

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL



Sistema Compatible de Ahusamiento - Volumen Comercial para  
*Rhizophora mangle* L. en el Manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

Por:

**ZAIRA GUADALUPE IBARRA MANZANARES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Sistema Compatible de Ahusamiento - Volumen Comercial para  
*Rhizophora mangle* L. en el Manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

Por:

**ZAIRA GUADALUPE IBARRA MANZANARES**

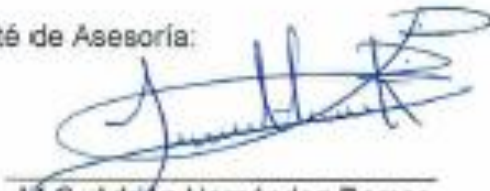
TESIS


Presentada como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Celestino Flores López  
Asesor Principal Interno

  
M.C. Adrián Hernández Ramos  
Asesor Principal Externo

  
M.C. Salvador Valencia Manzo  
Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.  
Junio 2019

Esta tesis ha sido apoyada por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No. 30-38111-425103001-2175, Proyecto que pertenece al Departamento Forestal, a cargo del Profesor Investigador Dr. Celestino Flores López.

## DEDICATORIA

A mis padres:

Claudia Estela Manzanares Betancourt y Francisco Gerardo Ibarra Camacho, Gracias por su cariño y amor, por darme siempre su confianza, comprensión y apoyo incondicional, por creer en mí y alentarme a seguir cumpliendo cada meta que me propongo, por educarme con buenos principios y valores, infinitas gracias por luchar para darme lo mejor cada día, por eso y más hoy les dedico este logro tan importante en mi vida.

A mis hermanos:

Asis Gerardo Tadeo Ibarra Manzanares y Alayla Guadalupe Ibarra Manzanares, por todos los momentos de felicidad en nuestras vidas, gracias por su amor y cariño incondicional, por su apoyo y comprensión durante estos cinco años de mi carrera profesional. Gracias por confiar en mí y estar siempre a mi lado.

A la memoria de mi abuelita María Esthela Betancourt Valenzuela.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias DIOS por la familia que me diste, por darme salud, paciencia y fortaleza para cumplir lo que me propongo, por el entendimiento y sabiduría y por darme la capacidad de alcanzar mis metas.

Gracias flaquita por ayudarme a lograr esta meta y por estar siempre cuidando de mí y guiando mis pasos.

A mi *ALMA MATER* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas y por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente.

A cada uno de los profesores del Departamento Forestal por brindarme su apoyo, comprensión y conocimientos durante mi formación profesional.

Al Ing. Gil Cabrera por brindarme su apoyo, paciencia, comprensión y afecto durante éstos cinco años de mi formación profesional.

A mis asesores el Dr. Celestino Flores López, el M.C. Adrián Hernández Ramos y el M.C. Salvador Valencia Manzo, gracias por brindarme su confianza, atenciones, apoyo y comprensión, por su disposición de revisión y por brindarme las herramientas y conocimientos para realizar ésta investigación.

A Don Cecilio y al personal que labora en el manglar El Chupadero, gracias por sus atenciones durante la estancia de trabajo de campo en este lugar.

Le agradezco a la familia Vázquez Ramos por la hospitalidad y atenciones que me brindaron en su hogar, en especial a Brenda por su amistad durante estos cinco años de nuestra carrera profesional, gracias por tu apoyo, comprensión y afecto correspondido.

A mis compañeros Sergio González, Fernando Arguello, César Nájera y Arley Gómez por su apoyo en el levantamiento de datos de campo para éste estudio.

A mis compañeros y amigos Jonatan Sánchez Torres, Francisco Sánchez Macías, Juan Carlos Zavala Alcaña, Bárbara Sánchez Sánchez, Edgar Guzmán, Juan Ramírez Méndez, gracias por su amistad y afecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS .....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos e hipótesis.....	7
2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	8
2.1 Área de estudio.....	8
2.2 Selección de la muestra y medición de los árboles .....	8
2.3 Cubicación de árboles individuales.....	11
2.4 Modelos compatibles de ahusamiento-volumen comercial ajustados.....	12
2.5 Análisis de datos.....	14
2.6 Estadísticos para la selección del sistema compatible con mejor ajuste .	14
2.7 Validación de las tablas de volumen comercial.....	14
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	16
3.1 Ajuste de funciones compatibles de ahusamiento – volumen comercial..	16
3.2 Selección de función compatible de ahusamiento – volumen comercial..	16
3.3 Validación del mejor sistema compatible de ahusamiento – volumen comercial .....	19
4 CONCLUSIONES.....	24
5 RECOMENDACIONES .....	25
6 LITERATURA CITADA.....	26

