



**UNIVERSIDAD DEL MAR**  
CAMPUS PUERTO ESCONDIDO

---

---

**“Estimación del carbono almacenado en la biomasa  
arbórea de un predio en la Costa de Oaxaca”**

**Tesis**

Que para obtener el Título Profesional de  
**Ingeniero Forestal**

Presenta

**Guadalupe Pinacho Ruiz**

Directora

Dra. Juana Laura Rivera Nava

Puerto Escondido, Oaxaca 2022

## **DEDICATORIA**

Dedico este gran logro a mi familia, en especial a mi mamá Flaviana y mi papá Rogelio, a quienes respeto, admiro y valoro mucho. Reconozco el gran apoyo que siempre me han brindado a mí y a mis hermanos.

A mis hermanas y hermanos Laura, Isabel, Rosendo, Daniel y Dayani, por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado y por sus palabras que han motivado la realización de este gran proyecto. A mis dos hermanos que me hubiera gustado conocer y que siempre los llevo en mi corazón, aunque no estén con nosotros.

A mis abuelas y abuelos Ponciana<sup>+</sup>, Valentina, Nahum<sup>+</sup> y Otilio<sup>+</sup>, aunque muchos ya no están conmigo siempre los llevo presentes en mis pensamientos.

A mis sobrinos Jared, Isaac, Mauricio, Emmanuel Josafat y al que viene en camino.

A mí, por el gran esfuerzo, empeño y dedicación en el desarrollo del proyecto, porque sé que no fue fácil y estoy muy contento de haberlo logrado.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme conocer este mundo maravilloso, por darme salud, bienestar, alimento y sobre todo por darme ésta gran familia Pinacho Ruiz. Por siempre cuidarme y proteger a toda mi familia.

Mi mayor agradecimiento es para mi familia por todo el apoyo brindado, a mi mamá y papá, quienes me motivaron para continuar mis estudios universitarios y por haberme prestado el terreno para establecer mis sitios de muestreo. A mi hermana Isabel por apoyarme durante toda la universidad y motivarme a superarme todos los días, mi hermano Daniel por apoyarme de manera incondicional a medir los árboles. A mi hermana Laura y hermano Rosendo quienes me han apoyado de manera cercana y lo valoro mucho. También a mi hermanita Dayani y mi sobrino Jared que me acompañaron en varias ocasiones al cerro y que con sus chistes y risas hicieron más ameno el trabajo.

Un profundo agradecimiento a la Dra. Juana Laura Rivera Nava por aceptar dirigir este proyecto de investigación, por su confianza y apoyo invaluable, por sus conocimientos y su acertada dirección del trabajo. Al M. en C. Rolando Galán Larrea por el apoyo brindado durante el primer recorrido al área de estudio y las sugerencias hechas al trabajo que sin duda alguna contribuyeron a mejorarlo. Al Dr. Celestino Sandoval García, Dr. Erik Pablo Carrillo y la M. en C. Gricelda Valera Venegas, integrantes del comité revisor, por su revisión crítica y las observaciones a esta tesis, que contribuyeron a fortalecerla.

Agradezco a la Universidad del Mar campus Puerto Escondido por darme la oportunidad de formarme como Ingeniero Forestal, por ser la casa de estudios en donde conocí a grandes personas, compañeros de generación y profesores investigadores que aportaron sus conocimientos a mi formación académica. Por las becas que me fueron otorgadas durante toda mi estancia universitaria. A la biblioteca por apoyarme en la recuperación de literatura muy importante para este trabajo.

Al biólogo Gonzalo Juárez García de la Sociedad para el Estudio de los Recursos Bióticos de Oaxaca A.C. por el apoyo que me brindó en la determinación de algunas especies forestales. Al Dr. Miguel Ángel De Labra-Hernández Profesor-Investigador de la Universidad del Mar por su asesoría en el uso del programa *Estimates*.

A los biólogos Elizabeth Yuridia Vásquez Ambrosio e Ismael Espinosa Poblano quienes atendieron de buena forma mis invitaciones a campo y me apoyaron a medir los árboles. A mis primos Agustín y Jonathan quienes me ayudaron en gran parte del inventario forestal.

A mis compañeros de la carrera Alex, Luis y Mario, con quienes compartí diversos momentos en clases, salidas a campo y que con su presencia hicieron menos solitario los estudios universitarios.

Mis sinceros agradecimientos a todas y todos aquellos que de alguna u otra forma me apoyaron en la realización de este gran proyecto.

Gracias, muchas gracias.

