estacionales y expansión informal en otras zonas (INEGI, 2001). La mayoría de estas nuevas superficies provinieron de vegetación secundaria (106 ha) y pastizales (85 ha), lo que indica un patrón de ocupación sobre terrenos previamente intervenidos o de baja productividad.

Entre los años 2000 y 2024, el crecimiento de los asentamientos fue mucho más marcado. Se alcanzaron 2,268 ha, lo que representa un aumento de casi diez veces respecto al año 2000 y equivale al 3% del territorio total (Tabla 2). En este periodo, la ganancia fue de 2,088 ha, provenientes principalmente de vegetación secundaria (976 ha), pastizales (418 ha) y áreas agrícolas (500 ha). Esta dinámica refleja un proceso acelerado de urbanización y expansión de la mancha urbana, vinculado al crecimiento poblacional, desarrollo de infraestructura y actividades económicas asociadas (Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

**9.1.6. Pastizales**

En 1984, los pastizales ocupaban una superficie de 15,860 ha, lo que representaba el 23% del territorio (Tabla 2). Esta cobertura incluía pastizales inducidos por el ser humano para la actividad ganadera, así como fragmentos de pastizales naturales en zonas con suelos poco profundos o drenaje limitado. Su establecimiento se relaciona directamente con la deforestación de selvas y vegetación secundaria, en su mayoría mediante el uso del fuego y la remoción total de la cobertura original (Mas *et al.*, 2004).

Para el año 2000, los pastizales se redujeron ligeramente a 14,244 ha (21%), registrando una pérdida de 8,988 ha y una ganancia de 7,372 ha (Tabla 2). Durante este periodo, las transiciones más destacadas fueron la conversión de 5,041 ha de vegetación secundaria y 1,821 ha de áreas agrícolas a pastizales, lo que revela una expansión de la frontera ganadera en detrimento de ecosistemas en recuperación y suelos productivos (González, 2007). A su vez, se documentó una reconversión significativa de pastizales hacia vegetación secundaria (3,435 ha), lo cual sugiere el abandono de tierras agropecuarias posiblemente debido a pérdida de productividad o migración rural (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2017).

En el periodo 2000–2024, la expansión de los pastizales fue mucho más marcada, duplicando su superficie hasta alcanzar 28,476 ha (42% del territorio) (Tabla 2). Se registró una ganancia de 19,514 ha, frente a una pérdida de solo 5,283 ha (Tabla 2). Este crecimiento fue impulsado principalmente por la transformación de vegetación secundaria (9,622 ha) y de áreas agrícolas (7,382 ha), lo cual indica una presión continua sobre suelos antes dedicados a cultivos o en proceso de regeneración natural (Mas *et al.*, 2004).

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

**9.1.7. Área agrícola**

En 1984, el área agrícola ocupaba 6,525 ha, lo que representaba el 10% del territorio (Tabla 4). Estas superficies estaban distribuidas principalmente en zonas con suelos más estables y menos propensos a inundación, destinadas al cultivo de maíz, frijol y algunas hortalizas de temporal. El uso agrícola tradicional, mayormente de subsistencia, estaba estrechamente vinculado al calendario agrícola y prácticas heredadas culturalmente por las comunidades rurales (Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Para el año 2000, el área agrícola casi se duplicó, alcanzando las 13,838 ha (20%). Este crecimiento fue el más alto entre todas las categorías en ese periodo, con una ganancia de 12,095 ha y una pérdida de 4,781 ha (Tabla 2). Destacan como transiciones clave la conversión de 5,893 ha de vegetación secundaria y 5,099 ha de pastizales a uso agrícola, lo cual revela una intensificación en la apertura de tierras para producción alimentaria o comercial, muchas veces sin la evaluación de su sostenibilidad a largo plazo (Mas *et al.*, 2004).

Entre 2000 y 2024, se presentó una disminución drástica en el área agrícola, que descendió a 2,709 ha (4%), con una pérdida total de 13,138 ha y una ganancia mínima de apenas 2,008 ha (Tabla 2). Esta transformación neta negativa evidencia un abandono masivo de tierras agrícolas, muchas de las cuales fueron ocupadas por pastizales (7,382 ha), vegetación secundaria (2,959 ha) y asentamientos humanos (500 ha). Este fenómeno puede explicarse por el agotamiento del suelo, pérdida de rentabilidad, cambio en el uso de la tierra hacia actividades ganaderas e incluso migración de la población rural (González, 2007).