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y categoría de altura de <i>Rhizophora mangle</i> L. en El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	10
Cuadro 2. Valores de estadísticos descriptivos de los datos de campo para <i>Rhizophora mangle</i> L. en El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	11
Cuadro 3. Modelos compatibles de ahusamiento-volumen comercial aplicado a para <i>Rhizophora mangle</i> L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	13
Cuadro 4. Parámetros de los sistemas compatibles de ahusamiento-volumen comercial utilizados para <i>Rhizophora mangle</i> L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	17
Cuadro 5. Estadísticos de ajuste de los sistemas compatibles ahusamiento-volumen comercial utilizados para <i>Rhizophora mangle</i> L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	18
Cuadro 6. Estadísticos de validación de los tres mejores sistemas compatibles de ahusamiento-volumen comercial que se ajustan a <i>Rhizophora mangle</i> L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	19

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de área de estudio: Manglar El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	9
Figura 2. Diámetros (cm) (a) y volumen de fuste acumulado (m <sup>3</sup> ) (b) observados en función de la altura (m) de <i>Rhizophora mangle</i> L., en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	12
Figura 3. Comparación del volumen comercial y diámetro observado contra los predichos de volumen comercial (a) y diámetro (b) del sistema Cruz-Cobos <i>et al.</i> (2008) modificación de Cielito 1, para <i>Rhizophora mangle</i> L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	21
Figura 4. Comparación del volumen y diámetro observado contra los predichos de volumen comercial (a) y diámetro (b) del sistema Fang y Bailey Caso I-a (1999) para <i>Rhizophora mangle</i> L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	21
Figura 5. Diámetro (a) y volumen comercial (b) observados y estimados en relación a la altura de fuste a diferentes secciones de para <i>Rhizophora mangle</i> L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima. ....	22



## RESUMEN

Los sistemas compatibles de ahusamiento-volumen comercial permiten estimar con mayor precisión las dimensiones y volumen comercial a diferentes secciones del fuste y con ello realizar la valoración económica del recurso deseado. El objetivo de este estudio fue determinar un sistema de ahusamiento-volumen comercial compatible que describa el fuste y estime el volumen comercial para *Rhizophora mangle* L. en el manglar EL Chupadero, Tecomán, Colima. La base de datos consistió de 118 árboles como muestra base y 37 árboles para validación de los sistemas compatibles. Las variables alométricas evaluadas en campo fueron diámetros a diferentes alturas, longitud de diferentes secciones y altura total; a partir de ellas se obtuvo el volumen total y por sección del fuste. Se ajustaron cinco sistemas compatibles mediante la estimación simultánea de parámetros con el método de máxima verosimilitud e información completa ya que optimiza el ajuste de las funciones y disminuye los errores entre ambas ecuaciones. El sistema de Cruz-Cobos modificación de Cielito 1 presentó mejor ajuste a la hora de predecir el perfil fustal y volumen comercial, con una  $R^2_{aj}$  de 0.9648 y 0.9279, respectivamente, además de tomar en cuenta que se cumplen los supuestos de regresión como autocorrelación, normalidad y heterocedasticidad. Se realizó la validación del sistema compatible Cruz-Cobos modificación de Cielito 1 con la muestra independiente, obteniendo un error medio absoluto de 0.2593 para estimación de fuste y 0.00693 para volumen comercial y una diferencia agregada de 0.00184 y 0.00467 para fuste y volumen comercial, respectivamente.

Palabras clave: *Rhizophora mangle*, El Chupadero, volumen comercial, sistema compatible de ahusamiento, máxima verosimilitud.

## ABSTRACT

The commercial taper-volume compatible systems allow to have accurate in the dimensions and commercial volume in the different sections of the function and performance. The objective of this study was to determine a compatible commercial volume taper system that describes the stem and estimates the commercial volume for *Rhizophora mangle* L. in the mangrove El Chupadero, Tecomán, Colima. The database consisted of 118 trees as a base sample and 37 trees for validation of compatible systems. The allometric variables evaluated in the field were diameters at different heights, length of different sections and total height; from them the total volume and section of the stem was obtained. Five compatible systems were adjusted by means of the simultaneous estimation of parameters with the maximum likelihood method and complete information since it optimizes the adjustment of the functions and decreases the errors between both equations. The Cruz-Cobos system modification of Cielito 1 presented better adjustment when predicting the fustal profile and commercial volume, with  $R^2_{aj}$  of 0.9648 and 0.9279, respectively, in addition to taking into account that the regression assumptions are fulfilled as autocorrelation, normality and heteroscedasticity. Validation of the Cruz-Cobos compatible system modification of Cielito 1 was made with the independent sample, obtaining an absolute mean error of 0.2593 for stem estimation and 0.00693 for commercial volume and an aggregate difference of 0.00184 and 0.00467 for stem and volume commercial, respectively.

Keywords: *Rhizophora mangle*, El Chupadero, commercial volume, compatible taper system, maximum likelihood.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas con importancia significativa para el ser humano. Específicamente, los ecosistemas de manglar son comunidades vegetales de pantano, distribuidos en los litorales tropicales del mundo. Se desarrollan en los bordes de lagunas costeras, bahías, en las salidas de los ríos y zonas que tienen contacto con el mar, estos humedales tienen adaptaciones para vivir en agua salina ya sea flujo lento o estancada, y con presencia de suelos anegados (Mejía *et al.*, 2014; Moreno-Casasola e Infante, 2016).

