

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
SEDE TONALÁ

T E S I S

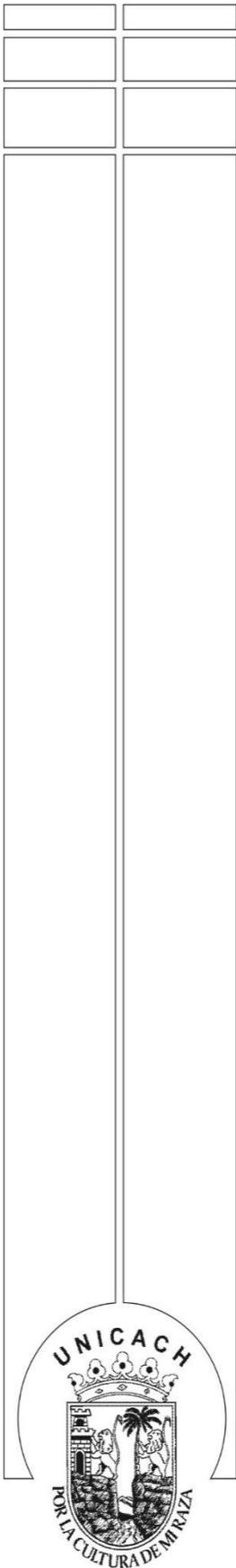
Estructura arbórea y almacén de carbono
aéreo del bosque ribereño en tres sectores
del río Zanatenco, Chiapas

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN BIOLOGÍA MARINA Y
MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA

GRACIELA DE JESÚS ESPINOSA ARCE



TONALÁ, CHIAPAS

24 DE ABRIL DE 2023

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y

ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

SEDE TONALÁ

T E S I S

**Estructura arbórea y almacén de carbono
aéreo del bosque ribereño en tres
sectores del río Zanatenco, Chiapas**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA MARINA Y
MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS**

PRESENTA

GRACIELA DE JESÚS ESPINOSA ARCE

DIRECTOR

Dr. Emilio Ismael Romero Berny

**Centro de Investigaciones Costeras-Instituto de Ciencias Biológicas
UNICACH**

ASESORA

Biol. Josefa Anahí Espinoza Jiménez

**Herbario Eizi Matuda-Instituto de Ciencias Biológicas
UNICACH**





Lugar: Tonalá, Chiapas
Fecha: 17 de abril de 2023

C. Graciela de Jesús Espinosa Arce

Pasante del Programa Educativo de:

Licenciatura en Biología marina y Manejo integral de cuencas

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

**ESTRUCTURA ARBÓREA Y ALMACÉN DE CARBONO DEL BOSQUE RIBEREÑO EN
TRES SECTORES DEL RÍO ZANATENCO, CHIAPAS**

En la modalidad de **TESIS**

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Miguel Ángel Pérez Farrera

Dr. Jesús Manuel López Vila

Dr. Emilio Ismael Romero Bery

Firmas:

Ccp. Expediente.

DEDICATORIA

Le dedico el presente escrito a todas las personas que creyeron en mí y en mi trabajo, a cada uno de los personajes tan importantes en la vida de una persona, a mis padres, maestros, amigos y no tan amigos, que siempre supieron cómo sacar lo mejor de mí en cada momento difícil de esta larga carrera y espera por concluir, uno de los primeros pasos más importantes de mi vida profesional.

A mí, por poner todos los días el total de empeño en cada paso para llegar a este momento, por no dejarme caer ni desistir de esta profesión tan bella, y al destino por llevarme a conocer lugares tan valiosos y hermosos para el ser humano, esperando que el presente sea de ayuda para la preservación de la cuenca principal de este municipio.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia; a mi madre, por retarme de maneras extrañas a luchar por lo que quiero; a mi padre, por ser siempre mi apoyo incondicional; a mi hermano, por alentarme siempre a ser yo; a mis abuelos y abuelas, que sé que en donde quiera que estén, deben estar orgullosos de mí; también a mi fiel compañera perruna de hace ya algunos años.

A mi director, el Dr. Emilio Ismael Romero Berny, por creer en un trabajo que comencé con muy pocos conocimientos sobre el tema, y quien siempre tuvo la suficiente confianza en mí y en que podría llevarlo a cabo.

A todos y cada uno de los compañeros que participaron en el trabajo de campo: Andrés, César, Ever, Mayte, Nancy, Juan, Juanito, Ervin, May, entre otros, muchas gracias por su valiosa ayuda, sin ustedes no hubiera sido posible.

Al señor Clemente, que fue quién me abrió las puertas en las comunidades de las zonas media y alta de la cuenca del río Zanatenco.

Al Biol. Mar. y Mic. Juan Antonio Toledo González (Juanito), por su apoyo en la elaboración del mapa del área de estudio.

Agradezco al Herbario Eizi Matuda del Instituto de Ciencias Biológicas de la UNICACH, por el todo el apoyo que me brindó en sus instalaciones; a la Bióloga Josefa Anahí Espinosa Jiménez por la colaboración para la identificación de los ejemplares recolectados y la capacitación por parte del Maestro Héctor Gómez Domínguez, para la recolecta en campo y herborización de ejemplares botánicos.

Y no menos importante, a mí, por tanto esfuerzo, noches de desvelo, días enteros de trabajo en campo, tropiezos, empezar de cero en varias ocasiones, estrés, llanto y espera interminable para tener en mis manos el resultado de tanto tiempo.

INDICE GENERAL

RESUMEN	9
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MARCO TEORICO.....	16
2.1. Definición y generalidades	16
2.2. Ecología de los bosques ribereños	17
2.2. Estructura forestal.....	19
2.2. Biomasa y almacén de carbono	21
III. ANTECEDENTES	24
IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	30
OBJETIVO GENERAL.....	30
4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30
4.2 HIPOTESIS	30
V. ZONA DE ESTUDIO.....	31
VI. MÉTODOS.....	32
6.1. ESTRUCTURA ARBOREA, DOMINANCIA Y DIVERSIDAD.....	32
6.2. BIOMASA AÉREA Y ALMACÉN DE CARBONO.....	35
6.3 ANALISIS DE LOS DATOS.....	35
VII. RESULTADOS	36
7.1. COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA ARBOREA, VALOR DE IMPORTANCIA Y DIVERSIDAD	36
VIII. DISCUSIÓN.....	46
IX. CONCLUSIONES	53
X. RECOMENDACIONES	54
XI. REFERENCIAS.....	55
ANEXOS	67

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen sobre estudios de estructura arbórea y almacén de carbono realizados en bosques ribereños en América y Latina, México y Chiapas en el periodo 2012-2022.....	24
Cuadro 2. Lista sistemática y distribución de las especies arbóreas del bosque ribereño registradas en tres sectores del río Zanatenco, Chiapas.	36
Cuadro 3. Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies arbóreas del bosque ribereño registradas en tres sectores del río Zanatenco, Chiapas. DEN%: Densidad relativa, DOM%: Dominancia relativa, FRE%: Frecuencia relativa.	38
Cuadro 4. Atributos estructurales e índices de diversidad en el bosque ribereño de tres sectores del río Zanatenco, Chiapas.	42
Cuadro 5. Atributos estructurales (DAP y Altura), biomasa aérea y carbono almacenado de las 10 especies del bosque ribereño con mayor contribución porcentual a la disimilitud entre sectores del río Zanatenco, Chiapas, México.	43
Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre el carbono almacenado y las variables estructurales e índices de diversidad del bosque ribereño de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. Valores en negritas indican alta asociación de la variable con el carbono almacenado; * indica valores de asociación estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$)	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución transversal de asociaciones de biotipos en un bosque ribereño (Tomado de Acosta <i>et al.</i> , 2014).....	18
Figura 2. Tipos de Biomasa forestal como almacén de carbono arbóreo (Tomado de Iglesias, 2009).	22
Figura 3. Zona de estudio en la cuenca del río Zanatenco, Tonalá, Chiapas; y parcelas establecidas por sector. Polígono de la cuenca corresponde a una delimitación propia. Cobertura de vegetación tomada de CONABIO (2022).	32
.....	40
Figura 4. Índice de Valor de Importancia de las 10 especies arbóreas más dominantes en a) sector bajo, b) sector medio y c) sector alto del río Zanatenco, Chiapas.	40
Figura 5. Densidad de árboles por categoría diamétrica en el bosque ribereño de tres sectores del río Zanatenco, Chiapas.	41
Figura 6. Diagrama de escalamiento multidimensional no métrico para la ordenación de tres sectores de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas: SA: Sector alto, SM: Sector medio, SB: Sector bajo. El género de las especies se muestra abreviado. Las líneas representan la relación entre la biomasa de las especies sobre el gradiente de la ordenación.....	44
Figura 7. Valores medios de biomasa aérea (a) y carbono almacenado (b) del bosque ribereño registradas en tres sectores del río Zanatenco, Chiapas.....	45

RESUMEN

Los bosques ribereños son esenciales por la importancia de los servicios ecosistémicos y ambientales que brindan a las poblaciones humanas. En las cuencas costeras del Pacífico de Chiapas, estos bosques se encuentran altamente amenazados por los cambios de uso de suelo. El objetivo general de este estudio fue caracterizar la estructura arbórea y el potencial de almacenamiento de carbono aéreo del bosque ribereño en tres sectores del río Zanatenco, en el municipio de Tonalá, Chiapas. Las hipótesis fueron: 1) probar si existe una mayor cantidad de carbono almacenado en el sector alto de la cuenca; 2) probar si el almacén de carbono está influenciado por la diversidad, diámetro a la altura del pecho, cobertura foliar y la altura. Se muestrearon 12 parcelas de 0.1 ha en tres sectores de la cuenca: bajo, medio y alto. Se caracterizó la composición de especies, diversidad, dominancia y la estructura de toda la vegetación arbórea con diámetro a la altura del pecho > 2.5 cm. La biomasa aérea de las especies se calculó con fórmulas alométricas. El almacén de carbono se estimó con un factor de conversión de 0.5. Se registraron un total de 54 especies, con mayor dominancia de las especies *Salix humboldtiana*, *Thouinidium decandrum* y *Brosimum alicastrum*. Entre los tres sectores de la cuenca del río Zanatenco, existen diferencias de riqueza y composición (Número de especies, Alto: 17; Medio: 36; Bajo: 16), diversidad (Índice de Shannon-Wiener H'; Alto: 2.63; Medio: 2.99; Bajo: 1.71) estructura (Densidad de árboles ha^{-0.1}, Alto: 30, Medio: 42.7, Bajo: 39.5; Diámetro a la Altura del Pecho cm, Alto: 35.7, Medio: 17.2, Bajo: 19.8; Altura m, Alto: 6.4, Medio: 7.9, Bajo: 9; Cobertura foliar m², Alto: 252.8, Medio: 284.3, Bajo: 104.3), biomasa (Mg^{0.05 ha}, Alto: 159.17, Medio: 112.62, Bajo: 117.5) y almacén de carbono (Mg^{0.05 ha}, Alto: 79.58, Medio: 56.31, Bajo: 57.76), pero no se encontró evidencia estadística de diferencias en el carbono (ANOVA, F=3.54, p=0.072). Las especies dominantes reportadas en esta tesis, son coincidentes con las encontradas en otras cuencas costeras de Chiapas.

Es posible que la riqueza y atributos estructurales de estos bosques, sean producto de la intensa dinámica que existe con la frontera agropecuaria y el deterioro de las cuencas. Esta tesis es un primer estudio que evalúa uno de los más importantes servicios ecosistémicos en bosques ribereños y aporta evidencia a la importancia de la estructura vertical del bosque, al encontrar una correlación positiva ($r=0.803$, $p=0.002$) entre el almacén del carbono y la altura de los árboles.

ABSTRACT

Riparian forests are essential due to the importance of the ecosystem and environmental services they provide to human populations. In the Pacific coastal basins of Chiapas, these forests are highly threatened by changes in land use. The general objective of this study was to characterize the tree structure and the aerial carbon storage potential of the riparian forest in three sectors of the Zanatenco river, in the municipality of Tonalá, Chiapas. The hypotheses were: 1) to test whether there is a greater amount of carbon stored in the upper sector of the basin; 2) test if the carbon store is influenced by diversity, diameter at breast height, leaf cover and height. Twelve plots of 0.1 ha were sampled in three sectors of the basin: low, medium and high. Species composition, diversity, dominance, and structure of all arboreal vegetation with diameter at breast height >2.5 cm were characterized. The aerial biomass of the species was calculated with allometric formulas. The carbon stock was estimated with a conversion factor of 0.5. A total of 54 species were recorded, with greater dominance of the species *Salix humboldtiana*, *Thouinidium decandrum* and *Brosimum alicastrum*. Among the three sectors, there are differences in richness and composition (Number of species, High: 17; Medium: 36; Low: 16), diversity (Shannon-Wiener H' Index; High: 2.63; Medium : 2.99; Low: 1.71) structure (Tree density ha-0.1, High: 30, Medium: 42.7, Low: 39.5; Diameter at Breast Height cm, High: 35.7, Medium: 17.2, Low: 19.8; Height m , High: 6.4, Medium: 7.9, Low: 9; Leaf cover m², High: 252.8, Medium: 284.3, Low: 104.3), biomass (Mg 0.05 ha, High: 159.17, Medium: 112.62, Low: 117.5) and storage of carbon (Mg 0.05 ha, High: 79.58, Medium: 56.31, Low: 57.76), but no statistical evidence of differences in carbon was found (ANOVA, F=3.54, p=0.072). The dominant species reported in this thesis coincide with those found in other coastal basins of Chiapas. It is possible that the richness and structural attributes of these

forests are the product of the intense dynamics that exist with the agricultural frontier and the deterioration of the basins. This thesis is a first study that evaluates one of the most important ecosystem services in riparian forests and provides evidence of the importance of the vertical structure of the forest, finding a positive correlation ($r=0.803$, $p=0.002$) between carbon storage and tree height.

I. INTRODUCCIÓN

Las cuencas costeras son unidades territoriales asociadas a un sistema de corrientes de agua dulce altamente influenciadas por su cercanía al ambiente oceánico. Debido a esta dinámica, así como a su origen geológico y características topográficas, las cuencas costeras se sujetan a condiciones hidrológicas, meteorológicas y climáticas que definen patrones específicos en su dimensión ecológica y socioeconómica (Espinoza-Tenorio *et al.*, 2016).

Los bosques ribereños, también llamados riparios o de galería, son toda aquella vegetación forestal primaria que crece al margen de los ríos (Naiman y Décamps, 1997). Estos bosques se caracterizan por su asociación con espacios hidrológicos dentro de las cuencas; los diferentes tipos de ríos, la topografía y procesos de sedimentación favorecen el desarrollo de un mosaico de comunidades forestales, cuya composición, diversidad y estructura puede variar a distintas escalas (Richter, 2000; Ward *et al.*, 2002).