## *Un recuerdo que dejo*

*¿Con qué he de irme?*

*¿Nada dejaré en pos de mi sobre la tierra?*

*¿Cómo ha de actuar mi corazón?*

*¿Acaso en vano venimos a vivir, a brotar sobre la tierra?*

*Dejemos al menos flores*

*Dejemos al menos cantos*

*Nezahualcóyotl*

*Gran poeta prehispánico*

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
III. JUSTIFICACIÓN .....	5
IV. OBJETIVOS.....	7
4.1. Objetivo general .....	7
4.2. Objetivos específicos .....	7
V. HIPÓTESIS.....	7
VI. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
6.1. La captura de CO <sub>2</sub> como un servicio ecosistémico de regulación.....	8
6.2. El ciclo del carbono .....	9
6.3. Efecto invernadero: CO <sub>2</sub> como gas principal.....	11
6.4. Los ecosistemas forestales como almacenadores de CO <sub>2</sub> .....	12
6.5. El ecosistema de selva baja caducifolia .....	13
6.6. Estructura y composición de la selva baja caducifolia .....	15
6.7. Métodos para estimar la biomasa y carbono en los bosques tropicales ....	16
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
7.1. Ubicación y descripción del área de estudio .....	18
7.2. Muestreo en campo y levantamiento de datos dasométricos.....	20
7.2.1. Diseño de muestreo .....	20
7.2.2. Rodalización o estratificación del área de estudio .....	22
7.2.3. Tamaño y distribución de la muestra .....	22
7.2.4. Esfuerzo de muestreo .....	24
7.3. Análisis estructural de la vegetación arbórea.....	25

7.3.1. Estructura vertical .....	25
7.3.2. Estructura horizontal .....	25
7.3.3. Índices estructurales .....	26
7.4. Composición florística .....	28
7.5. Estimación de la biomasa aérea de los árboles .....	29
7.6. Estimación del carbono almacenado y CO <sub>2</sub> capturado en el predio .....	30
VIII. RESULTADOS.....	31
8.1. Estratificación del área de estudio .....	31
8.2. Tamaño y distribución de la muestra .....	31
8.3. Estructura de la vegetación arbórea del predio .....	33
8.4. Índices estructurales .....	43
8.5. Composición florística .....	49
8.6. Esfuerzo de muestreo .....	53
8.7. Biomasa aérea total, carbono almacenado y CO <sub>2</sub> capturado en el predio.	55
8.7.1. Especies forestales que almacenan mayor biomasa .....	58
IX. DISCUSIÓN .....	59
9.1. Estructura y composición florística .....	59
9.2. Biomasa aérea y carbono .....	61
X. CONCLUSIÓN .....	63
XI. LITERATURA CITADA.....	65
XII. ANEXOS .....	84
ANEXO 1. Glosario de términos.....	84
ANEXO 2. Densidad (g cm <sup>-3</sup> ) de las especies forestales. ....	86
ANEXO 3. Fotografías del trabajo de campo .....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa aérea de los árboles.....	29
Tabla II. Asignación del tamaño de muestra por cada estrato.....	32
Tabla III. Variables estructurales por estrato y conglomerado evaluadas en los 28 sitios de muestreo secundario.....	34
Tabla IV. Variables estructurales agrupadas por clase diamétrica para el estrato A (SBC) y B (VS-SBC). Los datos corresponden a 0.96 ha de SBC y 0.16 ha de VS-SBC. Entre paréntesis se indica su equivalente en porcentaje con respecto al estrato.....	36
Tabla V. Valores de la estructura cuantitativa de los 28 sitios de muestreo secundario del predio "El carnero". Los valores máximos y mínimos se indican en negritas y subrayados respectivamente.....	37
Tabla VI. Especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) e índice de valor forestal (IVF) en el estrato de la selva baja caducifolia. ....	43
Tabla VII. Especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) en los siete conglomerados de muestreo establecidos en el área de estudio. ....	45
Tabla VIII. Especies con mayor índice de valor forestal (IVF) en los siete conglomerados de muestreo establecidos en el área de estudio.....	47
Tabla IX. Especies de árboles registrados en el predio "El carnero".....	50
Tabla X. Riqueza arbórea del predio "El carnero" evaluada con 4 estimadores no paramétricos. ....	53
Tabla XI. Valores estimados de biomasa aérea total, carbono almacenado y CO <sub>2</sub> capturado por estrato en el predio "El carnero".....	56
Tabla XII. Especies forestales que contribuyen con la mayor biomasa aérea estimada.....	58
Tabla XIII. Comparación de diversos trabajos realizados en vegetación tropical en México .....	60
Tabla XIV. Trabajos de cuantificación de la biomasa y carbono almacenado en la selva baja caducifolia de México.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo general del carbono (Peña <i>et al.</i> , 2013) .....	10
Figura 2. Ubicación del predio “El carnero” en Santa María Colotepec.....	18
Figura 3. Conglomerado constituido por cuatro sitios de muestreo rectangulares de 400 m <sup>2</sup> (CONAFOR, 2010).....	21
Figura 4. Mapa de estratificación y ubicación de los conglomerados en el área de estudio.....	33
Figura 5. Distribución de frecuencias de altura de los siete conglomerados (c1...c7) establecidos en la selva baja caducifolia (SBC) y la vegetación secundaria (VS-SBC). Las clases de altura se presentan en intervalos de 2 m...	39
Figura 6. Distribución de frecuencias diamétricas de los siete conglomerados (c1...c7) establecidos en la selva baja caducifolia (SBC) y la vegetación secundaria de la selva baja caducifolia (VS-SBC). Las categorías diamétricas de 5 cm de amplitud. ....	40
Figura 7. Distribución de frecuencias de los árboles de mayor altura (10%) de los siete conglomerados (c1...c7). Las categorías diamétricas de 5 cm de amplitud. SBC= selva baja caducifolia, VS-SBC= vegetación secundaria de la selva baja caducifolia.....	42
Figura 8. Curvas de acumulación de la riqueza arbórea observada (S Mean) y estimadas (Chao 2, ICE, Jacknife 1 y Jacknife 2) en la selva baja caducifolia y la vegetación secundaria.....	54
Figura 9. Valores de biomasa aérea de árboles en Kg con respecto al diámetro normal en cm. SBC= selva baja caducifolia.....	57