Los manglares son árboles característicos de humedales costeros de zonas tropicales y subtropicales, generalmente con estructura densa, llegando a medir 30 m en aquellos árboles que se desarrollan en zonas de desembocadura de ríos. Son árboles de formación leñosa, de tipo arbórea o arbustiva, perennifolios, con troncos por lo general de forma recta. Este tipo de especies han desarrollado características reproductivas como la viviparidad, raíces neumatóforas que le permiten obtener oxígeno de la atmósfera y raíces de cable y anclado que le ayudan al soporte del fuste, penetrando el suelo hasta 60 cm. Cuentan con glándulas en las hojas que les da la oportunidad de expulsar las partículas de sal que tienen en exceso y sus hojas son gruesas, como las de las plantas del desierto pero con mayor tamaño (Flores-Verdugo *et al.*, 2006; Rzedowski, 2006; Moreno-Casasola e Infante, 2016).

Este tipo de especies tienen una respuesta en su desarrollo y caracterización de la estructura que los compone, determinado por la precipitación, las temperaturas, los sustratos y nutrientes disponibles y la salinidad existente en el sitio. Por lo que, estos factores han determinado cinco estructuras principales de mangle: de franja, ribereño, sobreinundado, cuenca y enano (Lugo y Snedaker, 1974; Snedaker y Getter, 1985).

En el mundo existen 54 especies de mangle distribuidas en 16 familias, agrupadas en 20 géneros; sin embargo, en México están presentes seis especies de las cuales las que predominan son cuatro: *Rhizophora mangle* L., *Conocarpus erectus* L., *Laguncularia racemosa* L. Gaerth y *Avicenia germanis* L. (Moreno-Casasola e Infante, 2009; Infante-Mata *et al.*, 2014). Éstas especies están presentes en las vertientes del Pacífico y del Atlántico; con ubicación limitada en la zona

intermareal, en costas tropicales y subtropicales, entre los 25° de latitud norte y sur (Rzedowski 2006; Travieso, 2006); mientras que las otras dos especies (*Avicenia bicolor* y *Rhizophora harrisonii*) sólo se han registrado en las costas de Chiapas y Oaxaca (Rico, 1981; Tovilla-Hernández y Romero-Berny, 2012; Santamaría-Damián *et al.*, 2016).

Los mangles se encuentran en los 17 estados de la República Mexicana con litoral. México registró 856,405 ha de cobertura de manglar para la década de 1970-1980, en 2005 disminuyó a 774,134 ha. En 2009, se estimó una superficie de 770,057, la Región Península de Yucatán contaba con el 55% (423,751 ha) de la extensión de manglares en México, seguida por la región Pacífico Norte con 24.5% (188,900 ha). Las regiones Golfo de México y Pacífico Sur contienen 11% (84,442 ha) y 8.6% (66,374 ha), respectivamente (CONABIO, 2009; Valderrama *et al.*, 2017). Contando la región Pacífico Centro, con la menor superficie de 0.9% (6,590 ha). A nivel estatal, Campeche posee la mayor superficie de manglar del país (25.2%), seguido por Quintana Roo (16.9%), Yucatán (12.9%), Sinaloa (10.5%) y Nayarit (9.3%). Los estados con menor cobertura fueron Michoacán (0.2%), Jalisco (0.3%) y Baja California (0.004%). Para el año 2015 el inventario realizado en las superficies de manglares, arrojó una superficie de 775,555 ha, lo que representa una ligera recuperación debido a las mejoras en el manejo, realizadas en distintas áreas del país (CONABIO, 2009; Valderrama *et al.*, 2017).

Los manglares son ecosistemas costeros con una gran importancia para el territorio nacional, ya que cuentan con una alta riqueza natural, proporcionando un medio óptimo para el desarrollo de variedad de funciones ecológicas necesarias para los recursos marinos y terrestres. Además de lo anterior, estos humedales proveen de recursos y servicios a la sociedad, como el alimento y desarrollo económico de las comunidades, debido a que estos sistemas ecosistémicos se encuentran situados en lagunas costeras, esteros y desembocaduras de ríos y arroyos, en donde se llevan a cabo actividades como la pesquería. En general, los ecosistemas de manglar son esenciales para el funcionamiento y desarrollo de zonas costeras (Cortina *et al.*, 2007; CONABIO, 2009; Díaz, 2011; Kauffman *et al.*, 2013).

Respecto a su importancia como fuente de economía para las comunidades aledañas a zonas de manglar, Basáñez *et al.* (2006) realizaron un estudio donde define las características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz, donde registraron que las especies de mayor importancia fueron *Avicenia germinans* y seguida de *Rhizophora. mangle*; respecto a las partes que son utilizadas se tiene como primer lugar el tallo, seguido de las ramas y por último la corteza. En general, el uso de estas especies son un 24% se destina a leña, 23% al cercado, 23% a la pesca, el 12% a la venta, 9% a la construcción de casas, 5% corresponde a medicina y 4% a la fabricación de muebles.