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

**9.1.8. Plantaciones forestales**

En 1984 y 2000 no se registró presencia de plantaciones forestales en la zona de estudio. Esta ausencia indica que durante estas décadas no se había implementado formalmente este tipo de uso del suelo, el cual generalmente responde a políticas gubernamentales más recientes de fomento forestal y reforestación productiva (CONAFOR, 2020).

Para el periodo 2000–2024, se identificó por primera vez la presencia de esta cobertura, con un aumento considerable de 4,156 ha (6% del territorio) (Tabla 2). Esta categoría mostró una ganancia total sin pérdidas previas, lo que sugiere que se trata de una incorporación nueva y planeada, probablemente vinculada a programas como PROARBOL o el Programa Nacional Forestal (PRONAFOR), que promueven la reforestación con fines productivos y de conservación (CONAFOR, 2020).

Las transiciones más importantes hacia plantaciones forestales provinieron de vegetación secundaria (1,847 ha), selva baja inundable (505 ha) y pastizales (746 ha), lo que indica que muchas de estas superficies fueron reconvertidas desde ecosistemas perturbados o áreas con bajo aprovechamiento agropecuario. En algunos casos, también se observaron conversiones desde áreas agrícolas (884 ha), lo cual puede estar asociado a incentivos económicos o a la pérdida de productividad de los suelos agrícolas (Mas *et al.*, 2004).

En 1984 y 2000 no se registró superficie destinada al cultivo de palma de aceite en la zona de estudio, lo que indica que esta actividad no formaba parte de las estrategias productivas locales durante esas décadas (Tabla 2). Su ausencia refleja que aún no se implementaban de forma significativa los incentivos gubernamentales ni la inversión empresarial vinculada a este cultivo en la región (Castellanos-Navarrete & Jansen, 2015).

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Fue hasta el periodo 2000–2024 cuando se documentó por primera vez la presencia de esta categoría, alcanzando una superficie de 608 ha, lo que representa cerca del 1% del territorio (Tabla 2). Esta ganancia total no presenta pérdidas previas, lo que sugiere que su establecimiento fue reciente y de carácter irreversible dentro del sistema de uso de suelo. El crecimiento de este monocultivo está estrechamente relacionado con la expansión del modelo agroindustrial de palma en el sureste mexicano, especialmente en Tabasco y Chiapas, donde se promueve como alternativa de reconversión productiva (SEMARNAT, 2020).

Las principales transiciones hacia palma de aceite provinieron de vegetación secundaria (175 ha), pastizales (217 ha) y áreas agrícolas (200 ha), lo cual revela que su expansión se está dando sobre terrenos previamente intervenidos o degradados. Si bien estas superficies pueden parecer apropiadas desde el punto de vista técnico, en muchos casos su transformación conlleva una pérdida de conectividad ecológica y empobrecimiento del mosaico de paisajes rurales (Ruíz-Mallén & Corbera, 2013).

En 1984 y 2000 no se registró presencia de plantaciones forestales en la zona de estudio. Esta ausencia indica que durante estas décadas no se había implementado formalmente este tipo de uso del suelo, el cual generalmente responde a políticas gubernamentales más recientes de fomento forestal y reforestación productiva (CONAFOR, 2020).

Para el periodo 2000–2024, se identificó por primera vez la presencia de esta cobertura, con un aumento considerable de 4,156 ha (6% del territorio) (Tabla 2). Esta categoría mostró una ganancia total sin pérdidas previas, lo que sugiere que se trata de una incorporación nueva y planeada, probablemente vinculada a programas como PROARBOL o el Programa Nacional

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Forestal (PRONAFOR), que promueven la reforestación con fines productivos y de conservación (CONAFOR, 2020).

Las transiciones más importantes hacia plantaciones forestales provinieron de vegetación secundaria (1,847 ha), selva baja inundable (505 ha) y pastizales (746 ha), lo que indica que muchas de estas superficies fueron reconvertidas desde ecosistemas perturbados o áreas con bajo aprovechamiento agropecuario. En algunos casos, también se observaron conversiones desde áreas agrícolas (884 ha), lo cual puede estar asociado a incentivos económicos o a la pérdida de productividad de los suelos agrícolas (Mas *et al.*, 2004).

