



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DEL
CEDRO ROJO EN TABASCO: ESTRUCTURA Y
COMPOSICIÓN FLORÍSTICA**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

JAZMÍN REYES ROSAS

Bajo la supervisión de:

DRA. MA ROSA GONZÁLES TEPALE



**Maestría en Ciencias
en Ciencias Forestales**



Chapingo, Estado de México, Febrero de 2026

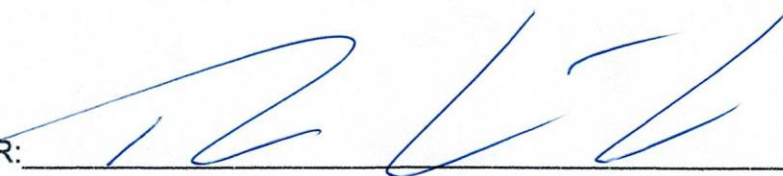
**CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DEL CEDRO ROJO EN TABASCO:
ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN FLORÍSTICA**

Tesis realizada por **JAZMÍN REYES ROSAS** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: 

DRA. MA. ROSA GONZÁLEZ TEPALE

ASESOR: 

DR. RAFAEL LÓPEZ CERINO

ASESOR: 

DRA. MA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

Chapingo, Estado de México, 28 de abril de 2026

Declaración de uso de Inteligencia Artificial

Durante la preparación y redacción del presente trabajo, la autora JAZMIN REYES ROSAS reconoce el uso de la herramienta de Inteligencia Artificial ChatGPT como apoyo en la revisión de redacción, mejora de estilo y claridad del texto. La autora revisó y editó el contenido y adquiere la responsabilidad completa por el contenido de la información presentada en la tesis.

CONTENIDO

CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
RESUMEN GENERAL	x
ABSTRACT	xi
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 CONTENIDO CAPITULAR	15
1.3 BIBLIOGRAFÍA	16
CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA	18
2 CEDRO ROJO (CEDRELA ODORATA LINNAEUS), 1759 (MELIACEAE)	18
2.1 TAXONOMÍA	18
2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	19
2.3 FENOLOGÍA	19
2.4 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	20
2.5 FISIOGRAFÍA	20
2.6 CLIMA	20
2.7 SUELOS	20
2.8 FACTORES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS QUE CONDICIONAN EL HÁBITAT DEL CEDRO ROJO	21
2.9 HÁBITAT Y AMBIENTES DE DISTRIBUCIÓN	21
3.1 IMPORTANCIA DEL CEDRO ROJO	22
3.1.2 SERVICIOS AMBIENTALES	23
3.1.3 PROPIEDADES MEDICINALES	23
3.1.4 PROPIEDADES BIOCIDAS	24
3.1.5 USO ORNAMENTAL	25
3.1.6 ESTATUS	25
4.1 ESTADO DE TABASCO, MÉXICO	26
4.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y OROGRAFÍA	26
4.1.2 FISIOGRAFÍA	26
4.1.3 GEOLOGÍA	27

4.1.4	CLIMA.....	27
4.1.5	HIDROGRAFÍA.....	28
4.1.6	EDAFOLOGÍA	28
4.1.7	USO DE SUELO	29
4.1.8	ECOSISTEMA Y VEGETACIÓN	30
4.1.9	FORMACIONES FORESTALES DONDE HABITA EL CEDRO ROJO EN TABASCO ..	31
4.1.10	FAUNA	33
4.1.11	REGIONALIZACIÓN DEL ESTADO DE TABASCO.....	34
4.2	CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT	34
2.3	LITERATURA CITADA.....	43

CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DEL CEDRO ROJO EN TABASCO: MAPA DE PAISAJES	49
---	----

RESUMEN	49
3.1 INTRODUCCIÓN	50
3.2 METODOLOGÍA	51
3.3 RESULTADOS.....	52
3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	57
3.5 CONCLUSIONES	68
3.6 AGRADECIMIENTOS.....	69
3.7 DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES	69
3.8 LITERATURA CITADA.....	69

CAPITULO 4: CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DEL CEDRO ROJO EN TABASCO: ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN FLORÍSTICA	75
--	----

RESUMEN	75
4.1 INTRODUCCIÓN	76
4.2 METODOLOGÍA	77
4.3 RESULTADOS	82
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	92
4.5 CONCLUSIONES	100
4.6 LITERATURA CITADA.....	101

CAPITULO 5: CONCLUSIONES GENERALES.....	105
---	-----

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Caracterización de las unidades del paisaje donde habita el cedro rojo en Tabasco.	56
Cuadro 2. Aptitud del hábitat del cedro rojo en las unidades de paisaje de Tabasco.	65
Cuadro 3. Estructura y composición florística de la SAP de Tenosique y la VSA/SAP de Macuspana, Tabasco.	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa climatológico del Estado de Tabasco.	53
Figura 2. Mapa edafológico del Estado de Tabasco.....	54
Figura 3. Mapa de paisajes del hábitat del cedro rojo (<i>Cedrela odorata L.</i>) en Tabasco.	55
Figura 4. Mapa de ubicación de las zonas de estudio (SAP y VSA/SAP) en Tenosique y Macuspana, Tabasco.	78
Figura 5. Estructura horizontal del a) Estrato arbóreo y b) Estrato arbustivo de SAP Tenosique.	83
Figura 6. Índice de Valor de Importancia, a) Estrato arbóreo, b) Estrato arbustivo SAP, Tenosique.	84
Figura 7. Estructura vertical del a) Estrato arbóreo y b) Estrato arbustivo, SAP Tenosique.	85
Figura 8. Perfil florístico de la SAP de Tenosique. En orden por Índice de Valor de Importancia (IVI)	85
Figura 9. Diversidad con a) Índice Shannon_Weiner y b) Índice Simpson, del estrato arbóreo de la SAP de Tenosique.....	86
Figura 10. Diversidad con a) Índice Shannon_Weiner y b) Índice Simpson, del estrato arbustivo de la SAP de Tenosique.	87
Figura 11. Estructura horizontal del a) estrato arbóreo, b) estrato arbustivo VSA/SAP, Macuspana.	88
Figura 12. Índice de Valor de Importancia del a) estrato arbóreo y b) Estrato arbustivo, VSA/SAP, Macuspana.	88
Figura 13. Estructura vertical del a) estrato arbóreo y b) estrato arbustivo de VSA/SAP, Macuspana.	89
Figura 14. <i>Perfil florístico de la VSA/SAP de Macuspana.</i>	90
Figura 15. Diversidad del estrato arbóreo a) Índice Shannon_Weiner y b) índice Simpson. VSA/SAP. Macuspana.....	91
Figura 16. Diversidad del estrato arbustivo a) Índice Shannon_Weiner y b) índice Simpson. VSA/SAP Macuspana.....	91

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por su amor y por permitirme vivir esta grata experiencia, para formarme personal y profesionalmente y así poder servir mejor a mi prójimo.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado a través de la beca de posgrado, la cual hizo posible dedicarme de tiempo completo al desarrollo de esta investigación. Este respaldo fue fundamental para la realización de mi formación académica y la culminación de este trabajo.

Agradezco al coordinador del posgrado, el Dr. Alejandro I. Monterroso Rivas, a la directora, la Dra. Ma. Rosa González Tepale, al Dr. Rafael López Cerino y a la Dra. Ma. Amparo Máxima de la Rosa, por su invaluable apoyo, guía académica y orientación durante el desarrollo del trabajo. Sus observaciones y consejos fueron esenciales para lograr este resultado.

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, por el respaldo académico e institucional que hicieron posible la realización de este trabajo.

A mis compañeros de la maestría, quienes con su colaboración, amistad y esfuerzo compartido hicieron más ligero y enriquecedor este camino.

A mi familia, por su amor, comprensión y apoyo incondicional en cada etapa de este proceso. Su confianza en mí ha sido la base para continuar y concluir este proyecto.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la culminación de esta tesis.

DATOS BIOGRÁFICOS



Estudie en la UACH, la Preparatoria Agrícola, seguida de la Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, orientada hacia el manejo de recursos forestales y especializada en el cultivo y aprovechamiento de plantas medicinales, así como en el empleo de la fitoterapia. Cuento con experiencia en producción y comercialización de plantas ornamentales en contenedor, así como en asesoría y venta de productos herbolarios y apícolas, fui cocinera fría en un restaurante vegetariano y también participé en el muestreo de campo del Inventario Forestal y de Suelos de CONAFOR, en el ciclo 2015-2019, en el Norte de México. Soy una persona que se mantiene en aprendizaje continuo, desarrollando mis habilidades y conocimientos para crecer personal y profesionalmente. Tengo interés y estudios en temas relacionados con la espiritualidad y medicina natural, estudié y realicé mi tesis de licenciatura con el Dr. Erick Estrada Lugo, estableciendo una farmacia viva en la comunidad de La Pendencia, en San Luis Potosí, capacitando a los lugareños sobre elaboración y uso de productos herbolarios y realizando un manual herbolario ilustrado a mano con 97 especies, nativas e introducidas. A su vez, estude en el Instituto Tzapin de Medicinas Complementarias durante 5 años, para aprender sobre el estilo de vida saludable y como recuperar y mantener la salud. También me interesa vivir con conciencia ambiental y con bajo impacto ecológico, yo soy originaria de la Ciudad de México, nací el 27/12/1991 (Carp:RERJ911227MDFYSZ03) y he vivido prácticamente toda la vida aquí, así que me interesa reverdecer la ciudad, esto mediante herramientas como el diseño de paisajes, sistemas agroforestales y huertos urbanos, aplicando el uso de ecotécnicas, conocimientos que he fortalecido en la Maestría en Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

Caracterización del hábitat del cedro rojo en Tabasco: Estructura y composición florística

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) es una especie forestal de alto valor económico, incluida en el Apéndice II de la CITES debido a la disminución de sus poblaciones naturales asociada a la presión antrópica. Además de su amplia distribución en América tropical, la especie es cultivada en plantaciones comerciales en otras regiones del mundo, lo que resalta la importancia de su manejo y conservación.

En Tabasco, donde más del 90% de la selva original se ha transformado, se elaboró un mapa de paisajes mediante análisis ambiental con Sistemas de Información Geográfica (SIG), integrando variables bióticas y abióticas para caracterizar el hábitat del cedro rojo, e identificar las condiciones ambientales y ecológicas que influyen en su desarrollo y distribución. Se identificaron cinco unidades de paisaje como hábitat potencial: selva alta perennifolia (SAP), vegetación secundaria arbórea/SAP (VSA/SAP), relictos de VSA/SAP, sistemas agroforestales y silvopastoriles. La mayor aptitud ambiental se registró en la SAP y la VSA/SAP, particularmente en zonas con buen drenaje y relieve ondulado, mientras que los sistemas agroforestales y silvopastoriles mostraron aptitud baja a media, aunque con potencial para la conservación mediante manejo adecuado.

A partir de estas unidades, se analizó la estructura y composición florística mediante índices ecológicos de dos zonas representativas donde habita la especie, una SAP en Tenosique y una VSA/SAP en Macuspana, donde el cedro rojo presenta de baja a media importancia ecológica. La SAP, en etapa sucesional secundaria temprana, enfrenta al cedro rojo con intensa competencia por recursos, limitando su desarrollo. En contraste, la VSA/SAP, con una estructura forestal más heterogénea y estable, favorece su establecimiento y crecimiento.

En conjunto, los resultados indican que, aunque Tabasco presenta condiciones ambientales favorables para el cedro rojo, la presión antrópica condiciona su distribución, destacando a la SAP y VSA/SAP como unidades prioritarias para su conservación y manejo.

Palabras Clave: *Cedrela odorata*. L.; paisajes; SIG; selva alta perennifolia; conservación forestal.

Tesis de Maestría en Ciencias. Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Jazmín Reyes Rosas
Director de Tesis: Dra. Ma. Rosa González Tepale

ABSTRACT

Characterization of the Red Cedar Habitat in Tabasco: Structure and Floristic Composition

Red cedar (*Cedrela odorata* L.) is a forest species of high economic value and is listed in Appendix II of CITES due to the decline of its natural populations associated with anthropogenic pressure. In addition to its wide distribution in tropical America, the species is cultivated in commercial plantations in other regions of the world, which underscores the importance of its management and conservation.

In the state Tabasco, where more than 90% of the original rainforest cover has been transformed a landscape map of Tabasco was created through environmental analysis using Geographic Information Systems (GIS), integrating biotic and abiotic variables to characterize the habitat of red cedar and to identify the environmental and ecological conditions influencing its development and distribution. Five landscape units were identified as potential habitat: tropical evergreen rainforest (selva alta perennifolia, SAP), secondary arboreal vegetation derived from evergreen rainforest (VSA/SAP), relics of VSA/SAP, agroforestry systems, and silvopastoral systems. The highest environmental suitability was recorded in SAP and VSA/SAP, particularly in areas with good drainage and undulating relief, while agroforestry and silvopastoral systems showed low to medium suitability, although with potential for conservation under appropriate management.

Based on these landscape units, the vegetation structure and floristic composition were analyzed using ecological indices in two representative areas where the species occurs: an SAP in Tenosique and a VSA/SAP in Macuspana, where red cedar exhibited low to moderate ecological importance. In the SAP, corresponding to an early secondary successional stage, red cedar faces intense competition for resources, limiting its development. In contrast, the VSA/SAP, characterized by a more heterogeneous and stable forest structure, favors its establishment and growth.

Overall, the results indicate that although Tabasco presents favorable environmental conditions for red cedar, anthropogenic pressure strongly conditions its distribution, highlighting SAP and VSA/SAP as priority units for its conservation and management.

Keywords: *Cedrela odorata* L.; landscape mapping; (GIS); tropical evergreen rainforest; forest conservation.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) es una especie forestal de alto valor económico, reconocida mundialmente por su madera preciosa (Uicab et al., 2023), es nativa de América tropical, distribuyéndose desde México hasta Sudamérica (Ruiz-Jiménez et al., 2018) y se cultiva en plantaciones comerciales en África y el sudeste asiático (Gálvez López et al., 2020). En México, las plantaciones de la especie representan alrededor del 20.5 % de la superficie forestal nacional, concentrándose principalmente en estados del sureste como Veracruz, Campeche, Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Guerrero y Quintana Roo (Abad-Cordero, 2020).

Actualmente, el cedro rojo se encuentra listado como vulnerable por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) y está protegido por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES), así como por la NOM-059 SEMARNAT-2010; sin embargo, la falta de información suficiente sobre su riesgo real pone en duda su permanencia en esta última. (Gálvez López et al., 2020).

El cedro rojo habita en selvas altas, medianas y bajas, tanto perennifolias como caducifolias (Murillo-Brito et al., 2016) y en bosques templados (Ruiz-Jiménez et al., 2018). Sin embargo, estos ecosistemas se han reducido considerablemente por el cambio de uso de suelo a nivel mundial (Hernández Ramos et al., 2018). Y aunado a la sobreexplotación (Ramírez et al., 2018), la abundancia y área de distribución natural del cedro rojo en México y América, ha disminuido notablemente (Hernández Ramos et al., 2018). En Tabasco, la desaparición de cerca del 90 % de las selvas (Palomeque et al., 2021) ha derivado en la expansión de pastizales y áreas agrícolas (Ramírez-García et al., 2022), modificando los paisajes, así como la estructura y composición de las formaciones vegetales donde habita la especie, y con ello, sus posibilidades de persistencia a largo plazo.

Aún se conoce poco sobre las condiciones actuales del cedro rojo en ecosistemas naturales y la dinámica ecológica de sus poblaciones, así como de las características del hábitat que favorecen su desarrollo. Esta falta de información ha limitado la definición de estrategias efectivas de conservación y manejo sustentable de la especie. Sin embargo, existen estudios previos que indican que la especie ha prosperado en sistemas agroforestales y silvopastoriles, donde recibe condiciones favorables para su desarrollo, como el de Morán-Villa et al. (2022), quienes señalan que la especie es ampliamente utilizada como madera y sombra en los cacaotales de la Chontalpa; o el de Grande et al. (2018) que documenta su valorada presencia en los sistemas silvopastoriles de la Sierra como madera y sombra para el ganado bovino.

En este sentido, el análisis de la estructura y composición florística constituye una herramienta fundamental para caracterizar el hábitat del cedro rojo y comprender la organización, dinámica y estado de conservación de las formaciones vegetales. Estos atributos reflejan no solo la diversidad biológica, sino también los procesos ecológicos que mantienen el equilibrio del ecosistema y las presiones a las que se encuentra sometido (Jardel Peláez, 2015). A su vez, el análisis del paisaje mediante cartografía temática permite identificar la distribución de los tipos de vegetación y los factores ambientales y antrópicos que influyen en su configuración, aportando un marco espacial que facilita la identificación de zonas con potencial de conservación y manejo (Ramón Puebla, 2012; Jiménez Olivencia et al., 2006).

Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar los distintos hábitats del cedro rojo en el estado de Tabasco, para identificar las condiciones óptimas para su desarrollo y distribución, primero analizando la estructura y composición florística de dos zonas representativas donde se desarrolla, mediante índices ecológicos (Domínguez Gómez et al., 2018), una selva alta perennifolia (SAP) en Tenosique y una vegetación secundaria arbórea (VSA/SAP) en Macuspana, seleccionadas a partir de la revisión de los registros del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de CONAFOR

correspondientes a los periodos 2009–2013 y 2015–2020, En cada formación se seleccionó un conglomerado de muestreo de 400 m², procedente del INFyS (2020), los cuales fueron elegidos por concentrar la mayor abundancia de ejemplares de cedro rojo en el estado.

Seguido de la elaboración un mapa de paisajes de Tabasco, para determinar la influencia de los factores ambientales y antrópicos en el hábitat del cedro rojo, empleando ArcGIS Desktop (ArcMap 10.8), mediante el análisis de mapas temáticos (Ramón Puebla, 2012), creados a partir de cartografía oficial a escala 1:250 000 (INEGI, 2022; CONABIO, 2025) de variables como topografía, clima, hidrología, suelos, uso de suelo y vegetación, esta información, más la integración de revisión bibliográfica, permite determinar los tipos de hábitat donde se encuentra la especie en Tabasco, evaluar las características particulares de cada paisaje y establecer cuáles muestran mayor aptitud para su desarrollo y distribución.

Esta investigación aporta información base que contribuye a la toma de decisiones en materia de conservación, restauración y manejo forestal del cedro rojo y de los ecosistemas donde se desarrolla, al proporcionar elementos técnicos para la protección de remanentes forestales, el manejo de bosques productivos y la restauración de sitios degradados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general:

Caracterizar el hábitat del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Tabasco, mediante el análisis de su estructura y composición florística y la integración de información cartográfica ambiental en Sistemas de Información Geográfica (SIG), para identificar las condiciones óptimas para su desarrollo y distribución.

1.1.2 Objetivos específicos:

- 1.1 Elaborar un mapa de paisajes de Tabasco mediante el análisis de cartografía ambiental en SIG, para determinar los factores bióticos y abióticos que influyen en el hábitat del cedro rojo y representar los distintos tipos de hábitat y sus cualidades específicas.
- 2.1 Analizar la estructura y composición florística de las principales formaciones vegetales asociadas con el cedro rojo, en la selva alta perennifolia (SAP) de Tenosique y en la vegetación secundaria arbórea (VSA/SAP) de Macuspana, mediante índices ecológicos que permitan conocer la biodiversidad y las características ecológicas de su hábitat.

1.2 Contenido capitular

Este proyecto de investigación se desarrollará de la siguiente manera: en el Capítulo 1, correspondiente a la Introducción, se presenta un panorama general del tema central, su problemática y potencialidades, así como la justificación, los aportes del proyecto y, finalmente, los objetivos planteados para la investigación. En el Capítulo 2, dedicado a la revisión bibliográfica, se aborda al cedro rojo de manera integral, destacando sus características, importancia y situación actual; posteriormente, se describe el estado de Tabasco, sus zonas de vida y los hábitats donde se distribuye la especie, para concluir con los estudios previos relacionados con el tema. Los Capítulos 3 y 4 comprenden la metodología, los resultados y el análisis de la caracterización de las zonas de estudio mediante la elaboración de un mapa de paisajes del estado de Tabasco, seguido de la descripción de la flora a través del análisis de la estructura y composición florística de las principales formaciones vegetales asociadas al cedro rojo, con el fin de identificar el hábitat más óptimo para la especie. Finalmente, en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones generales de la investigación

1.3 Bibliografía

- Domínguez Gómez, TG, Hernández González, BN, González Rodríguez, H., Cantú Silva, I., Alanís Rodríguez, E., & Alvarado, M. del S. (2018). Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i5>
- Gálvez López, L., Vallejo Reyna, M. A., Méndez Espinoza, C., & López Upton, J. (2020). *Cedrela odorata* L.: oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(58). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.622>
- Grande, D., De León, F. y Nahed Toral, J. (2010). Los árboles forrajeros como recurso potencial para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en la Región Sierra de Tabasco. <https://doi.org/10.13140/RG.2>
- Hernández Ramos, J., Reynoso Santos, R., Hernández Ramos, A., García Cuevas, X., Hernández-Máximo, E., Cob Uicab, J. V., & Sumano López, D. (2018). Distribución histórica, actual y futura de *Cedrela odorata* en México. *Acta botánica Mexicana*, (124), 117–134. <https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1305>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2023). Plantaciones forestales con cedro rojo en el trópico mexicano. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/plantaciones-forestales-con-cedro-rojo-en-el-tropico-mexicano>
- Jardel Peláez, E. (2015). Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales. Comisión Nacional Forestal & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/49/6661Gu%C3%ADa%20web%20para%20la%20caracterizaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20final.pdf>
- Jiménez Olivencia, Y., Moreno Sánchez, J. J. (2006). Los SIG en el análisis y el diagnóstico del paisaje. El caso del río Guadix (Parque Nacional de Sierra Nevada). Cuadernos Geográficos, núm. 39, 2006, pp. 103-123 Universidad de Granada Granada, España. <https://www.redalyc.org/pdf/171/17103907.pdf>
- Mariscal-Lucero, S. del R., Rosales-Castro, M., Sánchez-Monsalvo, V., & Honorato-Salazar, J. A. (2015). Evaluación de fenoles y limonoides en hojas de *Cedrela odorata* (Meliaceae) de una plantación experimental establecida en Tezonapa, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 63(2), 415–425.

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442015000200018

- Morán-Villa, VL, Monterroso-Rivas, AI, Gómez-Díaz, JD, Márquez-Berber, SR, & Valdés-Velarde, E. (2022). Composición florística y disposición de sistemas agroforestales de cacao en Tabasco, México. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 25, #067. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3840>
- Murillo-Brito, Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Lagunas-Espinoza, L. C., & Aldrete, A. (2016). Índice de sitio en plantaciones de *Cedrela odorata* en el Trópico húmedo de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 49(1), 15-31. https://www.researchgate.net/publication/311859614_Indice_de_sitio_en_plantaciones_de_Cedrela_odorata_en_el_tropico_humedo_de_Mexico_Site_index_for_Cedrela_odorata_in_the_humid_tropics_of_Mexico
- Palomeque de la Cruz, MA, Ruiz Acosta, S. del C., Ramos Reyes, R., Magaña Alejandro, MA, & Galindo Alcántara, A. (2021). Modelación de cambios de coberturas y uso de suelo en Nacajuca, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 655-669. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v12n4/2007-0934-remexca-12-04-655.pdf>
- Ramón Puebla, AM (2012). Guía para la elaboración de mapas de paisajes con el uso de ArcGIS. ResearchGate. Ramírez, D., Alvarado, A., Ávila, C., Camacho, M. E., Fernández, J., Murillo, R., Salazar, L., & Sandí, C. L. (2018). Dinámica de la concentración y acumulación de nutrientes en los componentes de la biomasa aérea de *Cedrela odorata* L. en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 89–108. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32196>
- Ruiz-Jiménez, C. A., De los Santos-Posadas, H. M., Parraguirre-Lezama, J. F., & Saavedra-Millán, F. D. (2018). Evaluación de la categoría de riesgo de extinción del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2192>
- UNAM. 2009. *Cedrela odorata* L. Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=cedrelaodorata#:~:text=Como%20relajante%20muscular%2C%20antihemorr%C3%A1gico%20vaginal,de%20muelas%20y%20hemorragia%20nasal>.
- Uicab, J. V. C., Santiago, B. R., & Cuevas, X. G. (2023). Estandarización de un método de propagación asexual para el establecimiento de un

CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se presenta la revisión bibliográfica útil para el desarrollo de este proyecto de investigación. Primeramente, se conocerá acerca del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), sus características y cualidades particulares, como su botánica, distribución geográfica y los requerimientos ambientales óptimos para su desarrollo, así como sus principales usos y propiedades. También se abordará las problemáticas a la que se enfrenta la especie y su estatus a nivel mundial. Posteriormente, se explorarán los hábitats donde se encuentra, hasta adentrarse a las selvas de Tabasco, describiendo las características del estado, para concluir con un panorama general de los estudios previos que se han realizado en Tabasco sobre su caracterización y sobre la condición del cedro rojo en el estado mediante los estudios de estructura y composición florística de las formaciones vegetales naturales y agroecosistemas donde se encuentra.

2 CEDRO ROJO (*CEDRELA ODORATA* LINNAEUS), 1759 (MELIACEAE)

El cedro rojo es una de las especies forestales más relevantes de México y de distribución neotropical, ampliamente aprovechada por la calidad de su madera. Sin embargo, actualmente enfrenta amenazas tanto de origen ambiental como derivadas de actividades humanas, lo que hace indispensable comprender su ecología y los factores que determinan su supervivencia. Conocer sus requerimientos ambientales permite orientar un manejo adecuado que combine el aprovechamiento económico con estrategias de conservación y desarrollo comunitario.

2.1 Taxonomía

- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheophyta

- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Rosidae
- Orden: Sapindales
- Familia: Meliaceae
- Género: *Cedrela*

2.2 Descripción botánica

El cedro rojo es un árbol caducifolio que puede alcanzar de 20 a 35 m de altura, con individuos excepcionales que superan los 40 m. El diámetro del tronco suele llegar a 1.5 m, presentando en ocasiones contrafuertes poco desarrollados en la base. La copa es amplia y redondeada, con ramas robustas y ascendentes. Las hojas son compuestas, de tipo paripinnado o imparipinnado, de hasta 50 cm de longitud, integradas por 10 a 22 folíolos de forma lanceolada a oblonga. La corteza externa es rugosa y de color pardo grisáceo a rojizo, mientras que la interna presenta tonalidades rosadas a amarillentas y es fibrosa y amarga al gusto. Las flores se agrupan en panículas terminales, son pequeñas, de color crema verdoso y emiten un ligero aroma. Los frutos corresponden a cápsulas leñosas de 2.5 a 5 cm que se abren en cuatro o cinco valvas, liberando numerosas semillas aladas de 2 a 3 cm. Cada fruto puede contener entre 20 y 40 semillas, las cuales permanecen adheridas al árbol incluso después de la maduración. La especie es monoica (CONABIO, 2023).