Otras de las funciones del manglar es el servir como reservorios de carbono, cumpliendo como uno de los servicios ambientales con mayor importancia y que a su vez es el menos estudiado. De acuerdo a Kauffman *et al.* (2013), en los manglares se encuentran las reservas más grandes de carbono, respecto a otro tipo de bosque, como, por ejemplo: las reservas de carbono de los manglares asociados a petenes ubicados en la Península de Yucatán son poco más del doble de las reservas en bosques y selvas tropicales de México. A nivel internacional se ha reconocido el papel de los manglares, tanto ecológico como económico. México, Brasil, Nigeria y Australia son los países con mayor superficie de manglar (FAO, 2007).

Por el contrario, los problemas que han surgido con el tiempo han ido fragmentando las áreas de distribución del manglar, a consecuencia de actividades antropogénicas. Entre las principales actividades humanas está el cambio de uso de suelo para el desarrollo de áreas agrícolas y ganaderas, desarrollo de actividades acuícolas en donde realizan la construcción de presas y desvío de cauces cuencas arriba, así como también, por el deseo de convertir las áreas de los manglares en espacios turísticos, industriales y áreas con desarrollo urbano. Adicionalmente a esto, las personas de las comunidades cercanas a estas áreas realizan el aprovechamiento de las especies de mangle de manera inadecuada y con ello obtener productos para su beneficio como los taninos, leña, usos medicinales, emplear esta especie como abono verde, para forraje y para la

construcción a base de sus fustes, actividades que han ido propiciando la disminución de la superficie en los manglares, no sólo en el estado de Colima, sino en todo el país (López y Ezcurra, 2002; Agraz-Hernández *et al.*, 2006; Travieso, 2006).

Otros de los impactos importantes que presenta la vegetación de manglar es la contaminación por desechos sólidos urbanos, contaminantes industriales, pesticidas y fertilizantes agrícolas, derrames de petróleo, así como también la modificación de los flujos hídricos (López y Ezcurra, 2002; Díaz, 2011). En general, toda la problemática presente en estas áreas es a consecuencia de la inapropiada legislación existente en el país, el desconocimiento del valor natural de los manglares y sobre todo la ausencia y/o malos planes de manejo forestal que se tienen en estos ecosistemas (Snedaker y Getter, 1985).

Con relación a lo antes mencionado, los estados de Guerrero y Colima se encuentran catalogados como sitios de baja protección en ecosistemas de manglar, de modo que afecta su área de distribución (CONABIO, 2009). Entre 1970-1980, Guerrero contaba con 16,348 ha. de manglar, para el 2010 la superficie disminuyó a 8,123 ha. y al año 2015 se tenía una superficie de 6,693 ha., este deterioro fue a causa de diversas actividades como el cambio de uso de suelo para zonas urbanas, presión sobre especies pesqueras, problemas de eutrofización, contaminación de desechos urbanos e industriales y por la modificación de la dinámica hídrica (Rodríguez *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2013; Valderrama *et al.*, 2017).

Por otra parte, Colima entre 1970-1980 tenía 6,589 ha. de mangle, en el año 2010 esta superficie disminuyó el 49.1%, sin embargo, para el año 2015 se presentó una ligera recuperación del 2% respecto al área de manglar presente en el 2010. Los impactos que han originado la pérdida de superficie en Colima, se debe a actividades antropogénicas, desarrollo turístico e industrial, así como también, a las actividades de extracción de sal y a desechos contaminantes por desagües industriales y urbanos (Rodríguez *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2013; Valderrama *et al.*, 2017).

De acuerdo al Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM), se tienen sistemas de monitoreo con la finalidad de generar información confiable

que sirva para posibles investigaciones y sobre todo para llevar a cabo un manejo sostenible de éste ecosistema, lo cual se logra a través de tres componentes: técnicas de percepción remota, estudios experimentales *in situ* (por ejemplo, estimaciones de biomasa vegetal) y el establecimiento de indicadores para monitoreo del efecto de acciones políticas públicas sobre los manglares (por ejemplo, conservación a través de servicios ambientales como la captura de carbono (Sajurjo, 2001; Kauffman *et al.*, 2013; Rodríguez y Troche; 2015 Valderrama *et al.*, 2017).

Una de las principales herramientas para la elaboración de inventarios forestales y planes de manejo, es la estimación de existencias volumétricas y distribución de productos forestales por medio de ecuaciones de ahusamiento-volumen (Corral-Rivas y Návar-Cháidez, 2009; Rachid *et al.*, 2014; Martínez-López y Acosta-Ramos, 2014.).

El ahusamiento fustal describe la disminución del diámetro que presenta el fuste desde la base hasta el ápice. El ahusamiento del fuste está determinado por las características de las especies, la ubicación y el sitio, la posición del fuste, así como las condiciones de la copa dentro del dosel (Cancino, 2006).