Si bien las plantaciones forestales contribuyen a incrementar la cobertura arbórea y pueden ofrecer beneficios como la captura de carbono y la reducción de la erosión, también existen preocupaciones sobre su impacto ecológico. Varios estudios advierten que, al tratarse de monocultivos —frecuentemente de especies exóticas como *Eucalyptus* o *Pinus* spp.—, estas plantaciones no restauran la complejidad estructural ni la biodiversidad de los ecosistemas originales (Bremer & Farley, 2010; Díaz-Gallegos *et al.*, 2010). En ese sentido, más que una verdadera restauración, su establecimiento puede modificar los regímenes hidrológicos, disminuir la disponibilidad de agua y desplazar comunidades vegetales nativas, generando efectos mixtos en el paisaje y los servicios ecosistémicos.

#### **9.1.9. Palma de aceite**

En 1984 y 2000 no se registró superficie destinada al cultivo de palma de aceite en la zona de estudio, lo que indica que esta actividad no formaba parte de las estrategias productivas locales durante esas décadas (Tabla 2). Su ausencia refleja que aún no se implementaban de forma

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

significativa los incentivos gubernamentales ni la inversión empresarial vinculada a este cultivo en la región (Castellanos-Navarrete & Jansen, 2015).

Fue hasta el periodo 2000–2024 cuando se documentó por primera vez la presencia de esta categoría, alcanzando una superficie de 608 ha, lo que representa cerca del 1% del territorio. Esta ganancia total no presenta pérdidas previas, lo que sugiere que su establecimiento fue reciente y de carácter irreversible dentro del sistema de uso de suelo (Tabla 2). El crecimiento de este monocultivo está estrechamente relacionado con la expansión del modelo agroindustrial de palma en el sureste mexicano, especialmente en Tabasco y Chiapas, donde se promueve como alternativa de reconversión productiva (SEMARNAT, 2020).

Las principales transiciones hacia palma de aceite provinieron de vegetación secundaria (175 ha), pastizales (217 ha) y áreas agrícolas (200 ha), lo cual revela que su expansión se está dando sobre terrenos previamente intervenidos o degradados. Si bien estas superficies pueden parecer apropiadas desde el punto de vista técnico, en muchos casos su transformación conlleva una pérdida de conectividad ecológica y empobrecimiento del mosaico de paisajes rurales (Ruíz-Mallén & Corbera, 2013).

**9.2. Aportes relevantes de la modelación del cambio del suelo en la Zona Sur de la Subcuenca San Pedro.**

El análisis del cambio de uso del suelo se ha fortalecido mediante herramientas geomáticas como el Land Change Modeler (LCM), integrado en la plataforma TerrSet Libera GIS® (Clark Labs, 2015), el cual permite analizar patrones espaciales y temporales del cambio, así como modelar escenarios futuros (Eastman, 2016). En regiones tropicales como Tabasco, el LCM ha

***Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz***

sido empleado con éxito para identificar transiciones críticas entre coberturas como selvas, humedales y pastizales, destacando su utilidad para estudios con alta fragmentación del paisaje (Velázquez *et al.*, 2010).

Otros enfoques geomáticos incluyen el uso de modelos espaciales en plataformas SIG, sistemas de evaluación multicriterio y técnicas de superposición espacial para determinar factores explicativos del cambio, destacando su valor en regiones tropicales con alta heterogeneidad ecológica y presiones antrópicas significativas (Mas *et al.*, 2004; Bocco *et al.*, 2001).

Entre los modelos más utilizados para la proyección de escenarios futuros de cambio de uso del suelo destacan los autómatas celulares (CA), las cadenas de Markov y la regresión logística, los cuales permiten simular las probabilidades de transición espacial en función de variables condicionantes (Clerici *et al.*, 2007). Estos métodos han sido aplicados en múltiples regiones tropicales de México para anticipar la expansión de áreas agrícolas y ganaderas, así como la pérdida de vegetación primaria.