2.3 Fenología

El cedro rojo es una especie caducifolia, lo que significa que pierde su follaje al final del año como estrategia para reducir la transpiración y conservar agua en sus tejidos durante los meses secos (febrero–abril). Posteriormente, inicia la floración, que se extiende entre mayo y octubre, mientras que la fructificación comienza hacia mediados del año (junio–julio) y alcanza la madurez entre enero y mayo. En este periodo, particularmente en marzo, se observa la mayor producción de frutos disponibles para su colecta (Morales y Herrera, 2009; López Sáez, 2010).

2.4 Distribución geográfica

El área de distribución natural del cedro rojo se extiende desde México hasta el norte de Argentina (Ruiz-Jiménez et al., 2018). En territorio mexicano se encuentra tanto en la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta Chiapas, como en la del Golfo, desde Tamaulipas hasta la península de Yucatán (Hernández Ramos et al., 2018).

2.5 Fisiografía

La especie crece en un rango altitudinal amplio, que va desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 1200 m s.n.m. (Gálvez López et al., 2020). Aunque el cedro rojo se adapta a diferentes condiciones topográficas, se ha observado con frecuencia en laderas de pendiente marcada, áreas rocosas e incluso en sitios perturbados como bordes de caminos, ruinas o terrenos removidos (INAB, 2019). Es una especie heliófita, es decir, con alta demanda de luz, especialmente en sus etapas iniciales de desarrollo, lo que favorece su establecimiento en claros del bosque o sitios abiertos (CONABIO, 2023).

2.6 Clima

El cedro rojo se desarrolla en una amplia variedad de condiciones climáticas (Gálvez López et al., 2020), aunque muestra mayor crecimiento en regiones con una estación seca definida de 2 a 5 meses. Su rango de precipitación óptimo se ubica entre 1200 y 2400 mm anuales (Murillo-Brito et al., 2016), tolerando desde 1000 hasta 5000 mm (Murillo-Brito et al., 2016). En cuanto a temperatura, prospera mejor en valores medios de 23–28 °C, aunque puede encontrarse en zonas con heladas ligeras y ocasionales dentro de su rango latitudinal (INAB, 2019).

2.7 Suelos

La especie se adapta a diferentes tipos de suelos, incluidos los derivados de calizas, arcillas y materiales volcánicos, como inceptisoles y ultisoles. Prefiere suelos francos, profundos, bien drenados y aireados, con pH ácido a neutro (5-7) y contenidos adecuados de materia orgánica (2-6 %). Los suelos ricos en fósforo, potasio y calcio favorecen su desarrollo, mientras que concentraciones

elevadas de aluminio, hierro o zinc pueden limitarlo (INAB, 2019; Murillo-Brito et al., 2016; Ramírez et al., 2018). Asimismo, se ha documentado que suelos con alto contenido de calcio contribuyen a reducir el daño ocasionado por el barrenador (*Hypsipyla grandella*), lo que sugiere cierta afinidad calcícola (Ramírez et al., 2018).

2.8 Factores abióticos y bióticos que condicionan el hábitat del cedro rojo

En conjunto, las variables ambientales descritas anteriormente representan los principales factores abióticos que influyen en el establecimiento, crecimiento y supervivencia del cedro rojo. La fisiografía, el clima, la disponibilidad de luz y las características edáficas condicionan la aptitud del sitio y regulan procesos ecológicos clave asociados al desarrollo de la especie. De manera complementaria, los factores bióticos, como la composición florística, la estructura vertical de la vegetación y los patrones de dominancia, influyen en la competencia por luz, espacio y recursos. En paisajes tropicales transformados, estos factores se encuentran estrechamente modulados por la actividad humana, a través del cambio de uso del suelo, el manejo de la vegetación y los disturbios recurrentes, lo que define el hábitat potencial del cedro rojo a lo largo de gradientes ambientales y sucesionales.

2.9 Hábitat y ambientes de distribución

El cedro rojo se desarrolla en una amplia variedad de formaciones vegetales, tanto en bosques tropicales como en áreas templadas (Murillo-Brito et al., 2016; Ruiz-Jiménez et al., 2018). No obstante, las condiciones que favorecen su regeneración natural se han reducido considerablemente, por lo que la especie suele presentarse como individuos aislados o dispersos dentro de comunidades arbóreas más diversas (Ramírez et al., 2018).

Como consecuencia de los procesos de transformación del paisaje y del cambio de uso del suelo, el cedro rojo ya no se restringe exclusivamente a bosques conservados, sino que también se localiza en pastizales arbolados, linderos, áreas agrícolas y sistemas agroforestales (Murillo-Brito et al., 2016; INAB, 2019;

Ramírez et al., 2018). En Tabasco, la especie se ha integrado como árbol de sombra en cacaotales (Morán-Villa et al., 2022), es frecuente en huertos familiares (Hans Van Der Wal, 2010) y se planta en potreros, donde proporciona sombra y refugio al ganado (Grande et al., 2010). Estos ambientes reflejan la capacidad de adaptación del cedro rojo a paisajes productivos, donde su permanencia depende del manejo, la estructura de la vegetación y la disponibilidad de condiciones ambientales favorables.

3.1 Importancia del cedro rojo

El cedro rojo es considerado un árbol multipropósito de gran valor cultural, ecológico y económico. Desde tiempos antiguos ha acompañado a distintas civilizaciones por las múltiples cualidades de su madera, su aroma y el carácter distintivo de su color rojizo, además de otros beneficios asociados a su presencia en el ambiente (INAB, 2019).

3.1.1 Madera preciosa

Esta especie es una de las maderas tropicales más apreciadas a nivel mundial debido a su calidad, durabilidad y belleza, con un tono rojizo característico y un aroma particular (Uicab et al., 2023). En la época prehispánica los mayas la empleaban en la construcción de viviendas y embarcaciones por su resistencia a plagas, mientras que en el periodo colonial se utilizó en la elaboración de muebles finos y elementos arquitectónicos (INAB, 2019).

Hoy en día, su madera continúa siendo altamente valorada para la fabricación de muebles, puertas, ventanas, escaleras y pisos, además de usarse tradicionalmente en instrumentos musicales, artesanías y cajas de tabaco (López Sáez, 2010; Gálvez López et al., 2020). A nivel comercial, es la segunda especie tropical más negociada después de la caoba (*Swietenia macrophylla*), con precios de exportación en Norteamérica que oscilan entre 958 y 977 USD por metro cúbico de madera aserrada (Gálvez López et al., 2020; Uicab et al., 2023).

La durabilidad de su madera se debe a su resistencia natural contra termitas e insectos xilófagos, así como a la facilidad con la que puede trabajarse (INAB, 2019; Parra, 2020). Por ello ha sido comercializada internacionalmente bajo los nombres de “Spanish Cedar”, “Red Cedar” o “Cigar-Box Wood” (López Sáez, 2010). Su importancia económica ha impulsado su introducción en regiones como África, el sudeste asiático y el noreste de Australia (Gálvez López et al., 2020). En México, las plantaciones de la especie representan alrededor del 20.5% de la superficie forestal nacional, concentrándose principalmente en estados del sureste como Veracruz, Campeche, Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Guerrero y Quintana Roo (Abad-Cordero, 2020).

3.1.2 Servicios ambientales

El cedro rojo se reconoce por su potencial en programas de reforestación productiva, especialmente en áreas degradadas de selva o en regiones con condiciones secas y áridas, debido a su capacidad de adaptación y crecimiento vigoroso (Ramírez-García et al., 2008). No obstante, su establecimiento no es recomendable en sitios con suelos altamente compactados o con bajos niveles de materia orgánica, donde su desempeño puede ser limitado (Ramírez et al., 2018). Además, la especie posee valor melífero, ya que sus flores constituyen una fuente de néctar para las abejas, contribuyendo así a la producción apícola y a la conservación de polinizadores (INAB, 2019).

3.1.3 Propiedades medicinales

El uso medicinal del cedro rojo está ampliamente documentado en la tradición popular y en textos históricos. En el Libro del Judío, escrito a mediados del siglo XVIII, se mencionan sus aplicaciones para aliviar dolores de muela, epilepsia y padecimientos nerviosos (UNAM, 2009). En regiones como la Huasteca potosina y veracruzana, la planta se ha empleado con fines rituales y en prácticas de medicina tradicional (INAB, 2019).

Actualmente, se les atribuyen propiedades terapéuticas frente a problemas respiratorios como bronquitis y asma, así como en el tratamiento de diarrea, bilis, reumatismo y hemorragias nasales (INAB, 2019). También se utiliza para reducir

la fiebre, aliviar dolores musculares y heridas, e incluso como parte de rituales curativos relacionados con el “susto” (UNAM, 2009). Estas aplicaciones reflejan la importancia etnobotánica de la especie y su arraigo en la cultura rural mexicana.

3.1.4 Propiedades biocidas

La familia Meliaceae es ampliamente reconocida por la presencia de metabolitos secundarios con actividad biológica, entre ellos los limonoides (tetranortriterpenos), que presentan efectos insecticidas, fungicidas y fitotóxicos (López Sáez, 2010; Mariscal-Lucero et al., 2015). Estos compuestos, junto con otros como flavonoides y proantocianidinas, cumplen un papel defensivo frente a insectos y plantas competidoras.

El cedro rojo es la especie más relevante de la familia en cuanto a aceites esenciales. Durante la etapa de inflorescencia libera compuestos volátiles que actúan como repelentes naturales, lo que explica la baja incidencia de depredadores en individuos adultos (López Sáez, 2010). En estudios realizados en Veracruz, se identificaron metabolitos secundarios —entre ellos catequina— que funcionan como barreras antialimentarias contra insectos, lo que ha motivado su análisis en programas de mejoramiento genético para incrementar la resistencia frente al barrenador (*Hypsipyla grandella*) (Mariscal-Lucero et al., 2015).

Asimismo, extractos foliares han demostrado efectos insecticidas en termitas (*Reticulitermes* sp.) bajo condiciones de laboratorio (Partida Ruvalcaba et al., 2017). En la corteza se han identificado limonoides con estructuras tipo apo-eufol que presentan alta actividad insecticida (López Sáez, 2010). Otros compuestos como la tujaplicina, el β -tujaplicinol y el ácido plicático han mostrado acción biocida contra hongos de pudrición de la madera (*Coniophora puteana*, *Postia placenta* y *Trametes versicolor*), además de actividad antioxidante (García-Ortiz et al., 2018).

La evidencia acumulada confirma que los aceites esenciales y extractos del cedro rojo representan una alternativa viable para el control biológico de plagas y enfermedades, ofreciendo un enfoque sostenible frente a los agroquímicos convencionales.

3.1.5 Uso ornamental

El cedro rojo, además de su valor productivo, también se cultiva con fines ornamentales debido a su porte majestuoso, la amplitud de su copa y el atractivo de su follaje. Estas características lo hacen adecuado para parques, avenidas y áreas verdes urbanas, donde brinda sombra, mejora el paisaje y contribuye a la regulación microclimática (INAB, 2019). Asimismo, su incorporación en espacios recreativos aporta beneficios ambientales adicionales, como la captación de contaminantes atmosféricos y la generación de espacios más confortables para la población (Ramírez-García et al., 2008).

3.1.6 Estatus

El cedro rojo es una especie que se encuentra tanto cultivada como de manera silvestre, frecuentemente mantenida por el ser humano en huertos, parcelas y plantaciones (CONABIO, 2023). A nivel internacional, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) lo clasifica como vulnerable, mientras que su comercio está regulado por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES). En México figura en la NOM-059-SEMARNAT-2010; no obstante, algunos autores señalan que el grado real de amenaza aún requiere mayor evidencia para confirmar su permanencia en dicha categoría (Gálvez López et al., 2020).

Entre los principales factores de riesgo destacan la sobreexplotación, los incendios forestales, diversas plagas y la expansión urbana, procesos que han reducido y fragmentado sus áreas naturales de distribución en Mesoamérica (Ramírez et al., 2018; Hernández Ramos et al., 2018). Además, en plantaciones comerciales se han registrado limitaciones como la baja regeneración natural, la pérdida rápida de viabilidad de las semillas y un crecimiento lento, ya que el árbol

requiere varias décadas para alcanzar un tamaño comercial adecuado (Hernández Ramos et al., 2018).

Uno de los problemas más serios para el establecimiento de la especie es el ataque del barrenador de las meliáceas, insecto que daña el tallo principal, generando bifurcaciones y fustes torcidos, lo cual restringe su aprovechamiento en plantaciones puras (INIFAP, 2023; Gálvez López et al., 2020). Estos factores han limitado la existencia de ejemplares de gran talla en el medio natural, provocando que la demanda de su madera en México no logre cubrirse con la oferta actual (Pérez González et al., 2012).

En respuesta, en las últimas décadas se han implementado programas de conservación y reforestación tanto en México como en otros países de América y África tropical, muchos de ellos impulsados con apoyo de CITES (Murillo-Brito et al., 2016). En el caso mexicano, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) ha fomentado el establecimiento de viveros y plantaciones; por ejemplo, entre 2007 y 2008 se produjeron en Yucatán alrededor de seis millones de plantas de esta especie, con base en 350–400 kg de semilla (Morales y Herrera, 2009).

4.1 Estado de Tabasco, México

A continuación, se describen los aspectos que conforman los paisajes de Tabasco y dentro de los cuales es posible apreciar la presencia del cedro rojo.

4.1.1 Localización geográfica y orografía

El estado de Tabasco se ubica en la región sureste de México, con una superficie cercana a los 24,500 km² distribuidos en 17 municipios (Córdova-Córdova, 2020). Sus coordenadas extremas se encuentran aproximadamente entre los 17°19' y 18°39' N, y los 90°57' y 94°08' O. Limita con Campeche y el Golfo de México al norte, con Chiapas al sur, con Veracruz al oeste y con Guatemala hacia el sureste (CONABIO, 2019).

4.1.2 Fisiografía

Desde el punto de vista fisiográfico, la mayor parte del territorio pertenece a la Llanura Costera del Golfo Sur, caracterizada por terrenos planos con altitudes

inferiores a 100 m, constituidos principalmente por depósitos cuaternarios. Más del 50% de la superficie presenta pendientes menores al 2%. En contraste, el extremo sur corresponde a las Sierras de Chiapas y Guatemala, donde se desarrollan lomeríos y montañas con elevaciones superiores a los 100 m y pendientes abruptas (Córdova-Córdova, 2020; INEGI, 2010).

4.1.3 Geología

La geología del estado refleja un predominio de depósitos no consolidados en planicies fluviales, palustres, lagunares y costeras, formados en el Holoceno. También existen áreas con lutitas, areniscas y conglomerados del Terciario, así como calizas más antiguas del Cretácico y Mioceno que conforman relieves kársticos en terrazas y montañas (Palma-López et al., 2017; CONABIO, 2019).

4.1.4 Clima

El clima de Tabasco es de tipo tropical en toda su extensión, con dos modalidades principales: cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw) y cálido húmedo con lluvias todo el año (Af), siendo este último característico de la zona sur. La temperatura media anual ronda los 27 °C, con máximas de hasta 36 °C en mayo y mínimas cercanas a 18 °C en enero. En cuanto a precipitación, los valores van desde 1,600 mm en la costa hasta más de 4,000 mm en la sierra, con un promedio estatal de 2,550 mm, lo que ubica a Tabasco como la entidad con mayor pluviosidad del país (INEGI, 2022; CONABIO, 2019).

La abundancia de lluvias está regulada por las cuencas de los ríos Grijalva, Usumacinta y Tonalá, que drenan hacia el Golfo de México (Zavala-Cruz et al., 2016). Sin embargo, estas condiciones también hacen a Tabasco particularmente vulnerable a fenómenos hidrometeorológicos extremos, como las inundaciones recurrentes registradas entre 2007 y 2010, vinculadas al incremento de lluvias intensas, la operación de presas en la cuenca alta del Grijalva y el impacto de huracanes en el Caribe y golfo de México (CONABIO, 2019).

4.1.5 Hidrografía

El estado de Tabasco se localiza en dos regiones hidrológicas principales: la Coatzacoalcos, que comprende alrededor de una cuarta parte del territorio estatal y donde se ubican el río Tonalá y siete subcuencas; y la Grijalva-Usumacinta, que ocupa cerca de tres cuartas partes de la superficie e incluye tres cuencas y 26 subcuencas (CONABIO, 2019).

Dentro de esta última, los ríos Usumacinta y Grijalva destacan por su gran caudal, aportando aproximadamente el 30% del escurrimiento superficial del país. El Usumacinta conforma el delta con la llanura palustre más extensa de Mesoamérica, donde confluyen lagunas de agua dulce y salobre. En temporada de lluvias, entre septiembre y noviembre, la dinámica de inundaciones puede afectar hasta la mitad del territorio estatal (CONABIO, 2019).

En el periodo 1984-2000, la superficie cubierta por cuerpos de agua mostró un incremento; sin embargo, de 2000 a 2019 se redujo, debido a factores como el cambio de uso de suelo en la parte alta de la cuenca del Usumacinta, la disminución en la precipitación, el aumento de temperatura y la sequía moderada a extrema registrada en 2019 (Aceves Navarro et al., 2017; CONAGUA, 2019; Ramírez-García et al., 2022).

4.1.6 Edafología

Los suelos más comunes en Tabasco corresponden a los Gleysoles, característicos de zonas húmedas, y a los Vertisoles, ampliamente asociados a áreas agrícolas (Palma-López et al., 2017). También se presentan Fluvisoles en las planicies fluviales, Arenosoles en la franja costera, y en las áreas de lomerío predominan Acrisoles, Luvisoles y Plintosoles. En las zonas palustres se encuentran Histosoles, Gleysoles y Solonchaks, que en conjunto ocupan cerca de una cuarta parte del territorio (CONABIO, 2019).

Los Gleysoles se distinguen por su saturación frecuente, con manchas azuladas o negras asociadas a sulfuro de hierro y metano, y coloraciones rojizas cuando se oxidan los agregados durante la estación seca. El encalado y el drenaje

permiten mejorar su fertilidad y disminuir la toxicidad por aluminio (CONABIO, 2019).

Los Vertisoles, por su parte, son suelos arcillosos que se agrietan en la estación seca, pero poseen alta capacidad de retención de agua y buena fertilidad cuando se manejan con labranza y drenaje adecuados. Aunque suelen ser estables frente a la erosión, requieren consideraciones especiales en la construcción por los movimientos asociados a la humedad (CONABIO, 2019).

En las últimas décadas se ha observado un aumento de la erosión física y química en el estado, con pérdidas que van desde menos de 10 t/ha/año en las planicies hasta más de 100 t/ha/año en las zonas serranas, particularmente en Balancán, Huimanguillo y Teapa (CONABIO, 2019).

4.1.7 Uso de suelo

Originalmente, el estado de Tabasco presentó una amplia diversidad de ecosistemas tropicales; sin embargo, a lo largo del siglo XX, los procesos de modernización productiva y expansión económica promovidos a nivel estatal y federal transformaron de manera profunda el paisaje. La expansión urbana, la agricultura y la ganadería extensiva, junto con actividades extractivas como la tala forestal, la industria petrolera y los incendios inducidos, ocasionaron una reducción drástica de la cobertura selvática. Mientras que en el pasado las selvas ocupaban aproximadamente el 47% del territorio estatal, en la actualidad su extensión se ha reducido a cerca del 2% (Vázquez Negrín et al., 2014).

Gran parte de esta transformación se explica por los programas de desarrollo implementados durante el siglo pasado, orientados a integrar la región a los mercados nacionales e internacionales. El Plan Chontalpa, por ejemplo, modificó más del 90% de la cobertura original con el objetivo de fomentar la ganadería bovina y los cultivos comerciales, promoviendo un modelo productivo basado en la apertura de grandes superficies y el reemplazo de la vegetación natural. De manera paralela, el establecimiento histórico de plantaciones de cacao y plátano, así como programas como el Desarrollo Rural Integrado para el Trópico Húmedo,

contribuyeron a la conversión sistemática de selvas y humedales en áreas agropecuarias, con una pérdida cercana al 95% de la cobertura forestal entre 1940 y 1996 (Palomeque de la Cruz, 2021).

Durante las décadas de 1960 y 1970, la ganadería bovina se consolidó como una de las principales actividades económicas del estado, impulsando la transformación de amplias superficies de selva en pastizales y redefiniendo la relación entre las comunidades rurales y el paisaje forestal (Galindo, 2006). Posteriormente, el auge petrolero de las décadas de 1970 y 1980 intensificó estos cambios mediante la construcción de infraestructura, la apertura de caminos y la fragmentación del territorio, generando impactos ambientales y sociales de largo plazo, como la degradación de suelos, la alteración de los sistemas hidrológicos y la persistente fragmentación de la cobertura vegetal (Palomeque de la Cruz, 2021).

Estos procesos históricos de transformación del uso del suelo han dado lugar a paisajes altamente fragmentados, dominados por vegetación secundaria y sistemas productivos, en los cuales especies forestales de alto valor, como el cedro rojo, persisten bajo condiciones ecológicas distintas a las de su hábitat original.

4.1.8 Ecosistema y vegetación

De acuerdo con la clasificación de Rzedowski (2006), en Tabasco se reconocen los siguientes tipos de vegetación: bosque tropical perennifolio, bosque espinoso, pastizal, bosque mesófilo de montaña, vegetación acuática y subacuática (manglar, popal, tular, carrizal, vegetación flotante y sumergida, bosque de galería), así como otros tipos de vegetación como palmares, encinares tropicales y comunidades halófitas (Córdova-Córdova, 2020).

La presión antrópica ha reducido de manera significativa las selvas. En 1950, estas cubrían más de medio millón de hectáreas; para 1990, sus remanentes apenas alcanzaban cincuenta mil hectáreas, localizados principalmente en municipios serranos como Huimanguillo, Macuspana, Teapa, Tenosique y

Tacotalpa (Córdova-Córdova, 2020). Actualmente, la vegetación natural ocupa el 37.4% del estado: destacan las comunidades acuáticas en las planicies palustres (17.6%), las selvas perennifolias en laderas y zonas palustres (9%) y los manglares alrededor de lagunas costeras (1.7%) (CONABIO, 2019).

El bosque mesófilo de montaña, junto con relictos de selva alta y mediana perennifolia, persiste en laderas y planicies aluviales. También se encuentran encinares tropicales en áreas de lomerío y vegetación riparia a lo largo de los ríos. A pesar de esta diversidad, gran parte de la vegetación presenta diferentes grados de perturbación. En 2013, la CONAFOR reportó que la superficie de selvas altas y medianas estaba compuesta en un 87.4% por comunidades secundarias y apenas un 12.6% permanecía en condición primaria. Ecosistemas como los manglares también han sufrido deterioro (Ramírez-García et al., 2022).

En cuanto a la presión sobre especies, el cedro rojo, la caoba (*Swietenia macrophylla*), el tinto (*Haematoxylum campechianum*), diversas palmas y el mangle, presentan altos niveles de sobreexplotación. Entre los recursos no maderables, destaca el barbasco (*Dioscorea composita*), igualmente sujeto a intensa extracción (CONABIO, 2019).

Para contrarrestar esta situación, en las últimas décadas se han promovido programas como el Programa Especial de Desarrollo Forestal (PEDF 2013-2018), que fomentaron el establecimiento de plantaciones con especies nativas y exóticas de interés comercial, incluyendo caoba, cedro rojo, maculís (*Tabebuia rosea*), melina (*Gmelina arborea*), teca (*Tectona grandis*), caoba africana (*Khaya ivorensis*), cedro australiano (*Toona ciliata*) y eucalipto (*Eucalyptus grandis*) (Ramírez-García et al., 2022).

4.1.9 Formaciones forestales donde habita el Cedro rojo en Tabasco

En el estado de Tabasco, el cedro rojo se distribuye principalmente en municipios como Balancán, Centro, Comalcalco, Jalapa, Macuspana, Nacajuca y Teapa (Córdova-Córdova, 2020). Esta especie se encuentra en diferentes tipos de

selvas, alta, mediana y baja perennifolia (SAP, SMP y SBP), encontrándose principalmente en la SAP.

La selva alta perennifolia (SAP) se concentra en la zona sur, dentro de las subregiones Sierra, Pantanos y Ríos, sobre terrenos sedimentarios de origen calizo, generalmente fragmentados. Su rango altitudinal va de 0 a 1,200 msnm y prospera en superficies planas o con ligeras ondulaciones (CONAFOR, 2013). Esta formación se considera la de mayor complejidad estructural y riqueza florística, caracterizada por suelos con buen drenaje, aunque ocasionalmente pueden inundarse tras lluvias intensas. Entre los suelos más representativos se encuentran Luvisoles, Vertisoles, Leptosoles, Gleysoles y Cambisoles, usualmente de textura arcillosa y con alto contenido de materia orgánica (Alejandro-Montiel et al., 2010).

En esta selva, los árboles alcanzan alturas promedio de 9.7 m, con individuos que llegan a superar los 30 m. Aunque algunas especies pierden hojas en la temporada seca, el dosel mantiene un aspecto siempre verde (CONAFOR, 2013). Entre las especies más representativas se encuentran ramón (*Brosimum alicastrum*), guapaque (*Dialium guianense*), palo de Campeche (*Haematoxylum campechianum*), bolchiche (*Coccoloba barbadensis*) y jobo (*Spondias mombin*) (Capetillo-Concepción, 2019; CONAFOR, 2013). Otras especies como ceiba (*Ceiba pentandra*), palo mulato (*Bursera simaruba*), además de orquídeas, bromelias, helechos y diversas lianas, conforman la riqueza estructural de este ecosistema (Alejandro-Montiel et al., 2010).

Como resultado de los procesos de transformación, gran parte de la selva alta perennifolia original fue sustituida por paisajes dominados por vegetación secundaria arbórea, sistemas silvopastoriles y sistemas agroforestales, los cuales actualmente constituyen la matriz predominante del territorio tabasqueño. Estas unidades de uso del suelo no representan únicamente estados degradados de la selva, sino sistemas funcionales donde persisten remanentes forestales y especies de valor ecológico y económico, como el cedro rojo, bajo distintos niveles de intervención antrópica.

4.1.10 Fauna

En cuanto a la biodiversidad del Estado, aún no hay información suficiente sobre algunos grupos como microorganismos, hongos, insectos e invertebrados en general, cuya riqueza es mayor a la reportada. En el medio terrestre, existen áreas de difícil acceso que permanecen sin explorar, principalmente hacia la zona Sierra, donde es posible encontrar especies con distribución asociada a selva perennifolia. Asimismo, en la zona costera destacan los manglares y, en la región Ríos, diversos ecosistemas acuáticos y selváticos. En el estudio de estado se describen 17 grupos taxonómicos: algas, plantas (briofitas, helechos, gimnospermas y angiospermas), hongos, invertebrados (helmintos y crustáceos parásitos de peces, equinodermos, moluscos, insectos y arácnidos) y vertebrados (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos). En Tabasco se distribuyen pocas especies endémicas del país, y son aún menos los casos de especies endémicas estatales; entre estas últimas destacan la cícada (*Zamia cremaophila*) y peces topotes adaptados a ambientes ricos en azufre (CONABIO, 2019).