Particularmente en las cuencas costeras, los bosques ribereños brindan bienes y servicios ecosistémicos esenciales en un ambiente complejo y vulnerable, destacando su función como: a) como reguladores de la temperatura local y evaporación, b) barreras contra tormentas, c) controladores de erosión e inundación, d) reguladores hidrológicos, e) en la productividad del agua y suelo y d) en el mantenimiento de la biodiversidad y aprovisionamiento de materia prima (Capon *et al.*, 2013). Respecto a los servicios de regulación, los bosques ribereños se convierten en centros de “secuestro” de CO₂, ya que estos bosques utilizan el carbono absorbido para transformarlo en biomasa vegetal (flores, frutos, semillas, hojas y tallos). Toda esta biomasa forma parte de la producción primaria del ecosistema, por lo que estos bosques son flujos de materia y energía (Núñez-Avellaneda *et al.*, 2019).

En las últimas tres décadas, los inventarios forestales y estudios sobre estructura forestal han adquirido relevancia en el contexto de la gestión de ecosistemas para mitigar el cambio climático. La estructura vertical y horizontal del bosque incluye medidas sobre el porte de los árboles, es decir sobre su altura, diámetro de tronco, diámetro de copa, así como estimaciones respecto a su área basal, cobertura foliar, valor de importancia o dominancia (Mateucci y Colma, 1982; Franco *et al.*, 1989). Por otra parte, a partir de la composición de especies y la densidad de árboles, es posible calcular índices de riqueza y diversidad, que pueden utilizarse para comparar la complejidad de la comunidad a escalas espaciales y temporales (Moreno, 2001).

Hoy en día, existen cálculos confiables sobre las propiedades de la madera de la mayoría de los árboles tropicales americanos, y a partir del uso de ecuaciones alométricas, es posible conocer los valores de biomasa área (todo el volumen que se encuentra por encima del suelo en forma de troncos, ramas o follaje) y estimar su potencial para almacenar el carbono (Chave *et al.*, 2005; Houghton *et al.*, 2009).

En México existen pocos estudios ecológicos sobre bosques ribereños, particularmente en cuencas costeras, siendo además ecosistemas intensamente afectados por cambios en el uso del suelo (Nené-Preciado *et al.*, 2017). La vertiente Pacífica del estado de Chiapas, México, representa un espacio adecuado para el estudio ecológico de los bosques ribereños como almacenes de carbono en cuencas costeras. La cuenca costera del Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas, corre paralela al océano por unos 250 km, y presenta 19 subcuencas con 42 ríos, de los cuales 11 tienden a secarse completamente durante el estiaje (Gómez-Ortega *et al.*, 2019). Se trata de ríos de curso corto (~45 km), cuyo caudal es altamente influenciado por la temporalidad; en su parte inicial presentan pendientes pronunciadas, lechos pedregosos y poca profundidad, conforme la altitud disminuye el cauce y volumen se amplían y hacia la parte baja arrastran una gran cantidad de sedimentos, disolviendo su caudal en lagunas costeras (INE, 1999).

La composición y estructura de los bosques asociados a las cuencas costeras puede presentar cambios notables en rangos altitudinales cercanos entre

sí, en respuesta a factores microclimáticos, gradientes ambientales e impactos (Holguín-Estrada *et al.*, 2021). Florísticamente, la cuenca costera del río Zanatenco en Chiapas, se asocia a una franja de bosques tropicales estacionalmente secos que corren por la vertiente del Pacífico, desde Sonora hasta Guatemala (Lott y Atkinson, 2006). Esta cuenca es un socio-ecosistema de alta dinámica ambiental y productiva, que ha visto reducida su cobertura forestal primaria frente a coberturas agropecuarias, en detrimento de los servicios ecosistémicos (Arellano-Monterrosas y Ruiz-Meza, 2018), como su potencial para el secuestro de carbono.

Para realizar esta tesis se plantearon dos preguntas de investigación: 1) ¿Cómo varía el almacén de carbono en un gradiente altitudinal?; 2) ¿Cómo responde el almacén de carbono a la riqueza, diversidad y atributos estructurales del bosque ribereño?

A partir del anterior planteamiento, se hipotetiza lo siguiente: el almacén de carbono está influenciado por la diversidad, área basal y la altura, que son variables relacionadas con la complejidad forestal, y habrá una mayor cantidad de carbono almacenado en el sector alto de la cuenca, al tratarse de una zona más húmeda y mejor conservada, lo que influiría en el desarrollo de la vegetación

El objetivo general de este estudio fue evaluar la variación espacial del almacén de carbono aéreo y su relación con los atributos estructurales a lo largo del bosque ribereño de una cuenca costera de Chiapas.

II. MARCO TEORICO

2.1. Definición y generalidades

Se define a los bosques ribereños como como toda aquella vegetación arbórea que crece al margen de los ríos, por lo que son zonas de transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos (Naiman y Décamps, 1997). Este tipo de vegetación posee características propias que la hacen particular, como son la capacidad de soportar inundaciones temporales e invadir rápidamente áreas expuestas o bancos de grava o arena (Treviño-Garza *et al.*, 2001).

Los bosques ribereños se ubican en las orillas de ríos, normalmente sobre bancos y albardones fluviales. Están asociados a climas macrotérmicos ($>24\text{ }^{\circ}\text{C}$), con un régimen de precipitación que puede ser húmedo (ombrófilos), estacional (tropófilos) o incluso seco (xerófilo). Factor determinante de la presencia de un bosque ribereño es una mayor humedad del suelo, regulada por la dinámica del cuerpo de agua que drena los terrenos adyacentes. En algunos casos, generalmente debido a variaciones bioclimáticas, este tipo de bosque traza mosaicos con formaciones de sabanas (Rosales, 2003).

Algunos autores consideran como unidades de vegetación equivalentes a los bosques ribereños, los riparios y los de galería (Naiman y Décamps, 1997), sin embargo, Rosales (2003) separa a los bosques de galería como un subtipo de bosque ripario o ribereño. De acuerdo a esta descripción, los bosques de galería presentan un sólo estrato de árboles siempreverdes o perennes y crecen a orillas de los cursos de agua, tanto en zonas de vegetación baja (sabanas) como dentro de otras masas boscosas.

2.2. Ecología de los bosques ribereños

Los bosques ribereños son ecológicamente heterogéneos, lo que se expresa en su diversidad y características estructurales. La altura de los árboles puede variar en un intervalo de 5 a 40 m, en ocasiones forman masas o manchones de una sola especie (monoespecíficos), aunque esta composición puede cambiar mucho en corta distancia, o en combinaciones de especies que corresponden a diferentes tipos de vegetación, dependiendo si se encuentran en pendiente o planicie, en una zona de clima templado o tropical, o rodeada de bosques perennifolios, subperennifolios, caducifolios o subcaducifolios. Pueden encontrarse numerosas epífitas y leñosas trepadoras o carecer de ellas. En relación a su densidad de árboles, en ocasiones forman una gran espesura y también a menudo están integrados por árboles espaciados e irregularmente distribuidos (Rzedowski, 1986).

Los bosques ribereños son una comunidad muy variada estructural y fisonómicamente, cuyo espacio está representado por una línea que se extiende por ambos márgenes de un río y que se diferencia con cierto grado de diferencia en composición florística y estructura a la de las áreas contiguas (Sánchez, 1986). Aunque los bosques ribereños comparten muchas especies con los bosques terrestres que los rodean, en su estructura forestal suelen presentar mayor biomasa y complejidad, así como un mayor número de especies perennes, debido al microclima húmedo que brinda el río y una mayor disponibilidad de nutrientes (Lamprecht, 1990; Richter, 2000).

El medio abiótico es sumamente importante para entender cómo cambia la estructura de un bosque ribereño con respecto a otros bosques cercanos, por ejemplo, en zonas montañosas, la altitud afecta las condiciones bioclimáticas de temperatura, precipitación y humedad, lo cual a su vez afecta la conformación de altura de los árboles, la densidad de arbolado y las especies que conforman cada rango de altitud (Jardel, 2015; Holguín-Estrada *et al.*, 2021). Esto permite estudiar a estos bosques en función de un gradiente longitudinal determinado por la altitud y estimar los cambios ecológicos que se presentan en el rango de mayor a menor altitud (Cotito, 2014). Transversalmente, los bosques ribereños también presentan

cambios en su composición y estructura, de acuerdo al tipo de suelo, pendiente y frecuencia de inundación, el ancho del bosque, estratos, biotipos y especies pueden cambiar drásticamente; en contacto directo con el cauce pueden predominar herbáceas lacustres altamente tolerantes a suelos inestables e inundaciones, seguidas por una mayor dominancia de arbustos y árboles conforme aumenta la altura con respecto al nivel del suelo (Acosta *et al.*, 2014). Se presenta un modelo de distribución de las asociaciones de biotipos en un bosque ripario en perspectiva transversal en la Figura 1.

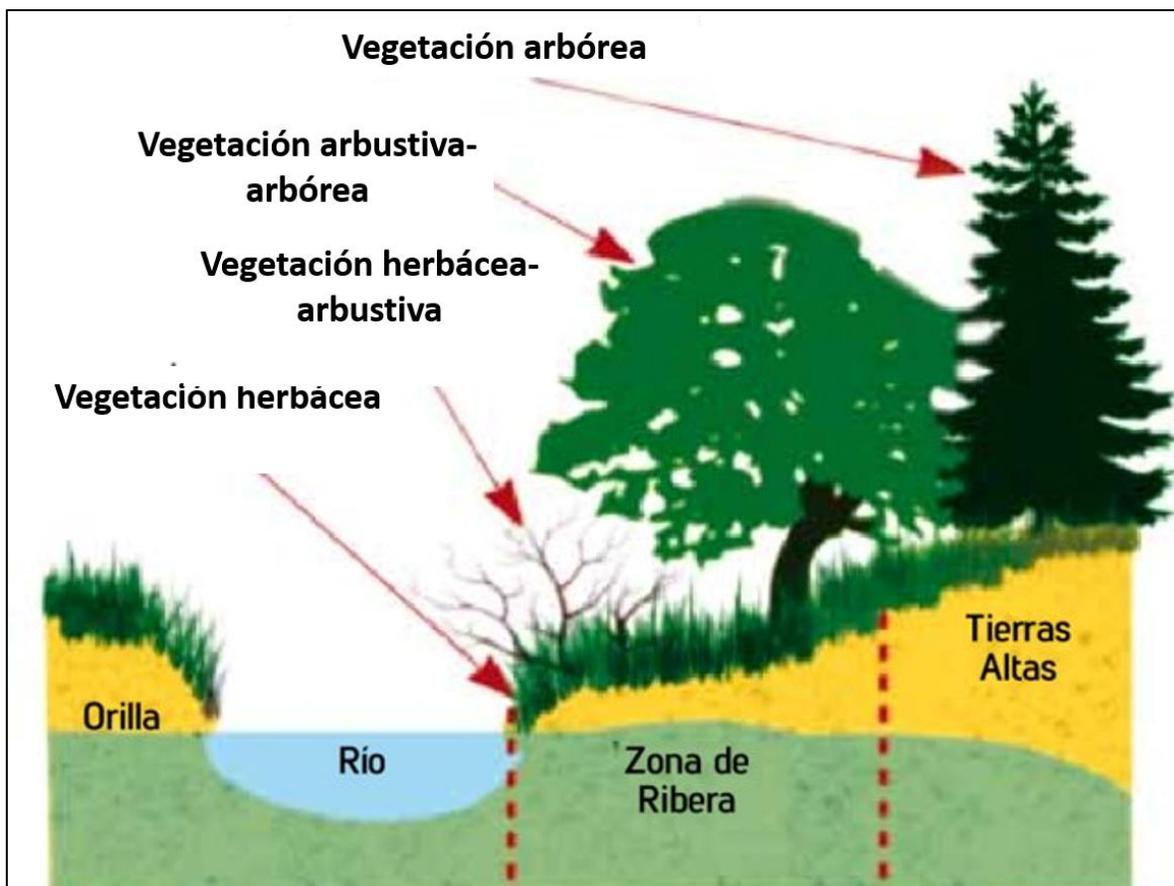


Figura 1. Distribución transversal de asociaciones de biotipos en un bosque ribereño (Tomado de Acosta *et al.*, 2014).

Estos bosques son importantes porque retienen parte del nitrógeno y el fósforo transportados por la corriente de agua, a veces desde las zonas agropecuarias hacia los cursos de agua. Se sabe que una franja de bosque ribereño

de 16 m de largo retiene 50 % del nitrógeno y 95 % del fósforo; también las franjas de bosque ribereña, reducen la luminosidad y juegan un papel importante en el control de la temperatura del agua y su productividad (Granados-Sánchez *et al.*, 2006). La vegetación ribereña se considera la base de la red trófica de los cuerpos riparios, la materia orgánica del mantillo (hojas y ramas caídas) transportado hacia el cuerpo de agua, es un suministro energético más importante que la producción primaria fitoplanctónica dentro de los ríos (Moreno *et al.*, 1987; Granados-Sánchez *et al.*, 2006).

Los bosques ribereños son ecológicamente claves en zonas de cuenca baja en donde predominan sabanas o pastizales, en zonas deforestadas o zonas desérticas, ya que son el principal refugio para numerosas especies de animales que encuentran un hábitat adecuado para refugio, alimentación o sitios de reproducción. Aves y mamíferos son los principales dispersores de semillas y contribuyen al mantenimiento de la estructura y diversidad de estos bosques (Fajardo *et al.*, 1999). Particularmente, algunas especies de murciélagos han coevolucionado, como dispersores de frutos y semillas, con árboles comunes de los bosques ribereños, como algunas bombacáceas, bignoniáceas, fabáceas y sapotáceas, y ayudan a contrarrestar la dispersión de especies de plantas invasoras introducidas por el ser humano o animales domésticos como el ganado (Medellín y Redford, 1992).

2.2. Estructura forestal

El análisis de la estructura arbórea o forestal permite conocer la abundancia o densidad de especies leñosas y el arreglo espacial que presenta la vegetación de manera horizontal y vertical (Franco *et al.*, 1989). Este tipo de análisis se lleva a cabo en cualquier tipo de comunidad vegetal. En comunidades arbustivas (arbustos o plantas leñosas con alturas menores a 5 m) o arbóreas (árboles o plantas leñosas con alturas mayores a 5 m), se miden parámetros específicos que indican el desarrollo ecológico del bosque (Romero-Berny, 2012).

En los estudios de estructura forestal se miden los atributos importantes del bosque como la composición de especies, altura, cobertura, diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal, densidad y distribución, a partir de estos pueden calcularse índices estructurales (Ramos-Quiróz *et al.*, 2004).

Sobre cada atributo de la estructura forestal, Lamprecht (1990) menciona que la abundancia o densidad está determinada por el número de árboles por hectárea. La altura y cobertura son importantes descriptores de la estructura vertical y horizontal de un bosque. La primera puede expresarse como un promedio de las alturas totales de los árboles de un sector forestal o un porcentaje de estos. La segunda se expresa como el área del follaje proyectada sobre el suelo, en m², y está relacionada con la dominancia y competencia de individuos. El área basal se define como la suma por unidad de superficie de los fustes o troncos de los árboles a nivel del Diámetro a la Altura del Pecho. En los inventarios forestales usualmente se miden los árboles que pueden aprovecharse, con diámetros mayores a 10 o 15 cm, pero desde un punto de vista ecológico, para evaluar la dinámica de los rodales y sus posibles respuestas al impacto, para caracterizar el hábitat o determinar relaciones ecológicas, se requiere información acerca de todos los componentes del estrato arbóreo, incluyendo árboles pequeños y juveniles. Se recomienda un diámetro mínimo de medición de 2.5 cm y el conteo de todos los tallos leñosos que han pasado la altura de 1.30 m.