La evaluación multicriterio (EMC) es otra técnica clave, ya que permite integrar juicios expertos y variables cuantitativas en la modelación del cambio, particularmente útil en contextos con escasa información oficial (Santander *et al.*, 2019). Más recientemente, las redes neuronales artificiales (ANN) han mostrado ser efectivas en escenarios complejos, pues pueden aprender patrones no lineales del cambio de cobertura con alta precisión, aunque requieren grandes volúmenes de datos para su entrenamiento (Almeida *et al.*, 2008; Islam *et al.*, 2018).

***Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz***

La aplicación de estos modelos en el Sur de San Pedro permitiría construir escenarios prospectivos útiles para la gestión ambiental y la planeación territorial, considerando la presión sobre ecosistemas hídricos y forestales, así como la expansión agropecuaria.

Diversos estudios han identificado un conjunto de variables raster que condicionan la dinámica de cambio de uso del suelo en regiones tropicales. Entre las variables fisiográficas más relevantes se encuentran la altitud, pendiente y orientación, que influyen en la aptitud del terreno para distintos usos (Roy *et al.*, 2014). Las variables ambientales como la cercanía a cuerpos de agua, régimen de inundación y calidad del suelo también son determinantes, especialmente en zonas húmedas como Tabasco (Cárdenas *et al.*, 2016).

Las variables socioeconómicas incluyen densidad de población, nivel de marginación, uso actual del suelo y dinámica económica, las cuales inciden directamente sobre la presión de cambio (Mas *et al.*, 2004). Asimismo, la infraestructura—como la distancia a caminos, centros urbanos o zonas industriales—tiene un efecto considerable sobre la probabilidad de conversión del uso del suelo, pues facilita el acceso a zonas forestales o agrícolas en expansión (Pindolia *et al.*, 2010).

Una integración adecuada de estas variables en un modelo espacial predictivo permitiría comprender de manera más integral los patrones de cambio observados en el Sur de San Pedro y apoyar la formulación de políticas públicas orientadas a la conservación y el desarrollo sostenible.

## 10. CONCLUSIONES

La dinámica de las coberturas acuáticas y de la vegetación hidrófita evidencia procesos de sucesión ecológica y colmatación, manifestados en la pérdida de cuerpos de agua transformados en vegetación acuática, lo que reduce la capacidad de almacenamiento y regulación hídrica de la zona. Este fenómeno, sumado a la deforestación y al cambio de uso del suelo, ha favorecido la pérdida de conectividad ecológica y la fragmentación de hábitats críticos para especies de alto valor de conservación.

La modelación realizada mediante *Land Change Modeler* en TerrSet Libera GIS® (Clark Labs, 2015) permitió no solo cuantificar las transiciones más significativas, sino también identificar patrones espaciales asociados a la infraestructura, la accesibilidad y las características fisiográficas. Estas herramientas geomáticas constituyen un recurso estratégico para proyectar escenarios futuros a través de cadenas de Markov, autómatas celulares y análisis multicriterio, aportando elementos clave para la toma de decisiones en el marco del Ordenamiento Ecológico Territorial.

Los resultados resaltan la urgencia de implementar estrategias de manejo sostenible, restauración ecológica y protección legal de los ecosistemas remanentes, priorizando aquellas áreas con alta biodiversidad y funciones hidrológicas esenciales. Asimismo, el fortalecimiento de prácticas agropecuarias sostenibles, el control de la expansión urbana no planificada y la creación de corredores biológicos podrían mitigar la pérdida de hábitat y mejorar la resiliencia socioecológica frente al cambio climático.

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

En síntesis, este estudio demuestra que el monitoreo sistemático del cambio de uso del suelo, apoyado en sensores remotos y sistemas de información geográfica, es indispensable para comprender la dinámica de los paisajes tropicales y orientar políticas públicas que integren el desarrollo socioeconómico con la conservación ambiental en la región sur de San Pedro.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Almeida, C. M., Gleriani, J. M., Castejon, E. F., & Soares-Filho, B. S. (2008). Using neural networks and cellular automata for modeling intra-urban land-use dynamics. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(9), 943–914. <https://doi.org/10.1080/13658810701731168>

Arroyo-Rodríguez, V., Melo, F. P. L., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., Chazdon, R. L., Meave, J. A., ... & Tabarelli, M. (2017). Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: New insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. *Biological Reviews*, 92(1), 326–340. <https://doi.org/10.1111/brv.12231>