De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, se calcula que 57.33% de la flora tabasqueña (43 especies) están en la categoría de amenazadas, 25.33% (19 especies) se encuentran sujetas a protección especial y 17.33% (13 especies) en peligro de extinción. En cuanto a la fauna, 214 especies están bajo alguna categoría de protección: 55.14% (118 especies) sujetas a protección especial, 30.84% (66 especies) amenazadas y 14.02% (30 especies) en peligro de extinción. Por grupo taxonómico, los anfibios tienen 10 especies bajo protección, los reptiles 38, las aves 119 y los mamíferos 47. En total, 224 especies de vertebrados están consideradas en riesgo (CONABIO, 2019).

Esta diversidad de fauna constituye un componente esencial de las interacciones ecológicas de las selvas altas, medianas y bajas perennifolias donde se desarrolla el cedro rojo, ya que muchas especies cumplen funciones de dispersión, polinización y control biológico, influyendo directamente en su regeneración natural y en la dinámica de estas formaciones vegetales.

4.1.11 Regionalización del Estado de Tabasco

En el Estado de Tabasco se reconocen cuatro regiones geopolíticas: la Región de la Chontalpa (municipios de Huimanguillo, Cárdenas, Comalcalco, Paraíso, Cunduacán, Nacajuca y Jalpa de Méndez); la Región del Centro, representada por el municipio homónimo donde se ubica la capital Villahermosa; la Región de la Sierra (municipios de Teapa, Tacotalpa, Jalapa y Macuspana); y la Región de los Ríos (municipios de Balancán, Tenosique, Emiliano Zapata, Jonuta y Centla). Documentos más recientes incluyen una quinta región: la Zona de Pantanos de Centla (Palma-López et al., 2007).

La regionalización oficial de 1994 (SEDAFOP) agrupa al estado en dos grandes regiones, Grijalva y Usumacinta, divididas a su vez en cinco subregiones que comparten características ambientales, sociales y productivas. Cada subregión posee particularidades en relieve, clima, vegetación y economía: la Chontalpa con actividad petrolera, agrícola y ganadera; el Centro con la concentración poblacional y económica; la Sierra con alta pluviosidad y producción agrícola diversificada; los Ríos con amplia superficie selvática y actividad ganadera y agrícola; y Pantanos, con predominio de humedales y áreas de inundación (Mariaca Méndez, 2012; Ortega-Argueta, 2014).

La distribución del cedro rojo en Tabasco coincide principalmente con las subregiones Sierra, Ríos y Chontalpa, donde aún se conservan relictos de selva alta, mediana y baja perennifolia. Estas diferencias regionales son clave para analizar la variabilidad ambiental y florística de los sitios de estudio, y permiten identificar cómo factores geográficos, edáficos e hidrológicos influyen en el desarrollo y distribución de la especie.

4.2 Caracterización del Hábitat

El hábitat puede entenderse como el entorno donde las especies encuentran las condiciones físicas y biológicas necesarias para desarrollarse y reproducirse. Su conservación es esencial, pues la mayor parte de la biodiversidad terrestre depende de la integridad de los ecosistemas forestales. Por ello, las estrategias de manejo deben integrar tanto la protección de áreas naturales como el

aprovechamiento sustentable de bosques y la restauración de zonas degradadas (Jardel Peláez, 2015).

La biodiversidad abarca la variabilidad de organismos en diferentes niveles: especies, genética y comunidades ecológicas. Su conservación, por lo tanto, implica mantener esta complejidad a distintas escalas temporales y espaciales (Jardel Peláez, 2015).

Desde los orígenes de la ecología y la biogeografía, se ha resaltado la influencia del ambiente sobre la distribución y adaptación de las especies. De esta forma, caracterizar el hábitat se ha consolidado como una herramienta fundamental tanto para explicar patrones ecológicos como para diseñar acciones de conservación (Jardel Peláez, 2015).

La permanencia de las especies depende de que los hábitats conserven condiciones adecuadas para su crecimiento y reproducción. En consecuencia, el manejo forestal debe poner atención a los gradientes ambientales y a las interacciones ecológicas que determinan la presencia y viabilidad de las poblaciones (Jardel Peláez, 2015).

Jardel Peláez (2015) propone una metodología jerárquica de cuatro niveles para caracterizar hábitats forestales:

1. Escala regional (1:250,000): delimita grandes unidades bioclimáticas y de cobertura vegetal, útiles para la planificación territorial y la identificación de regiones prioritarias.
2. Escala subregional (1:50,000): incorpora relieve y suelos, variables que explican la variación local de la vegetación dentro de una misma zona climática.
3. Escala predial (1:10,000 a 1:25,000): se aplica en predios de manejo forestal, donde se planifican intervenciones técnicas.
4. Escala de rodal (1:1): analiza la estructura y composición de la vegetación a nivel de sitio, considerando factores topográficos y procesos ecológicos.

Más que un ejercicio cartográfico, esta aproximación concibe los paisajes como sistemas dinámicos y multifactoriales, en los que interactúan patrones espaciales y procesos ecológicos que sostienen la biodiversidad.

4.2.1 Mapa de paisajes

El paisaje puede concebirse como una unidad de territorio que se distingue de las demás por sus características particulares. Se conforma por componentes naturales y elementos transformados por la sociedad, los cuales interactúan de manera dinámica a lo largo del tiempo (Ramón Puebla, 2012).

El mapa de paisajes se realiza usando como software SIG el ArcGIS Desktop, con herramientas como geoprocésamiento raster, modelamiento y análisis espacial. (Ramón Puebla, AM, 2012). En un primer momento se realiza un análisis temático, individual de cada uno de los componentes del paisaje, con el empleo de la herramienta Spatial Analyst de ArcGis (Jiménez Olivencia, et al, 2006). Se comienza por los elementos o variables del medio natural abiótico, como topografía (INEGI, 2022), clima (CONAGUA, 2024), hidrología (CONAGUA, 2024); se continúa por los de naturaleza biótica, suelos (INEGI, 2022), vegetación y usos de suelo (CONAFOR, 2020).

El mapa final resulta de la superposición de estos insumos cartográficos junto con la información de campo y referencias bibliográficas, generando un producto sintético que refleja tanto las condiciones naturales como las transformaciones humanas del territorio (Jiménez Olivencia et al., 2006). El proceso de integración inicia con la cartografía fisiográfica (ej. llanuras y lomeríos) y avanza hacia la combinación de variables, hasta reconocer asociaciones definidas como unidades de paisaje (Salinas Chávez, 2001). Estas unidades permiten describir situaciones específicas, como la presencia de selva alta perennifolia en llanuras cálidas húmedas.

Estudios previos de mapa de paisajes en Tabasco

En el estado de Tabasco, diversos estudios han demostrado la importancia de la cartografía geomorfológica y la clasificación de suelos como herramientas clave

para el ordenamiento ecológico del territorio y la planificación del uso de los recursos naturales, especialmente en regiones tropicales donde estos estudios aún son escasos (López-Castañeda et al., 2022).

Por ejemplo, Brindis-Santos et al. (2020) llevaron a cabo una zonificación de paisajes geomorfológicos y unidades de suelo en las planicies y terrazas de Tacotalpa y Jalapa, utilizando un enfoque geopedológico a escalas 1:250,000 y 1:50,000. Su estudio permitió identificar con claridad la distribución de grupos y unidades de suelos, como Gleysols, Fluvisols y Lixisols, en función de las geoformas y tipos de relieve. La investigación aportó una base técnica y metodológica sólida para optimizar futuros estudios de suelos, haciendo énfasis en la eficiencia y economía del proceso de caracterización edafológica.

De manera complementaria, López-Castañeda et al. (2022) desarrollaron cartografía detallada de formas del terreno en planicies y lomeríos agropecuarios en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, también bajo el enfoque geopedológico. A partir del análisis morfométrico y morfográfico del terreno, así como la verificación en campo, identificaron nuevas formas del terreno relevantes para el manejo agropecuario y forestal, como depresiones interloma, gota de lágrima y pozos petroleros, destacando su relación con humedales estacionales. Este tipo de información es fundamental para el diseño de estrategias de uso sustentable del suelo y mitigación de la degradación ambiental.

Otro aporte relevante es el trabajo de López-Castañeda et al. (2017), en el que se compararon dos métodos de cartografía de suelos en la región de Los Ríos, Tabasco: el Método Tradicional de Fotointerpretación (MTF) y el uso de Modelos Digitales de Elevación (MDE). Los resultados demostraron que ambos métodos presentan una precisión y exactitud aceptables (entre 74 % y 85 %), aunque el MDE destacó por su bajo costo y accesibilidad, lo que lo convierte en una alternativa eficiente para el mapeo de suelos en amplias superficies y para pequeños productores.

Otro ejemplo, Gama et al. (2019) desarrollaron un mapa de paisajes de todo el Estado de Tabasco, a partir del cruce entre mapas de vegetación y unidades fisiográficas, delimitando geoformas con características homogéneas. Su enfoque metodológico, basado en la cartografía digital y sistemas de información geográfica (SIG), permitió identificar patrones espaciales que reflejan la heterogeneidad ecológica del territorio.

Estos estudios coinciden en señalar que el análisis detallado del relieve y las formas del terreno permite establecer relaciones claras entre la geomorfología, la hidrología y las características edáficas del paisaje tropical tabasqueño, lo cual es esencial para comprender la dinámica ecológica local, planificar el uso de la tierra y conservar los recursos naturales.

4.2.2 Estructura y composición florística

La composición florística se refiere al conjunto de especies registradas en una comunidad vegetal, considerando su organización en familias y géneros. Este componente no solo refleja la riqueza de especies, sino también otros atributos asociados, como diversidad y similitud entre sitios. La estructura de la vegetación, por su parte, describe la manera en que los individuos se distribuyen tanto en sentido horizontal, como vertical (Domínguez Gómez et al., 2018).

La evaluación de la estructura horizontal suele basarse en indicadores como la abundancia, frecuencia y dominancia de cada especie, a partir de los cuales se calcula el Índice de Valor de Importancia (IVI). Con ello es posible identificar a las especies que tienen mayor peso ecológico dentro de la comunidad (Domínguez Gómez et al., 2018). En cuanto a la organización vertical, el índice de Pretzsch (A) permite distinguir la proporción de individuos en diferentes estratos de altura, para la detección de cambios en la diversidad. Se divide en 3 Estratos, tomando como referencia al individuo más alto (100%): Estrato 1 (100-80%); estrato 2 (80-50%); Estrato 3 (50-0%) (Buendía-Rodríguez, et al., 2019).

Estudios previos sobre la composición y estructura florística

En Tabasco y el sureste de México, distintos trabajos han documentado la composición y estructura de comunidades vegetales con el fin de evaluar su diversidad y estado de conservación.

Uno de los estudios más relevantes en Tabasco fue realizado por Martínez-Sánchez (2016), quien comparó la diversidad estructural entre una selva alta perennifolia y una selva mediana subperennifolia. Encontró que la selva alta presentaba mayor complejidad estructural y diversidad, con 66 especies y un mayor número de árboles de gran altura, en comparación con la selva mediana, que albergaba solo 27 especies. Este estudio evidenció que la estructura vertical y horizontal de las comunidades vegetales está directamente relacionada con su grado de conservación y su papel ecológico.

En un paisaje agropecuario de Tabasco, González-Valdivia et al. (2012) registraron 172 especies en 96 parcelas, destacando que la vegetación secundaria madura (acahuales) conserva una elevada riqueza arbórea. El trabajo advierte que la desaparición de estos acahuales podría agravar la fragmentación del paisaje y limitar la regeneración natural.

En otro contexto, Manzanilla Quijada et al. (2020) aplicaron índices de diversidad (Shannon, Simpson, Margalef y Menhinick) y el índice de Pretzsch para caracterizar bosques templados en Nuevo León. Aunque corresponden a un ecosistema distinto, sus resultados evidencian la utilidad de estas métricas para describir la estructura florística en cualquier tipo de bosque.

Asimismo, Gama et al. (2019) propusieron un enfoque de paisaje que integra elementos físicos, biológicos y sociales en la identificación de unidades ambientales. Este tipo de aproximación permite vincular los patrones florísticos con factores amplios como fisiografía y uso del suelo.

De manera complementaria, Solís-Castillo et al. (2014) analizaron las unidades geomorfológicas del área del río Usumacinta, relacionando los procesos fluviales

y edafológicos con la dinámica de la vegetación. Aunque su énfasis fue geológico, ofrecen una base importante para comprender los determinantes físicos del establecimiento de la flora.

En conjunto, estas investigaciones demuestran que la composición y estructura florística responden a la interacción de factores bióticos y abióticos, a la historia de uso del suelo y a procesos de sucesión. También resaltan la necesidad de enfoques interdisciplinarios que integren métodos florísticos, estructurales y del paisaje para el diseño de estrategias de conservación

Diversos estudios han señalado que el cedro rojo también se desarrolla en espacios transformados por la actividad humana, particularmente en agroecosistemas donde figura como una de las especies más destacadas. En las tierras bajas de Tabasco, sobre todo en las subregiones Centro y Chontalpa, esta especie forma parte de huertos familiares y plantaciones de cacao, concentrados en municipios como Cárdenas, Paraíso, Cunduacán y Comalcalco. Dichos sistemas se establecen en terrenos originalmente selváticos y mantienen elementos de la vegetación nativa, a los que se suman árboles frutales, maderables y plantas medicinales que cumplen funciones de sombra, producción y conservación (Morán-Villa et al., 2022).

Los huertos familiares, considerados sistemas agroforestales con varios estratos, integran especies de diferentes hábitos de crecimiento (árboles, arbustos, hierbas y trepadoras) con fines alimenticios, medicinales, ornamentales y forestales, manejados principalmente con trabajo doméstico (Maldonado-Torres et al., 2018). En Nacajuca, por ejemplo, se han registrado hasta 33 especies y variedades de árboles, con densidades que alcanzan 500 individuos por hectárea (Van Der Wal, 2010). En Cárdenas, Huimanguillo y Comalcalco, las especies de mayor relevancia en estos sistemas son el cedro rojo, el maculís, el mango y el cacao, al obtener los valores más altos de importancia ecológica y productiva (Chablé-Pascual et al., 2014).

En los cacaotales de la Chontalpa se han registrado hasta 36 especies de 17 familias, con mayor representación de Fabaceae y Rutaceae, con especies clave como el cedro rojo, la caoba, la (*Gliricidia sepium*), (*Cocos nucifera*) y (*Pimenta dioica*) (Martínez López, 2014). Estas especies, además de proveer sombra, ofrecen servicios ecosistémicos como fijación de nitrógeno, protección del suelo y generación de hábitat para epífitas y fauna (Morán-Villa et al., 2022). También ayudan a mitigar el cambio climático al retener carbono, favorecer el reciclaje de nutrientes y mantener procesos ecológicos esenciales (Chablé-Pascual et al., 2014).

Los sistemas agroforestales, por tanto, constituyen una interfaz entre la producción agrícola y la conservación de la biodiversidad, ya que combinan especies domesticadas con elementos de la vegetación original e incorporan prácticas culturales y tradicionales de las comunidades locales (Pérez et al., 2012). Esta integración de funciones ecológicas, productivas y sociales convierte a los agroecosistemas en unidades de paisaje estratégicas para la sostenibilidad regional (Morán-Villa et al., 2022).

De manera complementaria, se han documentado los sistemas silvopastoriles (SSP) como una alternativa productiva que integra árboles o arbustos perennes, pastos y ganado en una misma unidad de manejo, con el propósito de mejorar la eficiencia y generar beneficios múltiples (Grande et al., 2010). En Tabasco, este tipo de prácticas se encuentra principalmente en la subregión de la Sierra —en municipios como Jalapa, Teapa, Tacotalpa y, en algunos casos, Macuspana— donde la economía local se basa en la agricultura (plátano, papaya, palma de aceite, maíz y caña de azúcar), la ganadería y actividades complementarias como la industria alimentaria y el turismo rural (Ortega-Argueta, 2014).

En la subregión de la Sierra de Tabasco, la ganadería bovina se practica principalmente bajo un modelo extensivo, sustentado en el pastoreo de gramíneas introducidas como (*Hemarthria altissima*) y (*Brachiaria decumbens*), además de especies nativas como (*Eriochloa polystachya*). El patrón de uso del

suelo refleja un gradiente altitudinal: en las zonas de relieve abrupto aún persisten fragmentos de selva alta subperennifolia, mientras que en las laderas predominan prácticas agrícolas tradicionales como la roza y quema. En las planicies bajas se han establecido pastizales con gramíneas exóticas para el pastoreo, y en áreas con topografía más suave dominan acahuales jóvenes (Grande et al., 2010).

Históricamente, en esta región se identificaron hasta nueve tipos de vegetación original, de los cuales únicamente cuatro corresponden a selvas altas que aún permanecen. En la vegetación actual se han registrado más de 300 especies de arbustos y árboles, en su mayoría de origen nativo (Grande et al., 2010).

Dentro de los sistemas silvopastoriles (SSP), la práctica más representativa son las cercas vivas, Otro arreglo común son los árboles dispersos en potreros (ADP) y en linderos, donde se incluyen especies maderables, frutales, de sombra y de múltiples usos, entre ellas el cedro rojo, que aparece con frecuencia en los sistemas multiespecie, constituidas por especies leñosas que pueden establecerse en monocultivo —por ejemplo, cocoite (*Gliricidia sepium*), (*Erythrina* sp.), (*Pachira aquatica*) o en arreglos multiespecie, donde suelen incluirse (*Tabebuia rosea*), (*Bursera simaruba*), (*Miconia argentea*), (*Ficus* sp) y (*Salix chilensis*) (Grande et al., 2010). En el estado, se ha observado que el maculís predomina en las cercas multiespecie y el cocoite en los monocultivos, manteniendo un alto porcentaje de especies nativas (Maldonado et al., 2008).

Estos árboles cumplen diversas funciones productivas y culturales —alimenticias, maderables, ornamentales, medicinales y artesanales— así como funciones de conservación y protección contra factores climáticos y en ciertos ambientes presentan diferencias en su composición: en áreas inundables destacan (*Haematoxylum campechianum*) y (*P. aquatica*), mientras que en zonas altas son comunes (*Diphysa robinoides*) y (*Curatella americana*). La densidad reportada puede llegar hasta 187 árboles por cada 100 metros lineales de cerco, con un promedio de 76 (Grande et al., 2010).

Asimismo, las plantaciones forestales, muchas de ellas establecidas bajo un esquema silvopastoril al permitir el pastoreo, se han promovido mediante programas gubernamentales. Entre las especies más utilizadas se encuentran Gmelina arborea, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Eucalyptus grandis*, palma africana (*Elaeis guineensis*), cocotero (*Cocos nucifera*), hule (*Hevea brasiliensis*) y frutales como cítricos y mango (Grande et al., 2010). Estas plantaciones suelen establecerse sobre antiguos potreros con pastizales degradados y persiguen tanto fines forestales como ganaderos. En el caso del cedro rojo, se han descrito características morfológicas que facilitan su identificación, como la corteza fisurada y la coloración rosada de su madera (Murillo et al., 2017).

En conjunto, estos estudios establecen un marco conceptual y metodológico para el análisis de la estructura y composición de la vegetación tropical, enfatizando el papel de los factores ambientales y antrópicos en la configuración de los paisajes actuales, enfoque que sustenta el desarrollo del presente estudio.

2.3 Literatura citada

- Alejandro-Montiel, C., Galmiche-Tejeda, Á., Domínguez-Domínguez, M., & Rincón-Ramírez, A. (2010). Cambios en la cubierta forestal del área ecoturística de la Reserva Ecológica de Agua Selva, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(3), 605–617. Universidad Autónoma de Yucatán. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93915170005>
- Brindis-Santos, A. I., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Mata-Zayas, E. E., & López-Bustamante, Y. I. (2020). Paisajes geomorfológicos relacionados con la clasificación de los suelos en planicies y terrazas de Tabasco, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72(1), A090919. <https://doi.org/10.18268/BSGM2020v72n1a090919>
- Buendía-Rodríguez, Enrique, Eduardo Javier Treviño-Garza, Eduardo Alanís-Rodríguez, Oscar A. Aguirre-Calderón, Marco A. González-Tagle, y Marín Pompa-García. (2019). Estructura De Un Ecosistema Forestal Y Su relación Con El Contenido De Carbono En El Noreste De México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 10 (54). México, ME. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.149>
- Chablé-Pascual, R., Palma-López, DJ, Vázquez-Navarrete, CJ, Ruiz-Rosado, O., Mariaca-Méndez, R., & Ascensio-Rivera, JM (2014). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y recur. agropecuarios vol.2 no.4*.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000100003

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2013). Resultados del inventario estatal de Tabasco. Sistema Nacional. <https://old-snigf.cnf.gob.mx/producto/resultados-del-inventario-estatal-de-tabasco/>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2020). Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). <https://snmf.cnf.gob.mx/infys/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Tabasco. 2019. *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. CONABIO. México.* https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee_tabasco
- CONABIO (2023). *Cedrela odorata* L. (1759). — MELIACEAE — *Publicado en: Systema Naturae, Editio 10: 940. 1759.* http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/36-melia2m.pdf
- Córdova-Córdova, D., C. M. Burelo-Ramos, M. J. Campos-Díaz, N. E. M. Morales-Rodríguez, W. Álvarez-Jiménez, G. Beauregard Solís, N. Muñiz-Chavarría y M. E. Ortega-Ramírez. 2020. Meliaceae (Sapindales): riqueza y distribución en el estado de Tabasco, México. *Acta Botánica Mexicana* 127: e1741. DOI: 10.21829/abm127.2020.1741
- Gálvez López, L., Vallejo Reyna, M. A., Méndez Espinoza, C., & López Upton, J. (2020). *Cedrela odorata* L.: oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(58). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.622>
- Gama, L. M., Moguel-Ordoñez, E. J., et al. (2019). El estudio de paisaje: una herramienta para el manejo de los recursos naturales. *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/376005321>
- García-Ortiz, V. R., Benítez-Rocha, G., Martínez-Pacheco, M., & Velázquez-Becerra, C. (2018). Preservadores maderables y exudados microbianos con actividad antagonista contra agentes biológicos deletéreos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(1), 56–78. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1704-2>
- González-Valdivia, N., Ochoa-Gaona, S., Ferguson, B. G., Pozo, C., Kampichler, C., & Pérez-Hernández, I. (2012). Análisis comparativo de la estructura, diversidad y composición de comunidades arbóreas de un paisaje agropecuario en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(1), 83-99. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42523212010>
- Grande, D., De León, F. y Nahed Toral, J. (2010). Los árboles forrajeros como recurso potencial para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en la Región Sierra de Tabasco. <https://doi.org/10.13140/RG.2>
- Hernández Ramos, J., Reynoso Santos, R., Hernández Ramos, A., García Cuevas, X., Hernández-Máximo, E., Cob Uicab, J. V., & Sumano López,

- D. (2018). Distribución histórica, actual y futura de *Cedrela odorata* en México. *Acta Botanica Mexicana*, (124), 117–134. <https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1305>
- Instituto Nacional de Bosques (INAB). 2019. Paquete Tecnológico Forestal para Cedro *Cedrela odorata* L. Guatemala, *Departamento de Investigación Forestal*. 87p. (Serie técnica DT-029-2019). <https://www.inab.gob.gt/images/publicaciones/PTF%20CEDRO.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geología (INEGI), 2001. Aspectos Geográficos de Tabasco. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espagnol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825223939/702825223939_2.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geología (INEGI), 2022. Aspectos Geográficos de Tabasco. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_27.pdf
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2023). Plantaciones forestales con cedro rojo en el trópico mexicano. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/plantaciones-forestales-con-cedro-rojo-en-el-tropico-mexicano>
- Jardel Peláez, E. (2015). Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales. *Comisión Nacional Forestal & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/49/6661Gu%C3%ADa%20web%20para%20la%20caracterizaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20final.pdf>
- López Sáez, J. A., & Pérez Soto, J. (2010). Fitoquímica y valor ecológico del olor a ajo en los vegetales. *Medicina Naturista*, 4(1), 15-23. ISSN: 1576-3080. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3142834>
- López-Castañeda, A., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Ortiz-Solorio, C. A., Tinal-Ortiz, S., & Valdez-Lazalde, J. R. (2017). Cartografía de suelos en la región de Los Ríos, Tabasco, México; uso del modelo digital de elevación. *AgroProductividad, Universidad Popular de la Chontalpa; Colegio de Postgraduados*. https://www.researchgate.net/publication/331231792_CARTOGRAFIA_DE_SUELOS_EN_TABASCO_MEXICO
- López-Castañeda, A., Zavala-Cruz, J., Palma-López, D. J., Bautista-Zúñiga, F., & Rincón-Ramírez, J. A. (2022). Formas del terreno a escala detallada en planicies aluviales y lomeríos de llanura costera tropical utilizando el enfoque geopedológico (Huimanguillo, Tabasco). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 74(2), A100122. <https://doi.org/10.18268/BSGM2022v74n2a100122>

- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Vargas Hernández, M. (2018). Contribución al estudio del sistema agroentomoforestal árbol *Lippia myriocephala* como fuente de combustible y medio de reproducción de la larva *Phassus triangularis*. *ResearchGate*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/331101209>.
- Mariaca Méndez, R. (2012). El huerto familiar del sureste de México. *Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco y El Colegio de la Frontera Sur* <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-authoritiesdetail.pl?authid=5692>
- Mariscal-Lucero, S. del R., Rosales-Castro, M., Sánchez-Monsalvo, V., & Honorato-Salazar, J. A. (2015). Evaluación de fenoles y limonoides en hojas de *Cedrela odorata* (Meliaceae) de una plantación experimental establecida en Tezonapa, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 63(2), 415–425. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442015000200018
- Martínez López, A. A., Candia Alor, C. D. R., Flores Lázaro, C., Bolívar Arriaga, N. K., Aldana Rodríguez, J., & Hernández de la Cruz, R. (2014). Herpetofauna en un cacaotal en La R/A Himango 1ra Sección, Cunduacán Tabasco. *Kuxulkab'*, 17(33). <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a17n33.360>
- Martínez-Sánchez, J. L. (2016). Comparación de la diversidad estructural de una selva alta perennifolia y una mediana subperennifolia en Tabasco, México. *Madera y Bosques*, 22(2), 29–40.
- Morales Ortiz, E. R., & Herrera Tuz, L. G. (2009). CEDRO (*Cedrela odorata* L.): Protocolo para su colecta, beneficio y almacenaje. Comisión Nacional Forestal, Región XII Península de Yucatán, Departamento de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1299Cedro%20rojo%20Yucat%C3%A1n.pdf>
- Morán-Villa, VL, Monterroso-Rivas, AI, Gómez-Díaz, JD, Márquez-Berber, SR, & Valdés-Velarde, E. (2022). Composición florística y disposición de sistemas agroforestales de cacao en Tabasco, México. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 25, #067. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3840>
- Murillo-Brito, Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Lagunas-Espinoza, L. C., & Aldrete, A. (2016). Índice de sitio en plantaciones de *Cedrela odorata* en el Trópico húmedo de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 49(1), 15-31. https://www.researchgate.net/publication/311859614_Indice_de_sitio_en_plantaciones_de_Cedrela_odorata_en_el_tropico_humedo_de_Mexico_Site_index_for_Cedrela_odorata_in_the_humid_tropics_of_Mexico