## RESUMEN

La selva baja caducifolia (SBC) o bosque tropical caducifolio (BTC) es uno de los ecosistemas más representativos de Oaxaca por la gran extensión que ocupa y la diversidad florística que alberga. Sin embargo, el cambio de uso de la tierra a través de la remoción de la vegetación y lotificación, el turismo, así como el sistema agrícola tradicional y la ganadería, favorecen la degradación de la selva y la disminución de los servicios ecosistémicos. En esta investigación, se estimó el volumen de carbono almacenado en la biomasa aérea de los árboles de la SBC en el predio “El carnero” ubicado en Valdeflores 2ª Sección, Santa María Colotepec, Costa de Oaxaca. A través de un muestreo estratificado por conglomerados con arreglo sistemático se establecieron 28 sitios de 400 m<sup>2</sup>, 24 en la condición primaria (estrato A) y 4 en la vegetación secundaria (estrato B). En cada sitio se identificaron y midieron todos los árboles con un DN ≥ 2.5 cm. La biomasa se estimó con tres ecuaciones alométricas, posteriormente el carbono (C) y CO<sub>2</sub> almacenado. Además, se determinó la estructura y composición florística. Se registraron un total de 3811 individuos de 56 especies, 53 para el estrato A y 21 para el estrato B. Las familias con el mayor número de especies fueron Fabaceae, Burseraceae, Anacardiaceae y Apocynaceae. La altura y DN promedio para la condición primaria fueron 6.2 m y 7.62 cm; mientras que para la vegetación secundaria fueron 6.1 m y 7.1 cm. En la condición primaria *Apoplanesia paniculata* destacó por sus mayores índices (IVI - IVF), distinguiéndose como una especie dominante; mientras que para la vegetación secundaria *Acacia cochliacantha* obtuvo el mayor IVI y *Guazuma ulmifolia* el mayor IVF. En la selva baja caducifolia (primaria) se estimó una biomasa aérea promedio de 92.61 ton ha<sup>-1</sup> y 54.37 ton ha<sup>-1</sup> para la vegetación secundaria. Por lo tanto, la condición primaria almacena 43.53 ton C ha<sup>-1</sup> y la vegetación secundaria 25.55 ton C ha<sup>-1</sup>. Se concluye que la estructura y composición de la vegetación arbórea afectan la capacidad de la selva baja caducifolia para capturar carbono.

**Palabras clave:** selva baja caducifolia, biomasa, carbono, servicios ecosistémicos.

## ABSTRACT

The low deciduous forest (LDF) or tropical deciduous forest (TDF) is one of the most representative ecosystems of Oaxaca for the great extension it occupies and the floristic diversity it houses. However, land use change through vegetation removal and lands divide into lots, tourism, as well as the traditional agricultural system and cattle raising, they favor forest degradation and the ecosystem services reduction. In this investigation, the carbon stored volume in the LDF trees aerial biomass was estimated at the “El carnero” property located in Valdeflores 2<sup>nd</sup> Section, Santa Maria Colotepec, Oaxaca Coast. Through systematic cluster stratified sampling, 28 sites of 400 m<sup>2</sup> were established, 24 in the primary condition (stratum A) and 4 in the secondary vegetation (stratum B). At each site all trees with a DBH $\geq$ 2.5 cm were identified and measured. Biomass was estimated with three allometric equations, posteriorly carbon (C) and stored CO<sub>2</sub>. In addition, the structure and floristic composition were determined. A total of 3,811 individuals of 56 species were recorded, 53 for stratum A and 21 for stratum B. The families with the highest number of species were Fabaceae, Burseraceae, Anacardiaceae, and Apocynaceae. The average height and DBH for the primary condition were 6.2 m and 7.62 cm; while for secondary vegetation they were 6.1 m and 7.1 cm. In the primary condition, *Apoplanesia paniculata* stood out for its higher indexes (IVI - FVI), distinguishing itself as a dominant specie; while for the secondary vegetation *Acacia cochliacantha* obtained the highest IVI and *Guazuma ulmifolia* the highest FVI. In the deciduous lowland forest (primary) an average aerial biomass of 92.61 ton ha<sup>-1</sup> was estimated and 54.37 ton ha<sup>-1</sup> for secondary vegetation. Therefore, primary condition stores 43.53 ton C ha<sup>-1</sup> and secondary vegetation 25.55 ton C ha<sup>-1</sup>. It is concluded that structure and composition of arboreal vegetation affect the capacity of the low deciduous forest to capture carbon.

**Key words:** low deciduous forest, biomass, carbon, ecosystem services.