Baidoo, R., & Obeng, K. (2023). Evaluating the impact of land use and land cover changes on forest ecosystem service values using Landsat dataset in the Atwima Nwabiagya North, Ghana. *Heliyon*, 9(11), e21841. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21841>

Bocco, G., Mendoza, M., & Velázquez, A. (2001). Remote sensing and GIS-based regional geomorphic mapping: A tool for land use planning in developing countries. *Geomorphology*, 39(3–4), 211–219. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00023-0](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00023-0)

Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444–1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>

Bremer, L. L., & Farley, K. A. (2010). Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. *Biodiversity and Conservation*, 19(14), 3893–3915. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9936-4>

Burelo Ramos, C. M., López Dobrusin, E., Morales Rodríguez, N. E. M., Rosales Rosado, S., Ascencio Rivera, J. M., & Cadeño Resendis, J. P. (2024). La historia de Wanha'. *Kuxulkab'*, 30(68), e6381. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a30n68.6381>

Cáliz de Dios, H. (2014). Vegetación de humedales en áreas de turismo de aventura en la zona Maya de México. *Revista de Biodiversidad Neotropical*, 4(2), 88–103. <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v4i2.284>

Cárdenas, G. A., Aguilar, C. M., & Pérez, J. A. (2016). Aplicación de modelos de simulación para el análisis del cambio de uso del suelo en Tabasco. *Investigación y Ciencia*, 24(67), 23–34.

Castellanos-Navarrete, A., & Jansen, K. (2015). Oil palm expansion without conflict? *The Journal of Peasant Studies*, 42(3–4), 555–582. <https://doi.org/10.1080/03066150.2015.1016920>

Chazdon, R. L. (2014). *Second growth: The promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. University of Chicago Press.

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Clark Labs. (2015). TerrSet: Geospatial Monitoring and Modeling System. Clark University. <https://clarklabs.org>

Clerici, N., Paracchini, M. L., & Maes, J. (2007). Land-cover change modelling in temperate forest regions: A case study from the Italian Alps. *Landscape and Urban Planning*, 80(1–2), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.06.006>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2023a). Actualización del diagnóstico ambiental en la región del río San Pedro, Tabasco. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2023b). Estudio previo justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Reserva de la Biósfera Wanha'. Gobierno de México.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2016). El agua en México: cauces y encauces. Comisión Nacional del Agua.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2025a, mayo 16). Registro diario histórico: Estación 27059 El Triunfo, Balancán, Tabasco. Base de Datos Climatológica Nacional. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2025b). Boletín climático regional: Tendencias de temperatura y precipitación en Tabasco (1973–2023). Dirección General de Servicios Técnicos.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2020). Programa Nacional Forestal 2020–2024. <https://www.gob.mx/conafor/documentos/programa-nacional-forestal-pronafor>

Cotler, H., & Ortega, L. (2006). Cambio de uso de suelo en la Cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Ambientales*, 18(1), 15–32.

Díaz-Gallegos, J. R., Velázquez, A., & Mas, J. F. (2010). Evaluación de la cobertura arbórea en México: Entre la reforestación y la restauración ecológica. *Interciencia*, 35(3), 186–192.

Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva: Guía para SIG y procesamiento de imágenes*. Clark Labs.

Eastman, J. R. (2016). *TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System Manual*. Clark Labs, Clark University.

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Gallardo-Cruz, A., de Oca, A. F. M., & Rives, C. (2019). Detección de amenazas y oportunidades para la conservación en la cuenca baja del Usumacinta a partir de técnicas de percepción remota. *Revista Ecosistemas*, 28(2), 82–99. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1691>

González, R. (2007). *Ganadería extensiva y deterioro ambiental en el trópico mexicano*. Universidad Autónoma Chapingo.