Un atributo importante de la estructura forestal es la composición de especies del bosque y las asociaciones florísticas. Suele señalarse que la especie dominante es aquella que representa 50% o más del área basal o la cobertura de copas en la vegetación arbolada, mientras que las especies codominantes, suelen seguirle en importancia (o en índice de valor de importancia) en términos de cobertura o área basal. Los datos de composición de especies arbóreas (listado de especies presentes, riqueza, abundancia por especie, valores de importancia e índices de diversidad y equidad) aportan información clave tanto para el monitoreo directo de biodiversidad como para una mejor caracterización del hábitat y en programas para su manejo. A partir de los datos de composición, frecuencia,

abundancia, densidad, valor de importancia, puede describirse la estructura y diversidad de la comunidad arbórea. De acuerdo con autores como Franco *et al.* (1989), Ramoz-Quiróz *et al.* (2004) y Jardel (2015), la información que puede obtenerse es la siguiente:

- Composición: Listado de las especies presentes en los rodales.
- Riqueza: Número total de especies presentes en los rodales.
- Abundancia por especie: Número de árboles (tallos) por unidad de superficie.
- Frecuencia por especie: Número de veces que una especie aparece en las unidades de muestreo dentro del rodal o estrato de muestreo.
- Densidad por especie: Área basal de cada especie.
- Valor de importancia: Suma de los valores porcentuales de frecuencia, abundancia y densidad relativas de cada especie.
- Índices de diversidad y equidad: Existen varios tipos de índices de diversidad, que son calculados a partir de la relación entre la riqueza de especies y la abundancia por especie. Los datos de diversidad/equidad son útiles para fines comparativos entre distintos tipos de hábitat, pero no son de fácil interpretación. Una alternativa más práctica para su aplicación en el manejo forestal, cuando se trata de evaluar cambios en la diversidad de especies, es utilizar curvas de rangos de abundancia, las cuales permiten una interpretación visual de los componentes de los índice de diversidad y equidad (la riqueza de especies y la abundancia de cada especie, así como la distribución de la abundancia) y la posición de cada especie en cuanto a su abundancia (Jardel, 2015).

2.2. Biomasa y almacén de carbono

La biomasa se define como la cantidad de materia orgánica que producen los seres vivos, y en el caso de las plantas, es un producto directo de la actividad fotosintética

(Odum, 1972). Según la teoría ecológica clásica, un bosque natural primario sin perturbaciones, no acumula carbono orgánico (por ejemplo el CO_2) en su biomasa total durante largos periodos de tiempo, debido a un equilibrio dinámico (Odum, 1972). Sin embargo, estudios realizados desde la década de 1990, han demostrado que los bosques almacenan altas tasas de CO_2 en su biomasa y suelo, probablemente como una estrategia adaptativa ante la pérdida de cobertura forestal y aumento de los niveles de carbono atmosférico (Phillips *et al.*, 1998; Baker *et al.*, 2004; Quinto y Moreno, 2011). No obstante, aún es necesario probar hipótesis sobre el potencial de captura de carbono de diferentes tipos de bosques en los trópicos y subtropicales (Quinto y Moreno, 2011).

En los bosques y otras comunidades de plantas, el carbono se almacena en dos tipos de biomasa: la aérea, que incluye la biomasa de árboles vivos y muertos, hojas, flores, frutos, ramas y estructuras depositadas en el mantillo del suelo; y la subterránea, que incluye el carbono orgánico del sedimento y la biomasa de las raíces (Figura 3) (Iglesias, 2009; Kauffman *et al.*, 2013).

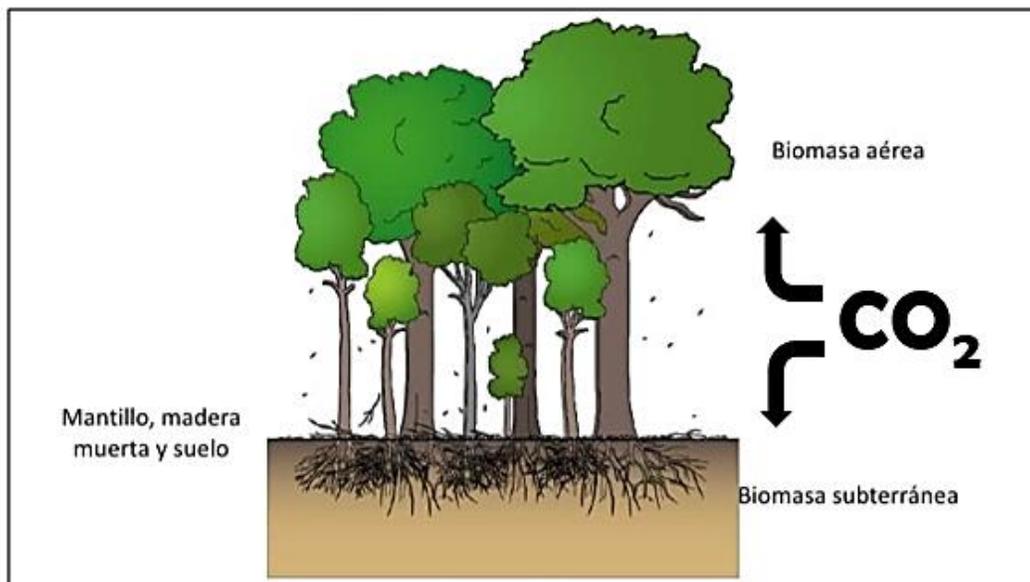


Figura 2. Tipos de Biomasa forestal como almacén de carbono arbóreo (Tomado de Iglesias, 2009).

Se ha vuelto imprescindible el cálculo de la biomasa de un bosque, y con esto, la cantidad de carbono que este bosque puede capturar, ya que, de no existir

el bosque, el carbono podría liberarse a la atmósfera en forma de CO₂ y contribuiría así a incrementar la cantidad de gases de efecto invernadero. Para estimar la biomasa de un bosque, el método directo implicaría cortar el árbol para pesar la biomasa y determinar su peso seco posteriormente. Debido a que este método no es viable tanto por su costo como por los daños que ocasiona, se emplean métodos indirectos que consisten en aplicar ecuaciones y modelos estadísticos para estimar biomasa, a través de variables que se miden directamente en campo (Schlegel, 2001).

Para la cuantificación de carbono aéreo en la estructura del bosque, deben realizarse mediciones del diámetro a la altura del pecho. Posteriormente estos datos son utilizados para estimar la biomasa del árbol y su reserva de carbono usando ecuaciones alométricas y factores de conversión para cada especie y comunidad forestal. Algo recomendable es elegir ecuaciones desarrolladas en la región del área de estudio, debido a la diferencia en estructura y densidad de cada una de las diferentes especies en sus áreas de distribución, para la obtención de datos más precisos (Kauffman *et al.*, 2013).

Sobre su importancia, se sabe que los bosques terrestres en crecimiento son activos almacenadores de carbono y almacenan cerca del 10% del total de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera (Salwasser *et al.*, 1992), por lo que por cada tonelada de biomasa forestal en crecimiento se absorben aproximadamente 1.47 toneladas de dióxido de carbono, por lo que este servicio ambiental prestado para combatir el cambio climático es esencial (Dávalos, 1996).

III. ANTECEDENTES

A pesar de su conocida importancia ecológica y socioeconómica, los bosques ribereños fueron definidos y estudiados como ecosistemas con características propias hace relativamente poco tiempo. Los primeros esfuerzos por caracterizar a los bosques ribereños se realizaron en corrientes fluviales del centro-oeste de los Estados Unidos, con diferentes perspectivas: estructura y función de los ecosistemas asociados a arroyos (Hynes, 1975), hidrología e interfaz terrestre-acuática (Karr y Schlosser, 1978), suelo y vegetación ribereña (Cowardin *et al.*, 1979), interacciones ecológicas y diversidad en riberas (Naiman *et al.*, 1988).

En América latina y México, los estudios sobre bosques ribereños, su estructura y captura de carbono, así como los estudios sobre estos bosques en cuencas costeras son aún más recientes. Se presentan estudios relevantes hechos en los últimos 10 años sobre estas temáticas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resumen sobre estudios de estructura arbórea y almacén de carbono realizados en bosques ribereños en América y Latina, México y Chiapas en el periodo 2012-2022.

Sitio	Título	Autores	Año	Principales resultados
América Latina				
Río Yumbo, Valle del Cauca, Colombia	Estructura y composición florística del bosque ribereño subandino de la subcuenca de Yumbillo, Yumbo	Chaves y Rodríguez	2012	Riqueza de 93 especies, con tres estratos de altura (3-16 m, 17-23 m, >24 m).
Río Pauto, Casanaré, Colombia	Composición florística y estructura de los bosques ribereños de la cuenca baja del río Pauto, Casanaré, Colombia	Cabrera-Amaya y Rivera-Díaz	2016	Riqueza de 185 especies y 6 asociaciones florísticas; estrato de altura de 18 a 25 m.

Tolima, Colombia	Composición florística y reservas de carbono en bosques ribereños en paisajes agropecuarios de la zona seca del Tolima, Colombia	Andrade-Castañeda <i>et al.</i>	2017	Riqueza de 45 especies; <i>Oxandra espihana</i> y <i>Calliandra</i> sp., como especies más abundantes y dominantes (520 y 241 individuos/ha y 72 y 48 % de IVI, respectivamente); los árboles más grandes y el mayor carbono fueron encontrados en la matriz de pasturas en comparación con la de arrozales (14.6 vs 13.4 cm de dap y 72.9 vs 45.6 t C/ha, respectivamente).
Jipijapa, Manabí, Ecuador	Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva en suelos del bosque y vegetación "El Artesan-Ecuadorian hands", Joa, Jipijapa	Salas-Macías <i>et al.</i>	2020	El 87.9% del carbono almacenado en la biomasa aérea lo contienen tres especies: <i>C. trischistandra</i> , <i>E. ruizii</i> , <i>B. graveolens</i> . El stock de carbono del bosque se encuentra entre 105.02 y 112.32 Mg C ha; no se demostró que la altitud sea un factor significativo en el almacén de carbono.
México				
Río El Tunal, Durango	Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR	Rodríguez-Tellez <i>et al.</i>	2012	El grado de cubierta de la zona de ribera se reportan valores bajos, los cuales oscilaron entre 0 y 5. El porcentaje de cubierta vegetal de la zona de ribera osciló de menos de 10% hasta 50-80%. La conectividad entre el bosque de ribera y la vegetación natural adyacente se presenta desde un 50% hasta

				<p>menos de 25%. En el apartado correspondiente a la estructura de la vegetación los valores oscilaron entre 0 y 15. Se observó un recubrimiento de árboles que oscila desde 75% hasta menos de 10%; los sitios 5 y 6 presentaron los valores más bajos en cuanto a recubrimiento arbóreo ya que en estos dos sitios la vegetación ha sido casi completamente eliminada.</p>
Río Xaltatempa, Puebla	Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del bosque de galería del río Xaltatempa, Puebla, México	Aguilar-Luna <i>et al.</i>	2018	<p>La especie más importante por su dominancia, densidad y frecuencia fue <i>Platanus mexicana</i> (IVI=182.71); de la misma forma lo fue por su diámetro, altura y cobertura (IVF=300.00); la riqueza específica ($H^1=0.54$), se concentró en: <i>Alnus acuminata</i>, <i>Ligustrum japonicum</i>, <i>Parathesis serrulata</i>, <i>Pinus patula</i>, <i>Platanus mexicana</i> y <i>Quercus rugosa</i>.</p>
Cuenca del río Tlapaneco, Guerrero	Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales ribereños de la cuenca del río Tlapaneco	Bustamante-González <i>et al.</i>	2018	<p>El carbono total almacenado por ha en el componente arbóreo fue de 20,089 kg/ha, mientras que el total almacenado para todo el agroecosistema ribereño de la cuenca fue de 3,471,400 kg de carbono.</p>

Subcuenca del río Nexapa, Puebla	Contenidos de carbono orgánico en ecosistemas ribereños de montaña de México	Cruz-Flores <i>et al.</i>	2019	Se encontró que en la biomasa aérea de zonas altas (3900 msnm) el contenido de carbono es de 93%, el cual es superior respecto al de sitios de tierras bajas (2400 msnm) con 70%.
Río El Fuerte, Sinaloa	Diversidad y estructura del bosque de galería del río El Fuerte, Sinaloa, México	Sampayo-Maldonado <i>et al.</i>	2020	Se registraron 27 especies de las que 16 son nativas. La familia Fabaceae fue la más representada con 11 especies, seguida de Salicaceae con dos. El estrato arbóreo tuvo un valor de importancia del 79.18% y de 14.11% para el arbustivo. El 60% de los árboles se agrupó en la categoría diamétrica de 5 y el 74% en las categorías de 5 y 10 de altura.
Alto río Papaloapan, Oaxaca	Cambios impulsados por el medio ambiente en la diversidad de las comunidades de plantas ribereñas a lo largo de un río de montaña	Flores García <i>et al.</i>	2021	Los cambios en la riqueza y composición de especies de la comunidad vegetal ribereña, estuvieron relacionados con variables topográficas (altitud), hidrológicas (caudal) y edáficas (conductividad y pH).
Chiapas				
Reserva de la Biósfera La Sepultura	Composición y estructura arbórea de un bosque tropical estacionalmente seco en la Reserva de la Biósfera La Sepultura	López-Toledo <i>et al.</i>	2012	Se encontraron 83 especies arbóreas en tres condiciones ambientales. Se presentaron diferencias en la composición y diversidad entre condiciones.

Ríos Tianijá y Limar, cuenca del río Grijalva	Estructura y composición florística de la vegetación secundaria en tres regiones de la Sierra Norte de Chiapas, México	López-Pérez <i>et al.</i>	2014	Se distinguieron tres estratos; el estrato bajo se concentró más del 80% de los individuos. Las especies más abundantes y con mayor Índice de valor de importancia fueron <i>Lonchocarpus oliganthus</i> , <i>Saurauia yasicae</i> , <i>Astrocaryum mexicanum</i> y <i>Brosimum alicastrum</i> .
Humedales de la Reserva La Encrucijada	Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands	Adame <i>et al.</i>	2015	Los stocks de carbono fueron mucho mayores en manglares y humedales forestales ribereños (784.5 ± 73.5 and 722.2 ± 63.6 MgC ha ⁻¹) que en zonas de marismas.
Río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez	Influencia del uso del suelo en la condición de la zona ribereña a lo largo de un gradiente urbano-rural en el río Sabinal, México	Díaz-Pascasio <i>et al.</i>	2018	Las zonas ribereñas dentro del bosque secundario tuvieron una mayor riqueza de especies leñosas y una mejor condición del sustrato, mientras que los tramos adyacentes a los asentamientos humanos aparecían pavimentados y erosionados, mostrando compactación del suelo. La riqueza y diversidad de especies se correlacionó positivamente con el índice de clidd y fue mayor en las zonas ribereñas adyacentes al bosque secundario que en las cercanas a los asentamientos humanos.