- Ortega-Argueta, A. (2014). Programa Piloto de Adaptación ante el Cambio Climático para la Subregión Pantanos (Technical Report). *El Colegio de la Frontera Sur*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3141.3285>
- Palma-López, D. J., Cisneros, J., Moreno, E., & Rincón-Ramírez, J. A. (2007). Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. *Colegio de Postgraduados, Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco (ISPROTAB), Fundación Produce Tabasco A.C. (FUPROTAB)*. https://www.researchgate.net/publication/293958380_Suelos_de_Tabasco_Su_Uso_y_Manejo_Sustentable
- Palma-López, D. J., Jiménez Ramírez, R., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Gavi Reyes, F., & Palma-Cancino, D. Y. (2017). Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agroproductividad*: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 29-35. https://www.researchgate.net/publication/322789474_UPDATING_THE_CLASSIFICATION_OF_SOILS_IN_TABASCO_MEXICO
- Parra, L. 2020. Concentraciones críticas nutrimentales y normas DRIS para árboles de medio turno de *Cedrela odorata* L. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. 11. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/594/1871>
- Partida Ruvalcaba, L., Monjardín Armenta, K. G., Díaz Valdés, T., Velázquez Alcaraz, T. de J., Ayala Tafoya, F., Medina López, R., & Yáñez Juárez, M. G. (2017). Efecto del extracto de cedro (*Cedrela odorata* L.) sobre las termitas (*Reticulitermes* spp.). *Ciencias Agrícolas*, 8(4). DOI: 10.4236/as.2017.84019
- Pérez González, G., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., & Etchevers Barra, J. D. (2012). Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y bosques*, 18(1), 21-48. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712012000100002&script=sci_arttext
- Ramírez, D., Alvarado, A., Ávila, C., Camacho, M. E., Fernández, J., Murillo, R., Salazar, L., & Sandí, C. L. (2018). Dinámica de la concentración y acumulación de nutrimentos en los componentes de la biomasa aérea de *Cedrela odorata* L. en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 89–108. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32196>
- Ramírez-García, A. R., Zavala-Cruz, J., Rincón-Ramírez, J. A., Guerrero-Peña, A., García-López, E., Sánchez-Hernández, R., Castillo-Acosta, O., Alfaro-Sánchez, G., & Ortiz-Pérez, M. A. (2022). Vegetation cover and land use change (1947-2009) in the region of Los Ríos, Tabasco, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(3), 465–481. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.01.001>

- Ramírez-García, C., Vera-Castillo, G., Carrillo-Anzures, F., & Magaña-Torres, O. S. (2008). El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como alternativa de reconversión de terrenos agrícolas en el sur de Tamaulipas. *Agricultura Técnica en México*, 34(2), 145–152. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000200011
- Rosales, M. 2016. Composición química de las hojas y ramas de *Cedrela odorata* L. de dos plantaciones forestales como fuente de materia prima lignocelulósica. *Madera y Bosques* vol. 22, núm. 2: 131-146 Verano 2016. Instituto Politécnico Nacional. México. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v22n2/1405-0471-mb-22-02-00131.pdf>
- Ruiz-Jiménez, C. A., De los Santos-Posadas, H. M., Parraguirre-Lezama, J. F., & Saavedra-Millán, F. D. (2018). Evaluación de la categoría de riesgo de extinción del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2192>
- Uicab, J. V. C., Santiago, B. R., & Cuevas, X. G. (2023). Estandarización de un método de propagación asexual para el establecimiento de un banco clonal de *Cedrela odorata* L. *South Florida Journal of Development*, 4(6), 2288–2296. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n6-006>
- Universidad Autónoma de México (UNAM). 2009. *Cedrela odorata* L. *Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana*. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=cedrelaodorata#:~:text=Como%20relajante%20muscular%2C%20antihemorr%C3%A1gico%20vaginal,de%20muelas%20y%20hemorragia%20nasal>.
- Van der Wal, H. (2015). Huertos familiares en Tabasco: Elementos para una política integral en materia de ambiente, biodiversidad, alimentación, salud, producción y economía. *Researchgate*. <https://www.researchgate.net>.
- Vázquez Negrín, I., López Pérez, D., Montalvo Urgel, H. E., Méndez Sánchez, C. A., & Castillo Acosta, O. (2014). Estructura y composición florística de vegetación inundable en la división académica de ciencias biológicas, Villahermosa, Tabasco. *Kuxulkab'*, 17(31). <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a17n31.395>
- Zavala Cruz, J., Jiménez Ramírez, R., Palma López, D. J., Bautista Zúñiga, F., & Gavi Reyes, F. (2016). PAISAJES GEOMORFOLÓGICOS: BASE PARA EL LEVANTAMIENTO DE SUELOS EN TABASCO, MÉXICO. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 3(8), 161-171. <https://doi.org/10.19136/era.a3n8.643>

CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DEL CEDRO ROJO EN TABASCO: MAPA DE PAISAJES

Characterization of the red cedar habitat in Tabasco: landscape map¹

Jazmín Reyes-Rosas ¹ (<https://orcid.org/0009-0002-9409-3801>),
Alejandro Ismael Monterroso-Rivas ¹ (<https://orcid.org/0000-0003-4348-8918>), Ma. Amparo Máxima Borja-De la Rosa ¹ (<https://orcid.org/0000-0002-6127-0501>), Rafael López-Cerino ², (<https://orcid.org/0000-0001-5297-3400>), Ma. Rosa Gonzáles-Tepale ^{1*} (<https://orcid.org/0000-0003-2022-0943>) (Autor de correspondencia, Km. 38.5 Carretera México – Texcoco Chapingo, Texcoco, Estado de México CP 56230, correo electrónico: MGONZALEZT@chapingo.mx, teléfono: 55 1202 8020.

Universidad Autónoma Chapingo, ¹División de Ciencias Forestales,

²División de Ciencias Económicas. Km. 38.5 Carretera México – Texcoco Chapingo, Texcoco, Estado de México CP 56230.

RESUMEN

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) es una especie forestal, altamente valorada por su madera preciosa, es nativa de América y prospera en selvas tropicales y bosques templados, sin embargo, su distribución se ha reducido drásticamente por la transformación del hábitat. En Tabasco, donde más del 90 % de la cobertura forestal original ha desaparecido, se elaboró un mapa de paisajes para evaluar la relación entre factores ambientales y antrópicos que influyen en su presencia. El análisis integró cartografía oficial (CONABIO, 2025; INEGI, 2022), datos del INFyS (2009-2013; 2015-2020) y bibliografía especializada, procesados en ArcGIS Desktop (ArcMap 10.8) con herramientas de geoprocésamiento y análisis espacial. Se identificaron cinco unidades de paisaje: la Selva Alta Perennifolia (SAP), la vegetación secundaria de SAP (VSA/SAP), relictos de VSA/SAP y agroecosistemas como huertos familiares, sistemas agroforestales y silvopastoriles. En Tabasco, la zona con más aptitud fue la VSA/SAP de Macuspana, ya que al cedro rojo le es propicio el relieve de ondulado a escarpado que permita suelos bien drenados y de fertilidad media, como las rendzinas. También se registró en la SAP de Tenosique, con aptitud alta, sobre Leptosoles líticos de baja fertilidad, lo que sugiere capacidad adaptativa favorecida por

¹ Artículo enviado a la Revista Chapingo Serie ciencias Forestales y del Ambiente

topografía y drenaje. Los sistemas agroforestales y silvopastoriles presentan aptitud de baja a media debido a que el cedro rojo se ve poco favorecido en áreas bajas e inundables como en el Centro y la Chontalpa, siendo el manejo adecuado, lo que le presenta una ventaja de conservación. Aunque Tabasco naturalmente, ofrece condiciones favorables para su desarrollo, el cambio de uso de suelo ejerce presión a su hábitat, restringiendo su distribución y regeneración natural. Su valor ecológico y económico resalta la necesidad de acciones de manejo, restauración y protección de sus hábitats.

Key words:

Palabras Clave: *Cedrela odorata L.; hábitat; Sistemas de Información Geográfica (SIG); uso de suelo y vegetación; conservación forestal.*

Highlights

A landscape-level analysis identified key environmental conditions in red cedar (*Cedrela odorata*) habitats in Tabasco, Mexico.

Physiographic, climatic, and vegetation data were integrated using GIS tools to map ecological units.

Distinct landscape types reflect the environmental heterogeneity influencing the distribution of red cedar.

The study provides valuable input for habitat conservation, restoration, and sustainable forest planning.

3.1 Introducción

El cedro rojo se desarrolla en una amplia variedad de formaciones vegetales, tanto en bosques tropicales como en áreas templadas (Murillo-Brito et al., 2016; Ruiz-Jiménez et al., 2018). La pérdida de hábitat por cambio de uso de suelo ha reducido considerablemente estos ecosistemas a nivel mundial (Hernández, 2018). En Tabasco, la desaparición de cerca del 90 % de las selvas (Palomeque et al., 2021) ha derivado en la expansión de pastizales y áreas agrícolas (Ramírez-García et al., 2022), modificando los paisajes y el hábitat disponible para la especie.

El análisis del paisaje mediante cartografía regional permite visualizar la distribución de la vegetación y evaluar la influencia de los usos del suelo, identificando zonas con potencial de conservación. La integración de mapas

temáticos y revisión bibliográfica facilita reconocer las condiciones óptimas para el cedro rojo, aportando un panorama actual de su situación y la influencia de factores ambientales y humanos en su distribución. Investigaciones previas indican que la especie prospera en sistemas agroforestales y silvopastoriles, donde recibe condiciones favorables (Morán-Villa et al., 2022). Sin embargo, existe escasa información sobre su estado en ambientes silvestres, por lo que este trabajo ofrece datos relevantes para la conservación, restauración y manejo sostenible, reforzando la importancia de proteger ecosistemas naturales y fomentar prácticas productivas sostenibles.

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue elaborar un mapa de paisajes del estado de Tabasco para identificar la relación entre los factores ambientales y antrópicos que influyen en la distribución y desarrollo del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), mediante la integración de información ambiental y cartográfica en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.2 Metodología

El presente estudio se llevó a cabo en el estado de Tabasco, focalizándose en los municipios de Tenosique, Macuspana, Emiliano Zapata, Jalapa, Nacajuca y Cunduacán, seleccionados debido a la presencia y abundancia relativa del cedro rojo en todas las subregiones del estado (INFyS (2009-2013; 2015-2020), Grande et al., 2010; Morán-Villa et al., 2022; Van Der Wal, 2010).

3.2.1 Área de estudio, Tabasco, México.

Tabasco se ubica en la cuenca Grijalva-Usumacinta, entre los 17°19' y 18°39' N, y 90°57' y 94°08' O (INEGI, 2010). Presenta clima cálido húmedo (Af, Am) y subhúmedo (Aw), temperatura media anual de 24–28 °C y precipitación de 1500–4000 mm (CONABIO, 2025). Los suelos predominantes son Gleysoles y Vertisoles (Palma-López et al., 2007) y la vegetación incluye selvas perennifolias, vegetación acuática y manglares (CONABIO, 2019). La actividad agropecuaria y agrícola, centrada en ganadería bovina, maíz, cacao y caña de azúcar, constituye

el uso principal del suelo (Reyes Grande, 2015), condicionando la distribución y aptitud del hábitat del cedro rojo.

3.2.2 Mapa de paisajes

Para realizar el mapa de paisajes, se utilizó como software SIG el ArcGIS Desktop, AcrMap 10.8, con herramientas como geoprocesamiento raster (Ramón Puebla, 2012) y Spatial Analyst (Jiménez Olivencia et al., 2006). Mediante el análisis visual y la superposición de capas cartográficas oficiales: Modelo digital de elevación (MDE), escala 1:50,000, Serie III. (INEGI, 2022); Climas, escala 1:1,000,000 (CONABIO, 1998; 2025); la red hidrográfica, subcuencas hidrográficas de México, escala 1:50,000 (INEGI 2010; CONABIO, 2025); Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional) (INEGI, 2013; CONABIO, 2025); y la carta de uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000, Serie VII (continuo nacional) (INEGI 2021; CONABIO, 2025). Creando así mapas temáticos de Tabasco para su integración en el análisis del paisaje. Esta caracterización se basó en la Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales de CONAFOR (Jardel Peláez, 2015), incorporando diversas fuentes especializadas como INAB (2019) y CONABIO (2019), entre otras, para identificar y analizar los hábitats y sus condiciones ambientales e influencia antrópica y como favorecen o limitan al cedro rojo.

3.3 Resultados

Las condiciones ambientales del estado de Tabasco reflejan una marcada heterogeneidad espacial que influye directamente en la distribución y desarrollo del cedro rojo. A nivel climático, predomina un régimen cálido húmedo, con variaciones locales en precipitación y temperatura. Estas condiciones son, en términos generales, compatibles con los requerimientos ecológicos de la especie y explican su presencia potencial en la región (Figura 1).

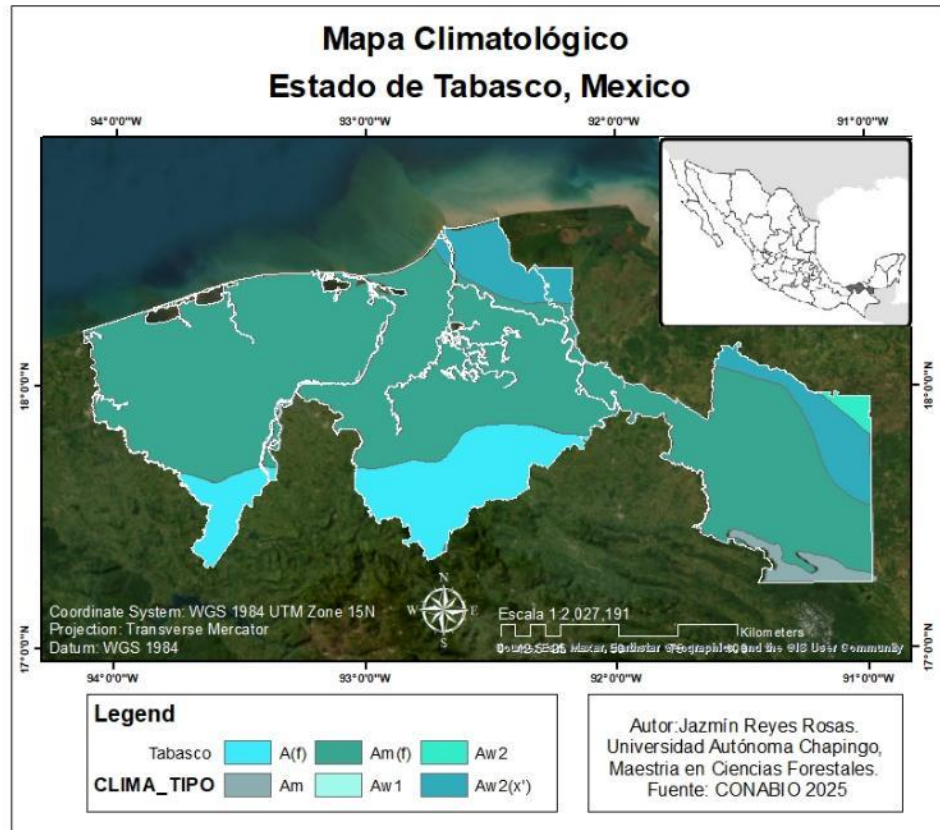


Figura 1. Mapa climatológico del Estado de Tabasco. Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2025).

En Tabasco, los suelos muestran una mayor variabilidad, predominando suelos profundos y bien drenados en las zonas montañosas y de lomeríos, así como suelos someros, mal drenados o con alta susceptibilidad a inundación en las planicies costeras y áreas bajas. Esta diferenciación edáfica condiciona la aptitud del hábitat y el establecimiento del cedro rojo (Figura 2).

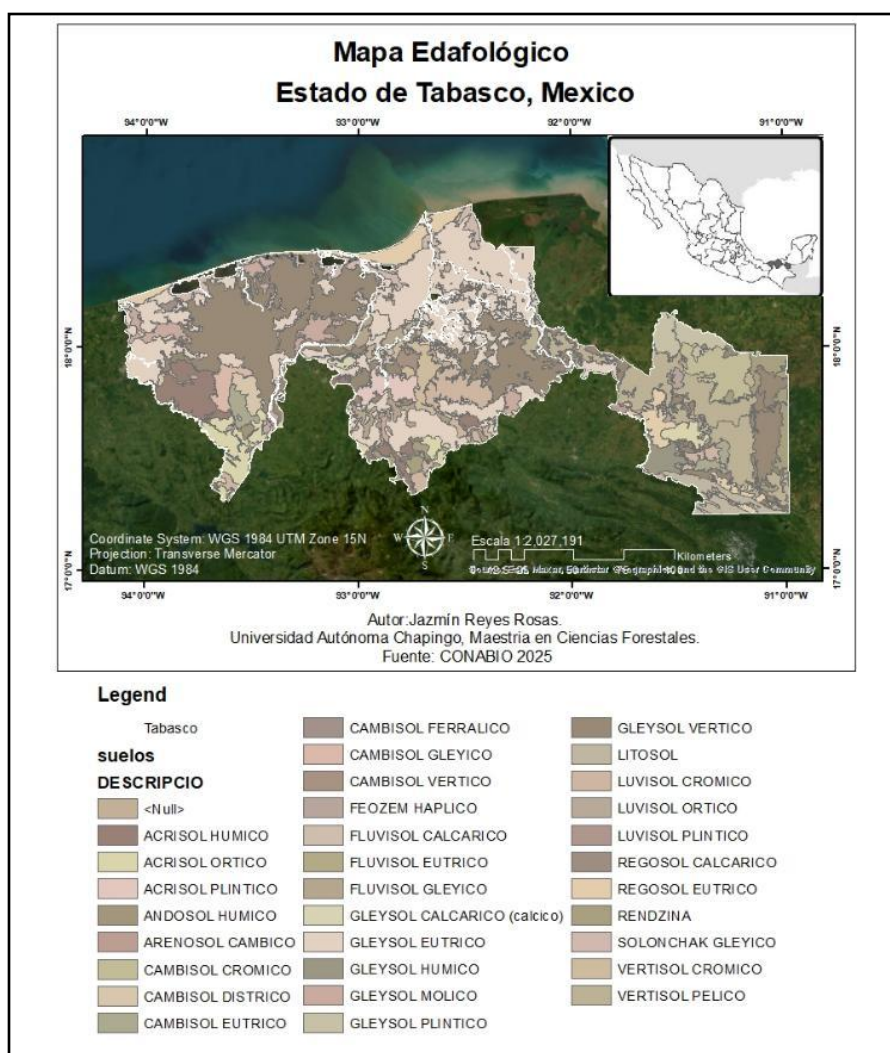


Figura 2. Mapa edafológico del Estado de Tabasco. Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO 2025.

Los mapas temáticos de las otras variables, como la fisiografía, hidrología y uso de suelo y vegetación se pueden encontrar en los apéndices 1 al 3. Bajo este contexto ambiental, se identificaron cinco unidades de paisaje donde habita el cedro rojo en Tabasco. En primer lugar, la Selva Alta Perennifolia (SAP) (Zona 1) y la vegetación secundaria arbórea derivada de SAP (VSA/SAP) (Zona 2). La SAP se distribuye principalmente en la zona meridional del estado, en áreas de las subregiones Sierra, Pantanos y Ríos, las cuales corresponden a la Provincia Fisiográfica Sierras de Chiapas y Guatemala (CONAFOR, 2020).

Asimismo, el cedro rojo se localiza en relictos de estas selvas (Zona 3), así como en agroecosistemas como huertos familiares, sistemas agroforestales y sistemas

silvopastoriles (Zonas 4 y 5), ubicados principalmente en la Provincia de la Llanura Costera del Golfo Sur (Ramírez et al., 2018). A continuación, se presenta el mapa de paisajes donde se observan estas zonas (Figura 3), seguido del Cuadro 1, que resume las principales características ambientales y de uso del suelo de cada unidad de paisaje.

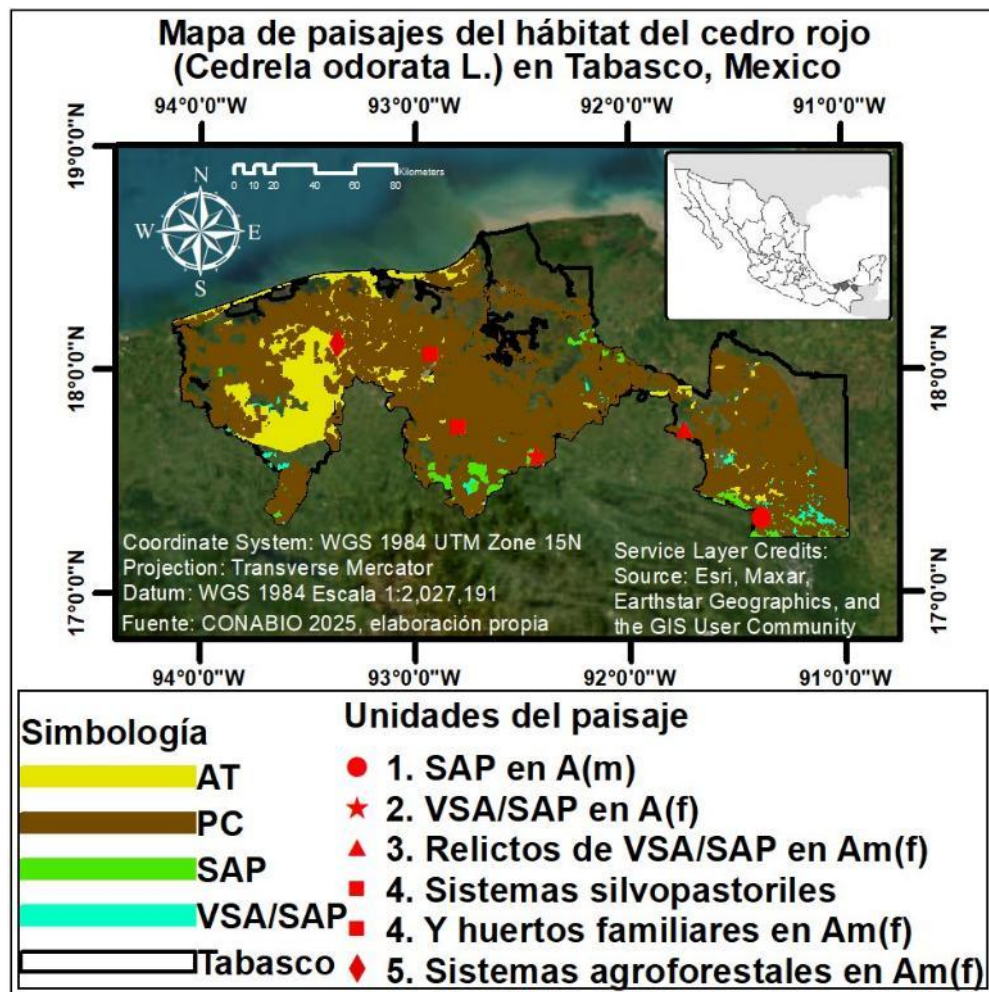


Figura 3. Mapa de paisajes del hábitat del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en Tabasco.

Abreviaturas: A(f) = Clima cálido húmedo con lluvias abundantes todo el año; am(f) = Clima cálido húmedo con lluvias abundantes en verano; Am = Clima cálido húmedo con lluvias en verano; PC = Pastizal cultivado; SAP = Selva alta perennifolia; VSA/SAP = Vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia; AP = Agricultura de temporal. Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2019, 2025); INEGI (2010, 2022); INFyS (2009-2013; 2015-2020), Palma-López et al. (2007); Lara y Vera (2017); Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco (2015); INAB (2019); Hans Van Der Wal (2010); Ortega-Argueta (2014); Grande et al. (2010); Morán-Villa et al. (2022).

Cuadro 1. Caracterización de las unidades del paisaje donde habita el cedro rojo en Tabasco.

Unidades de paisaje	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	
Región	Usumacinta			Grijalva		
Subregión política	Ríos	Pantanos	Ríos	Sierra	Centro	Chontalpa
Municipio	Tenosique	Macuspana	Emiliano Zapata	Jalapa	Nacajuca	Cunduacán
Provincia	Sierras de Chiapas y Guatemala			Llanura Costera del Golfo Sur		
Subprovincia	Sierras Bajas del Peten	Sierras del Norte de Chiapas	Llanuras y Pantanos Tabasqueños			
Sistema de topoforma	Sierra		lomerío	Llanura		
Región geomorfológica	Ladera de montaña		Lomerío	Planicie fluvial		
Pendiente %	11-58		Entre 4 a 11	<2		
Altura sobre el nivel del mar (msnm)	101-500		8 a 40	2 a 40		
Geología	Calizas del Cretácico y Paleoceno en laderas de montaña	Lutitas y calizas del Mioceno en colinas de montaña	Depósitos arenosos y limo arcillosos del Mioceno en terrazas	Depósitos proluviales del Cuaternario en depresiones tectónicas tipo rift	Sedimentos aluviales holocénicos de planicie interdeltáica	Sedimentos fluvio-deltaicos del Cuaternario
Región hidrológica	Grijalva –Usumacinta					
Clima	A(m)	A(f)	Am(f)			
Rango de temperatura	24 – 28 °C			26 – 28 °C		
Rango de precipitación	>2500		2000 – 2500 mm	>2500	1500 – 2000 mm	2000 – 2500 mm
Edafología	Litosol	Rendzina	Arenosol cámbico	Fluvisol Gleyico		Cleysol Eutríco

Uso de suelo y vegetación	Selva alta perennifolia SAP	Vegetación secundaria arbóreas VSA/SAP	Relicto de VSA/SAP entre pastizal cultivado	Árboles en grupo dispuestos en potrero.	Huertos familiares	Cercos vivos de agricultura de temporal
------------------------------	-----------------------------------	---	---	--	-----------------------	--

Nota: Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2019, 2025); INEGI (2010, 2022); Palma-López et al. (2007); INFyS (2013).

3.4 Análisis de resultados

En este apartado se describen las características de las unidades del paisaje y como sus factores ambientales y antrópicos influyen en el cedro rojo, identificando el hábitat más propicio para su desarrollo y la distribución.