Guerra Martínez, V., & Ochoa Gaona, S. (2006). Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990–2000). *Investigaciones Geográficas*, 59, 7–25. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112006000100002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112006000100002)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2017). *Plan de Manejo de la Cuenca de los Ríos Grijalva y Usumacinta*.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001a). *Conteo de población y vivienda 2000*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Islam, K., Jashimuddin, M., Nath, B., & Nath, T. K. (2018). Forestland use dynamics using Landsat imagery and artificial neural network model: A case study in the southeastern region of Bangladesh. *Ecological Indicators*, 95, 902–914. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.032>

Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Vázquez, G., Castillo-Campos, G., García-Franco, J. G., Mehltreter, K., ... & Equihua, M. (2020). Impacto de los cambios en la cobertura del suelo en la biodiversidad del sureste mexicano. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(1), e913240. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3240>

Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., ... & López-García, J. (2004). Assessing land use/cover changes: A nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.003>

Mendoza, M., Ramírez, J., & Torres, L. (2010). Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano. *Revista de Geografía y Medio Ambiente*, 45(2), 30–47.

Mendoza-Ponce, A., Corona-Núñez, R. O., Galicia, L., & Kraxner, F. (2018). Identifying hotspots of land use cover change under socioeconomic and climate change scenarios in Mexico. *Ambio*, 48(4), 336–349. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1085-0>

*Dinámica espacial de la vegetación y humedales e impactos sobre el perfil de temperatura en*

*Balancán-Tenosique, tabasco. Autor: Juan Roberto Garrido Ortiz*

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org>

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Palacio, J., Martínez, R., & López, A. (2004). Métodos para la estimación de cambios en la cobertura del suelo. Instituto de Investigaciones Ambientales.

Palomeque de la Cruz, M. A., Galindo Alcántara, A., Pérez Sánchez, E., Sánchez, A. de J., & Escalona Maurice, M. J. (2017). Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 253–267. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.48>

Pérez-Sánchez, J., & Gómez-Mendoza, L. (2020). Impacto de las actividades agropecuarias y petroleras sobre las coberturas naturales en el campo petrolero Samaria, Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas*, 103, 67–84. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8262626>

Pinkus-Rendón, M. J., & Contreras-Sánchez, A. (2012). Impacto socioambiental de la industria petrolera en Tabasco: El caso de la Chontalpa. *LiminaR*, 10(2), 122–144. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-80272012000200008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-80272012000200008)

Pindolia, D. K., Garcia, A. J., Wesolowski, A., Smith, D. L., Buckee, C. O., Noor, A. M., ... & Tatem, A. J. (2010). Human movement data for malaria control and elimination strategic planning. *Malaria Journal*, 11(1), 205. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-11-205>

Pontius Jr, R. G., Huffaker, D., & Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*, 179(4), 445–461. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010>

Roy, P. S., Behera, M. D., & Srivastava, V. K. (2014). Geospatial techniques for modeling urban environmental changes: A review. *Environmental Research*, 132, 273–285. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.03.003>

Ruíz-Mallén, I., & Corbera, E. (2013). Community-based conservation and traditional ecological knowledge: Implications for social-ecological resilience. *Ecology and Society*, 18(4), 12. <https://doi.org/10.5751/ES-05867-180412>

Salazar Conde, E. del C., Zavala Cruz, J., Castillo Acosta, O., & Cámara Artigas, R. (2004). Evaluación espacial y temporal de la vegetación de la Sierra Madrigal, Tabasco, México (1973–2003). *Investigaciones Geográficas*, 54, 7–23. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112004000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112004000200002)

Santander, A., Flores-Berrones, R., & Ruiz-Luna, A. (2019). Evaluación multicriterio en SIG para modelar cambio de uso de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(54), 86–105. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.598>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). *Guía metodológica para la elaboración del ordenamiento ecológico del territorio en México*.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Estrategia nacional para el desarrollo sustentable de la palma de aceite en México*. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/estrategia-nacional-palma-aceite>

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Icaria Editorial.

Tassara, C., & Cecchini, S. (2016). *Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una mirada desde América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40155>

Vargas Téllez, J. G., et al. (1976). *Auditoría administrativa aplicada a planes de desarrollo agropecuario en zonas de riego del país: El caso del Distrito de Riego y Drenaje Balancán-Tenosique, Tabasco*. Facultad de Contaduría y Administración, UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3627879>

Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., & López-García, J. (2010). Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 21–38.

Velázquez, A., Mas, J., Díaz, J., Mayorga, R., Alcántara, P., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica INE*, 62(62), 21–37.