Los Flamboyanes, Villaflores	Potencial de almacenamiento de carbono en áreas forestales en un sistema ganadero	Raj-Aryal <i>et al.</i>	2018	El promedio de almacenamiento de carbono en áreas forestales fue 144.45 Mg C ha ⁻¹ comparado con 75.95 Mg C ha ⁻¹ en los potreros. El almacén de carbono en biomasa viva, como se esperaba fue más alto en áreas forestales que en potreros, pero no hubo diferencia significativa en el reservorio de carbono orgánico del suelo.
Río Margaritas	Calidad de las riberas en tres tipos de cobertura vegetal en un río de la sierra Madre de Chiapas, México	Escalona-Domenech <i>et al.</i>	2021	Se registró un total de 1,099 individuos, de 71 géneros y 90 especies en tres tipos de cobertura vegetal. La diversidad alfa fue mayor en tramos de Selva mediana. Se mostró que el tipo de cobertura adyacente a la ribera influye en su calidad y modifica atributos de la vegetación leñosa ribereña, como la riqueza, composición de especies.
Metzabok, Ocosingo	Estructura y composición arbórea en un gradiente altitudinal del Área Natural Protegida Metzabok, Chiapas, México	Sánchez-Gutiérrez <i>et al.</i>	2021	Se registraron 209 especies. La estructura y diversidad de especies arbóreas presentan mayores cambios en intervalos altitudinales, relacionados con la necesidad ambiental de cada especie.

IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la estructura arbórea y el potencial de almacenamiento de carbono aéreo del bosque ribereño en tres sectores del río Zanatenco, municipio de Tonalá, Chiapas.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición florística de la vegetación arbórea en tres sectores del río Zanatenco.
- Describir la riqueza, composición, valor de importancia, diversidad y estructura de la vegetación arbórea en tres sectores del río Zanatenco.
- Estimar la biomasa aérea de la vegetación y su potencial de almacén de carbono en tres sectores del río Zanatenco.
- Comparar el potencial de almacén de carbono aéreo entre tres sectores del río Zanatenco y su relación con los atributos estructurales de la vegetación.

4.2 HIPOTESIS

1.- Existe una mayor cantidad de carbono almacenado en el sector alto de la cuenca, al tratarse de una zona más húmeda y mejor conservada, lo que influiría en la composición florística y el desarrollo estructural de la vegetación.

2.- El almacén de carbono está influenciado por la diversidad, diámetro a la altura del pecho, cobertura foliar y la altura, que son atributos relacionadas con la complejidad forestal.

V. ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del río Zanatenco se localiza al suroeste del estado de Chiapas, México, en la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas y, desde el parteaguas a 2481 msnm hasta su desembocadura en la laguna costera de Mar Muerto, cubre una superficie total de 231.05 km², entre las coordenadas 16°04'10''-16°11'00''N y 93°36'30''-93°43'50''O (Figura 3). El cauce del río fluye a lo largo de unos 38 km, en un rango altitudinal de 0 a 1800 msnm (IHNE, 2001).

Por variación altitudinal, entre los 0 y 1000 msnm se presenta un clima tipo cálido sub-húmedo con lluvias en verano [Aw2 (w)], con precipitación y temperatura medias de 1600 mm y 26°C, respectivamente; mientras que entre los 1000 y 2000 msnm se encuentra un clima semi-cálido húmedo [A(C) m (w)] con precipitación y temperatura medias de 2000 mm y 20°C (CONGUA, 2009). La vegetación en el área baja de la cuenca (100-800 msnm) se encuentra representada por sabana y selva baja caducifolia; y por encima de los 1000 msnm, por selva mediana subperennifolia y perennifolia (Breedlove, 1993; INE, 1999). Las actividades económicas más importantes son la ganadería, que ocupa cerca del 41% de la cuenca, y la agricultura con un 12%, implicando procesos de transformación de vegetación primaria a pastizales (Arellano-Monterrosas y Ruíz-Meza, 2018). Parte de la cuenca alta se encuentra sujeta a conservación dentro de la Reserva de la Biósfera La Sepultura (INE, 1999).

VI. MÉTODOS

6.1. ESTRUCTURA ARBOREA, DOMINANCIA Y DIVERSIDAD

Para caracterizar a la comunidad arbórea (individuos >3 m de altura) se determinaron tres sectores sobre el cauce principal del río: Bajo (24 msnm; Localidad La Laguna), Medio (824 msnm; Localidad La Meca) y Alto (1100 msnm; Localidad Costa Rica). Paralelo al cauce se establecieron cuatro parcelas de 20 x 50 m por sector (n=12), dos a cada lado del afluente a una distancia mínima de 200 m entre cada una (Figura 3).

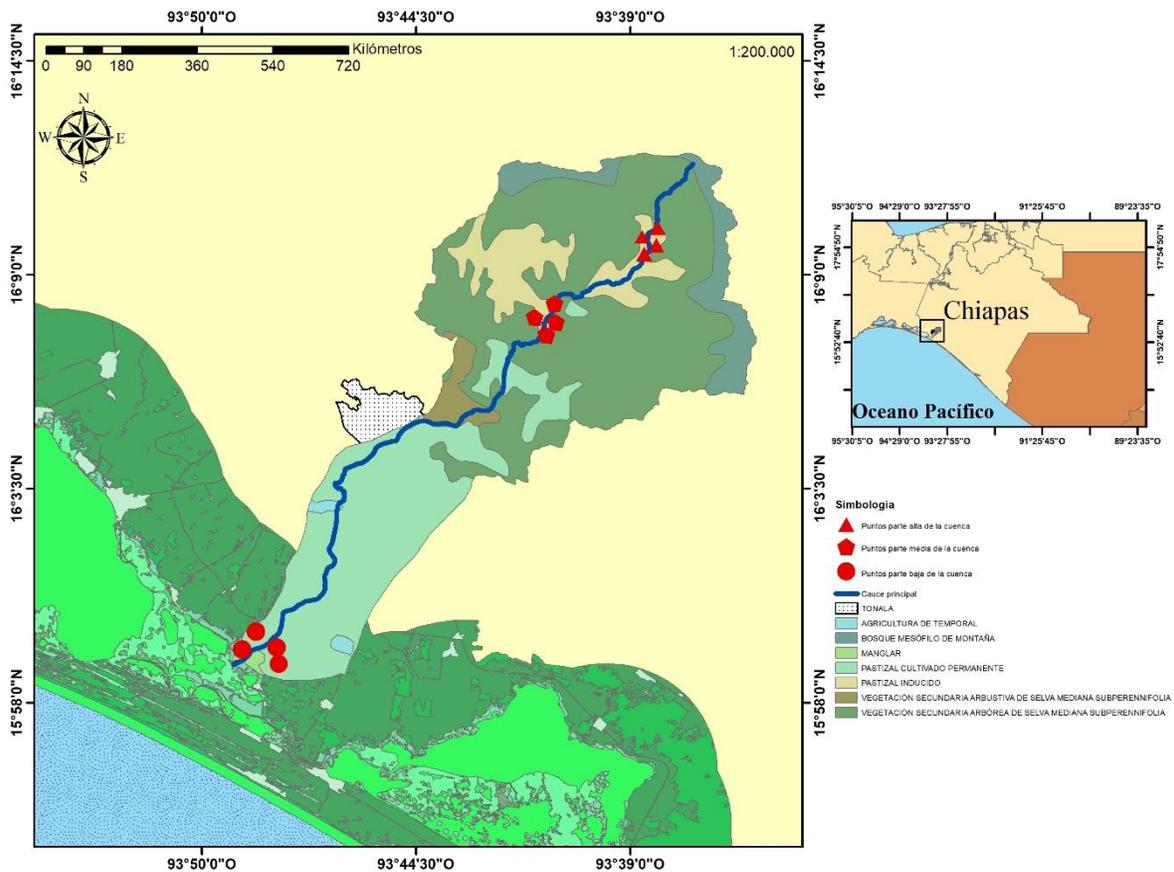


Figura 3. Zona de estudio en la cuenca del río Zanatenco, Tonalá, Chiapas; y parcelas establecidas por sector. Polígono de la cuenca corresponde a una delimitación propia. Cobertura de vegetación tomada de CONABIO (2022).

Por parcela se censaron a todos los árboles con un Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) ≥ 2.5 cm, medido con cinta diamétrica sobre el tronco definido a una altura de 1.3 m del suelo. Se midió la altura total del árbol con un clinómetro, y el diámetro máximo y mínimo de copa a partir de la proyección de la misma sobre el suelo para estimar cobertura foliar (CF), utilizando la siguiente fórmula (Zarco *et al.*, 2010):

$$CF = \pi ((\text{Diámetro máximo}) (\text{Diámetro mínimo})) / 2$$

Para determinar la composición florística por sector, se recolectaron ejemplares botánicos por duplicado de cada morfo-especie por parcela, los cuales fueron procesados y herborizados de acuerdo a lo propuesto por Lot y Chiang (1986). Para la identificación taxonómica, primero se determinó la familia de cada ejemplar, siguiendo las características descritas en la Flora de Chiapas (Breedlove, 1986) y se determinó cada especie por comparación, usando los ejemplares depositados en la colección de plantas vasculares del Herbario Eizi Matuda (HEM) de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (Tuxtla Gutiérrez, México) y verificando su área de distribución. Se verificó la validez taxonómica del nombre de cada especie a través de la plataforma en línea de WOF (2023). Se realizaron visitas posteriores a las parcelas para la obtención de estructuras reproductivas (flores o frutos) y corroboración de especies. La lista taxonómica se arregló sistemáticamente por orden y familia de acuerdo al APG (2016), y el género y especie se ordenaron alfabéticamente.

Los valores de DAP de los árboles censados por sector se agruparon por categorías de 5 cm de amplitud para representar la densidad por hectárea. Los valores de altura y CF se exploraron por especie para cada sector.

Para jerarquizar la relevancia ecológica de cada especie, se calculó el Índice de Valor de Importancia, utilizando la siguiente fórmula:

$$IVI = \text{Dominancia relativa} + \text{Densidad relativa} + \text{Frecuencia relativa}$$

En donde, para calcular la Dominancia relativa (Curtis, 1959):

Dominancia relativa= (Dominancia absoluta por especie)/(Dominancia absoluta de todas las especies) (100)

Dominancia absoluta= (Área basal por especie)/ (Área muestreada)

En donde el área basal (AB):

$$AB=\pi/4 \text{ [DAP]}^2$$

Para calcular la densidad relativa:

Densidad relativa= (Densidad absoluta por especie)/(Densidad absoluta de todas las especies)(100)

En donde:

Densidad absoluta= (Número de individuos de una especie)/(Área muestreada)

Para calcular la frecuencia relativa:

Frecuencia relativa= (Frecuencia absoluta por especie)/(Frecuencia absoluta de todas las especies) (100)

En donde:

Frecuencia absoluta= (Número de parcelas en las que se presenta una especie)/(Número total de parcelas muestreadas)

Para caracterizar la diversidad, por sector se evaluó la riqueza y equidad específica mediante los índices de Margalef ($D\alpha$) y Shannon-Wiener (H') utilizando las siguientes fórmulas (Moreno, 2001):

$$D\alpha=(S-1)/ (\text{Log } N)$$

En donde: S= Número de especies; N= Número total de individuos.

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

En donde: S= Número de especies; P_i = Proporción de individuos de la especie i.

6.2. BIOMASA AÉREA Y ALMACÉN DE CARBONO

La biomasa aérea de los árboles se cuantificó mediante la ecuación alométrica propuesta por Chavé *et al.* (2005) para bosques secos tropicales, considerando el número de meses de sequía y la precipitación media anual en el área de estudio:

$$\text{Biomasa} = 0.112 \left[(\rho \times [\text{DAP}]^2 \times H) \right]^{0.916}$$

En donde:

ρ = Gravedad específica de la madera (g/cm³); H= Altura total (m).

La gravedad específica de la madera para cada especie se obtuvo de la base de datos en línea DRYAD DATASET (Zanne *et al.*, 2009). El almacén de carbono en cada sector se obtuvo utilizando el factor de conversión de 0.5 propuesto por IPCC (2006). Los valores se expresaron en Megagramos extrapolados a 0.05 ha.

6.3 ANALISIS DE LOS DATOS

Con el fin de tipificar los conjuntos de especies que diferencian a cada sector, en función de su contribución porcentual en densidad, se aplicó un análisis de porcentajes de similitud (SIMPER). Para analizar las relaciones espaciales de la biomasa aportada por cada especie en cada parcela muestreada, se construyó un diagrama de escalamiento multidimensional no métrico con árbol de expansión mínimo (NMDS-minimum spanning tree), a partir de una matriz de distancia de Bray-Curtis. Para evaluar diferencias en el almacén de carbono entre sectores de la cuenca, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía ($\alpha=0.05$), después de verificar el supuesto de homogeneidad de varianzas con una prueba de Levene. Se estimaron coeficientes de correlación de Pearson entre los valores medios de almacén de carbono y de variables estructurales e índices de diversidad. Todos los análisis estadísticos y estimación de índices de diversidad se llevaron a cabo en el programa PAST v. 4.08 (Hammer *et al.*, 2001).

VII. RESULTADOS

7.1. COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA ARBOREA, VALOR DE IMPORTANCIA Y DIVERSIDAD

La composición de los bosques ribereños en este estudio consistió en 13 órdenes, 21 familias, 44 géneros y 54 especies. Para toda la cuenca, la familia mejor representada fue la Fabaceae, con 19 especies, seguida de las familias Meliaceae (5 especies), Salicaceae (4 especies) y Rubiaceae (3 especies). El resto de las familias presentó entre una y dos especies. El listado taxonómico y distribución de especies y riqueza por cada sector de la cuenca se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Lista sistemática y distribución de las especies arbóreas del bosque ribereño registradas en tres sectores del río Zanatenco, Chiapas.