3.4.1 Fisiografía, geomorfología e hidrología

Zona 1 – Selva Alta Perennifolia (SAP): ubicada en Tenosique junto al río Usumacinta (INEGI, 2022), presenta relieves montañosos con pliegues alargados sobre suelos calizos fragmentados (Alejandro-Montiel et al., 2010). La abundante lluvia genera zonas inundables en los terrenos bajos (González-Herrera et al., 2022).

Zona 2 – Vegetación Secundaria de SAP (VSA/SAP): en las laderas de Macuspana, la vegetación secundaria ocupa colinas (CONABIO, 2019) y cordones montañosos separados por valles angostos (Grande et al., 2010). Ríos importantes incluyen Tepetitlán, Puxcatán, Tulijá, Maluco y Chilapa, así como lagunas como La Mixteca y Ramón Grande (CONABIO, 2019; Grande et al., 2010; INEGI, 2010a).

Zona 3 – Relictos de VSA/SAP: en lomeríos de relieve ondulado y alternante, los relictos vegetales se ubican a lo largo de cursos fluviales como Usumacinta, San Pedro, Pichucalco, Puxcatán, Mezcalapa y Tonalá, recibiendo afluentes menores (CONABIO, 2019; INEGI, 2010b).

Zonas 4 y 5 – Sistemas agrosilvopastoriles: predominan en la llanura, con relieve de planicie fluvial (CONABIO, 2025), donde el drenaje disminuye hacia el norte y se producen inundaciones estacionales. Ríos relevantes incluyen la Sierra,

Tacotalpa, Teapa, Puyacatengo (CONAGUA et al., 2024), Nacajuca, Carrizal y Samaria (INEGI, 2022).

Relación con el cedro rojo:

El cedro rojo se distribuye entre 0 y 1200 m (Gálvez López et al., 2020), y se desarrolla mejor en zonas de relieve de laderas y colinas con pendiente media y alta, (**Zonas 1 y 2**) (Murillo-Brito et al., 2016), evitando las áreas inundables (INAB, 2019) de las planicies aluviales y depresiones tectónicas (Ramírez et al., 2018) como las del Centro y la Chontalpa (**Zonas 4 y 5**).

3.4.2 Clima

El cedro rojo crece preferentemente en climas tropicales cálidos y húmedos (Ramírez et al., 2018). En Tabasco, la **Zona 1** presenta clima Am (cálido húmedo con lluvias en verano; 5–10.2 % de precipitación invernal), mientras que la **Zona 2** es Af (lluvias abundantes todo el año, >18 % en invierno). Las **Zonas 3, 4 y 5** corresponden a Am(f), con lluvias concentradas en verano y precipitación invernal >10.2 % (CONABIO, 2025).

La **temperatura media anual** supera 22 °C, con máximas de 36 °C en mayo y mínimas de 18.5 °C en enero. La oscilación térmica varía entre 5 y 7 °C; las **zonas 3–5** presentan 26–28 °C, mientras que las **zonas 1 y 2** muestran 24–28 °C (INEGI, 2022; CONABIO, 2019, 2022).

La **precipitación anual** fluctúa entre 1500–2500 mm en las zonas 3–5 y 2500–4000 mm en las **zonas 1 y 2**, otorgando a Tabasco uno de los mayores promedios de lluvia del país (CONABIO, 2019, 2025). La temporada seca va de febrero a junio, con variaciones según la zona. Esta agua se drena principalmente por las cuencas de los ríos Grijalva, Usumacinta y Tonalá hacia el Golfo de México (Zavala-Cruz et al., 2016).

Relación con el cedro rojo

El cedro rojo muestra mayor crecimiento con precipitaciones de 1200–2400 mm (**zonas 3, 4 y 5**), tolerando rangos de 1000–3500 mm (Murillo-Brito et al., 2016), y puede desarrollarse en áreas con hasta 5000 mm (**Zonas 1 y 2**) (Ramírez et al., 2018). Su rango de temperatura natural (23–28 °C) coincide con las condiciones de Tabasco, donde todas las zonas presentan clima cálido, con lluvias suficientes, favoreciendo su óptimo desarrollo (INAB, 2019).

3.4.3 Edafología

Zona 1 – Leptosol lítico (SAP): también llamado Litosol, son suelos poco profundos con alta proporción de rocas, favorables para el drenaje, pero limitantes en nutrientes (INAB, 2019). El cedro rojo se establece en grietas con acumulación de suelo, aprovechando calcio, fósforo, potasio, magnesio, nitrógeno y microelementos como hierro, zinc y cobre (INAB, 2019; Ramírez et al., 2018). La presencia de la especie es baja debido a estas limitantes, sumadas a la competencia con especies pioneras y la sobreexplotación.

Zona 2 – Rendzina (VSA/SAP): también llamado Leptosol réndzico o cambisol calcáreo, son suelos arcillosos de piedra caliza con buena infiltración, materia orgánica y contenido nutrimental, aunque propensos a erosión (Palma-López et al., 2007), por lo que este suelo es favorable para el cedro rojo (INAB, 2019). Son suelos ricos en calcio y magnesio, y el calcio reduce la incidencia de plagas como *Hypsipyla grandella*, sugiriendo que el cedro rojo podría ser calcífilo (Ramírez et al., 2018). En esta formación vegetal existe un desarrollo moderado del cedro rojo (CONAFOR, 2020), destacando como zona prioritaria para conservación.

Zona 3 – Arenosol (Relicto de VSA/SAP): estos suelos tienen más del 85 % de arena, con baja capacidad de retención de agua y nutrientes, limitando la regeneración natural del cedro rojo y el crecimiento de individuos jóvenes. Sin embargo, relictos de VSA/SAP pueden crear microambientes que favorecen la supervivencia de individuos adultos. El manejo silvícola y agroecológico, que

mejore la entrada de luz y fertilidad del suelo, puede compensar estas limitantes, promoviendo un desarrollo más vigoroso (CONABIO, 2025; INEGI, 2022).

Zona 4 – Fluvisol (*Huertos tradicionales y sistemas silvopastoriles*): suelos derivados de sedimentos fluviales, ricos en nutrientes y materia orgánica, profundos y con buena estructura, considerados como los mejores suelos del estado. (Palma-López et al., 2007). Su principal limitante es la inundación temporal, aunque mientras el drenaje sea adecuado, son altamente óptimos para el cedro rojo (INAB, 2019). Estudios de huertos familiares en Nacajuca, indican suelos arcillo-limosos, neutros, con altos contenidos de materia orgánica, fósforo y nitrógeno, ideales para el crecimiento del cedro bajo manejo apropiado (Van Der Wal, 2010).

Zona 5 – Gleysol (*Sistemas agroforestales*): suelos arcillosos o francos saturados temporalmente o de manera permanente, con exceso de humedad que provoca anaerobiosis (CONABIO, 2019). Aunque tienen buenos contenidos nutrimentales, su drenaje deficiente y la frecuencia de inundaciones los hacen poco favorables para el cedro rojo (INAB, 2019).

Relación con el cedro rojo:

- **Rendzina (Zona 2):** con alto contenido de macro y micronutrientes, profundo y con buen drenaje, es el suelo más adecuado para el del cedro rojo
- **Fluvisol (Zona 4):** suelos fértiles, muy favorable si se controla el drenaje.
- **Leptosol (Zona 1):** parcialmente favorable, requiere suelos profundos entre rocas.
- **Arenosol (Zona 3):** poco favorable, requiere manejo para compensar baja fertilidad.
- **Gleysol (Zona 5):** limitado por exceso de humedad, aunque con buen contenido nutrimental.

En general, el cedro rojo demuestra capacidad de adaptación a distintos tipos de suelo, siempre que se cumplan ciertas condiciones de drenaje, profundidad y disponibilidad de nutrientes, y puede beneficiarse de manejo silvícola y prácticas agroecológicas que mejoren su hábitat.

3.4.4 Uso de suelo y vegetación en las Zonas 1, 2 y 3

Uso de suelo: En las subregiones Ríos (**Zonas 1 y 3**) y Pantanos (**Zona 2**), las principales actividades económicas son:

- **Ganadería:** es el uso dominante en estas zonas, especialmente bovina para carne y leche (Ortega-Argueta, 2014).
- **Agricultura:** cultivos de maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*), sorgo (*Sorghum bicolor*), mango (*Mangifera indica*), sandía (*Citrullus lanatus*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).
- **Industria:** en Tenosique (**zona 1**) hay un ingenio azucarero y en Macuspana (**Zona 2**), destaca el complejo petroquímico Ciudad Pemex y una fábrica de cemento (INEGI 2001).
- **Pesca:** relevante en zonas cercanas a cuerpos de agua (INEGI 2001).
- **Turismo:** principalmente en Tenosique (**zona 1**) (INEGI 2001).

Vegetación: Las subregiones Ríos y Pantanos conservan la mayor concentración de selvas naturales, especialmente en los límites con Guatemala (**Zonas 1 y 2**).

- En la subregión Pantanos se encuentran formaciones como:
 - Selvas bajas subperennifolias y espinosas
 - Tintales, popales y hojillales
 - Cuerpos de agua cubiertos de tulares y jacintales

- Formaciones arbustivas como el mucal y popalería, que abarcan más de tres cuartas partes de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (Mariaca, 2012).

Relación con el cedro rojo

Estas zonas, con predominio de selvas y relictos de vegetación natural, proporcionan hábitats potenciales para el cedro rojo, especialmente en áreas de menor intervención humana o donde el pastoreo y la agricultura se integran de manera sostenible. La presencia de vegetación densa y cuerpos de agua ayuda a mantener microclimas y suelos adecuados para el establecimiento de la especie.

3.4.5 Uso de suelo y vegetación en las Zonas 4 y 5

Uso de suelo: Aquí predominan las siguientes actividades:

- **Ganadería** bovina como actividad principal (Mariaca, 2012).
- **Agricultura de temporal**, de plátano (*Musa paradisiaca*), además de papaya (*Carica papaya*), palma de aceite (*Elaeis guineensis*), maíz (*Zea mays*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (Mariaca, 2012). En la Chontalpa (zona 5) también se cultiva frijol (*Phaseolus vulgaris*), limón (*Citrus aurantifolia*), naranja (*Citrus sinensis*) y cacao (*Theobroma cacao*) —este último representa el 69% de la producción nacional— (Morán-Villa et al., 2022).
- **Petróleo** principalmente en la **zona 5** (INEGI, 2001).
- **Industrias locales** de producción de lácteos artesanales y turismo convencional y de aventura (Mariaca, 2012).
- **Turismo** principalmente en la Sierra (**zona 4**) (Ortega-Argueta, 2014).

Vegetación: Actualmente, desde Jalapa, en la parte de llanura central de la Sierra, hacia el norte hasta Nacajuca (**Zona 4**), se pueden encontrar relictos de VSA/selva alta perennifolia donde aún se puede encontrar algunos ejemplares

de especies nativas importantes como el cedro rojo, maculís, ceiba (*Ceiba aesculifolia*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) (Ayuntamiento de Nacajuca, 2015), entre las grandes extensiones de pastizal cultivado, y pequeñas áreas dedicadas a la agricultura (Mariaca, 2012) y campos acuícolas (CONABIO, 2025).

Los sistemas agrosilvopastoriles se encuentran en estas áreas de pastizal y cultivos (Palomeque-De la Cruz et al), que originalmente eran selvas y cuya vegetación ha sido modificada de tal manera que se han conservado e introducido árboles maderables, frutales y especies madre para sombra y protección de animales y cultivos (Martínez López, 2014). donde el cedro rojo figura como una de las especies más relevantes del paisaje, asociado principalmente con cultivos de cacao, plátano y caña de azúcar (Mariaca, 2012), siendo valorado tanto por su función como sombra como por su madera preciosa (Grande et al., 2010), al igual que en los huertos familiares tradicionales, presentes en hogares de toda la entidad (Hans Van Der Wal, 2010).

En estas zonas, la vegetación natural eran las selvas, humedales, tulares y acahuales y el cambio de uso de suelo ha puesto en riesgo especies nativas comerciales y de valor ecológico, como el cedro rojo, caoba, bojón (*Cordia alliodora*), maculís, ceiba y acacias (*A. gaumeri*, *A. farnesiana*). (Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco, 2015).

Predominando ahora en los sistemas agrosilvopastoriles, especies maderables como el cedro rojo, colorín (*Erythrina americana*), caoba y frutales como coco (*Cocos nucifera*), mango, jobo (*Spondias mombin*) (Morán-Villa, VL, et al., 2022). El paisaje natural ha sufrido una transformación tal que, en la Chontalpa (**Zona 5**) se ha sugerido que los cacaotales son actualmente la principal cobertura arbórea de la región (Pozo-Montuy, 2015).

Relación con el cedro rojo

A pesar de la transformación del paisaje, el cedro rojo se mantiene en estas zonas dentro de sistemas agrosilvopastoriles y relictos de selva, especialmente

donde se conservan árboles madre y se gestionan prácticas sostenibles. Su presencia se favorece en áreas con luz adecuada, diversidad arbórea y manejo del suelo, mientras que la expansión urbana, inundaciones frecuentes y conversión agrícola limitan su establecimiento natural (Alejandro-Montiel, 2010).

En particular, los sistemas agrosilvopastoriles con árboles dispuestos en potreros ya sean aislados o en grupos, representan una ventaja para el crecimiento y la distribución natural del cedro, dado que esta especie es muy exigente en cuanto a la luz, principalmente en su etapa juvenil y no tolera sombra densa (CONABIO, 2023). Estos sistemas reducen la competencia por luz, agua y nutrientes, permitiendo un desarrollo radicular vigoroso (INAB, 2019). también, el cedro rojo es tradicionalmente cultivado y fomentado en los sistemas agrosilvopastoriles, lo que facilita su supervivencia y adaptación al cambio de uso de suelo.

La dimensión socioeconómica es clave para entender las dinámicas de conservación y aprovechamiento del cedro rojo en Tabasco, puesto que las comunidades rurales dependen de actividades agropecuarias y forestales (CONAFOR, 2018) y el cedro rojo representa ingreso económico para productores locales y ejidos, debido a su valor comercial y potencial en productos derivados. Estas actividades a su vez ejercen presión sobre su hábitat y su regeneración se ve limitada por falta de alternativas económicas y ausencia de programas de manejo forestal efectivos (INEGI, 2022).

3.4.6 Aptitud de las unidades del paisaje para hábitat del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en Tabasco.

A continuación, se presenta un cuadro resumen comparativo de las unidades de estudio, indicando la aptitud de cada una para hábitat del cedro rojo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Aptitud del hábitat del cedro rojo en las unidades de paisaje de Tabasco.

Unidad de paisaje	Aptitud del hábitat	Justificación
ZONA 1. SAP (Tenosique, Rios)	Alta	Presenta suelos leptosoles derivados de calizas, buena disponibilidad de agua y pendientes moderadas que favorecen el drenaje, condiciones óptimas para el desarrollo del cedro rojo.
ZONA 2. VSA/SAP (Macuspana, Pantanos)	Alta	Clima cálido húmedo con alta precipitación, relieve medio y suelos rendzinas, profundos, fértiles, buena aireación y drenaje. La formación vegetal es biodiversa y proporciona el hábitat adecuado para el cedro rojo.
ZONA 3. Relictos de VSA/SAP (Emiliano Zapata, Rios)	Media	La vegetación original ha sido fragmentada, quedando relictos de selva entre pastizales cultivados. Los suelos arenosos presentan limitaciones de retención de humedad, lo que reduce la idoneidad, aunque la presencia de rodales aislados muestra cierta tolerancia de la especie.
ZONA 4. Sistemas silvopastoriles (Jalapa, Sierra)	Baja–Media	El uso del suelo y el relieve irregular generan condiciones heterogéneas que afectan la regeneración natural. Los potreros con árboles dispersos pueden ser microhábitats aprovechables por la disponibilidad de la luz.
ZONA 4. Huertos familiares (Nacajuca, Centro)	Baja	Dominan planicies bajas susceptibles a encharcamientos, lo cual afecta el crecimiento del cedro rojo. El uso del suelo genera presión antrópica, reduciendo la extensión de hábitat disponible.
ZONA 5. Sistemas agroforestales (Cunduacán, Chontalpa)	Baja	Paisaje con alta transformación agropecuaria (pastizales y agricultura de temporal). Los suelos fluvio–deltaicos de mal drenaje, junto con la pérdida casi total de selva, hacen que la especie tenga poca capacidad de establecimiento natural.

Nota: Aptitud del hábitat del cedro rojo en Tabasco. Considerando clima, suelo, geología, relieve, hidrología y uso del suelo/vegetación, así como presión antrópica, disponibilidad de hábitat y presencia de la especie. Fuentes: Elaboración propia basado en CONABIO (2019, 2022, 2025); INEGI (2001, 2010, 2013); Palma-López et al. (2007); Grande et al. (2010); Zavala-Cruz et al. (2016). Abreviaturas: SAP: Selva Alta Perennifolia; VSA/SAP: Vegetación Secundaria Arbórea de Selva Alta Perennifolia; Tipos de vegetación CONABIO (2025).

En términos generales, el análisis comparativo evidencia un gradiente claro en la aptitud del hábitat para el cedro rojo en Tabasco. Las zonas de ladera de montaña

(1 y 2) representan áreas prioritarias para la conservación y el aprovechamiento sostenible, dado que ofrecen condiciones óptimas para la regeneración natural del cedro rojo ya que permiten que la especie se desarrolle en poblaciones más estables, maduras y con mayor diversidad florística, manteniendo las interacciones ecológicas clave.

La zona intermedia (3) requiere acciones de restauración y manejo de los relictos, que permitan mantener la conectividad ecológica y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones. En contraste, las regiones con mayor transformación antrópica (zonas 4 y 5) muestran baja aptitud debido a la fuerte presión por el cambio de uso de suelo, ya que, aunque existe presencia de cedro rojo, el contexto ambiental no favorece su desarrollo óptimo y distribución. Sin embargo, el mantenimiento de individuos en sistemas agrosilvopastoriles ofrece una oportunidad para promover prácticas silvícolas que integren al cedro rojo como componente productivo y de conservación. Estos resultados sugieren que la estrategia de manejo de la especie debe ser diferenciada por región, combinando conservación *in situ* en áreas de alta aptitud con esquemas de restauración y manejo agroforestal en zonas de menor aptitud.

Los resultados obtenidos concuerdan ampliamente con estudios previos como los de INAB (2019) y Murillo-Brito et al. (2016), que señalan que el cedro rojo prefiere suelos profundos, bien aireados y ricos en fósforo y calcio, así como su capacidad de adaptarse a suelos derivados de rocas calizas o volcánicas. Fisiográficamente, se desarrolla mejor en zonas de relieve de laderas y colinas con pendiente media y alta (Zonas 1 y 2) (Murillo-Brito et al., 2016), sin embargo, estas zonas presentan un riesgo mayor de erosión y limitan el aprovechamiento natural del cedro rojo, tal como también advierten Ortega-Argueta (2014) y estudios regionales del INAB (2019). Sin embargo, estas mismas áreas suelen conservar relictos de selva que actúan como reservorios genéticos importantes para la especie.

Igualmente, la influencia de la hidrología es determinante, ya que las áreas inundables de las planicies aluviales y depresiones tectónicas, como las del Centro y la Chontalpa, no son óptimas para el crecimiento del cedro rojo (Ramírez et al., 2018), pero pueden aprovecharse siguiendo prácticas de manejo específicas como su establecimiento en camellones o áreas elevadas y sistemas de drenaje (INAB, 2019). Asimismo, se confirma su carácter heliófilo, mostrando intolerancia a la sombra y necesidad de espacios abiertos para establecerse y crecer vigorosamente, lo que respalda las recomendaciones de manejo silvícola reportadas por CONABIO (2023).

Un hallazgo particular de este estudio es la presencia de cedro rojo en suelos considerados marginales, como los Leptosoles líticos y Arenosoles de la Sierra de Tenosique y Emiliano Zapata. Tradicionalmente, al cedro rojo se asocia a suelos profundos, bien drenados y con adecuada fertilidad, condiciones que favorecen su crecimiento y desarrollo (INAB, 2019). Sin embargo, en las zonas analizadas, a pesar de las limitaciones edáficas, factores como una topografía favorable, como laderas y pendientes de moderadas a fuertes y el uso tradicional del suelo con sistemas de bajo impacto y árboles dispersos permiten su establecimiento. Este fenómeno, poco documentado en la literatura, evidencia una capacidad adaptativa del cedro rojo y amplía el conocimiento sobre el rango ecológico de la especie en paisajes tropicales heterogéneos.

Asimismo, se resalta el papel de los sistemas silvopastoriles y los huertos familiares como reservorios de cedro rojo en el paisaje tabasqueño. Estudios previos han documentado la integración de la especie en sistemas productivos tradicionales, particularmente como árbol de sombra en cacaotales y en huertos familiares, donde contribuye tanto a la funcionalidad del sistema como a su conservación local (Morán-Villa et al., 2022). Esta interacción positiva entre prácticas agroforestales locales y la conservación in situ del cedro rojo representa una oportunidad para el diseño de estrategias de manejo forestal que integren la producción y la conservación, especialmente en regiones con alta transformación del paisaje.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra la falta de datos cuantitativos por individuo o por sitio, lo que impide realizar análisis estadísticos robustos sobre densidad, regeneración o estructura poblacional. Sin embargo, el enfoque espacial y ecológico permitió identificar patrones relevantes y establecer hipótesis que pueden ser profundizadas en investigaciones futuras, con el fin de diseñar estrategias de conservación integrales que consideren simultáneamente los contextos ecológico, social y productivo.

3.5 Conclusiones

El análisis del paisaje permitió identificar que las selvas primarias y secundarias, particularmente en zonas de relieve y buen drenaje, representan las condiciones más favorables para el establecimiento y crecimiento del cedro rojo, consolidándose como áreas prioritarias para su conservación.

Aunque Tabasco presenta condiciones ambientales adecuadas para la especie, la presión humana limita su importancia ecológica en ambientes naturales, resaltando la necesidad de estrategias de manejo y conservación enfocadas en ecosistemas forestales remanentes.

Los resultados de esta investigación evidencian que la conservación del cedro rojo requiere una visión integral del paisaje, donde su distribución actual y su persistencia en paisajes fragmentados, como en sistemas agrosilvopastoriles y huertos familiares evidencia su capacidad de integrarse funcionalmente en paisajes productivos y resalta el papel de estos sistemas como componentes clave en la conectividad y conservación de la especie.

Esta información contribuye a fortalecer la toma de decisiones para el manejo, conservación y restauración de ecosistemas y de especies forestales de alto valor, promoviendo un equilibrio entre el aprovechamiento productivo y la protección de los ecosistemas.

3.6 Agradecimientos

Agradezco a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) por el acceso a la información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS), así como al personal técnico y académico de la Maestría en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo por su acompañamiento y orientación durante el desarrollo de esta investigación. Se reconoce también el apoyo recibido mediante beca del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT).

3.7 Declaración de conflictos de intereses

Se declara que no existe ningún conflicto de intereses relacionado con la realización o publicación de esta investigación.