Yu, H., Qi, W., Liu, C., Yang, L., Wang, L., Lv, T., & Peng, J. (2019). Different stages of aquatic vegetation succession driven by environmental disturbance in the last 38 years. *Water*, 11(7), 1412. <https://doi.org/10.3390/w11071412>

<b>Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional</b>	
<b>Título de Tesis:</b>	<b>“DINAMICA ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN Y HUMEDALES EN BALANCAN-TENOSIQUE, TABASCO”</b>
<b>Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:</b>	<b>JUAN ROBERTO GARRIDO ORTIZ</b>
<b>ORCID:</b>	0009-0004-5414-412X
<b>Resumen de la Tesis:</b>	<p>Las cuencas hidrográficas del Sureste de México cumplen funciones clave en la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos. Sin embargo, en las últimas décadas han enfrentado una transformación acelerada derivada de la deforestación, la expansión agropecuaria, la urbanización y la introducción de monocultivos como la palma de aceite. La Subcuenca del Río San Pedro, en Tabasco, constituye un caso representativo. A partir del Plan Balancán-Tenosique, la conversión de selvas a pastizales y agricultura se intensificó, generando impactos significativos en la estructura del paisaje. Mediante un análisis multitemporal (1984, 2000 y 2024) con Land Change Modeler en TerrSet Libera GIS se cuantificaron y localizaron las transiciones más relevantes. Los resultados muestran que los cuerpos de agua se redujeron de 1,700 ha en 1984 a 821 ha en 2024, por procesos de colmatación y sucesión hacia vegetación hidrófita. La vegetación secundaria disminuyó del 46% en 1984 al 21% en 2024, principalmente por su conversión a pastizales</p>

	<p>y usos productivos. Este proceso constituye el mayor impacto ambiental de las últimas dos décadas y evidencia la pérdida de biodiversidad derivada del cambio de uso del suelo para actividades económicas en detrimento de los ecosistemas. Los pastizales, por su parte, se duplicaron y actualmente abarcan el 42% del territorio, consolidándose como la cobertura dominante. El área agrícola, tras un máximo en 2000, se redujo a 2,709 ha en 2024. Asimismo, emergieron nuevas coberturas como plantaciones forestales (4,156 ha) y palma de aceite (608 ha), que, aunque aumentan la superficie arbórea, conllevan riesgos de homogeneización y pérdida de conectividad ecológica. El estudio resalta la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible, restauración de ecosistemas y corredores biológicos, a fin de mitigar la degradación ambiental.</p>
<p><b>Palabras claves de la Tesis:</b></p>	<p>Cambio de uso de suelo  Dinámica espacial  Vegetación y humedales  Modelación espacial (LCM–TerrSet)  Análisis multitemporal  Subcuenca del Río San Pedro  Percepción remota (Landsat)  Planificación territorial  Fragmentación del paisaje  Regulación hídrica</p>
<p><b>Referencias citadas:</b></p>	<p>Almeida, C. M., Gleriani, J. M., Castejon, E. F., &amp; Soares-Filho, B. S. (2008). Using neural networks and cellular automata for modeling land-use dynamics. <i>International Journal of Geographical Information Science</i>.</p> <p>Arroyo-Rodríguez, V., et al. (2017). Multiple</p>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

successional pathways in human-modified tropical landscapes. *Biological Reviews*.

Baidoo, R., & Obeng, K. (2023). Evaluating land use and land cover changes using Landsat. *Heliyon*.

Bocco, G., Mendoza, M., & Velázquez, A. (2001). Remote sensing and GIS-based geomorphic mapping. *Geomorphology*.

Chazdon, R. L. (2014). *Second growth: The promise of tropical forest regeneration*. University of Chicago Press.

CONANP. (2023). Estudio previo justificativo de la Reserva de la Biósfera Wanha'.

Eastman, J. R. (2016). *TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System Manual*. Clark Labs.

González, R. (2007). *Ganadería extensiva y deterioro ambiental en el trópico mexicano*.

Guerra Martínez, V., & Ochoa Gaona, S. (2006). Evaluación espacio-temporal en Pantanos de Centla. *Investigaciones Geográficas*.

Mas, J. F., et al. (2004). *Dinámica del cambio de uso de suelo en el sureste mexicano*.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being*.

SEMARNAT. (2012). *Guía metodológica para el ordenamiento ecológico del territorio*.