Orden Familia	Especie	Distribución		
		Bajo	Medio	Alto
Piperales Piperaceae	1. <i>Piper arboreum</i> Aubl.		X	
Magnoliales Annonaceae	2. <i>Annona macrophyllata</i> Donn. Sm			X
	3. <i>Annona reticulata</i> L.		X	
Lurales Lauraceae	4. <i>Ocotea veraguensis</i> (Meisn.) Mez.		X	X
Fabales Fabaceae	5. <i>Andira inermis</i> (W. Wright) DC.		X	
	6. <i>Dalbergia glomerata</i> Hemsl.		X	
	7. <i>Diphysa americana</i> (Mill.) M. Sousa		X	
	8. <i>Dyphisa floribunda</i> Peyr.			X
	9. <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.		X	
	10. <i>Erythrina americana</i> Mill.		X	
	11. <i>Haematoxylum brasiletto</i> H. Karst.	X		
	12. <i>Inga calderonii</i> Standl.			X
	13. <i>Inga flexuosa</i> Schldt.	X		
	14. <i>Leucaena diversifolia</i> (Schltdl.) Benth.	X		
	15. <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) De Wit	X	X	
	16. <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> Donn.Sm.		X	
	17. <i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.			X
	18. <i>Pithecellobium lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.	X		
	19. <i>Poeppigia procera</i> (Poepp. ex Spreng.) C.Presl		X	
	20. <i>Senna alata</i> L. (Roxb.)	X		

	21. <i>Senna atomaria</i> (L.) H. S. Irwin & Barneby		X	
	22. <i>Vachellia collinsii</i> (Saff.) Seigler & Ebinger		X	
	23. <i>Vachellia cornigera</i> (L.) Seigler & Ebinger			X
Rosales				
Cannabaceae				
	24. <i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.		X	
Moraceae				
	25. <i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	X		X
	26. <i>Ficus insipida</i> Willd.	X	X	X
Urticaceae				
	27. <i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	X	X	X
Malpighiales				
Chrysobalanaceae				
	28. <i>Licania arborea</i> Seem.		X	X
Salicaceae				
	29. <i>Casearia corymbrosa</i> Kunth			X
	30. <i>Casearia latioides</i> (A. Rich.) Warb.		X	X
	31. <i>Salix bonplandiana</i> Kunth			X
	32. <i>Salix humboldtiana</i> Willd.	X		
Euphorbiaceae				
	33. <i>Acalypha schiedeana</i> Schltldl.		X	
	34. <i>Croton guatemalensis</i> Lotsy		X	X
Picramniales				
Picramniaceae				
	35. <i>Alvaradoa amorphoides</i> Liebm.		X	
	36. <i>Picramnia antidesma</i> Sw.		X	
Sapindales				
Burseraceae				
	37. <i>Bursera simaruba</i> Sarg.		X	X
Sapindaceae				
	38. <i>Thouinidium decandrum</i> Radlk.		X	
Meliaceae				
	39. <i>Guarea glabra</i> Vahl.		X	
	40. <i>Swietenia humilis</i> Zucc.		X	
	41. <i>Trichilia americana</i> (Sessé & Moc.) T.D. Penn.		X	
	42. <i>Trichilia martiana</i> C. DC.			X
	43. <i>Trichilia moschata</i> Sw.		X	
Malvales				
Muntingiaceae				
	44. <i>Muntigia calabura</i> L.	X		
Malvaceae				
	45. <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	X	X	X
	46. <i>Luehea candida</i> (Moc. & Sessé ex DC.) Mart.		X	
Bixaceae				
	47. <i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.		X	
Brassicales				
Caricaceae				
	48. <i>Jacaratia mexicana</i> A. DC.	X		
Caryophyllales				
Polygonaceae				
	49. <i>Coccoloba caracasana</i> Meisn.		X	
Gentianales				
Rubiaceae				
	50. <i>Genipa americana</i> L.		X	
	51. <i>Randia aculeata</i> L.		X	
	52. <i>Randia armata</i> (Sw.)		X	

Lamiales				
Bignoniaceae				
	53. <i>Parmentiera aculeata</i> Kunth	X		
	54. <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	X	X	
Riqueza de especies		16	36	17

En el sector Bajo, las tres especies con mayor valor de importancia fueron *Salix humboldtiana*, *Brosimum alicastrum* y *Muntigia calabura* (IVI acumulado=189.12); para el sector Medio fueron *Thouinidium decandrum*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Coccoloba caracasana* (IVI acumulado=92.07); y para el sector Alto se encontró a *B. alicastrum*, *Vachellia cornigera* e *Inga calderonii* (IVI acumulado=159.13) (Figura 4). El valor de importancia de las especies por sector expresada se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies arbóreas del bosque ribereño registradas en tres sectores del río Zanatenco, Chiapas. DEN%: Densidad relativa, DOM%: Dominancia relativa, FRE%: Frecuencia relativa.

ESPECIE	DEN%	DOM%	FRE%	IVI%
SECTOR BAJO				
<i>Salix humboldtiana</i>	57.59	84.99	14.29	156.87
<i>Brosimum alicastrum</i>	12.03	1.70	4.76	18.49
<i>Muntigia calabura</i>	2.53	1.70	9.52	13.76
<i>Tabebuia rosea</i>	3.16	1.04	9.52	13.72
<i>Leucaena leucocephala</i>	3.79	4.96	4.76	13.52
<i>Jacaratia mexicana</i>	3.80	0.89	4.76	9.45
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1.90	1.39	4.76	8.06
<i>Senna alata</i>	3.16	0.08	4.76	8.00
<i>Parmentiera aculeata</i>	1.90	0.86	4.76	7.52
<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	2.53	0.18	4.76	7.47
+5 especies restantes	7.59	2.20	33.33	43.13

TOTAL	100	100	100	300
SECTOR MEDIO				
<i>Thouinidium decandrum</i>	27.21	5.28	5.66	38.16
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.59	32.11	1.88	34.59
<i>Coccoloba caracasana</i>	5.35	8.40	5.66	19.42
<i>Piper arboreum</i>	4.16	8.27	3.77	16.21
<i>Guazuma ulmifolia</i>	4.76	3.28	3.77	11.82
<i>Tabebuia rosea</i>	3.57	2.28	5.66	11.52
<i>Diphysa americana</i>	6.54	2.79	1.88	11.23
<i>Dalbergia glomerata</i>	2.38	6.82	1.88	11.09
<i>Leucaena leucocephala</i>	1.78	4.22	3.77	9.78
<i>Bursera simaruba</i>	2.38	5.50	1.88	9.77
+23 especies restantes	41.66	20.97	64.15	126.79
TOTAL	100	100	100	300
SECTOR ALTO				
<i>Brosimum alicastrum</i>	13.44	79.12	10.71	103.28
<i>Vachellia cornigera</i>	17.64	0.83	14.28	32.76
<i>Inga calderonii</i>	11.76	7.75	3.57	23.09
<i>Bursera simaruba</i>	5.88	1.82	10.71	18.41
<i>Casearia corymbrosa</i>	6.72	0.29	7.14	14.16
<i>Pithecellobium dulce</i>	3.36	5.28	3.57	12.21
<i>Parmentiera aculeata</i>	5.88	1.02	3.57	10.47
<i>Salix bonpladiana</i>	5.88	0.86	3.57	10.32
<i>Guazuma ulmifolia</i>	2.52	0.29	7.14	9.95
<i>Dyphisa floribunda</i>	5.88	0.49	3.57	9.95
+4 especies restantes	21.00	2.19	32.14	55.34
TOTAL	100	100	100	300

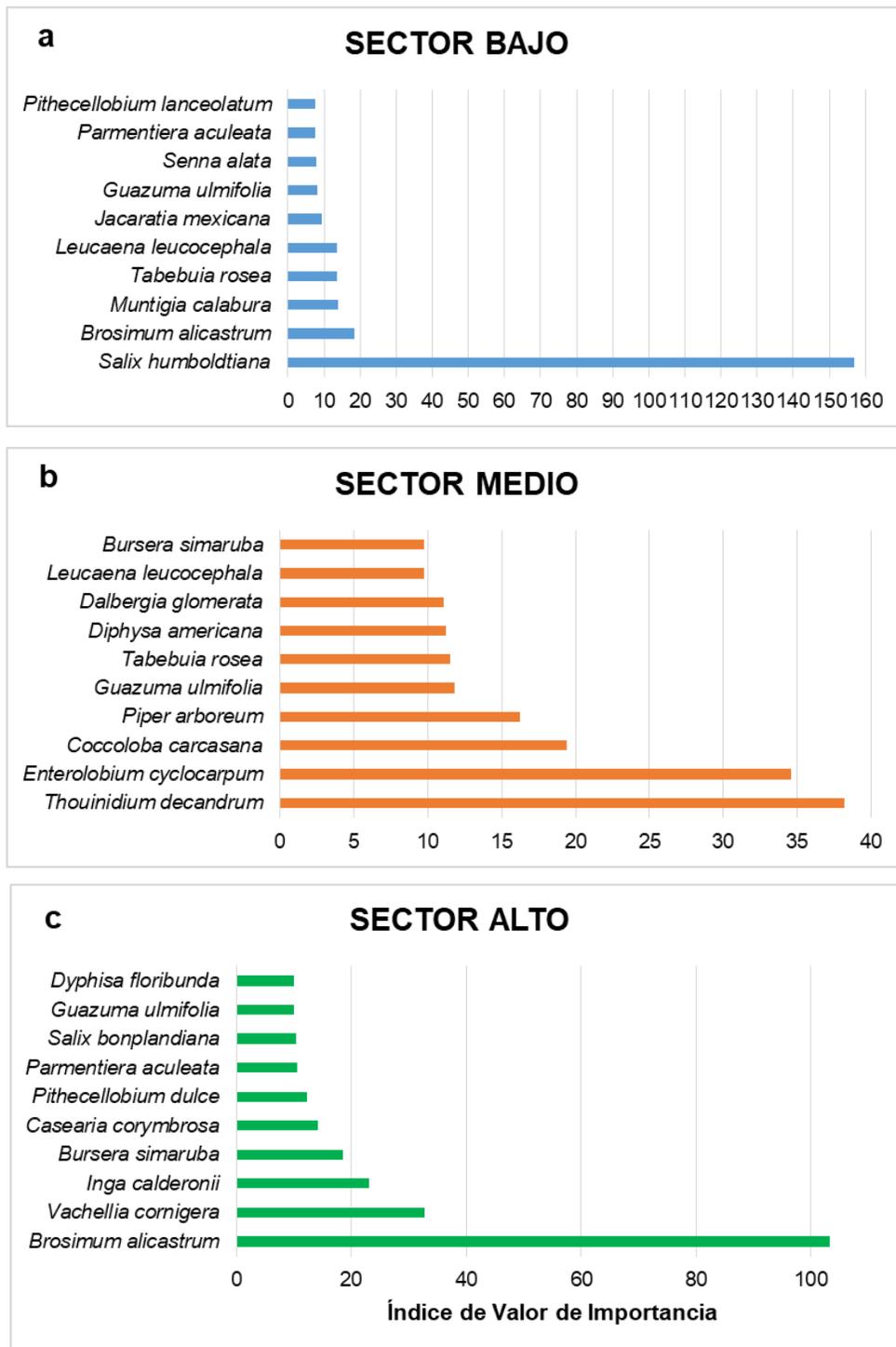


Figura 4. Índice de Valor de Importancia de las 10 especies arbóreas más dominantes en a) sector bajo, b) sector medio y c) sector alto del río Zanatenco, Chiapas.

El sector Medio presentó la mayor densidad con 420 árboles ha⁻¹ en 36 especies, seguido por el sector Bajo con 395 árboles ha⁻¹ en 16 especies y el sector Alto con 297 árboles ha⁻¹ en 17 especies. La densidad de árboles fue mayor en las categorías diamétricas más bajas (2.5-12.6 cm de DAP), aunque la distribución categórica tipo J-invertida fue más evidente para los sectores Medio y Alto (Figura 5).

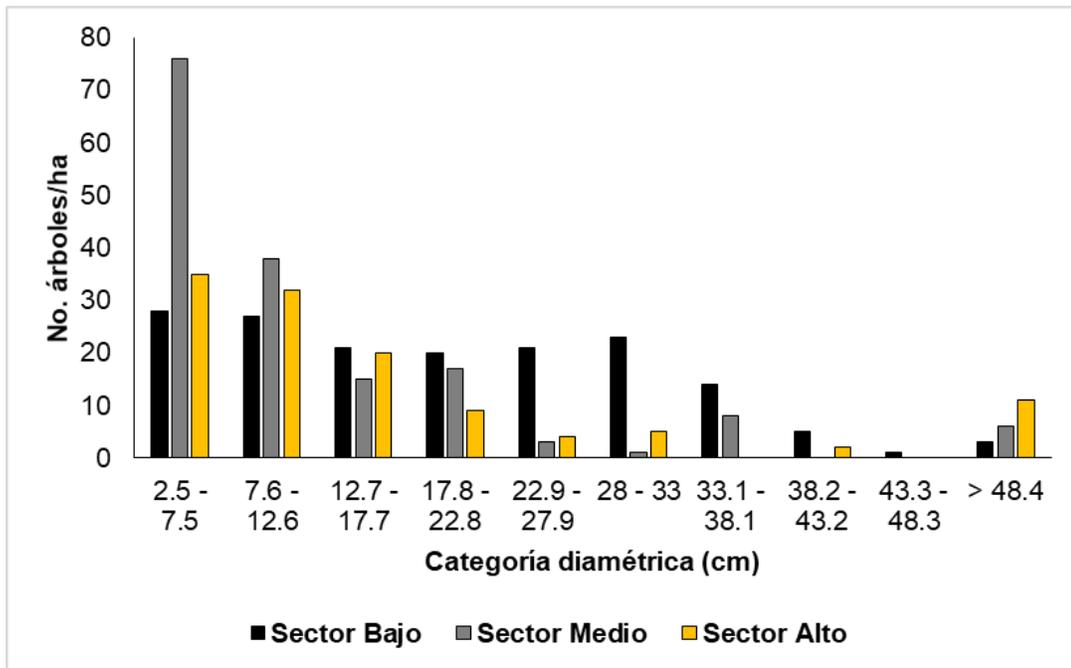


Figura 5. Densidad de árboles por categoría diamétrica en el bosque ribereño de tres sectores del río Zanatenco, Chiapas.

Los atributos estructurales, biomasa, carbono almacenado e índices de diversidad por cada sector se presentan en el Cuadro 4. Los mayores valores promedio de DAP (35.7 cm) se encontraron en el sector Alto, mientras que la mayor altura promedio (9.0 m) y cobertura foliar (284.3 m²) se estimaron en los sectores Bajo y Medio, respectivamente. La mayor diversidad de especies se encontró en el sector Medio, según los índices de Shannon-Wiener (2.99) y Margalef (7.42).

Cuadro 4. Atributos estructurales e índices de diversidad en el bosque ribereño de tres sectores del río Zanatenco, Chiapas.

Atributos promedio (±D.E)	Sectores		
	Bajo	Medio	Alto
Densidad (Árboles/0.1 ha)	39.5±22.9	42.7±26.4	30±15.9
DAP (cm)	19.8±12.7	17.2±13.6	35.7±21.1
Altura (m)	9.0±5.7	7.9±4.2	6.4±2.8
Cobertura foliar (m ²)	104.3±76.8	284.3±121	252.8±136.5
Índice de Shannon-Wiener (H')	1.71	2.99	2.63
Índice de Margalef (D _α)	3.16	7.42	3.77

En el Cuadro 5 se presentan los valores de DAP, altura media, biomasa y carbono almacenado para las 10 especies que más contribuyeron en la disimilitud taxonómica entre sectores de acuerdo al análisis SIMPER. De acuerdo a estas especies, *B. alicastrum* y *S. humboldtiana* fueron las especies que presentan una mayor biomasa aérea y almacén de carbono en la cuenca del río Zanantenco.

La mayor disimilitud entre los sectores Medio y Alto con el Bajo fue debida a *S. humboldtiana* (38.37% y 31.94%, respectivamente); mientras que *T. decandrum* presentó una mayor contribución en la disimilitud de los sectores Medio y Alto (13.01%).

Cuadro 5. Atributos estructurales (DAP y Altura), biomasa aérea y carbono almacenado de las 10 especies del bosque ribereño con mayor contribución porcentual a la disimilitud entre sectores del río Zanantenco, Chiapas, México.

Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Biomasa aérea (Mg)	Almacén de Carbono (Mg)	% de disimilitud entre sectores		
					Bajo vs. Medio	Medio vs. Alto	Bajo vs. Alto
<i>Salix humboldtiana</i>	26.4±10.9	9.5±5.2	17.35	8.67	28.37	—	31.94
<i>Thounidium decandrum</i>	8.4±5.6	7.5±4.7	1.78	0.89	11.89	13.01	—
<i>Brosimum alicastrum</i>	33.4±60.1	9.6±7.2	44.3	22.1	4.79	7.76	10.75
<i>Vachellia cornigera</i>	7.1±5.0	4.8±1.6	0.39	0.19	—	8.71	8.34
<i>Leucaena leucocephala</i>	23.3±18.9	9.6±5.6	3.57	1.78	4.17	—	4.33
<i>Casearia corymbosa</i>	7.2±3.1	5.6±2.5	0.21	0.10	—	4.59	3.71
<i>Guazuma ulmifolia</i>	15.6±9.0	6.9±3.5	1.41	0.70	3.31	2.97	—
<i>Inga calderonii</i>	20.5±27.7	7.6±2.3	4.96	2.48	—	4.16	4.25
<i>Trichilia moschata</i>	7.1±3.0	5.8±3.2	0.25	0.12	2.88	3.16	—
<i>Salix bonpladiana</i>	15.6±3.5	6.1±1.9	0.40	0.20	—	3.99	3.96

El diagrama de escalamiento multidimensional no métrico, mostró un gradiente de ordenación débil, de acuerdo con el valor de estrés obtenido en el análisis de 0.25; sin embargo, se observa la separación de conjuntos y su asociación con las especies que más aportan biomasa, como se observa en el centroide del sector bajo, asociado a *S. humboldtiana*, y en gradiente contrario el centroide del sector medio, asociado a especies como *C. carcasana*, *Dalbergia glomerata* y *E. cyclocarpum*; otro conjunto en gradiente contrario al sector medio es del mostrado en el centroide del sector alto, asociado a especies como *P. dulce*, *B. alicastrum* e *I. calderonii* (Figura 6.).

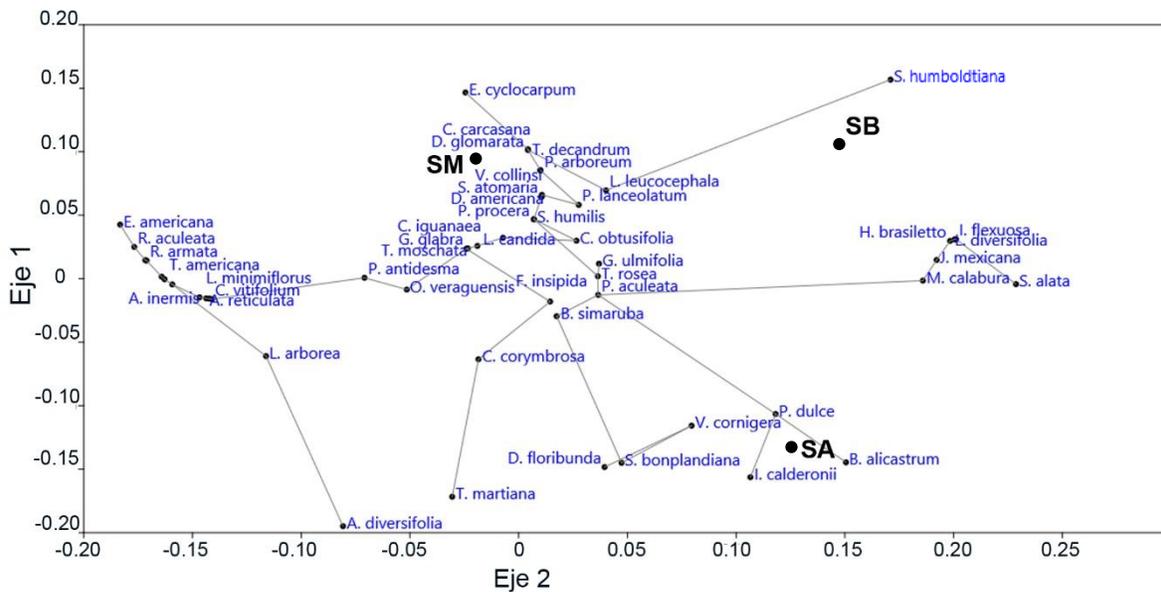


Figura 6. Diagrama de escalamiento multidimensional no métrico para la ordenación de tres sectores de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas: SA: Sector alto, SM: Sector medio, SB: Sector bajo. El género de las especies se muestra abreviado. Las líneas representan la relación entre la biomasa de las especies sobre el gradiente de la ordenación.

Con respecto a los valores de biomasa aérea y carbono almacenado por sector, se encontraron los mayores valores promedio para el sector Alto (Biomasa aérea: 159.17 ± 28.1 Mg/0.05 ha; Almacén de carbono: 79.58 ± 14.05 Mg/0.05 ha), seguidos por el sector Bajo (Biomasa aérea: 117.52 ± 33.68 Mg/0.05 ha; Almacén de carbono: 58.76 ± 16.84 Mg/0.05 ha) y el Medio (Biomasa aérea: 112.62 ± 17.08 Mg/0.05 ha; Almacén de carbono: 56.31 ± 8.54 Mg/0.05 ha) (Figura 7). De acuerdo a

la prueba de ANOVA, no se detectaron diferencias significativas entre los valores de carbono almacenado de los tres sectores de la cuenca ($F=3.54$, $p=0.072$).

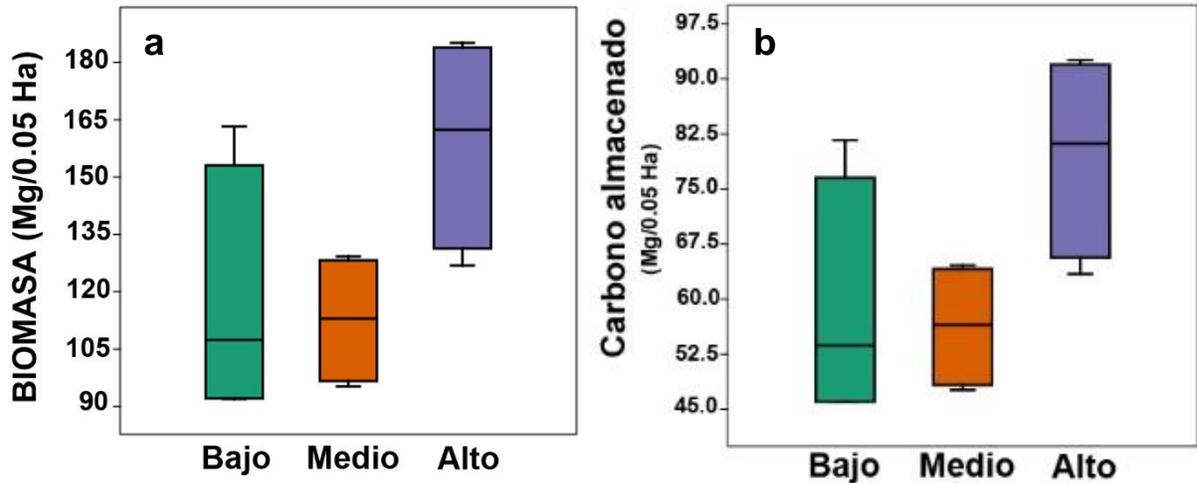


Figura 7. Valores medios de biomasa aérea (a) y carbono almacenado (b) del bosque ribereño registradas en tres sectores del río Zanatenco, Chiapas.

De acuerdo con los análisis de correlación lineal de Pearson (r), la única variable altamente asociada con el almacén de carbono fue la altura (0.803), cuya correlación también resultó estadísticamente significativa ($p<0.05$). El resto de las variables estructurales e índices presentaron coeficientes con valores de r menores a 0.5 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre el carbono almacenado y las variables estructurales e índices de diversidad del bosque ribereño de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. Valores en negritas indican alta asociación de la variable con el carbono almacenado; * indica valores de asociación estadísticamente significativos ($p\leq 0.05$)

	Densidad	Altura	DAP	Área basal	Cobertura foliar	Índice de Shannon-Wiener	Índice de Margalef
r	-0.016	0.803	-0.237	-0.338	-0.112	0.229	-0.187
p	0.962	0.002*	0.458	0.282	0.729	0.475	0.561

VIII. DISCUSIÓN

En este estudio se encontró que la biomasa y el carbono almacenado en los bosques ribereños en los tres sectores evaluados de la cuenca del río Zanatenco, en la vertiente costera de Chiapas, se presentan en un rango que va de los $112 \text{ Mg} \cdot 0.05 \text{ Ha}^{-1}$ ($56.31 \text{ Mg C} \cdot 0.05 \text{ Ha}^{-1}$) a los $159.17 \text{ Mg} \cdot 0.05 \text{ Ha}^{-1}$ ($79.58 \text{ Mg C} \cdot 0.05 \text{ Ha}^{-1}$), sin detectarse que los valores de cada sector cambien significativamente entre sí. Aunque algunos autores han encontrado que el gradiente altitudinal puede influir en la biomasa aérea y potencial de captura de carbono en bosques tropicales (Poorter *et al.*, 2015; Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2021; Torres-Torres *et al.*, 2022), otros autores no han encontrado evidencia concluyente de que la altitud sea un factor determinante en el carbono, sobre todo en ambientes con alto grado de impacto y fragmentación, o con condiciones microclimáticas específicas (Rojas, 2019; Salas-Macías *et al.* 2020), como puede ocurrir en los bosques ribereños (Andrade-Castañeda *et al.*, 2017). Es notable la presencia de especies secundarias, como *Guazuma ulmifolia* y *Muntingia calabura*, como parte del grupo de especies dominantes a lo largo de la cuenca del río Zanatenco, lo cual denota cambios en la estructura y diversidad del bosque a causa de perturbaciones antropogénicas.

Florísticamente, los bosques ribereños de la cuenca del río Zanatenco se asocian a una franja casi continua de bosques tropicales estacionalmente secos que corren por la vertiente del Pacífico, desde Sonora hasta Guatemala (Lott y Atkinson, 2006), y que presentan afinidad con otros bosques del norte de la provincia de la Sierra Madre de Chiapas. En los bosques ribereños del Zanatenco, se encontraron 53 especies arbóreas, lo cual representa un número menor al reportado en otros bosques de la zona, como los de la microcuenca del río La Mica, municipio de Arriaga, en donde se reportaron 83 especies arbóreas (López-Toledo *et al.*, 2012); o los de la cuenca del río Margaritas, del municipio de Pijijiapan, en donde se reportaron 90 especies (Escalona-Domenech *et al.*, 2021). Aunque los bosques ribereños poseen características estructurales y fenológicas propias impuestas por su régimen hídrico especial impuesto por las condiciones de inundación, florísticamente serán afines a la matriz de vegetación que los rodea

(Lamprecht, 1990; Richter, 2000). Así mismo, el número de especies arbóreas encontrado en el Zanatenco, es mayor al reportado en otros bosques ribereños del norte del país, como por ejemplo en el río Fuerte, Sinaloa, con 27 especies (Sampayo-Maldonado *et al.*, 2020) o en los ríos Ramos y Cabezones, Nuevo León, con 25 especies en total (Treviño-Garza *et al.*, 2001).

Los estudios sobre estructura y composición de bosques más cercanos al río Zanatenco reportan algunas características similares; por ejemplo el realizado en la microcuenca del río La Mica (López-Toledo *et al.*, 2012), en donde las especies *Lonchocarpus minimiflorus*, *B. alicastrum*, *Luehea candida*, *Croton guatemalensis* y *Guazuma ulmifolia* fueron comunes con este trabajo.

En el caso del estudio realizado en la cuenca del río Margaritas, fueron comunes las especies *Parmentiera aculeata*, *Tabebuia rosea*, *Cochlospermum vitifolium*, *Bursera simaruba*, *Licania arborea*, *Croton guatemalensis*, *Andira inermis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium dulce*, *Senna alata*, *Vachellia cornigera*, *Guazuma ulmifolia*, *Trichilia martiana*, *Brosimum alicastrum*, *Coccoloba caracasana*, *Casearia corymbrosa*, *Salix humboldtiana*, *Thouinidium decandrum* y *Cecropia obtusifolia* (Escalona-Domenech *et al.*, 2021); esta riqueza representa el 17% de las especies reportadas para el río Zanatenco. El mayor número de especies comunes entre estos estudios puede deberse a que en el trabajo realizado en el río Margaritas, se incluyó únicamente a especies de la vegetación ribereña (en un tramo altitudinal entre los 56 y 652 msnm), mientras que el estudio de la microcuenca del río La Mica, se incluyó también a la vegetación de otras áreas alejadas del río (en un tramo altitudinal entre los 360 y 460 msnm).

En términos de su dominancia basada en el IVI, este estudio coincidió con algunas de las especies más dominantes tanto en La Mica como en el río Margaritas: *Salix humboldtiana*, *Guazuma ulmifolia*, *Valichellia cornigera*, *Brosimum alicastrum* y *Casearia corymbrosa*. Sin embargo, en términos del número de especies arbóreas los resultados encontrados en los bosques ribereños del río Zanatenco, se encuentran por debajo del rango de riqueza reportado en ambos estudios (López-Toledo *et al.*, 2012; Escalona-Domenech *et al.*, 2021), de entre 83

y 90 especies. Ya que los estudios se desarrollaron dentro del mismo rango altitudinal que el de esta tesis, es posible que la menor riqueza encontrada se deba a los intensos procesos de cambio de uso del suelo a lo largo de la cuenca del río Zanatenco, los cuales han ocasionado pérdida de ecosistemas y desequilibrio hídrico en las últimas décadas (Arellano-Monterrosas y Ruíz-Meza, 2018). Durante el desarrollo de esta tesis, se observó una intensa actividad ganadera en los tres sectores analizados.

Se conoce que los procesos de cambio de uso de suelo, ocasionado por actividades tales como agricultura, ganadería, turismo desordenado o el aprovechamiento forestal, afectan directamente a la diversidad de especies de árboles al disminuir la capacidad de regeneración (Canizales-Velázquez *et al.*, 2010). Los bosques ribereños son especialmente vulnerables a la perturbación ya que el recurso hídrico al que están ligados los hace zonas con una fuerte presión por parte de las poblaciones humanas y la industria como la minería (Sampayo-Maldonado *et al.*, 2020).

El análisis de la estructura de los bosques ribereños en el río Zanatenco mostró variaciones entre los parámetros: se encontraron mayores densidades y cobertura foliar en el sector Medio de la cuenca, mientras que el DAP y Altura medios fueron mayores en los sectores Alto y Bajo de la cuenca, respectivamente. Estos resultados cumplen parcialmente lo propuesto en la hipótesis que esperaba un mayor desarrollo estructural en el sector Alto, debido a una mayor precipitación (Luna, 2019) y un supuesto mejor manejo del sitio por la cercanía con la reserva de la biosfera La Sepultura. En otros estudios, recurrentemente se ha esperado y registrado un menor desarrollo en bosques por encima del rango de los 1000-1500 msnm, en relación con las zonas bajas y con mayor disponibilidad de agua y suelos fértiles (Loza *et al.*, 2010; Cuyckens *et al.*, 2015). Sin embargo, en otros bosques ribereños de zonas tropicales (100-1700 msnm), se han observado solo variaciones ligeras en los parámetros estructurales y sin evidencia significativa por cambios de altitud (Torres-Torres *et al.*, 2021). La altitud juega un papel muy importante en la abundancia, riqueza y diversidad de especies.