Las funciones de ahusamiento son expresiones matemáticas que describen el perfil del fuste, ya que se define la variación del diámetro a lo largo del tronco del árbol. La caracterización de la forma del fuste o ahusamiento del árbol mediante ecuaciones matemáticas, es útil a la hora de calcular el volumen de secciones del tronco con longitudes y diámetros distintos, dado que resulta difícil la medición de estas variables en árboles en pie. Por lo tanto, por medio de ésto se genera una herramienta dendrométrica como opción para la estimación precisa de las dimensiones y los volúmenes maderables comerciales de cualquier sección del fuste (Avery y Burkhart, 1983; Clutter *et al.*, 1983; Prodan *et al.*, 1997; Vargas-Larreta *et al.*, 2018). Una de las ventajas que tiene las ecuaciones de ahusamiento, es que permiten realizar una valoración económica más precisa de la producción de un sitio, comparado con las tarifas volumétricas sencillas, además de ser más recomendable por su uso práctico (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009).

Debido a que las tablas de ahusamiento-volumen tienen importancia para los planes de manejo y la valoración económica de los productos (Avery y Burkhart, 1983; Clutter *et al.*, 1983), en México se han realizado diversos estudios de ajuste de funciones de ahusamiento- volumen en diversas especies de coníferas como: *P. greggii* Engelm. en Hidalgo, México (Hernández *et al.*, 2017a); *P. arizonica*, *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltld., *P. durangensis* Martínez, *P. leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham, *P. teocote* Schiede ex Schltld. & Cham en Durango, México (Quiñonez-Barraza *et al.*, 2014); *P. pseudostrobus* Lindl. en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León (Tapia y Návar, 2011); *P. patula* Schltld Cham. en Zacualtipán, Hidalgo (Hernández *et al.*, 2013); *P. leiophylla* en Chavarría Nuevo, Durango (Montes de Oca *et al.*, 2011); *P. arizonica*, *P. durangensis*, *P. engelmannii* en la Unidad de Manejo Forestal 0808 en Chihuahua (Silva-González *et al.*, 2018).

A pesar de la gran diversidad de estudios realizados para el ajuste de ecuaciones de ahusamiento-volumen en diversas especies y sitios, para especies de manglar no existen estudios de ajuste de funciones de ahusamiento-volumen realizados en México u otros países. Cabe destacar que es importante tener una ecuación específica que estime el volumen total y comercial por especie y lugar, ya que la productividad por especie es influenciada por la calidad de sitio (Vargas-Larreta *et al.*, 2018).

A fin de contribuir a la estimación de existencias totales y comerciales de especies forestales y con ello contribuir a tener un aprovechamiento sostenible, el presente estudio tiene el propósito de ajustar diversas ecuaciones matemáticas simultáneas de ahusamiento-volumen que permita estimar el volumen total y comercial de *Rhizophora mangle* (especie que se encuentra en estatus amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010), en la localidad El Chupadero, Tecomán, Colima, ya que es uno de los humedales importantes como área de protección en México y que está establecido como sitio RAMSAR (Convención relativa a los humedales), debido a que alberga especies de aves residentes migratorias que aprovechan el hábitat para descanso, refugio y protección, además de propiciar el medio óptimo para alimentación y desove de muchas especies hidrobiológicas (CONANP, 2008).



## 1.1 Objetivos e hipótesis

El objetivo del presente trabajo fue determinar un sistema compatible de ahusamiento-volumen comercial para *Rhizophora mangle*, en la localidad El Chupadero del Estado de Colima.

Objetivos específicos:

- Ajustar cinco funciones de ahusamiento-volumen comercial de manera simultánea para *Rhizophora mangle*.
- Seleccionar la ecuación matemática de ahusamiento-volumen comercial de acuerdo a estadísticos descriptivos y con mejor ajuste a *Rhizophora mangle*.
- Validar la ecuación de mejor ajuste con una muestra independiente de datos de la especie de *Rhizophora mangle* de la localidad El Chupadero, Tecomán, Colima.

Hipótesis

$H_0$ = Ninguna de las ecuaciones compatibles es estadísticamente confiable al 95% para estimar el perfil fustal y volumen comercial de *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

$H_1$ = Al menos una de las ecuaciones compatibles es estadísticamente confiable al 95% para estimar el perfil fustal y volumen comercial de *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la localidad El Chupadero en el municipio de Tecomán, Colima, con coordenadas 18° 45' de latitud N y 103° 48' de longitud O, con altitud aproximada de los 2 a los 20 m (Figura 1). Es un área con suelos de tipo Chernozem háplico, Gleysol vértico, Solonchak gleico y Vertisol pélico (INIFAP y CONABIO, 1995); presenta clima cálido subhúmedo con lluvias de verano, y sequía en invierno, con temperatura media anual de 22°C (García y CONABIO, 1998.). El uso de suelo y vegetación que se encuentra en el área es mayormente perteneciente a manglares, con zonas pequeñas de manglares perturbados y de vegetación de otros humedales, además de que alrededor del área de estudio se encuentran áreas agrícolas-pecuarias (CONABIO, 2016). El Chupadero se encuentra en la región hidrológica Armería-Coahuayana (CONAGUA, 2007), en la cuenca hidrológica Río Coahuayana (CNA, 1998), dentro de las cuencas hidrográficas Río Coahuayana y Arroyo Las Pilas (INEGI *et al.*, 2007).