3.8 Literatura citada

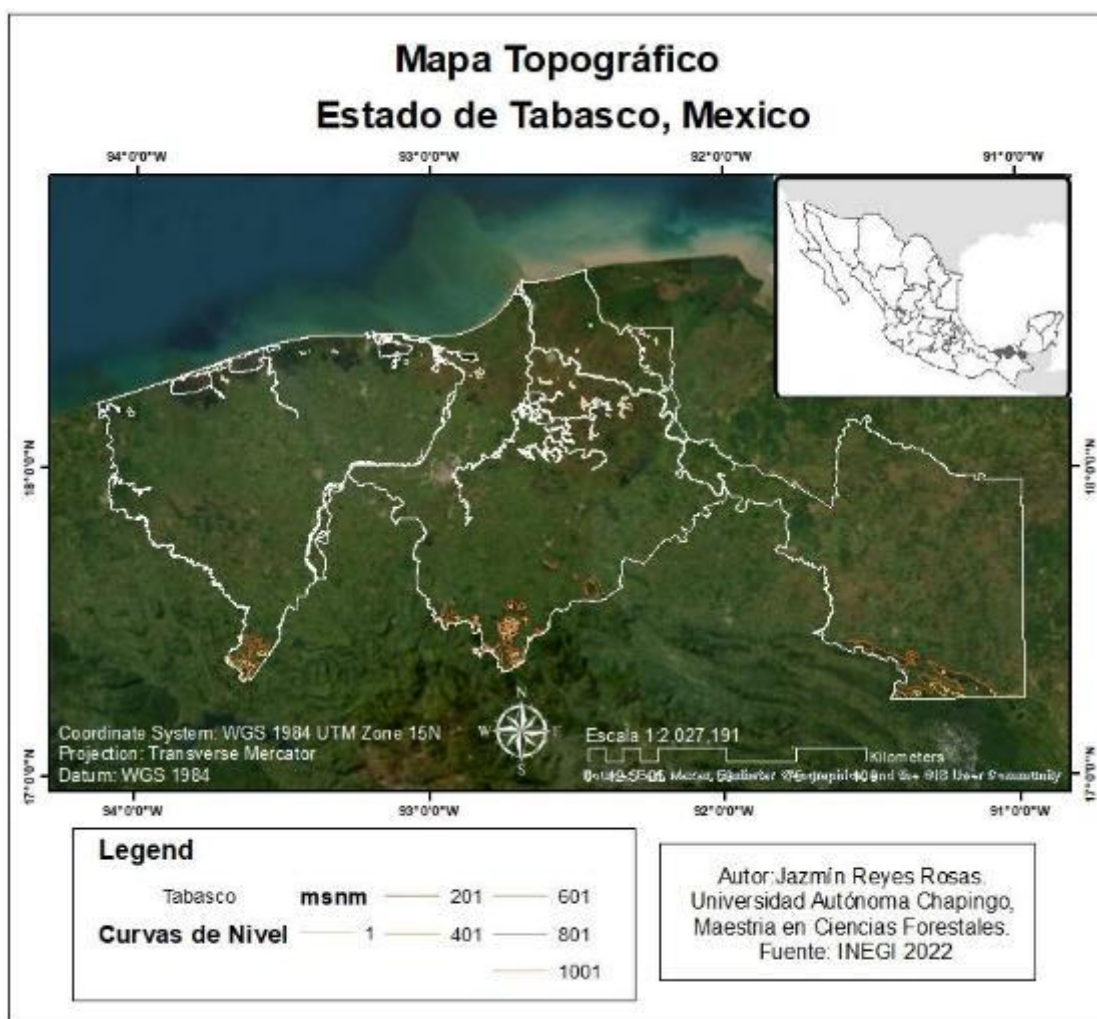
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. (2024). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero La Sierra (2705), estado de Tabasco*. Ciudad de México. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/tabasco/DR_2705.pdf
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2013). *Resultados del inventario estatal de Tabasco*. Sistema Nacional. <https://old-snigf.cnf.gob.mx/producto/resultados-del-inventario-estatal-de-tabasco/>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2020). Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). <https://snmf.cnf.gob.mx/infys/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Tabasco. (2019). *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado*. CONABIO. México. https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee_tabasco
- CONABIO (2025). Portal de geoinformación 2025. Sistema nacional de información sobre biodiversidad (SNIB). CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- González-Herrera, R., Cámara-Yamá, I., Sánchez y Pinto, I., 2022, Hidrodinámica regional de Los Ríos, Tabasco, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 74 (2), A170222. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2022v74n2a170222>

- Grande, D., De León, F. y Nahed Toral, J. (2010). Los árboles forrajeros como recurso potencial para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en la Región Sierra de Tabasco. <https://doi.org/10.13140/RG.2>
- INEGI. Síntesis de Información geográfica del estado de Tabasco. 2001 https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825223939/702825223939_6.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010a). Compendio de información geográfica municipal 2010. Macuspana, Tabasco. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/27/27012.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010b). Compendio de información geográfica municipal 2010. Emiliano Zapata, Tabasco (Clave geoestadística 27007). Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/27/27007.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geología (INEGI), 2022. Síntesis de Información geográfica del estado de Tabasco. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_27.pdf
- Jardel Peláez, E. (2015). Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales. *Comisión Nacional Forestal & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/49/6661Gu%C3%ADa%20web%20para%20la%20caracterizaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20final.pdf>
- Jiménez Olivencia, Y., Moreno Sánchez, J. J. (2006). Los SIG en el análisis y el diagnóstico del paisaje. El caso del río Guadix (Parque Nacional de Sierra Nevada). *Cuadernos Geográficos, núm. 39, 2006, pp. 103-123 Universidad de Granada Granada, España*. <https://www.redalyc.org/pdf/171/17103907.pdf>
- Mariaca Méndez, R. (2012). El huerto familiar del sureste de México. *Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco y El Colegio de la Frontera Sur* <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-authoritiesdetail.pl?authid=5692>
- Morán-Villa, VL, Monterroso-Rivas, AI, Gómez-Díaz, JD, Márquez-Berber, SR, & Valdés-Velarde, E. (2022). Composición florística y disposición de sistemas agroforestales de cacao en Tabasco, México. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales, 25, #067*. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3840>
- Murillo-Brito, Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Lagunas-Espinoza, L. C., & Aldrete, A. (2016). Índice de sitio en plantaciones de *Cedrela odorata* en el Trópico húmedo de México. *Revista de la Facultad*

- de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, 49(1), 15-31.
https://www.researchgate.net/publication/311859614_Indice_de_sitio_en_plantaciones_de_Cedrela_odorata_en_el_tropico_humedo_de_Mexico_Site_index_for_Cedrela_odorata_in_the_humid_tropics_of_Mexico
- Ortega-Argueta, A. (2014). Programa Piloto de Adaptación ante el Cambio Climático para la Subregión Pantanos (Technical Report). El Colegio de la Frontera Sur. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3141.3285>
- Palma-López, D. J., Cisneros, J., Moreno, E., & Rincón-Ramírez, J. A. (2007). Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados, Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco (ISPROTAB), Fundación Produce Tabasco A.C. (FUPROTAB). Villahermosa, Tabasco, México. https://www.researchgate.net/publication/293958380_Suelos_de_Tabasco_Su_Uso_y_Manejo_Sustentable
- Palomeque de la Cruz, MA, Ruiz Acosta, S. del C., Ramos Reyes, R., Magaña Alejandro, MA, & Galindo Alcántara, A. (2021). Modelación de cambios de coberturas y uso de suelo en Nacajuca, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 655-669. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v12n4/2007-0934-remexca-12-04-655.pdf>
- Pozo-Montuy, G. (2015). *Plan de Manejo de la UMA en Vida Libre "El Mono del Cacao"*. Conservación de la Biodiversidad del Usumacinta AC. *Researchgate*. <https://www.researchgate.net/publication/323239343>
- Ramírez, D., Alvarado, A., Ávila, C., Camacho, M. E., Fernández, J., Murillo, R., Salazar, L., & Sandí, C. L. (2018). Dinámica de la concentración y acumulación de nutrimentos en los componentes de la biomasa aérea de *Cedrela odorata* L. en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 89–108. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32196>
- Ramírez-García, A. R., Zavala-Cruz, J., Rincón-Ramírez, J. A., Guerrero-Peña, A., García-López, E., Sánchez-Hernández, R., Castillo-Acosta, O., Alfaro-Sánchez, G., & Ortiz-Pérez, M. A. (2022). Vegetation cover and land use change (1947-2009) in the region of Los Ríos, Tabasco, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(3), 465–481. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.01.001>
- Ramón Puebla, AM (2012). *Guía para la elaboración de mapas de paisajes con el uso de ArcGIS*. ResearchGate.
- Reyes Grande, F. (2015). ¿Sustentabilidad versus subsistencia? Un estudio de caso dentro del Área Natural Protegida Cañón del Usumacinta. *Relacionar. Estudio. historia. soc.*, 36 (142), 261-305. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018539292015000200261&script=sci_abstract

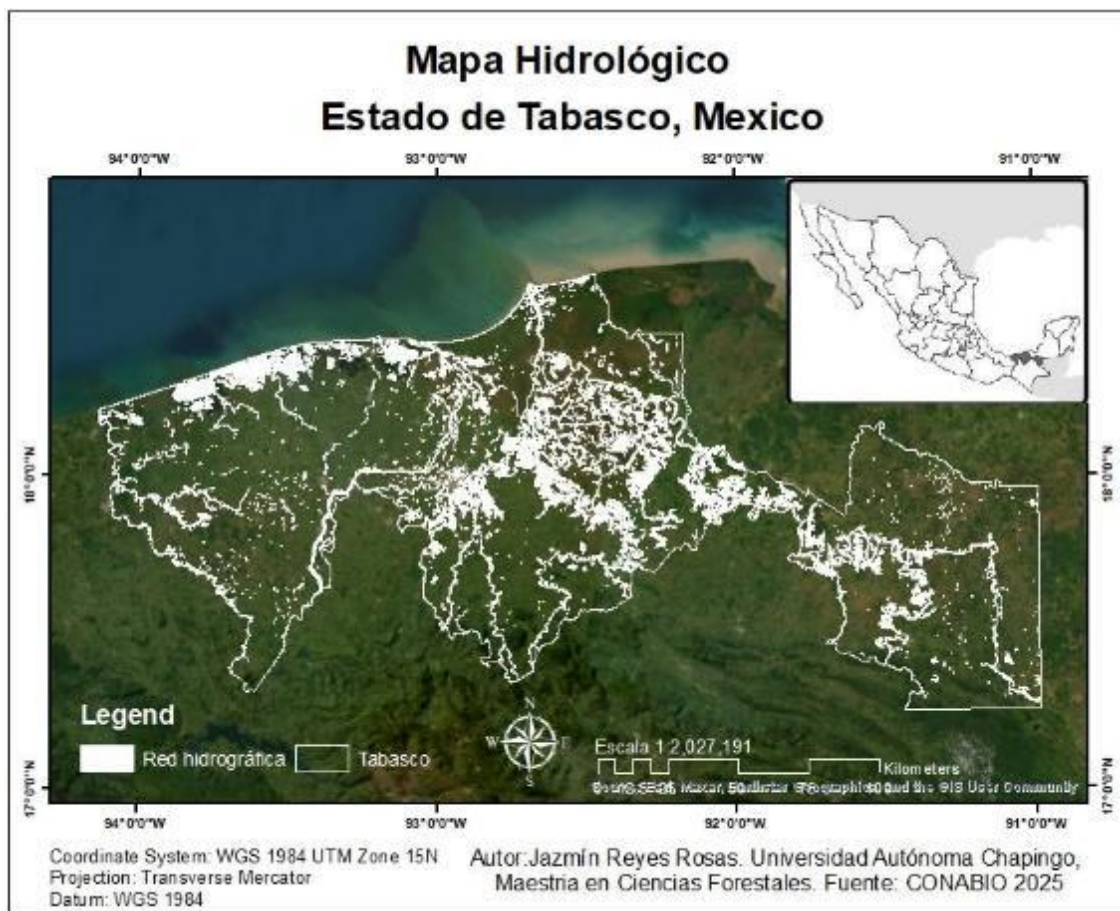
APÉNDICES

Apéndice 1: Mapa topográfico de Tabasco. INEGI (2022)



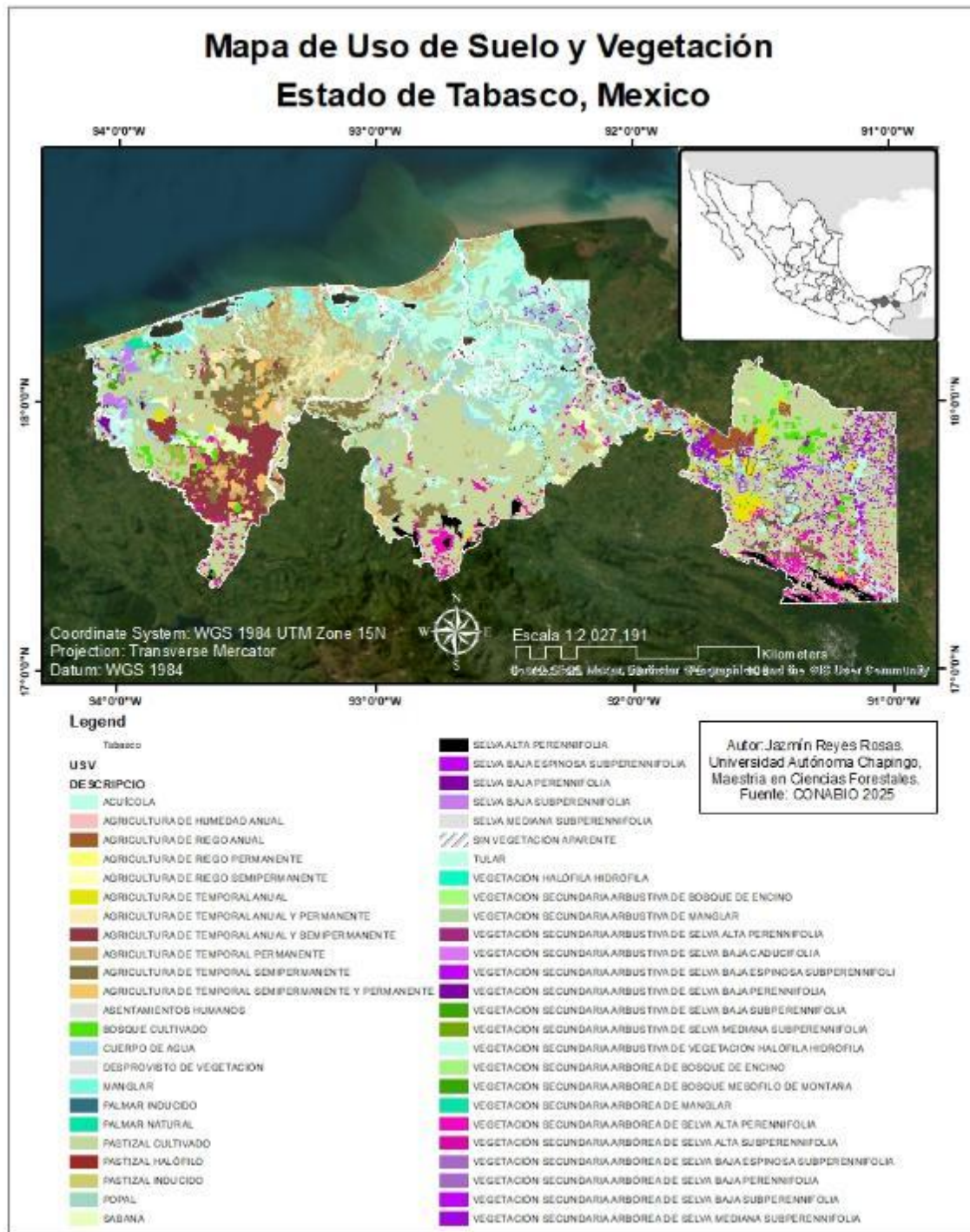
Apéndice 1. Mapa topográfico del Estado de Tabasco. Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2022).

Apéndice 2: Mapa de hidrología de Tabasco. CONABIO (2025).



Apéndice 2. Mapa hidrológico del Estado de Tabasco. Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2025).

Apéndice 3: Mapa de Uso de Suelo y Vegetación de Tabasco. CONABIO (2025).



Apéndice 3. Mapa de uso de suelo y vegetación del Estado de Tabasco. Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2025).

CAPITULO 4: CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DEL CEDRO ROJO EN TABASCO: ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Characterization of the red cedar habitat in tabasco. floristic composition and structure

Jazmín Reyes-Rosas ¹ (Registro ORCID), Alejandro Ismael Monterroso-Rivas ¹ (<https://orcid.org/0000-0003-4348-8918>), Ma. Amparo Máxima Borja-De la Rosa ¹ (<https://orcid.org/0000-0002-6127-0501>), Rafael Lopez-Cerino ², (ORCID: 0000-0001-5297-3400), Ma. Rosa González-Tepale ^{1*} (ORCID:0000-0003-2022-0943) (Autor de correspondencia, Km. 38.5 Carretera México – Texcoco Chapingo, Texcoco, Estado de México CP 56230, correo electrónico: MGONZALEZT@chapingo.mx, teléfono: 55 1202 8020.

Universidad Autónoma Chapingo, ¹División de Ciencias Forestales,

²División de Ciencias Económicas. Km. 38.5 Carretera México – Texcoco Chapingo, Texcoco, Estado de México CP 56230.

RESUMEN

En este estudio se analizó la estructura y composición florística del hábitat del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Tabasco, con el objetivo de evaluar su distribución, importancia ecológica y condiciones de establecimiento en distintos contextos de conservación. El análisis se realizó en dos sitios representativos: una selva alta perennifolia (SAP) en el municipio de Tenosique y una vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia (VSA/SAP) en Macuspana, a partir de información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS, 2015–2020), empleando índices de estructura y composición florística.

Los resultados de estructura horizontal y vertical muestran que el cedro rojo presenta una baja abundancia relativa en ambas formaciones, con una baja a media importancia ecológica debido a su frecuencia. En la SAP de Tenosique, el cedro rojo se concentra principalmente en clases diamétricas menores, asociadas a una estructura horizontal dominada por individuos jóvenes y a una competencia intensa por recursos, lo que limita su permanencia y desarrollo. En contraste, en la VSA/SAP de Macuspana, el cedro rojo se encuentra en clases diamétricas intermedias, dentro de una estructura forestal más heterogénea y estable, que favorece su establecimiento y crecimiento.

El análisis de la composición florística evidencia que la presencia y desarrollo del cedro rojo están estrechamente relacionados con el grado de perturbación, la dinámica sucesional y la estructura del bosque. En este sentido, las selvas secundarias arbóreas representan hábitats funcionales relevantes para la persistencia de la especie en paisajes transformados.

En conjunto, la caracterización realizada permite identificar patrones ecológicos clave asociados al cedro rojo, aporta evidencias del estado actual de dos ecosistemas donde habita y brinda información relevante para orientar estrategias de manejo y conservación de la especie en Tabasco.

Key words:

Palabras Clave: *Cedrela odorata* L.; Selva alta perennifolia (SAP); Vegetación secundaria arbórea de SAP (VSA/SAP); conservación forestal

4.1 Introducción

El análisis de la estructura y composición florística constituye una herramienta clave para la caracterización del hábitat, ya que permite comprender la organización, dinámica y estado de conservación de las formaciones vegetales. Estos atributos reflejan no solo la diversidad biológica presente, sino también los procesos ecológicos que regulan el funcionamiento del ecosistema y las presiones naturales y antrópicas a las que ha sido sometido (Jardel Peláez, 2015).

En el caso de Tabasco, las transformaciones del uso del suelo, principalmente la sustitución de selvas por áreas ganaderas y agrícolas, han ocasionado la pérdida de más del 90 % de la cobertura original (Ramírez-García et al., 2022; Palomeque de la Cruz et al., 2021). Esta situación ha impactado de manera significativa a especies de alto valor ecológico y económico, como el cedro rojo, árbol nativo de América reconocido por la calidad de su madera (Uicab et al., 2023).

La disminución de su distribución se ha visto intensificada por la sobreexplotación (Ramírez et al., 2018), los incendios forestales (Palomeque de la Cruz, 2021), así como por plagas y enfermedades (Gálvez López et al., 2020). Como resultado, la especie se encuentra actualmente enlistada como vulnerable por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) y está protegido por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de

Fauna y Flora Silvestre (CITES), así como por la NOM-059 SEMARNAT-2010; sin embargo, en esta se pone duda su permanencia, por falta de información suficiente de su riesgo real. (Gálvez López et al., 2020).

Por este motivo, la información generada en este estudio aporta evidencia ecológica relevante sobre el estado actual de las poblaciones naturales del cedro rojo en Tabasco, una región reconocida como poco explorada debido a la fragmentación del paisaje y a las dificultades de acceso, limitando la información disponible sobre el cedro rojo en vida silvestre. Estos resultados contribuyen a reducir estos vacíos de información y proporcionan insumos científicos que pueden ser útiles en futuras evaluaciones de conservación y manejo forestal, incluyendo aquellas relacionadas con instrumentos normativos como la NOM-059.

Por lo que el objetivo de este estudio es analizar la estructura y la composición florística de las principales formaciones vegetales asociadas al cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Tabasco, una selva alta perennifolia (SAP) en Tenosique y una vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia (VSA/SAP) en Macuspana, mediante índices ecológicos, con el fin de evaluar su biodiversidad y las condiciones estructurales en las que se integra la especie.

4.2 Metodología

Para determinar las áreas de presencia del cedro rojo en Tabasco, se revisaron los registros del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de la CONAFOR correspondientes a los periodos 2009–2013 y 2015–2020. Donde se identificaron dos formaciones vegetales representativas: una selva alta perennifolia (SAP) localizada en el municipio de Tenosique y una vegetación secundaria arbórea derivada de SAP (VSA/SAP) en Macuspana.

En cada formación se seleccionó un conglomerado de muestreo de 400 m², procedente del INFyS (2015-2020), los cuales fueron elegidos por concentrar la mayor abundancia de ejemplares de cedro rojo en el estado. Estos datos fueron organizados, depurados y analizados mediante hojas de cálculo en Microsoft

Excel, donde se realizaron los cálculos necesarios para el análisis de la estructura y composición florística.

4.2.1 Ubicación del área de estudio

El estado de Tabasco se ubica en la región sureste de México, entre las coordenadas geográficas 17°19' y 18°39' de latitud norte, y 90°57' y 94°08' de longitud oeste (INEGI, 2022), como se aprecia en la Figura 4.

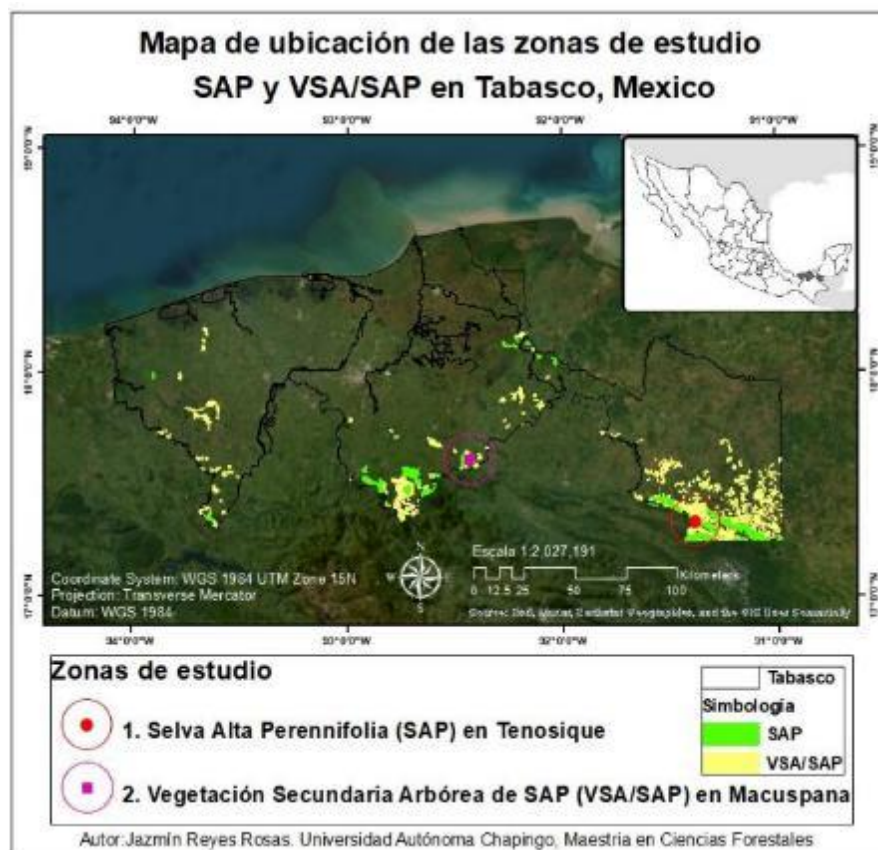


Figura 4. Mapa de ubicación de las zonas de estudio (SAP y VSA/SAP) en Tenosique y Macuspana, Tabasco.

Las formaciones vegetales analizadas se localizan dentro de la Región fisiográfica de las Sierras de Chiapas y Guatemala, específicamente en la unidad geomorfológica de laderas de montaña, donde en las áreas más elevadas predominan las selvas altas perennifolias (SAP), en las zonas intermedias son frecuentes las vegetaciones secundarias arbóreas derivadas de SAP (VSA/SAP),

y en las partes bajas se desarrollan principalmente pastizales cultivados (CONABIO, 2025).

El clima predominante es cálido húmedo, presentando dos variantes: en Tenosique es Am (lluvias abundantes en verano), mientras que en Macuspana corresponde al tipo Af (lluvias abundantes todo el año). La temperatura media anual se sitúa entre 24 y 28 °C (INEGI, 2022), y la precipitación total anual varía de 2500 a 4000 mm (CONABIO, 2025). En cuanto a la edafología, los suelos característicos son Litosoles en Tenosique y Rendzinas en Macuspana (CONABIO, 2025).

4.2.2 Estructura y composición florística

Las formaciones se estudiaron mediante los siguientes índices:

Estructura horizontal

Primeramente, la formación se organiza en categorías diamétricas de intervalos fijos de 5 cm de Dap (Diametro a la altura de pecho: 1.30 cm), esto permite conocer su estado, dinámica y su historia reciente (Ajbilou, R. et al., 2003).

Posteriormente, la vegetación se analizó mediante tres parámetros básicos: abundancia, frecuencia y dominancia, a partir de los cuales se obtuvo el Índice de Valor de Importancia (IVI) (Moreno, 2001). Esta metodología permite identificar cuáles especies tienen mayor peso ecológico dentro de cada formación vegetal (Domínguez Gómez et al., 2018).

Abundancia

La abundancia absoluta de cada especie se estimó con base en el número de individuos por hectárea, y posteriormente se calculó la abundancia relativa dividiendo la abundancia de cada especie entre la abundancia total y multiplicando por 100. Como lo muestra la Ecuación (1):

$$A_i = \frac{N_i}{S}, AR_i = \left(\frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \right) \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

Dominancia relativa

Para determinar la dominancia relativa, se empleó el área de copa de cada especie como indicador de su aporte en cobertura, considerando la superficie de muestreo y expresando los resultados en porcentaje respecto a la dominancia total. Ecuación (2).

$$D_i = \frac{Ab_i}{S(ha)}, DR_i = \left(\frac{D_i}{\sum_{i=1..n} D_i} \right) \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

Frecuencia relativa

La frecuencia relativa se obtuvo a partir del número de sitios en los que estuvo presente cada especie, en relación con la frecuencia total registrada en el muestreo. Ecuación (3).

$$F_i = \frac{f_i}{NS}, FR_i = \left(\frac{F_i}{\sum_{i=1..n} F_i} \right) \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

Índice de Valor de Importancia (IVI)

Finalmente, el Índice de Valor de Importancia (IVI) integró los tres parámetros anteriores, promediando los valores relativos de abundancia, dominancia y frecuencia, lo que permitió jerarquizar la relevancia ecológica de cada taxón en la comunidad. Ecuación (4).

$$IVI = \frac{\sum_{i=1}^n (AR_i + DR_i + FR_i)}{3} \dots \dots \dots (4)$$

Estructura vertical

Para describir la disposición vertical de la vegetación, el índice de Pretzsch (A) permite identificar la distribución de individuos en diferentes estratos de altura, para la detección de cambios en la diversidad a lo largo del gradiente vertical. Se divide en 3 Estratos, tomando como referencia al individuo más alto (100%): Estrato 1 (100-80%); estrato 2 (80-50%); Estrato 3 (50-0%) (Buendía-Rodríguez, et al., 2019). Ecuación (5).

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z P_{ij} \times \ln(P_{ij}) \dots \dots \dots (5)$$

Posteriormente se dibujaron a lápiz de color, los **perfiles verticales semirrealistas** de las formaciones, a una escala de 1:150, basados en el Índice de Valor de Importancia (IVI).

Diversidad y riqueza florística

Con el fin de evaluar la diversidad de especies y la heterogeneidad del ecosistema, se emplearon distintos índices:

Índice de diversidad de Shannon-Weiner (H')

Este índice refleja la heterogeneidad de la comunidad y su grado de equidad. Sus valores varían generalmente entre 1.5 y 3.5, aunque en ecosistemas muy diversos pueden superar 4.5 (Chablé-Pascual et al., 2014). Ecuación (6).

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i \dots \dots \dots (6)$$

Índice de diversidad de Simpson (D)

Este índice enfatiza la importancia de las especies más abundantes. Sus valores oscilan entre 0 y 1: valores cercanos a 0 indican comunidades más diversas, mientras que valores cercanos a 1 sugieren dominancia de pocas especies (Morán-Villa et al., 2022). Ecuación (7).

$$D = \frac{1}{\sum P_i^2} \dots \dots \dots (7)$$

Índice de riqueza de Margalef (D Mg)

Se utilizó para estimar la riqueza de especies, ya que relaciona el número de especies presentes con el número total de individuos (Magurran, 2004). Ecuación (8).

$$D_{Mg} = \frac{(S-1)}{\ln(N)} \dots \dots \dots (8)$$

Índice de riqueza de Menhinick (D Mn)

También empleado para medir la riqueza, este índice ajusta el número de especies en función de la raíz cuadrada del total de individuos registrados (Magurran, 2004). Ecuación (9).