En el caso de la densidad, los resultados de este estudio en el Zanatenco, mostraron valores más bajos en el número total de árboles estimado (1112 ha^{-1}), respecto a los reportados en La Mica (2046 ha^{-1}) y en el río Margaritas ($2091.6\text{-}2880 \text{ ha}^{-1}$) (López-Toledo *et al.*, 2012; Escalona-Domenech *et al.*, 2021); aunque resultan mayores a los reportados para el río Xaltatempa, Puebla (820 ha^{-1}) (Aguilar-Luna *et al.*, 2018) y en el río El Fuerte, Sinaloa (145 ha^{-1}) (Sampayo-Maldonado *et al.*, 2021), lo cual podría deberse a las condiciones climáticas distintas en estos dos últimos estudios respecto al río Zanatenco. Así mismo, un mayor número de árboles en las categorías diamétricas más bajas (Figura 4), puede ser reflejo del constante estado sucesional del bosque (bosques juveniles), por su dinámica de regeneración o nivel de disturbio (Treviño-Garza *et al.*, 2001). Aunque la edad de un bosque depende en gran medida del tipo de bosque y su dominancia, pueden considerarse a los bosques juveniles como aquellos menores a 15 cm DAP (Madrigal, 1994), categoría coincidente con los del río Zanatenco. El patrón de distribución diamétrica de J-invertida observado aquí, refleja una curva poblacional tipo III, que se caracteriza por la concentración de la mayor parte de los individuos en la primera clase de tamaño, mientras que las clases restantes están pobremente y muy uniformemente representadas en la comunidad (Bongers, 1988; Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla, 1995).

En general, los valores de diversidad de los índices de Shannon-Wiener y Margalef encontrados en los bosques del río Zanatenco, fueron relativamente altos, respecto a los reportados en otros estudios. Por ejemplo, para el estrato arbóreo del río Fuerte, Sinaloa, se estimaron 1.61 de índice de Margalef y 1.5 de índice de Shannon-Wiener (Sampayo-Maldonado *et al.*, 2021). En contraste, los valores para estos mismos índices, encontrados en el bosque de Agua Blanca, Tabasco, fueron mayores a los estimados en el río Zanatenco: el índice de Margalef osciló en valores de 13.1 y 25.78; el índice de Shannon-Wiener osciló en valores de 2.12 a 2.83 (Zarco-Espinosa *et al.*, 2010). Estos contrastes pueden deberse a las diferencias de composición de los bosques que rodean a la formación ribereña (bosques secos en Sinaloa y bosques muy húmedos en Tabasco), lo que explica un valor intermedio por las selvas subhúmedas que rodean al río Zanatenco.

En términos de su estructura y composición, los bosques ribereños del Zanatenco son coincidentes en su variación altitudinal con los descritos en los estudios de Vázquez y Givnish (1998) en Manantlán, Jalisco y con los de Ávila-Sánchez *et al.* (2015) en el Balsas, Guerrero, en donde se ha reportado un comportamiento de “herradura” (estructura y diversidad similar en partes bajas y altas y distinta en partes medias). De acuerdo a Ávila-Sánchez *et al.* (2015), este fenómeno ocurre debido a la presencia del cinturón de bosques mesófilos que se pueden encontrar en las serranías que vierten hacia el Pacífico central y sur del país, sin embargo, la alta deforestación a lo largo de las cuencas, puede estar alterando este patrón (Nené-Preciado *et al.* 2017), lo cual también se observa en la cuenca del río Zanatenco. Otros estudios, aportan evidencia de que los ecotonos o zonas de transición entre tipos de vegetación, pueden presentar elevados valores de riqueza y desarrollo estructural en los bosques (Verdugo-Morales *et al.*, 2022). En los bosques del río Zanatenco esta disimilitud coincidente con el patrón de herradura, fue encontrada mediante el análisis SIMPER (Cuadro 5).

En los bosques del río Zanatenco, se encontró una mayor biomasa vegetal en el sector Alto, lo cual se explica porque los árboles de ese sector presentaron un mayor DAP, sin embargo, estadísticamente no hubo evidencia de que estas diferencias fueran significativas con la biomasa en los sectores bajo y medio. Esto también se reflejó en la ausencia de un gradiente longitudinal en la ordenación de la biomasa por NMDS (Figura 6).

En general, los valores de biomasa aérea en este estudio fueron bajos, comparados con lo que se han obtenido en bosques tropicales húmedos y pluviales Neotropicales, que pueden alcanzar las 96 Toneladas/ha (Torres-Torres *et al.*, 2017). El factor climático, definido por la temperatura y la precipitación, pueden afectar la biomasa y almacén de carbono, el cual disminuye conforme disminuye la humedad del ambiente; aunque esta disminución también está relacionada con el grado del disturbio que afecta al microclima (Vásquez y Arellano, 2012). Estos resultados refuerzan la “hipótesis de la perturbación intermedia”, propuesta por Bongers *et al.* (2009) quienes señalan que el disturbio explica la mayor variación en

la diversidad y estructura de los bosques tropicales secos, por un aumento en la densidad de especies pioneras y secundarias, como por ejemplo *G. ulmifolia* y *M. calabura* encontradas como parte del grupo de dominantes a lo largo del río Zanatenco, y una disminución de las especies más tolerantes a la sombra y con altos requerimientos de humedad. Estas variables también estarían afectando a los valores de biomasa arbórea y por ende, al almacén de carbono (Poorter *et al.*, 2015).

En el caso de la Sierra Madre de Chiapas, el patrón de lluvias se debe a la orografía y a los frentes fríos que generan circulaciones anticiclónicas que al chocar con la cadena montañosa, producen precipitaciones de tipo orográfico. Entre los 0 y 12 msnm en la planicie costera, las lluvias son de aproximadamente 1000 mm anuales, y estas aumentan gradualmente con la altitud; entre los 50 y 500 msnm, la precipitación anual es de alrededor de 1700 mm, y se concentra la mayor cantidad de lluvias por encima de los 800 msnm, con un descenso gradual de la temperatura (JICA, 1998). Esto explica parcialmente una mayor biomasa y almacén de carbono encontrado en el sector Alto, el cual se encuentra a la altura con mayor precipitación de la cuenca. Esto permite aceptar parcialmente la hipótesis, al encontrarse un mayor almacén de carbono en el sector Alto, aunque esto no se reflejó en mayor desarrollo estructura y diversidad; cuya variación parece estar relacionada con una composición definida por el ecotono entre selva seca y subhúmeda y el grado de disturbio. Finalmente, en términos generales, esta variación no resultó significativa entre los sectores de toda la cuenca.

Respecto a la hipótesis de este trabajo que plantea que el almacén de carbono es más influido por la diversidad, DAP, cobertura y la altura, los resultados obtenidos muestran solo una relación significativa entre la altura y el almacén de carbono, por lo que solo se acepta parcialmente. En los estudios de biomasa aérea, se ha buscado conocer a los parámetros de la estructura del bosque que mejor expresan el potencial de almacén de carbono y se han estudiado bien las relaciones directas entre el DAP y la diversidad de especies (Chavé *et al.*, 2005; Mensah *et al.*, 2018).

El análisis de la estructura con medidas absolutas de densidad de rodales y medidas e índices de estructura y diversidad no siempre refleja la distribución y variabilidad de la biomasa aérea, y dependerá de cada caso. Gonçalves (2018) dice que es necesario evaluar el efecto de la estructura vertical y horizontal de un bosque sobre la biomasa aérea y el carbono almacenado, midiendo y correlacionando la altura y la cobertura foliar o diámetro de copa. En los bosques ribereños del Zanatenco se encontró una asociación positiva entre la altura y el carbono almacenado (Cuadro 6), por lo que debe estudiarse mejor esta relación para el monitoreo.

Como señalan Chavé *et al.* (2005) y Torres-Torres *et al.* (2022), los bosques más importantes a nivel mundial para el almacén de carbono y por ende para la mitigación del cambio climático, son los tropicales de tierras bajas. Esto les otorga a los bosques ribereños de las cuencas costeras un papel esencial por la provisión de servicios ambientales. Es necesario continuar con investigaciones que permitan optimar el monitoreo y priorizar zonas para su manejo, conservación y restauración, especialmente en la costa de Chiapas, debido a la gravedad de sus problemas ambientales.

IX. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este estudio son las siguientes:

1. El sector más importante de la cuenca del río Zanatenco para el almacén de carbono por cantidad de biomasa aérea del bosque ribereño, es el Alto (1100 msnm), sin embargo no hay evidencia de diferencias de carbono almacenado entre los sectores Bajo, Medio y Alto.
2. La mayor riqueza y diversidad de especies del bosque ribereño se concentra en el sector Medio (824 msnm) de la cuenca del río Zanatenco.
3. La mayor densidad de árboles en categorías diamétricas más bajas (2.5 a 12.6 cm) reflejan a un bosque joven o en estado sucesional temprano en la cuenca del río Zanatenco.
4. La dominancia de especies fue variable entre los tres sectores de la cuenca y estuvo determinada principalmente por las especies *Salix humboldtiana* (sector Bajo), *Thouinidium decandrum* (sector Medio) y *Brosimum alicastrum* (sector Alto).
5. El almacén de carbono de los bosques ribereños en la cuenca del río Zanatenco, se encuentra positivamente relacionado con la altura de los árboles.

X. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados y conclusiones de este estudio, se recomienda lo siguiente:

1. Establecer parcelas de monitoreo permanente del bosque a lo largo de toda la cuenca del río Zanatenco, para conocer más sobre su ecología, dinámica de regeneración y cambios en su biomasa y carbono por periodos largos de tiempo.
2. Realizar estudios de productividad en biomasa y hojarasca y caracterizar la biomasa y carbono contenido en suelos y raíces.
3. Realizar estudios con imágenes satelitales y sistemas de información geográfica para conocer la extensión de estos bosques.
4. Analizar el grado de conservación aplicando índices de calidad de riberas.
5. Promover la restauración de los bosques y la protección de los sectores medio y alto, por tener mayor riqueza de especies y potencial de almacén de carbono.
6. Realizar trabajo con las comunidades para dar a conocer los servicios ambientales del bosque ribereño.

XI. REFERENCIAS

- Acosta, R., H. Hampel, H. González, P. Mosquera, G. Sotomayor y X. Galarza. 2014. Protocolo de evaluación de la integridad ecológica de los ríos de la región Austral de Ecuador. ETAPA EP, SENAGUA, Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Adame, M. F., Santini, N. S., Tovilla, C., Vázquez-Lule, A., Castro, L. y Guevara, M. 2015. Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *BiogeoSciences*. 12: 3805-3818.
- Aguilar-Luna, J. M. E., Loeza-Corte, J. M., García-Villanueva, E. y Hernández-Fernández, L. A. 2018. Arboreal vegetation structure and diversity in the gallery forest of the Xaltatempa river, Puebla, Mexico. *Madera y Bosques*. 24: e2431616.
- Andrade-Castañeda, H. J., M. A. Segura-Madrigal, D. Canal-Daza, A. Huertas-González y C. A. Mosos-Torres. 2017. Composición florística y reservas de carbono en bosques ribereños en paisajes agropecuarios de la zona seca del Tolima, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 65: 1245-1260.
- APG. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 181: 1–20
- Arellano-Monterrosas, J. L. L. y L. E. Ruíz-Meza. 2018. Evaluación y tendencias de los servicios ecosistémicos hidrológicos de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*. 95: 1-22.
- Ávila-Sánchez, P., Á. Sánchez-González, C. Catalán-Heverástico, R. C. Almazán-Núñez y J. Jiménez-Hernández. 2015. Patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*. 45: 101-113.

- Baker, T. R., Phillips, O. L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Fioré, A., Erwin, T., Higuchi, N., Killeen, T., Lawrence, S.G., Lawrence, W.F., Lewis, S., Monteagudo, A., Neill, D.A., Vargas, P.N., Pitman, N.C., Silva, N. y Vázquez, R. 2004. Increasing biomass in Amazonian forests plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 359: 353-365.
- Bongers, F., Popma, J., Meave del Castillo, J. y Carabias, J. 1988. Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio*. 74: 55-80.
- Bongers, F., Poorter, L., Hawthorne, W. D. y Sheil, D. 2009. The intermediate disturbance hypothesis applies to tropical forests, but disturbance contributes little to tree diversity. *Ecology Letters*. 12: 798-805.
- Breedlove, D. E. 1986. Listados florísticos de México VI. Flora de Chiapas. Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México. México, D.F.
- Breedlove, D. E. 1993. Introducción a la Flora de Chiapas. In: López, S. C (recop.). *Lecturas Chiapanecas No. 6*. Gobierno del Estado de Chiapas, Miguel Ángel Porrúa. Ciudad de México. pp. 291-356.
- Bustamante-González, A., Vargas-López, S. y Morales-Jiménez, J. 2018. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales ribereños de la cuenca del río Tlapaneco. *Agroproductividad*. 11 (10): 117-120.
- Cabrera-Amaya, D. M. y Rivera-Díaz, O. 2016. Composición florística y estructura de los bosques ribereños de la cuenca baja del río Pauto, Casanare, Colombia. *Caldasia*. 38: 53-85.
- Canizalez-Velázquez, P. A., Alanís-Flores, G. J., Favela-Lara, F., Torres-Morales, M., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J. y Padilla-Rangel, H. 2010. Efecto de la actividad turística en la diversidad y estructura del bosque de galería en el noreste de México. *Ciencia UANL*. 13(1): 55-63.

- Capon, S.J., L. E. Chambers, R. Mac Nally, R. J. Naiman, P. Davies, N. Marshall, J. Pittock, M. Reid, T. Capon, M. Douglas, J. Catford, D. S. Baldwin, M. Stewardson, J. Roberts, M. Parsons y S. E. Williams. 2013. Riparian Ecosystems in the 21st Century: Hotspots for Climate Change Adaptation? *Ecosystems*. 16: 359-381.
- Chavé, J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. P. Lescure, B. W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra y T. Yamakura. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145 (1): 87-99.
- Chaves, C. C. G. y Rodríguez, S. A. E. 2012. Estructura y composición florística del bosque ribereño subandino de la subcuenca de Yumbillo Yumbo (Valle del Cauca). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 3: 63-66.
- CONABIO. 2022. Portal de Geoinformación 2022. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONAGUA. 2009. Plan de Gestión Integral 2010-2015, Cuenca del río Zanatenco, municipio de Tonalá, Chiapas. Comisión Nacional del Agua, Gobierno del estado de Chiapas, H. Ayuntamiento Municipal de Tonalá, Comité de Cuenca Zanatenco. México. 62 p.
- Cotito, C. S. E. 2014. Diversidad y composición florística de un área de bosque ribereño premontano del Valle de Chancamayo. Tesis de Magister. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C. y LaRoe, E. D. 1979. Classification of wetlands and deep-water habitats of the United States. U.S. Department of Interior, U. S. Fish and Wildlife Service. Washington, EUA.
- Cruz-Flores, G., Santiago-Aguilar, I., Guerra-Hernández, E. A. y Valderrábano-Gómez, J. 2019. Contenidos de carbono orgánico en ecosistemas ribereños

de montaña de México. *Revista Latinoamericana del Ambiente y las Ciencias*. 10(24): 70-93.