### 2.2 Selección de la muestra y medición de los árboles

El estudio se llevó a cabo en un humedal donde la distribución de *Rhizophora mangle* es de manera natural. El muestreo se realizó con la selección de árboles representativos del sitio y por categoría diamétrica; así mismo, aquellos individuos que presentaron fustes sin daños (orificios) y con copas completas.

Para la evaluación de los árboles se seleccionaron individuos de forma aleatoria por cada categoría diamétrica (CD) obtenida en campo. Los diámetros que se encontraron fueron de la categoría 0 (considerando la regeneración) a la categoría 40, sin embargo, de la categoría diamétrica 30 a la 40, solo fue posible encontrar uno o dos individuos por cada una (Cuadro 1).

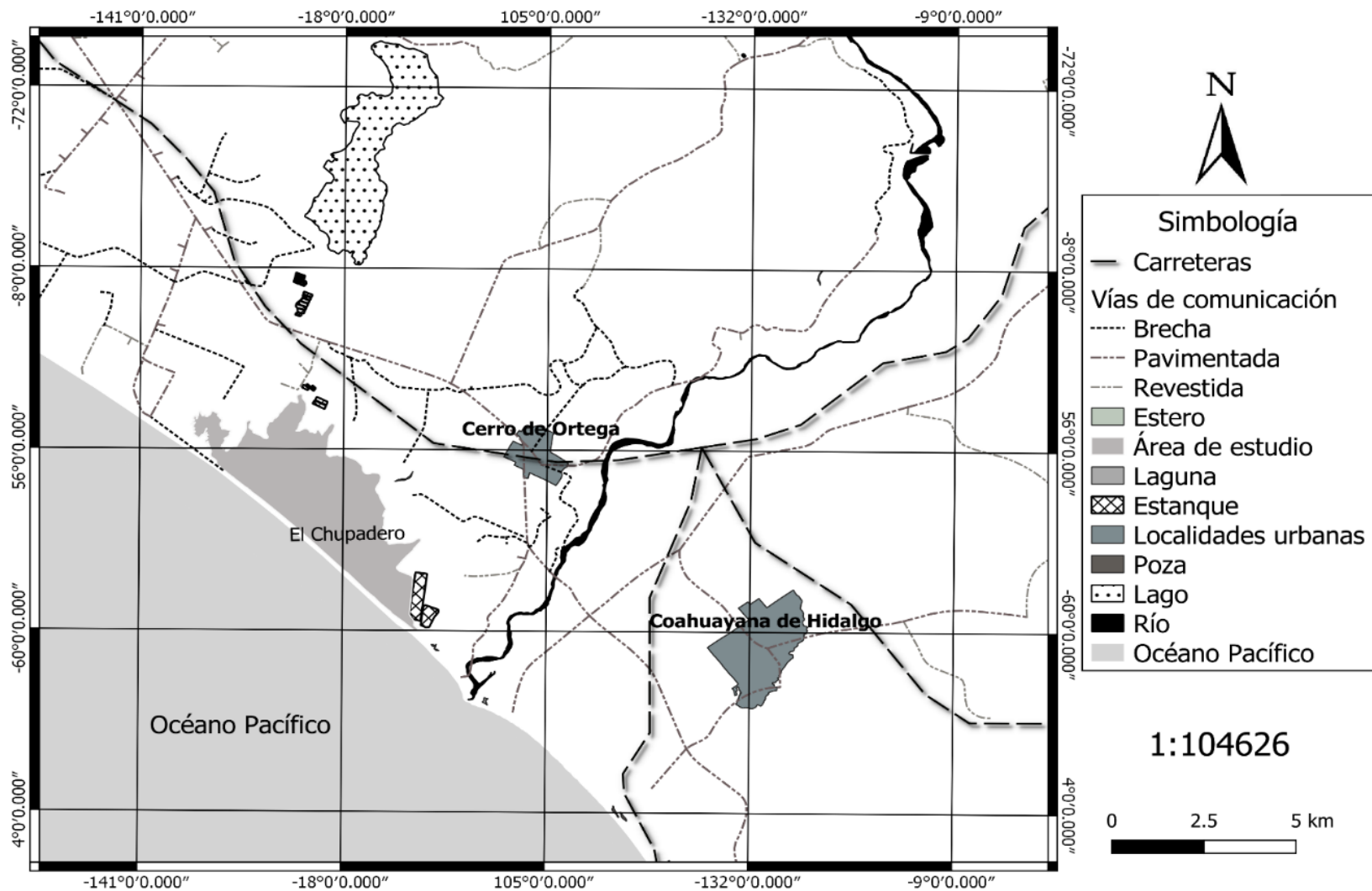


Figura 1. Mapa de área de estudio: Manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

Cuadro 1. Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y categoría de altura de *Rhizophora mangle* L. en El Chupadero, Tecomán, Colima.