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} \dots \dots \dots (9)$$

Índice de similitud de Sorensen (SI)

Compara formaciones basados en la presencia-ausencia de especies, con valores de 0 a 1, mientras más similares son (Morán-Villa et al., 2022). Ecuación (10).

$$SI = \frac{2C}{A + B} \dots \dots \dots (10)$$

Índice de similitud de Jaccard (Cj)

Relaciona la presencia-ausencia con el número de especies totales, en cada formación y resalta las especies en común (Morán-Villa et al., 2022). Ecuación (11).

$$Cj = \frac{C}{A + B - C} \dots \dots \dots (11)$$

4.3 Resultados

Los registros del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) evidencian una baja abundancia del cedro rojo en el estado de Tabasco. Durante el periodo 2009–2013, se identificaron únicamente 83 individuos de la especie, de un total de 53,933 árboles muestreados en 2,469 hectáreas inventariadas en la entidad. Estos individuos se distribuyeron en seis conglomerados, correspondientes a tres sitios de selva alta perennifolia (SAP), dos en Tenosique y uno en Tacotalpa, una vegetación secundaria arbórea derivada de SAP (VSA/SAP) en Emiliano Zapata, una vegetación secundaria arbustiva asociada a SAP y un pastizal cultivado en el municipio de Huimanguillo.

Para el periodo 2015–2020, el número de individuos registrados de cedro rojo disminuyó a 68, de un total de 28,871 individuos pertenecientes a 162 especies,

106 géneros y 70 familias, en una superficie de 2,473.5 hectáreas. En este periodo, la especie se localizó en cuatro conglomerados: dos en SAP del municipio de Tenosique, uno en VSA/SAP en Macuspana y uno en pastizal cultivado en Cunduacán.

4.3.1 Selva alta perennifolia (SAP) de Tenosique

A continuación, se describen las características estructurales y de composición florística de la selva alta perennifolia de Tenosique, obtenidas a partir del análisis de los índices ecológicos.

Estructura horizontal

La comunidad se caracteriza por una alta concentración de individuos en las dos primeras categorías diamétricas (5–10 y 10–15 cm de DAP) en el estrato arbóreo (Figura 5a) y en la primera categoría (5-10 cm de DAP) en el estrato arbustivo (Figura 5b), observándose una disminución progresiva en la abundancia conforme aumenta el diámetro, con escasa representación en las categorías superiores. Esta distribución refleja una estructura dominada por individuos jóvenes o de pequeño diámetro. En el caso del cedro rojo, la mayoría de los individuos se registran en la primera categoría diamétrica (5–10 cm de DAP).

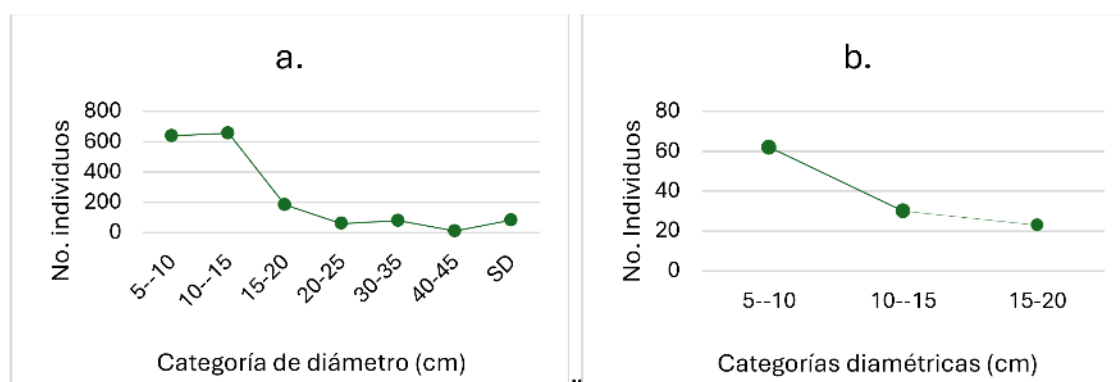


Figura 5. Estructura horizontal del a) Estrato arbóreo y b) Estrato arbustivo de SAP Tenosique.

Las especies con mayor importancia ecológica, de acuerdo con el IVI, fueron, amapola (*Pseudobombax ellipticum*), cocoite (*Gliricidia sepium*) y palencano (*Trema micrantha*) (Figura 3a). En el estrato arbustivo, la especie conocida

localmente como carne de gallina presentó los valores más altos de abundancia e IVI, concentrando la mayor proporción de individuos del estrato (Figura 6).

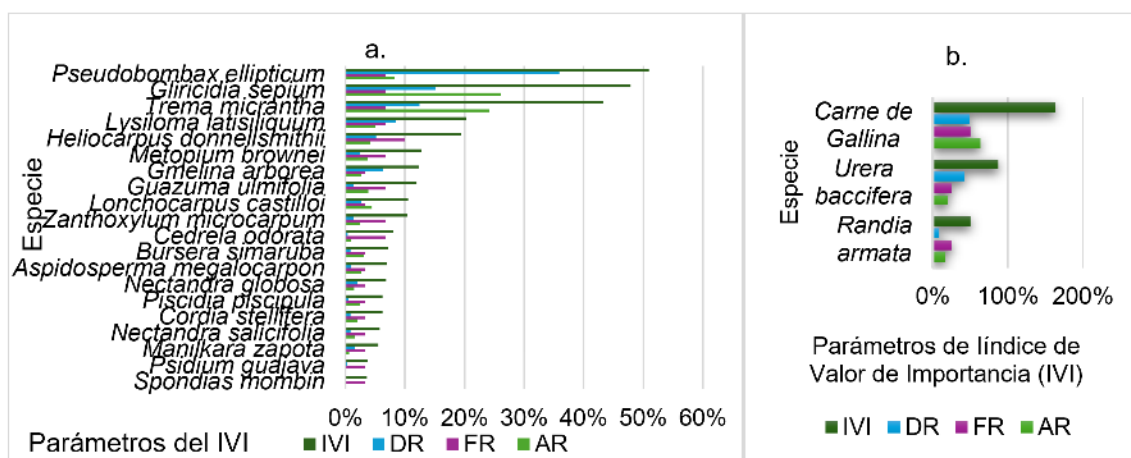


Figura 6. Índice de Valor de Importancia, a) Estrato arbóreo, b) Estrato arbustivo SAP, Tenosique. Dr (%) = Densidad relativa de individuos; Fr (%) = Frecuencia relativa; AR (%) = Abundancia relativa; VIR (%) = Índice de valor de importancia, SAP Tenosique.

Estructura vertical

Los individuos se distribuyen en tres estratos de altura:

- Estrato I (≥ 11.52 m) que estuvo representado por amapola (14.4 m) y salam (*Lysiloma latisiliquum*) (14.2 m).
- Estrato II (7.2–11.52 m) donde se concentró el mayor número de especies (18), entre ellas el cedro rojo (8.4 m) y sobresalieron cocoite (11.4 m) y palencano (9.9 m).
- Estrato III (≤ 7.2 m), donde jobo (*Spondias mombin*) (6.9 m) y machiche (*Lonchocarpus castilloi*) fueron las más representativas.

En el estrato arbóreo, el índice de Pretzsch (A) muestra un valor total de 2.569, un Amax de 4.094 y de altura relativa (Arel) de 62.75%, con cocoite y palencano con el mayor valor (A) de la formación, el cedro rojo presenta un valor de -0.045 (Figura 7a). En el estrato arbustivo se obtuvo un A de 0.248, una altura relativa (Amax) de 1.792 y una Arel del 13.84%, la mayoría concentradas en el primer

estrato de altura. Entre ellas la que registró el mayor valor de (A) fue la carne de gallina (8.1 m) (Figura 7b).

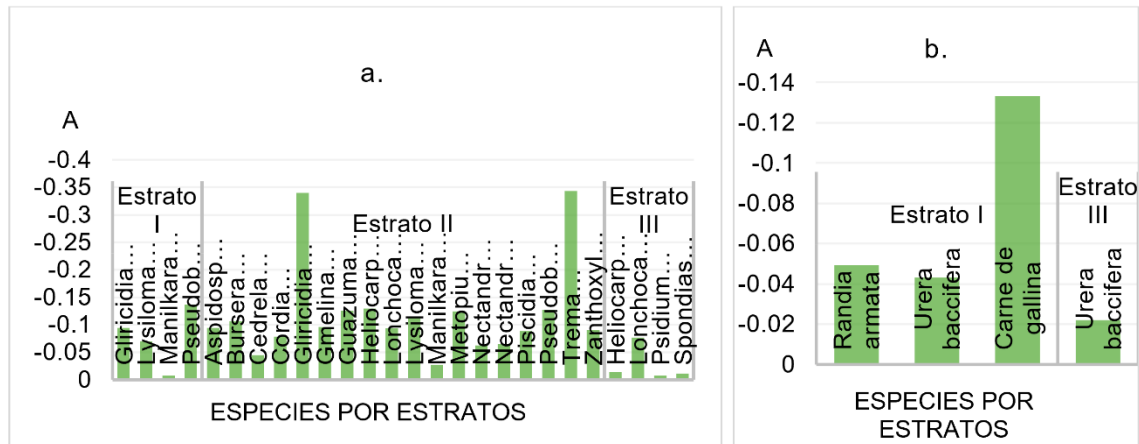


Figura 7. Estructura vertical del a) Estrato arbóreo y b) Estrato arbustivo, SAP Tenosique.

Perfil florístico vertical

El perfil florístico vertical de la formación (Figura 8) muestra la distribución de las especies arbóreas de acuerdo con su Índice de Valor de Importancia (IVI),



Figura 8. Perfil florístico de la SAP de Tenosique. Por estructura predominante y en orden por Índice de Valor de Importancia (IVI): 1. *Pseudobombax ellipticum*, 2. *Gliricidia sepium*, 3. *Trema micrantha*, 1a(arbustivo).Carne de Gallina, 4. *Lysiloma latisiliquum*, 5. *Heliocarpus donnell smithii*, 6. *Metopium brownei*, 11. *Cedrela odorata*.

Composición florística

El estrato arbóreo presentó un total de 1736 individuos, agrupados en 23 especies, 22 géneros y 16 familias, de las cuales Fabaceae, Anacardiaceae y Sapindaceae fueron las más representativas. El estrato arbustivo estuvo conformado por 115 individuos de tres especies, dos géneros, dos familias y la carne de gallina con género y familia desconocidas, siendo la más representativa del estrato.

Diversidad

En el estrato arbóreo, el índice de Shannon–Weaver registró un valor de $H' = 2.352$, con el cocoite y palencano presentando los más altos índices y el cedro rojo con un valor de $H' = 0.010$ (Figura 9a), mientras que el índice de Simpson fue de $D = 0.147$ y el cedro con un valor de $D = 0.001$ (Figura 9b).

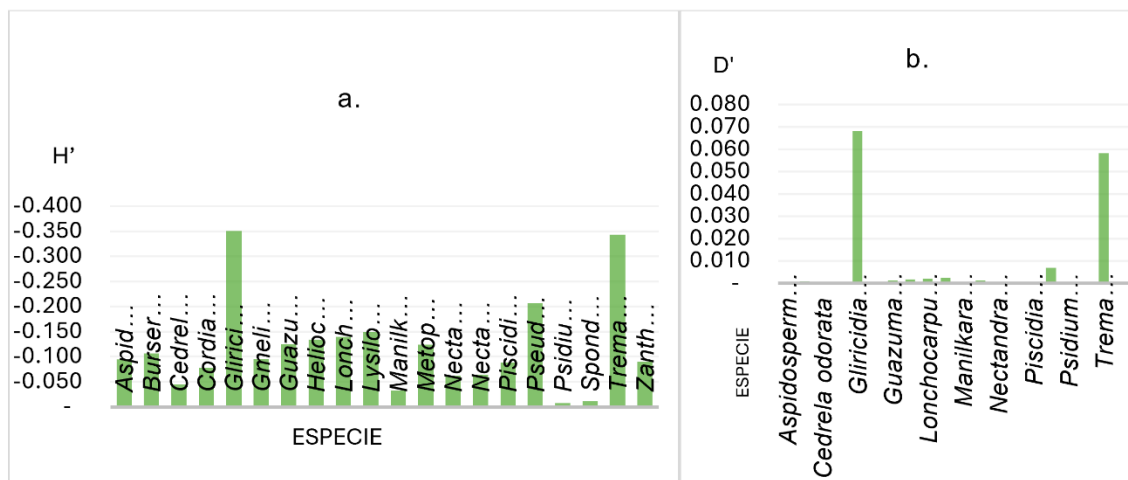


Figura 9. Diversidad con a) Índice Shanoon_Weiner y b) Índice Simpson, del estrato arbóreo de la SAP de Tenosique.

El estrato arbustivo presentó un índice de Shannon–Weaver de $H' = 0.908$ (Figura 10a) y un índice de Simpson de $D = 0.470$, con la carne de gallina con los índices más altos (Figura 10b).

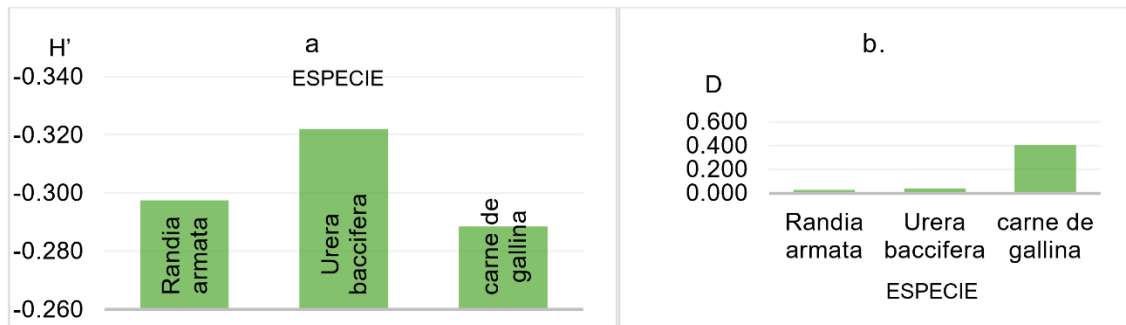


Figura 10. Diversidad con a) Índice Shanon_Weiner y b) Índice Simpson, del estrato arbustivo de la SAP de Tenosique.

Riqueza

La riqueza florística del estrato arbóreo mostró un índice de Margalef de $DMg = 2.547$ y un índice de Menhinick de 0.480. Y en el estrato arbustivo, con un índice de Margalef de 0.422 y un índice de Menhinick de 0.280.

4.3.2 Vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia (VSA/SAP) de Macuspana

A continuación, se describen las características estructurales y de composición florística de la vegetación secundaria arbórea derivada de selva alta perennifolia (VSA/SAP) de Macuspana.

Estructura horizontal

La VSA/SAP de Macuspana se caracteriza por una mayor concentración de individuos en la segunda categoría diamétrica (10–15 cm de DAP). Si bien se observa una disminución progresiva hacia las categorías de mayor diámetro, persiste un remanente de individuos en clases superiores a 30 cm de DAP, lo que configura una distribución diamétrica en forma de “J” invertida. El cedro rojo se registra en la tercera categoría diamétrica (15–20 cm de DAP) (Figura 11).

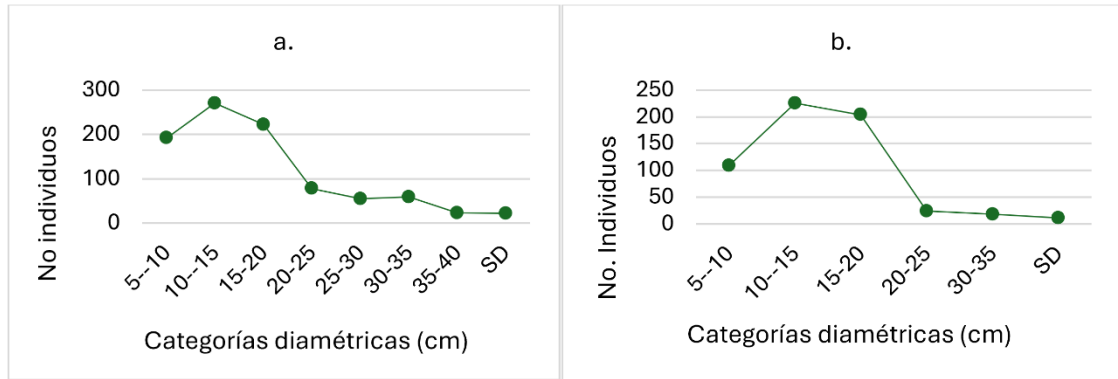


Figura 11. Estructura horizontal del a) estrato arbóreo, b) estrato arbustivo VSA/SAP, Macuspana.

En el estrato arbóreo, las especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) fueron jobo, machiche y chak tom (*Cupania dentata*) y el cedro rojo presentó un IVI del 13% en la comunidad. En el estrato arbustivo destaca gusano (*Lippia myriocephala*) que concentró la mayor proporción de individuos y el IVI más alto del estrato (Figura 12).

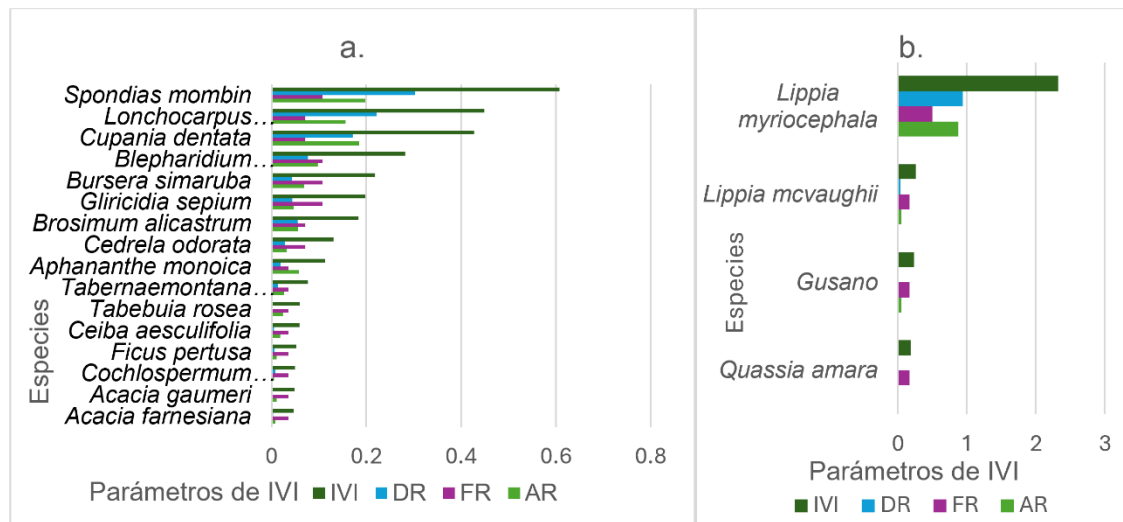


Figura 12. Índice de Valor de Importancia del a) estrato arbóreo y b) Estrato arbustivo, VSA/SAP, Macuspana.

Estructura vertical

La formación está estructurada verticalmente de la siguiente manera:

- Estrato I ($\geq$ a 12.32 m de altura), en los que se registraron 5 especies, de las que machiche fue la de mayor altura con 15.4 m, seguido del jobo con 14.1 m.
- En el Estrato II (7.7 a 12.32 m de altura), se encontraron 11 especies, el cedro rojo entre ellas, con una altura de 9.2 m, siendo las especies más representativas el popiste (*Blepharidium guatemalense*) con la mayor altura con 12.1 m, el jobo con 11.9 m y colpanchi con 11.4 m.
- Y en el Estrato III ($\leq$ a 7.7 m de altura) con 12 especies, podemos encontrar a machiche (7.6 m) entre mulato (*Bursera simaruba*) (7.4 m) y cocoite (6.8 m).

En el estrato arbustivo, el gusano se registró en los tres estratos de altura, alcanzando la mayor altura observada (14.3 m). La estructura vertical de la formación arrojó un índice de Pretzsch (A) del 2.924, de Altura máxima (Amax) con 3.871 y altura relativa (Arel) del 75.55% en el estrato arbóreo, donde el cedro rojo mostró un A de 0.11. (Figura 13a) y el estrato arbustivo muestra un A de 0.907, Amax de 2.484 y Arel de 36.52%. (Figura 13b).

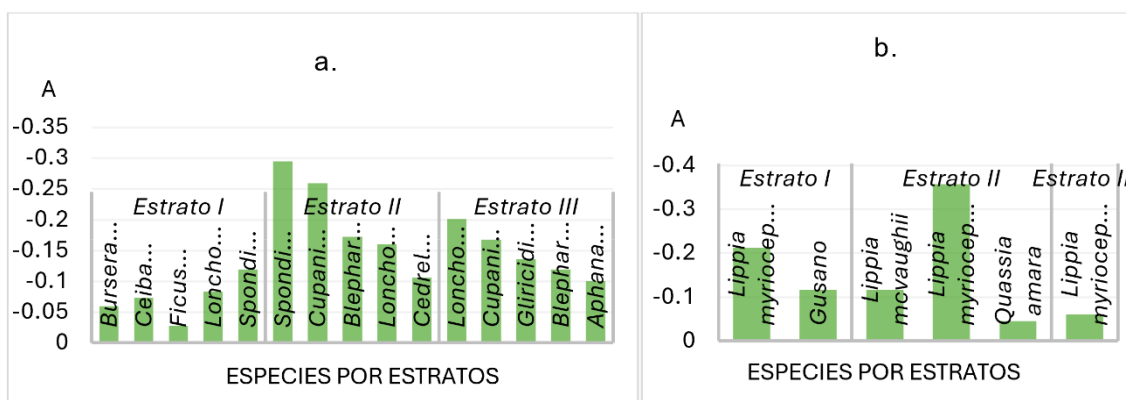


Figura 13. Estructura vertical del a) estrato arbóreo y b) estrato arbustivo de VSA/SAP, Macuspana.

Perfil florístico vertical

A continuación, se presenta el perfil florístico vertical de la VSA/SAP (Figura 14).



Figura 14. Perfil florístico de la VSA/SAP de Macuspana. Por estructura predominante y en orden por Índice de Valor de Importancia (IVI): 1. *Spondias mombin*, 2. *Lonchocarpus sericeus*. 3. *Cupania dentata*, 1a(arbustivo). *Lippia myriocephala*, 4. *Blepharidium guatemalense*, 5. *Bursera simaruba*, 6. *Gliricidia sepium*, 8. *Cedrela odorata*.

Composición florística

La composición del estrato arbóreo consistió en 922 individuos, de 16 especies, 14 géneros y 11 familias, siendo las más representativas Fabaceae, Anacardiaceae y Sapindaceae. Y en el estrato arbustivo, compuesto por 592 individuos, podemos ver 4 especies, de 3 familias y 3 géneros, de ellas, otra especie llamada gusano sin identificar, destacando el gusano de la familia Verbenaceae.

Diversidad

Los índices del estrato arbóreo presentan valores de Shannon–Weaver de $H' = 2.33$ (Figura 15a) y el índice de Simpson de $D = 0.123$, donde el cedro rojo mostró valores de $H' = 0.031$ y $D = 0.0009$. (Figura 15b).

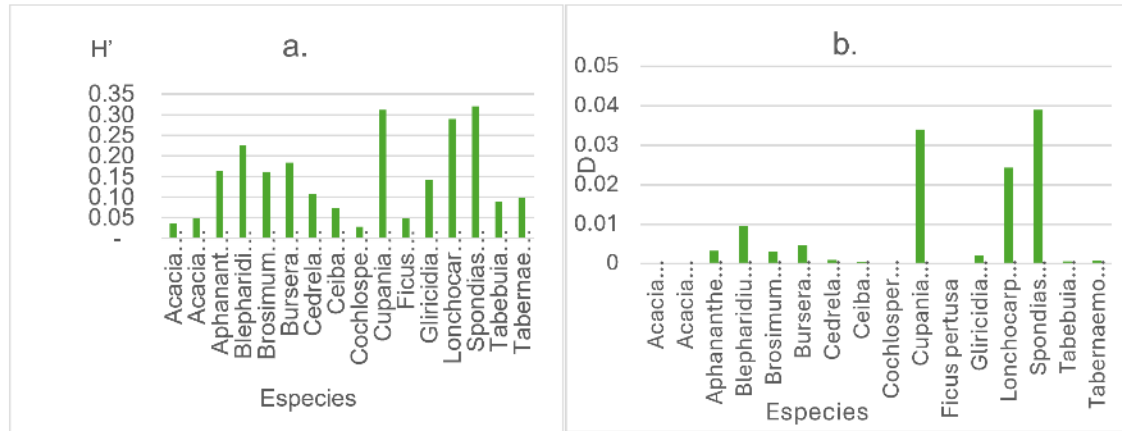


Figura 15. Diversidad del estrato arbóreo a) Índice Shannon_Weiner y b) índice Simpson. VSA/SAP. Macuspana.

Por el contrario, el estrato arbustivo presentó una diversidad notablemente menor con el índice de Shannon-Weaver de $H' = 0.49$ (Figura 16a) y el índice de Simpson de $D = 0.774$ (Figura 16b).

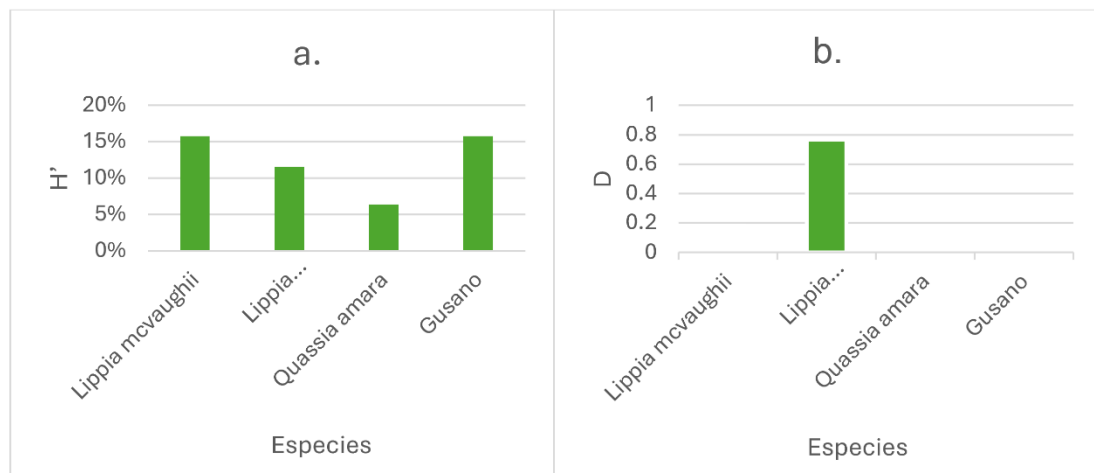


Figura 16. Diversidad del estrato arbustivo a) Índice Shannon_Weiner y b) índice Simpson. VSA/SAP Macuspana.

Riqueza

En cuanto a la riqueza florística, en el estrato arbóreo, el índice de Margalef presentó un valor de $DMg = 2.197$ y en Menhinick se obtuvo uno de 0.527. En el estrato arbustivo, Margalef arrojó un resultado de 0.470 y Menhinick mostró un valor de 0.164.