Curtis, T. J. 1959. *The Vegetation of Wisconsin: An Ordination of Plant Communities*. University of Wisconsin Press. Madison. 657 p.

Cuyckens, G. A., Malizia, L. R. y Blundo, C. 2015. Composición, diversidad y estructura de comunidades de árboles en un gradiente altitudinal de selvas subtropicales de montaña (Serranías de Zapla, Jujuy, Argentina). *Madera y Bosques*. 21 (3): 137-148.

Dávalos, S. R. 1996. Importancia ecológico-económica del aprovechamiento de los bosques. *Madera y Bosques*. 2(2): 3-10.

Díaz-Pascasio, E., Ortega-Argueta, A., Castillo-Uzcanga, M. M. y Ramírez-Marcial, N. 2018. Influence of land use on the riparian zone condition along an urban-rural gradient on the Sabinal River, Mexico. *Botanical Sciences*. 96(2): 180-199.

Escalona-Domenech, R. Y., D. Infante-Mata, J. R. García-Alfaro, N. Ramírez-Marcial, C. I. Ortiz-Arrona y E. Barba-Macías. 2021. Calidad de riberas en tres tipos de cobertura vegetal en un río de la Sierra Madre de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 92: e923526.

Espinoza-Tenorio, A., A. Ortega-Argueta, M. M. Castillo-Uzcanga y M. Hernández-Chávez. 2016. Cuencas costeras de la frontera sur. *Ecofronteras*. 20 (56): 8-11.

Fajardo, A., E. Veneklaas, S. Obregón y N. Beaulieu. 1999. *Los Bosques de Galería: Guía para su apreciación y conservación*. CIAT. Colombia.

Flores-Galicia, N., I. Trejo y N. Ramírez-Marcial. 2021. Environment-driven changes in diversity of riparian plant communities along a mountain river. *Ecology and Evolution*. 11(10), 5690-5701

- Franco, L. J., De la Cruz, G., Cruz, G. A., Rocha, A., Navarrete, N., Flores, M. G. y Winfield, I. 1989. Manual de Ecología. Trillas. México.
- Gómez-Ortega, R., E. Ramos-Santiago y E. Romero-Berny. 2019. Problemas asociados con la rectificación y cambio de cauce de ríos en los sistemas lagunares de la costa de Chiapas, México. *Ciencia Pesquera*. 27 (2): 59-67.
- Gonçalves, A. C. 2018. Effects of forest stand structure in biomass and carbon. En: Shukla, G. y S. Chakravarty (eds.). Forest Biomass and Carbon. Intechopen. <https://www.intechopen.com/books/6264>
- Granados-Sánchez, D., Hernández, M. A. y López-Ríos, G. F. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12 (1): 55-69.
- Hammer, O., D. A. T. Harper y P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologica Electronica*. 4(1): 9.
- Holguín-Estrada, V. A., E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón, J. I. Yerena-Yamallel y M. A. Pequeño-Ledezma. 2021. Estructura vertical de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México. *Polibotánica*. 51: 55-71.
- Houghton, R. 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology*. 9 (4): 500-509.
- Hynes, H. B. N. 1975. The stream and its valley. *Verhandlungen. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 19: 1-15.
- Iglesias, L. G. 2009. Oportunidades para la mitigación de impactos del cambio climático en el subsector forestal. En: Cueto-Wong, J. A., Prieto Ruíz, J. A. y Macías-García, L. V. (Comps.). Memoria de la IV Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. INIFAP. Saltillo, México.

- IHNE. 2001. Modelo de ordenamiento ecológico territorial de la subcuenca del río Zanatenco, Tonalá, Chiapas. Dirección de Protección Ambiental, Instituto de Historia Natural y Ecología. Tuxtla Gutiérrez, México. 158 p.
- IPCC. 2005. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press. New York. 442 p.
- INE. 1999. Programa de manejo. Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. Ciudad de México.
- Jardel, P. E. J. 2015. Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales. CONAFOR, PNUD. Ciudad de México.
- JICA. 1998. Estudio del proyecto de desarrollo integral de agricultura, ganadería y desarrollo rural de la región del Soconusco. Agencia de Cooperación Internacional de Japón-JICA, Osaka.
- Karr, J. R. y Schlosser, I. J. 1978. Water resources and landwater interface. *Science*. 210: 229-234.
- Kauffman, B. J., Donato, D., y Adame, M. F. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. CIFOR. Bogor, Indonesia.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. GTZ. Eschborn, Alemania.
- López-Pérez, D., Castillo-Acosta, O., Zavala-Cruz, J. y Hernández-Trejo, H. 2014. Estructura y composición florística de la vegetación secundaria en tres regiones de la Sierra Norte de Chiapas. *Polibotánica*. 37:1-23.
- López-Toledo, J. F., Valdez-Hernández, J. I., Pérez-Farrera, M. A. y Cetina-Alcalá, V. M. 2012. Composición y estructura arbórea de un bosque tropical

estacionalmente seco en la Reserva de la Biósfera La Sepultura, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 3(12): 43-56.

- Lot, A. y Chiang, F. 1986. Manual de Herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Consejo Nacional de la Flora A.C. Ciudad de México. 142 p.
- Lott, E. J. S. y Atkinson, I. 2006. Mexican and Central American seasonally dry tropical forests: Chamela-Cuixmala, Jalisco as a focal point for comparison. En: Pennington, T., G. P. Lewis y J. A. Ratter (Eds.) Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests: Plant Diversity, Biogeography and Conservation. Pp. 315-342. Taylor & Francis. Boca Ratón, Fl., EUA.
- Loza, I., M. Moraes y P. M. Jorgensen. 2010. Variación de la diversidad y composición florística en relación a la elevación en un bosque montano boliviano (PNANMI Madidi). *Ecología en Bolivia*. 45 (2): 87-100.
- Luna, B. C. P. 2019. Estructura y composición florística de bosques de galería en dos fragmentos de bosque en Los Bosques de María, Sucre, Colombia. Tesis de Biología. Universidad de Sucre, Sincelejo.
- Madrigal, C. A. 1994. Ordenación de montes arbolados. ICONA. Madrid, España.
- Martínez-Ramos, M. y Álvarez-Buylla, E. 1995. Ecología de poblaciones de plantas en una selva húmeda de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 56: 121-153.
- Matteucci, D. S. y Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D. C., EUA.
- Medellín, R. y K. H. Redford. 1992. The role of mammals in Neotropical forest-savanna boundaries. En: Furley, P. A., J. Proctor y J. A. Ratter (Eds.) Nature and Dynamics in Forest-Savanna Boundaries. Pp. 518-548. Chapman & Hall. Londres.

- Mensah, S., B. du Toit y T. Seifert. 2018. Diversity-Biomass relationship across forest layers: implications for niche-complementarity and selection effects. *Oecologia*. 187: 783-795.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. CYTED, ORCYT/UNESCO, SEA. Zaragoza, España.
- Moreno, B. L. F., García, L. L. C. y Márquez, C. G. 1987. Productividad e importancia del bosque ripario del complejo de Ciénagas de Chucuri (Departamento de Santander, Colombia). *Actualidades Biológicas*. 16 (61): 93-102.
- Naiman, R. J. y Décamps, H. 1997. The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 28: 621-658.
- Naiman, R. J., Décamps, H., Pastor, J. y Johnston, A. 1988. The potential importance of boundaries to fluvial ecosystems. *Journal of North American Benthological Society*. 7: 289-306.
- Nené-Preciado, A.J., G. S. González, M. E. Mendoza y F. A. B. Silva. 2017. Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano. *Investigaciones Geográficas*. 94: 1-18.
- Núñez-Avellaneda, L. A., Castro, M. I., Mestre, G. y Lozano, L. 2019. Los bosques de galería: conectores de vida. *Ámbito Investigativo*. 1 (3): 1-7.
- Odum, E. P. 1972. Ecología. Editorial Interamericana, México D. F.
- Phillips, O. L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurence, W., Nuñez, P., Vázquez, M., Laurence, S., Ferreira, L., Stern, M., Brown, S. y Grace, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*. 282: 439-442.
- Poorter, L., M. T. van der Sande, J. Thompson, E. J. M. M. Arets, A. Alarcón, J. Álvarez-Sánchez, N. Ascarrunz, P. Balvanera, G. Barajas-Guzmán, A. Boit, F. Bongers, F. A. Carvalho, F. Casanoves, G. Cornejo-Tenorio, F. R. C. Costa, C. V. de Castilho, J. F. Duivenvoorden, L. P. Dutrieux, B. J. Enquist,

- F. Fernández-Méndez, B. Finegan, L. H. L. Gormley, J. R. Healey, M. R. Hoosbeek, G. Ibarra-Manríquez, A. B. Junqueira, C. Levis, J. C. Licona, L. S. Lisboa, W. E. Magnusson, M. Martínez-Ramos, A. Martínez-Yrizar, L. G. Martorano, L. C. Maskell, L. Mazzei, J. A. Meave, F. Mora, R. Muñoz, C. Nytch, M. P. Pansonato, T. W. Parr, H. Paz, E. A. Pérez-García, L. Y. Rentería, J. Rodríguez-Velazquez, D. M. A. Rozendaal, A. R. Ruschel, B. Sakschewski, B. Salgado-Negrete, J. Schiatti, M. Simões, F. L. Sinclair, P. F. Souza, F. C. Souza, J. Stropp, H. ter Steege, N. G. Swenson, K. Thonicke, M. Toledo, M. Uriarte, P. van der Hout, P. Walker, N. Zamora y M. Peña-Claros. 2015. Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*. 2015: 1-15.
- Quinto, M. H. y Moreno, F. H. 2011. Dinámica de la biomasa aérea en un bosque pluvial tropical del Chocó Biogeográfico. *Revista de la Facultad Nacional Agrícola de Medellín*. 64: 5917-5936.
- Raj-Aryal, D., Gómez-Castro, H., García, N. C., Ruíz, O. J. J., Molina-Paniagua, L. F., Jiménez-Trujillo, J. A., Venegas-Venegas, J. A., Pinto-Ruíz, N., Ley de Coss, A. y Guevara-Hernández, F. 2018. Potencial de almacenamiento de carbono en áreas en un sistema ganadero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9 (48): 150-180.
- Ramos-Durón, F. J., Quiróz-Flores, A. J., Ramírez García-Armora, J. P. y Lot-Helgueras, A. 2004. Manual de Hidrobotánica. Muestreo y análisis de la vegetación acuática. AGT Editor. México D.F.
- Richter, F. 2000. Structure and dynamics of riverine forest vegetation. GTZ. Eschborn, Alemania.
- Rodríguez-Téllez, E., Domínguez-Calleros, P. A., Pompa-García, P. M., Quiróz, J. A. y Pérez-López, M. E. 2012. Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. *Gayana Botánica*. 69: 147-151.

- Rojas, B. J. 2019. Almacenamiento de carbono aéreo y del suelo del bosque de oyamel del Parque Nacional "El Chico", estado de Hidalgo. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, México.
- Romero-Berny, E.I. 2012. Manglares del Soconusco, Chiapas: estructura y cambios a nivel de paisaje. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, México.
- Rosales, J. 2003. Bosques y Selvas de Galería. En: Aguilera, M. (Ed.) Biodiversidad en Venezuela. Pp. 812-826. Polar, Ministerio de Ciencia y Tecnología, FONACIT. Caracas.
- Rzedowski, J. 1986. Vegetación de México. Limusa. Ciudad de México, México.
- Salas-Macías, C., Montes-Escobar, K., Sánchez-Sancán, G., Alcivar-Chavez, W., Murillo-Choez, A., Vera-Cedeño, F., Bolcato-Bolcato, D. e Iglesias-Abad, S. 2020. Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva y suelos del bosque y vegetación protector El Artesan-Ecuadorian Hands. Joa, Jipijapa. *Ecosistemas*. 29: 1973.
- Salwasser, H., MacCleery, D. W. y Snellgrove, T. 1992. A perspective on people, wood, wildlife and environment in U. S. forest stewardship. USDA Forest Service, CFAN. EUA.
- Sampayo-Maldonado, S., Moreno-Aldaco, J. D., Lara-Ponce, E. y Piña-Ruiz, H. H. 2020. Diversidad y estructura del bosque de galería del río Fuerte, Sinaloa. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 8: e3046.
- Sánchez, S. R. 1986. Vegetación de galería y sus relaciones hidrogeomorfológicas. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 1: 70-78.
- Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. En: Simposio Internacional de Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. UACH. Valdivia.

- Torres-Torres, J. J., Mena-Mosquera, V. E. y Álvarez-Dávila, E. 2017. Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. *Entramado*. 13: 200-209.
- Torres-Torres, J. J., Mena-Mosquera, V. E. y Rueda-Sánchez, M. N. 2022. Influencia de la altitud sobre la estructura, composición florística y carbono de bosques del Chocó. *UNED Research Journal*. 14(1): e3746.
- Treviño-Garza, E. J., Cavazos-Camacho, C. y Aguirre-Calderón, O. A. 2001. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Madera y Bosques*. 7(1): 13-25.
- Vásquez, L. A. y H. P. Arellano. 2012. Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del Sur y Noroccidente de Córdoba. En: J.O. Rangel-Ch. (ed). Colombia Diversidad Biótica XII. La región Caribe de Colombia: 923-961. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales.
- Vázquez, G. J. A. y T. J. Givnish. 1998. Altitudinal gradient in tropical forest composition, structure and diversity in the Sierra de Manantlán. *Journal of Ecology*. 89: 999-1020.
- Verdugo-Morales, E. G., E. Alanis-Rodríguez, G. Cuellar-Rodríguez, J. I. Yerena-Yamallel, A. C. Collantes-Chávez y J. E. Silva-García. 2022. Composición, estructura y diversidad arbórea en un gradiente altitudinal de un bosque mesófilo de montaña en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Interciencia*. 47 (6): 218-224.
- Ward, J. V., K. Tockner, D. B. Arscott y C. Claret. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*. 47 (4): 517-539.
- WOF. 2023. World Flora Online. <http://www.worldfloraonline.org>

Zanne, A. E., G. López-González, D. A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, S. L. Lewis, R. B. Miller, N. G. Swenson, M. C. Wiemann y J. Chave. 2009. Global Wood Density Database-DRYAD. <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

Zarco-Espinosa, V. M., J. I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 26 (1): 1-17.

ANEXOS



Recorrido de reconocimiento para el sector bajo de la cuenca.



Establecimiento de parcela en el sector bajo de la cuenca.



Toma de datos en el sector bajo de la cuenca.



Prensado en campo y traslado de ejemplares botánicos



Traslado de material a través del río para muestreo en el sector medio.



Establecimiento de parcelas en el sector medio.



Toma de muestras botánicas para identificación en herbario.



Prensado en campo de ejemplares botánicos.



Establecimiento de parcelas en el sector alto.



Identificación de especies y toma de datos en campo.



Prensado de muestras en el sector medio, durante un segundo muestreo para obtención de estructuras reproductivas.



Segundo muestreo en zona media para obtener estructuras reproductivas y corroborar especies.