		Categoría altura (m)				
		0	5	10	15	20
Categoría diamétrica (cm)	0	21 (5)	5 (2)			
	5	6 (2)	24 (6)	1		
	10		15 (4)	15 (3)		
	15		9 (2)	24 (7)	1	1
	20			13 (4)	1	1
	25		1	4 (1)	3 (1)	
	30				2	
	35				1	
	40					1
Total		27	54	56	9	2

(n)= Número de árboles por categoría de altura y diámetro utilizados para validación de sistema de ahusamiento-volumen comercial.

La medición se realizó en árboles en pie ya que *Rhizophora mangle* es una especie que se encuentra en estatus de amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010; las variables registradas fueron altura total (At); grosor de corteza a tres alturas del fuste (base, 0.3 m y 1.3 m); diámetro (cm) con corteza a diferentes alturas (Dm), la primera medida de diámetro en centímetros se realizó a la base del árbol (DB), después a 0.30 m (Dn) seleccionando con esta sección la categoría diamétrica a la que pertenece, posteriormente a 1.30 m (DAP) y después a cada metro, hasta llegar a la altura máxima o hasta donde fuera posible realizar la medición; y finalmente la longitud de cada sección del fuste (Hm).

En el Cuadro 2 se muestra los valores medios de las variables evaluadas, además de los valores mínimos y máximos y la desviación estándar (D.E).

Cuadro 2. Valores de estadísticos descriptivos de los datos de campo para *Rhizophora mangle* L. en El Chupadero, Tecomán, Colima.

Variable	Máximo	Media	Mínimo	D.E.
Diámetro normal (Dn) con corteza a 0.30 m (cm)	38.20	10.81	0.80	7.73
Altura de la sección a partir del tocón (m)	20.00	6.63	0.50	3.89
Diámetro a la base (DB) con corteza (cm)	38.00	11.52	1.00	7.81
Altura total del (At) árbol (m)	20.30	6.93	0.80	3.89

### 2.3 Cubicación de árboles individuales.

En la cubicación de las trozas individuales se utilizó la fórmula de Smalian

$$V_{\text{troza}} = \frac{\pi}{40,000} \left( \frac{(D_1^2 + D_2^2)}{2} \right) L$$

En el cálculo de volumen de la punta del fuste se utilizó la fórmula del cono truncado

$$V_{\text{punta}} = \frac{\pi}{12} (D_1^2 + D_2^2 + D_1 D_2) L$$

Dónde:

$D_1$  = Diámetro superior con corteza (cm) de la sección del fuste.

$D_2$  = Diámetro inferior con corteza (cm) de la sección del fuste.

$L$  = Longitud (m) de la sección del fuste.

$V_{\text{troza}}$  y  $V_{\text{punta}}$  = Volumen de la sección del fuste en  $\text{m}^3$ .

El volumen total acumulado se calculó con la suma de todas las secciones del árbol cubicadas con la fórmula de Smalian más el volumen de la punta del fuste.

Previamente se graficaron las variables de ahusamiento y volumen acumulado por árbol, lo que permitió observar la respuesta de los datos y con ello corregir y eliminar datos atípicos; se eliminó un árbol con tendencia distinta a la que se presenta en la gráfica, quedando así un total de 148 árboles (Figura 2 a y 2 b).