Similitud entre las formaciones

En cuanto a similitud entre ambas formaciones, el Índice de Sørensen resultó en 22,22% y el Índice de Jaccard fue de 12,50% y las especies que se encuentran en ambos sitios son el cedro rojo, cocoite, jobo y mulato.

4.4 Análisis de resultados

El análisis de las formaciones permite interpretar su estado estructural y ecológico como hábitat del cedro rojo. A partir de los patrones observados en la estructura horizontal y vertical, así como en la composición florística, es posible inferir su etapa sucesional, el grado de competencia por recursos y las condiciones que influyen en la permanencia y desempeño ecológico del cedro rojo dentro de estas comunidades.

4.4.1 Selva alta perennifolia (SAP) de Tenosique

Los resultados anteriormente descritos muestran lo siguiente.

Estructura horizontal

La distribución diamétrica de la selva alta perennifolia de Tenosique presenta una forma de “J” invertida, lo que indica que la comunidad se encuentra en una etapa de regeneración secundaria temprana a intermedia. Caracterizada por una alta concentración de individuos jóvenes en crecimiento donde persisten pocos árboles remanentes de mayor tamaño (Aguirre Mendoza et al, 2021).

Este patrón coincide con lo reportado por el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS, 2009–2013), el cual señala que más del 80 % de las selvas de Tabasco se encuentran en alguna etapa de regeneración, lo que sugiere un proceso de regeneración influido por el historial de uso del sitio.

En este tipo de selvas es común encontrar la dominancia de especies pioneras en procesos de regeneración secundaria como amapola, cocoite y capulín (Sánchez-Bernal et al., 2020; Cruz-Márquez et al., 2014) que debido a su abundancia presentaron un alto Valor de Importancia (IVI) en la formación, junto con otras especies pioneras como guásimo (*Guazuma ulmifolia*) y jolosin (*Heliocarpus donnell-smithii*) (Alejandro-Montiel et al., 2010; Magaña, 2010) que

presentan un IVI de medio a alto y son características de etapa temprana de sucesión. En el estrato arbustivo, la especie dominante conocida localmente como “carne de gallina” que presenta valores elevados de IVI, sugiere una ocupación intensa y una alta competencia por espacio y recursos durante las primeras fases de la sucesión.

El cedro rojo registró un IVI bajo del 8%, en comparación con otras especies arbóreas de la comunidad, esto debido a que su abundancia es muy reducida (1%), esto debido posiblemente a su alto valor económico, por lo que ha sido históricamente extraído de forma selectiva. Esto puede restringir su papel actual dentro de la comunidad y limitar su permanencia y desarrollo hacia clases diamétricas mayores si no se reducen las presiones antrópicas.

Esto también se refleja en su muy baja dominancia (0.43%) debido a que su envergadura es muy delgada, encontrándose en la primera categoría diamétrica (5-10 cm de Dap), siendo consistente con procesos de aprovechamiento forestal continuo, donde los individuos de mayor diámetro son removidos preferentemente, favoreciendo la dominancia de especies no maderables, pioneras o secundarias tempranas que mantienen ventajas competitivas por los recursos.

A pesar de su baja dominancia, es su frecuencia media (7%) lo que le favorece, el cedro rojo mantiene una presencia constante en la comunidad, lo que coincide con su ecología característica de poblaciones naturalmente dispersas y de baja densidad, incluso en condiciones poco perturbadas (Ramírez et al., 2018).

Estructura vertical

El índice de Pretzsch indica una estructura vertical de baja a media complejidad, en la que la mayoría de las especies se concentra en el segundo estrato de altura, lo que genera una intensa competencia por recursos, particularmente por la luz. En este contexto, el cedro rojo al ubicarse principalmente en la porción inferior de dicho estrato presenta un valor bajo de $A = -0.045$, ya que enfrenta competencia directa con especies pioneras dominantes de rápido crecimiento.

Aunque el cedro rojo presenta tolerancia a la sombra en sus etapas juveniles (Martínez-Ramos et al., 2007), su crecimiento óptimo y su transición hacia estratos superiores dependen de una mayor disponibilidad lumínica (INAB, 2019).

Composición florística

Los valores del índice de Shannon–Weaver (H') en el estrato arbóreo indican una diversidad media, lo que refleja la coexistencia de varias especies con una distribución relativamente equilibrada de abundancias. Y el índice de Simpson evidencia una alta diversidad con leve dominancia de cocoite y capulín, especies que concentran una proporción importante de los individuos, pero sin excluir a otras especies, manteniendo equidad entre abundancias. Para el estrato arbustivo estos valores son bajos, mostrando dominancia de la carne de gallina.

En términos de riqueza, el índice de Margalef señala una riqueza florística media para el estrato arbóreo y baja para el arbustivo, mientras que el índice de Menhinick para la formación sugiere una riqueza relativamente baja en relación con el número total de individuos, reflejando una comunidad simplificada, característico de comunidades en regeneración secundaria. Y que de acuerdo con CONAFOR (2013), es una condición común en Tabasco, comparado con otros estados.

Y esto sugiere que, aunque el sitio mantiene una diversidad arbórea considerable, las condiciones ecológicas actuales pueden restringir el papel funcional del cedro rojo dentro de la comunidad, que presenta valores de una especie de importancia ecológica secundaria ($H' = 0.05$ y $D = 0.0001$), debido a la competencia interespecífica que puede limitar el establecimiento de especies heliófitas como el cedro rojo, que es característico de formaciones más maduras (Martínez-Ramos et al., 2007).

4.4.2 Vegetación Secundaria Arbórea de Selva Alta Perennifolia (VSA/SAP) de Macuspana

Esta formación presenta las siguientes características con base en los resultados.

Estructura horizontal

La vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia (VSA/SAP) de Macuspana también muestra una distribución diamétrica en forma de “J” invertida, observada en la alta proporción de individuos en clases diamétricas menores, sin embargo, esta formación aún conserva un remanente de árboles en categorías diamétricas superiores, lo que aporta mayor complejidad estructural a la formación y es característico de una etapa sucesional intermedia (Aguirre et al., 2021).

En concordancia con esta condición, se observa la coexistencia de especies pioneras y de sucesión secundaria inicial que colonizan suelos degradados, como el cocoite y maculís (Sánchez-Bernal et al., 2020) en el estrato arbóreo, y en el estrato arbustivo con la dominancia del gusano, especie con alta plasticidad ecológica, rápido crecimiento y capacidad para establecerse en ambientes perturbados o de difícil acceso, que suele formar parte de las etapas iniciales de la sucesión vegetal (Maldonado-Torres et al., 2018). Esta condición puede limitar temporalmente el establecimiento de otras especies leñosas, incluido el cedro rojo, durante sus primeras etapas de desarrollo.

El cedro rojo presentó un IVI medio de 13%, lo que sugiere que la especie encuentra condiciones favorables para su establecimiento dentro de esta comunidad, aunque sin alcanzar un papel dominante. Esta condición indica que el cedro rojo se integra de manera funcional a la estructura del bosque, coexistiendo con especies dominantes y enfrentando competencia por luz, espacio y nutrientes, lo cual puede influir en su crecimiento y permanencia a largo plazo.

Estructura vertical

La estructura vertical del estrato arbóreo mostró una alta heterogeneidad entre los individuos, indicando una presencia equilibrada en los tres estratos de altura. Por su parte, el estrato arbustivo muestra un Arel que refleja una heterogeneidad vertical media-baja, lo que indica un predominio claro del gusano en la capa baja de la vegetación.

El cedro rojo, por su ubicación en la parte superior del estrato medio y un A medio de 0.11, indica que aprovecha ambientes con buena disponibilidad de luz (INAB, 2019), lo que coincide con su comportamiento ecológico reportado para formaciones secundarias y sistemas agroforestales (Murillo-Brito et al., 2016). La tolerancia inicial del cedro rojo a condiciones de sombra parcial y su capacidad para establecerse en ambientes abiertos con cobertura herbácea sugieren que la estructura del sotobosque y la presencia de pastos pueden favorecer su regeneración temprana (Martínez-Ramos et al., 2007).

Composición florística

La composición florística de la VSA/SAP de Macuspana muestran valores de diversidad del estrato arbóreo de media a alta, el índice de Shannon–Weaver indica una distribución equilibrada entre las especies encontradas, lo que sugiere una recuperación progresiva de la complejidad florística, mientras que el índice de Simpson señala una baja dominancia, lo que sugiere que, aunque existen especies con mayor importancia ecológica, como aquellas con IVI elevado, ninguna controla de forma predominante la estructura de la comunidad, permitiendo la coexistencia de un conjunto amplio de especies arbóreas.

En cuanto a la riqueza florística, los valores del índice de Margalef y Menhinick, de bajos a medios, confirman que, aunque la cantidad de especies es moderada, existe una representación adecuada en relación con el número total de individuos muestreados.

En contraste, el estrato arbustivo presenta una diversidad mucho menor. El índice de Shannon-Weaver mostró una diversidad baja y el índice de Simpson indica una alta dominancia del gusano, que concentra la mayor parte de los individuos del estrato. El Índice de Margalef nos indica que existe baja riqueza específica, ya que las especies están distribuidas desequilibradamente. Y el índice de Menhinick expresa la baja proporción de especies con respecto a la cantidad de individuos.

En este contexto, los valores de diversidad del estrato arbóreo de la VSA/SAP de Macuspana ($H' = 2.33$; $D = 0.123$) indican una comunidad con una estructura relativamente equilibrada y baja dominancia, lo que favorece la coexistencia de múltiples especies. Sin embargo, el cedro rojo presentó valores bajos de importancia ecológica ($H' = 0.031$; $D = 0.0009$), lo que sugiere que, aunque las condiciones estructurales generales del sitio son favorables, su papel funcional dentro de la comunidad es aún secundario. Esta situación puede estar asociada a su baja abundancia relativa y a la competencia con especies mejor representadas en la estructura arbórea, propias de etapas sucesionales intermedias. No obstante, la mayor heterogeneidad vertical y la menor dominancia observadas en esta formación indican un escenario más favorable para el establecimiento y crecimiento del cedro rojo en comparación con la SAP de Tenosique.

4.4.3 Análisis comparativo de la estructura y composición florística entre la SAP de Tenosique y la VSA/SAP de Macuspana

El índice de Sørensen indica una baja similitud florística, mientras que el índice de Jaccard muestra valores aún menores, lo que evidencia que la proporción de especies compartidas es reducida, indicando así una marcada diferenciación florística entre las formaciones, esto confirma que, a pesar de compartir un mismo contexto regional y tipo general de vegetación, cada sitio responde a condiciones locales particulares y a diferentes historias y grados de intervención humana en cada paisaje. Estas diferencias en similitud se reflejan también en la estructura,

en la composición y en cómo responde el cedro rojo en cada uno de estos sitios. En el Cuadro 1 se encuentra un resumen comparativo de los resultados:

Cuadro 3. Estructura y composición florística de la SAP de Tenosique y la VSA/SAP de Macuspana, Tabasco.

Estructura		Selva	
		Tenosique (SAP) Arbóreo y arbustivo	Macuspana (VSA/SAP) Arbóreo y arbustivo
Horizontal	Distribución dasométrica por categoría diamétrica	Predominando en las primeras dos categorías diamétricas (5–10 y 10–15 cm de Dap), con un marcado declive de la población de árboles de gran tamaño.	Abundan en la segunda categoría diamétrica (10-15 cm en Dap), con un decremento de árboles grandes, del cual aún se mantiene un remanente de árboles mayores de las categorías diamétricas superiores a 30 cm de Dap.
	Índice de Valor de Importancia (IVI) del cedro rojo	8%	13%
Vertical	Pretzsch (A)	2.569 y 0.248 Altura Max. 15.4 m. Predominan en el segundo estrato de altura.	2.924 y 0.907 Altura Max. 14.4 m, Predominan en el segundo estrato de altura.
	Amax	4.094 y 1.792	3.871 y 2.484
	Altura relativa (Arel)	62.75% y 13.84 %	75.55% y 36.52%.
Composición florística			
Número total de individuos		1736 y 115 = 1851	922 y 592 = 1514
Especies		23 y 3	16 y 4
Géneros		22 y 2 y un desconocido	14 y 3 y un desconocido
Familias		16 y 2 y una desconocida	11 y 3 y una desconocida
Diversidad	Shannon-Weiner (H')	2.354 y 0.908	2.33 y 0.602
	Simpson (D)	0.147 y 0.47	0.123 y 0.76
Riqueza	Margalef (D Mg)	2.547 y 0.422	2.197 y 0,470
	Menhinick (D Mn)	0.48 y 0.280	0.526 y 0.164
Similitud	Sørensen (S)	22.22%	4 especies en común
	Jaccard (J)	12.50%	

La comparación de la estructura y composición florística entre las formaciones muestra contrastes claros en la dinámica sucesional y en las condiciones de establecimiento del cedro rojo. La SAP de Tenosique presenta una estructura

horizontal dominada por individuos en clases diamétricas menores y una estructura vertical de baja a media complejidad, con alta concentración de especies en el estrato medio y escasa representación en los estratos superiores. Este patrón refleja una etapa sucesional temprana a intermedia, caracterizada por alta competencia por recursos y a su vez, a pesar de que la comunidad muestra una diversidad florística media-alta, la fuerte dominancia de especies pioneras pueden limitar el desarrollo del cedro rojo, reflejado en su menor tamaño e IVI, asociado además a disturbios antrópicos históricos más recientes.

En contraste, la VSA/SAP de Macuspana exhibe una distribución diamétrica más equilibrada, con presencia de individuos en categorías superiores, y una mayor heterogeneidad vertical, lo que indica una fase sucesional intermedia más avanzada y una estructura forestal más estable. Aunque la riqueza total es menor, la distribución más equilibrada de los individuos entre las especies genera valores de diversidad similares a los de Tenosique. En este contexto, el cedro rojo mantiene una presencia más constante e integrada, reflejada en un IVI intermedio y se ubica principalmente en la parte superior del estrato medio, sugiriendo que encuentra condiciones más favorables de luz y espacio para su establecimiento y desarrollo. Este comportamiento es consistente con su ecología heliófila y su respuesta positiva a ambientes con apertura moderada del dosel, propios de paisajes secundarios y manejados.

Los patrones estructurales y de diversidad registrados en la selva alta perennifolia de Tenosique y en la vegetación secundaria arbórea de Macuspana son consistentes con lo reportado para otras selvas del estado de Tabasco. Estudios realizados en selvas conservadas y secundarias de Agua Blanca (Castillo y Zavala, 1996; Zarco-Espinoza et al., 2010), Yu-balkah, Tacotalpa (Maldonado, 2007) y Tenosique (Vázquez-Negrín et al., 2011) describen comunidades con alta diversidad arbórea, baja dominancia y una estructura vertical compleja en sitios con menor perturbación, mientras que en áreas con antecedentes de aprovechamiento o disturbio se observa una mayor concentración de individuos en clases diamétricas menores y una menor

representación de árboles de gran tamaño. En este sentido, las diferencias observadas entre Tenosique y Macuspana en el presente estudio reflejan variaciones en el estado sucesional y en el manejo histórico del paisaje, más que particularidades locales, confirmando que la estructura y composición florística de las selvas tabasqueñas responden de manera similar a los procesos de perturbación y recuperación.

En conjunto, los resultados indican que las selvas secundarias más avanzadas ofrecen condiciones más favorables para la persistencia del cedro rojo. Y resaltan la importancia de las formaciones secundarias como espacios clave para la conservación del cedro rojo en paisajes tropicales altamente transformados.

4.5 Conclusiones

El análisis de la estructura y composición florística de la selva alta perennifolia de Tenosique y de la vegetación secundaria arbórea de Macuspana permite identificar un patrón de regeneración del cedro rojo en Tabasco condicionado por el manejo histórico del paisaje. Dicha condición explica tanto la baja abundancia actual de la especie como su persistencia en paisajes altamente transformados.

En este contexto, el cedro rojo presenta una baja a media importancia ecológica, asociada a las condiciones estructurales actuales de la vegetación. En la SAP de Tenosique, la estructura horizontal y vertical, dominada por individuos de clases diamétricas menores y con escasa representación de árboles de gran tamaño, limita su participación en la comunidad, generando desventajas competitivas por espacio y recursos, aunadas a una histórica extracción selectiva que reduce la presencia de árboles semilleros.

La VSA/SAP de Macuspana mostró que una estructura forestal más estable y compleja favorece el establecimiento del cedro rojo, confirmando que la especie

responde mejor a formaciones secundarias con mayor heterogeneidad estructural, lo que resalta el papel de las selvas secundarias en su conservación.

Finalmente, la información generada en este estudio aporta evidencia ecológica relevante sobre el estado actual de las poblaciones naturales del cedro rojo en Tabasco, una región reconocida como poco explorada debido a la fragmentación del paisaje y a las dificultades de acceso, limitando la información disponible sobre la especie en vida silvestre. Estos resultados contribuyen a reducir estos vacíos de información y proporcionan insumos científicos que pueden ser útiles en futuras evaluaciones de conservación y manejo forestal, incluyendo aquellas relacionadas con instrumentos normativos como la NOM-059.

4.6 Literatura citada

- Aguirre Mendoza, Z., Orellana Orellana, F., Jaramillo Díaz, N., Peña Tamayo, J., & Quizhpe coronel, W. (2021). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso en una parcela permanente en el bosque protector El Sayo, Loja, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3) , 3062. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3
- Ajbilou, R., Marañón, T., & Arroyo, J. (2003). Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de Marruecos [Analysis of diameter distributions and conservation of forests of northern Morocco]. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12(2), 111–123. <https://doi.org/10.5424/805>
- Alejandro-Montiel, C., Galmiche-Tejeda, Á., Domínguez-Domínguez, M., & Rincón-Ramírez, A. (2010). Cambios en la cubierta forestal del área ecoturística de la Reserva Ecológica de Agua Selva, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(3), 605–617. Universidad Autónoma de Yucatán. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93915170005>
- Buendía-Rodríguez, Enrique, Eduardo Javier Treviño-Garza, Eduardo Alanís-Rodríguez, Oscar A. Aguirre-Calderón, Marco A. González-Tagle, y Marín Pompa-García. (2019). Estructura De Un Ecosistema Forestal Y Su relación Con El Contenido De Carbono En El Noreste De México. *Revista*

- Mexicana De Ciencias Forestales* 10 (54). México, ME.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.149>
- Castillo-Acosta, O., & Zavala-Cruz, J. (1996). Fisiografía, recursos vegetales y alternativas de manejo en el Parque Estatal Agua Blanca, Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 12(23), 63–70.
<https://doi.org/10.19136/era.a12n23.587>
- Chablé-Pascual, R., Palma-López, DJ, Vázquez-Navarrete, CJ, Ruiz-Rosado, O., Mariaca-Méndez, R., & Ascensio-Rivera, JM (2014). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y recur. agropecuarios vol.2 no.4*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000100003
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2013). Resultados del inventario estatal de Tabasco. Sistema Nacional. <https://snmf.cnf.gob.mx/datos-del-inventario/>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2020). Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). <https://snmf.cnf.gob.mx/datos-del-inventario/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Tabasco. (2019). La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. CONABIO.
https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee_tabasco
- Cruz-Márquez, U., Negreros-Castillo, P., López-Binnqüist, C., & Mize, C. W. (2014). Crecimiento y producción de *Trema micrantha* (L.) Blume, árbol para papel amate [Growth and production of *Trema micrantha* (L.) Blume, tree used for amate paper]. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), 13–22. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.07.024>
- Domínguez Gómez, TG, Hernández González, BN, González Rodríguez, H., Cantú Silva, I., Alanís Rodríguez, E., & Alvarado, M. del S. (2018). Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i5>
- Gálvez López, L., Vallejo Reyna, M. A., Méndez Espinoza, C., & López Upton, J. (2020). *Cedrela odorata* L.: oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(58). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.622>
- Hernández Ramos, J., Reynoso Santos, R., Hernández Ramos, A., García Cuevas, X., Hernández-Máximo, E., Cob Uicab, J. V., & Sumano López, D. (2018). Distribución histórica, actual y futura de *Cedrela odorata* en México. *Acta Botanica mexicana*, (124), 117–134.
<https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1305>
- Instituto Nacional de Bosques (INAB). 2019. Paquete Tecnológico Forestal para Cedro *Cedrela odorata* L. Guatemala, *Departamento de Investigación*

- Forestal*. 87p. (Serie técnica DT-029-2019).
<https://www.inab.gob.gt/images/publicaciones/PTF%20CEDRO.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2023). Plantaciones forestales con cedro rojo en el trópico mexicano. *Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/plantaciones-forestales-con-cedro-rojo-en-el-tropico-mexicano>
- Jardel Peláez, E. (2015). Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales. *Comisión Nacional Forestal & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*.
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/49/6661Gu%C3%ADa%20web%20para%20la%20caracterizaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20final.pdf>
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Vargas Hernández, M. (2018). Contribución al estudio del sistema agroentomoforestal árbol *Lippia myriocephala* como fuente de combustible y medio de reproducción de la larva *Phassus triangularis*. *ResearchGate*.
<https://www.researchgate.net/publication/331101209>.
- Martínez López, A. A., Candia Alor, C. D. R., Flores Lázaro, C., Bolívar Arriaga, N. K., Aldana Rodríguez, J., & Hernández de la Cruz, R. (2014). HERPETOFAUNA EN UN CACAOTAL EN LA R/A HUIMANGO 1a SECCIÓN, CUNDUACÁN TABASCO. *Kuxulkab'*, 17(33). <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a17n33.360>
- Martínez-Ramos, M., & García-Orth, X. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Botanical Sciences* (Suplemento, 80S), 69–84.
<https://doi.org/10.17129/botsci.1758>
- Morán-Villa, VL, Monterroso-Rivas, AI, Gómez-Díaz, JD, Márquez-Berber, SR, & Valdés-Velarde, E. (2022). Composición florística y disposición de sistemas agroforestales de cacao en Tabasco, México. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 25, #067. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3840>
- Murillo-Brito, Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Lagunas-Espinoza, L. C., & Aldrete, A. (2016). Índice de sitio en plantaciones de *Cedrela odorata* en el Trópico húmedo de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 49(1), 15-31.
https://www.researchgate.net/publication/311859614_Indice_de_sitio_en_plantaciones_de_Cedrela_odorata_en_el_tropico_humedo_de_Mexico_Site_index_for_Cedrela_odorata_in_the_humid_tropics_of_Mexico
- Palomeque de la Cruz, MA, Ruiz Acosta, S. del C., Ramos Reyes, R., Magaña Alejandro, MA, & Galindo Alcántara, A. (2021). Modelación de cambios de coberturas y uso de suelo en Nacajuca, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 655-669. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v12n4/2007-0934-remexca-12-04-655.pdf>

- Ramírez, D., Alvarado, A., Ávila, C., Camacho, M. E., Fernández, J., Murillo, R., Salazar, L., & Sandí, C. L. (2018). Dinámica de la concentración y acumulación de nutrimentos en los componentes de la biomasa aérea de *Cedrela odorata* L. en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 89–108. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32196>
- Ramírez-García, A. R., Zavala-Cruz, J., Rincón-Ramírez, J. A., Guerrero-Peña, A., García-López, E., Sánchez-Hernández, R., Castillo-Acosta, O., Alfaro-Sánchez, G., & Ortiz-Pérez, M. A. (2022). Vegetation cover and land use change (1947-2009) in the region of Los Ríos, Tabasco, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(3), 465–481. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.01.001>
- Sánchez-Bernal, E. I., Ortega-Escobar, H. M., Muñoz-Hernández, E. N., Can-Chulim, Á., Ortega-Baranda, V., & Ochoa-Sommano, J. (2020). Crecimiento de plántulas de *Tabebuia rosea* y *Gliricidia sepium* en condiciones de salinidad clorhídrica [Growth of seedlings of *Tabebuia rosea* and *Gliricidia sepium* under hydrochloric salinity conditions]. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 347–359. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.608>
- Uicab, J. V. C., Santiago, B. R., & Cuevas, X. G. (2023). Estandarización de un método de propagación asexual para el establecimiento de un banco clonal de *Cedrela odorata* L. *South Florida Journal of Development*, 4(6), 2288–2296. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n6-006>
- Zarco-Espinoza, V. M., Valdez-Hernández, J. I., Ángeles-Pérez, G., & Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 26(1), 1–17. <https://doi.org/10.19136/era.a26n1.179>

CAPITULO 5: CONCLUSIONES GENERALES

El objetivo de caracterizar el hábitat del cedro rojo en el estado de Tabasco se cumplió mediante la integración del análisis de la estructura y composición florística con información cartográfica ambiental en un enfoque de paisaje, lo que permitió comprender de manera integral su distribución y las condiciones ecológicas asociadas a su desarrollo.

El mapa de paisajes permitió identificar como hábitat potencial del cedro rojo a la selva alta perennifolia, la vegetación secundaria arbórea derivada de esta formación, sus relictos, así como a los sistemas agroforestales y silvopastoriles. Estas unidades reflejan distintos grados de conservación y transformación del paisaje, confirmando que la especie persiste tanto en ambientes naturales como en contextos productivos altamente modificados.

El análisis de la estructura y composición florística en Tenosique y Macuspana mostró que el establecimiento y desarrollo del cedro rojo están condicionados por el estado sucesional y el grado de perturbación de la vegetación. En este sentido, las formaciones con mayor heterogeneidad estructural y estabilidad favorecen su presencia, mientras que las selvas en etapas sucesionales tempranas limitan su importancia ecológica.

A escala estatal, los resultados indican que el uso de suelo y las características edáficas son los factores que mayor influencia ejercen sobre la distribución del cedro rojo, siendo las subregiones Ríos, Pantanos y Sierra las que presentan las condiciones más favorables para su desarrollo. En contraste, la presión antrópica ha restringido la regeneración natural de la especie en subregiones como Centro y Chontalpa, confinando sus poblaciones principalmente a relictos forestales y sistemas productivos con árboles dispersos.

En conjunto, los resultados confirman que, a pesar de más de dos siglos de aprovechamiento intensivo y de la transformación del paisaje en Tabasco, el cedro rojo ha mantenido su presencia gracias a su plasticidad ecológica y a su importancia económica y cultural. Esta resiliencia se expresa tanto en remanentes de selva como en sistemas agrosilvopastoriles, donde su valor maderable ha favorecido su conservación y manejo por parte de las comunidades locales.

En este sentido, la supervivencia del cedro rojo es el resultado de la interacción entre procesos ecológicos y contextos socioeconómicos que han modelado su distribución actual. Por lo que la conservación y el manejo del hábitat resultan

fundamentales para asegurar la continuidad de sus poblaciones en el estado de Tabasco.

Finalmente, la información generada constituye una base científica relevante para orientar estrategias de conservación, manejo y restauración del cedro rojo en el estado de Tabasco, así como para futuras investigaciones sobre su ecología, su respuesta a distintos escenarios ambientales y su relación con propiedades funcionales o químicas de interés.