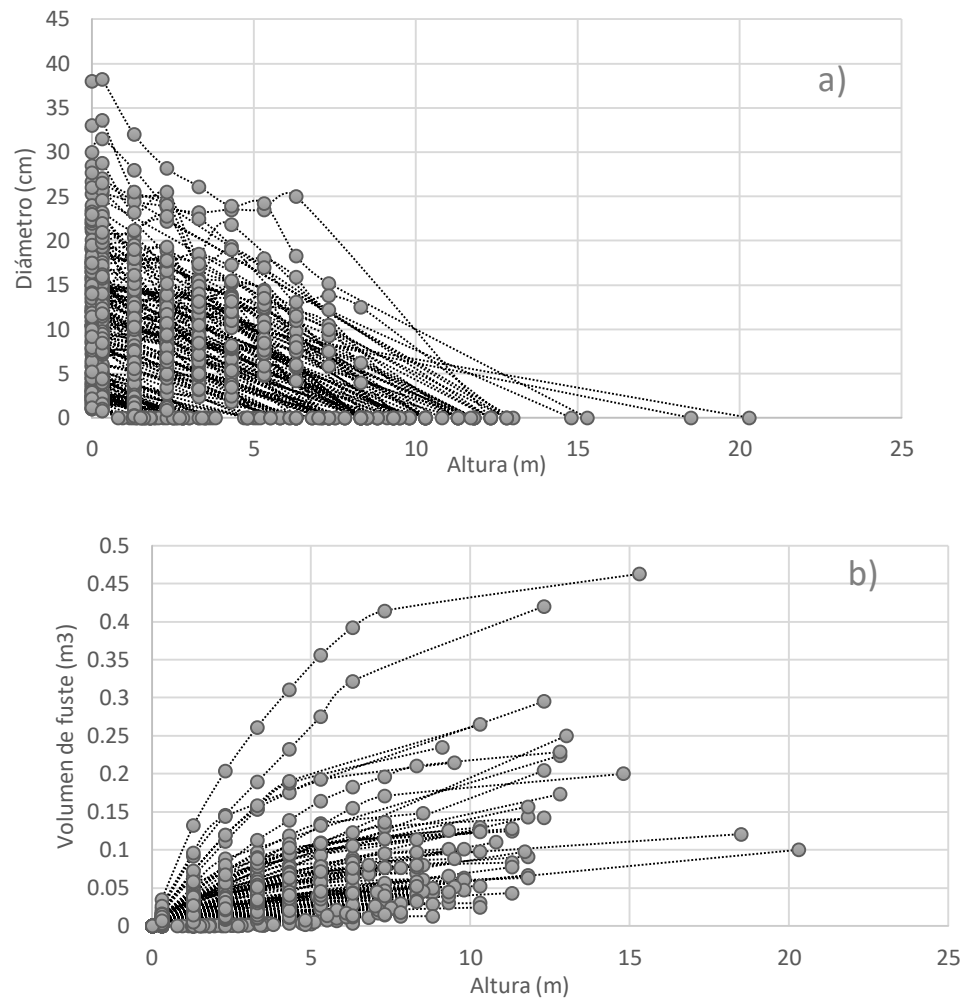


Figura 2. Diámetros (cm) (a) y volumen de fuste acumulado ( $m^3$ ) (b) observados en función de la altura (m) de *Rhizophora mangle* L., en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

#### 2.4 Modelos compatibles de ahusamiento-volumen comercial ajustados

Se analizaron cinco funciones compatibles de ahusamiento-volumen comercial, para predecir el perfil de los fustes en árboles de *Rhizophora mangle* y su volumen comercial (Cuadro 3).

Cuadro 3. Modelos compatibles de ahusamiento-volumen comercial aplicado a para *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

N°	Modelo	Expresión
1	Lenhart (1971)	$D_m = D_n \left( \frac{At - H_m}{At - 0.3} \right)^{1/\beta_1 - 2}$ $V_c = \alpha_0 D_n^{\alpha_1} At^{\alpha_2} - \beta_0 \left( \frac{D_m^{\beta_1}}{D_n^{\beta_1 - 2}} \right) (At - 0.3)$
2	Clutter (1980)	$D_m = k \frac{At - H_m}{[\beta_0 (\alpha_0 D_n^{\alpha_1 - \beta_2} At^{\alpha_2}) (1 - 2/\beta_1)]^{1/(\beta_1 - 2)}}$ $V_c = \alpha_0 D_n^{\alpha_1} At^{\alpha_2} \left[ (1 - \beta_0) \left( \frac{D_m^{\beta_1}}{D_n^{\beta_2}} \right) \right]$
3	Fang y Bailey caso I-a, (1999)	$D_m = \sqrt{\frac{\alpha_0}{\beta_0} D_n^{\alpha_1} At^{\alpha_2 - k/\beta_0} H_m^{(k - \beta_0)/\beta_0}}$ $V_c = \alpha_0 D_n^{\alpha_1} At^{\alpha_2} - \beta_0 D_m^2 (At - H_m)$
4	Fang y Bailey caso II -a, (1999)	$D_m = \left\{ \frac{(\beta_1 - 2)k}{(\beta_1 - 2\beta_2)\beta_0} [(At - H_m)^{1 - 2\beta_2/\beta_1} - At^{1 - 2\beta_2/\beta_1}] + \left( \frac{\alpha_0}{\beta_0} D_n^{\alpha_1} At^{\alpha_2} \right)^{1 - 2/\beta_1} * (At - H_m)^{-\beta_0/\beta_1} \right\}^{1/(\beta_1 - 2)}$ $V_c = \alpha_0 D_n^{\alpha_1} At^{\alpha_2} - \beta_0 D_m^{\beta_1} (At - H_m)^{\beta_2}$
5	Cruz-Cobos <i>et al.</i> , 2008, modificación de Cielito 1.	$D_m = \sqrt{D_n^{\alpha_0} (\beta_0 x + \beta_1 x^2 + \beta_2 x^3)}$ $V_c = k D_n^{\alpha_0} At^{-1} \left\{ \beta_0 \left[ \left( At H_m - \frac{H_m^2}{2} \right) - \left( At H_y - \frac{H_y^2}{2} \right) \right] - \frac{\beta_1}{3H_t} (At - H_m)^3 - (At - H_y)^3 - \frac{\beta_2}{4H_t} (At - H_m)^4 - (At - H_y)^4 \right\}$

Dónde:  $D_n$ = diámetro normal (m);  $D_m$ = diámetro a la altura  $H_m$  desde el nivel de la base (m);  $At$ = altura total del árbol (m);  $H_m$ = altura a diferentes secciones del fuste a partir de la base (m);  $H_y$ = altura del tocón (m);  $V_c$  = volumen comercial variable en (m<sup>3</sup>);  $k = \pi/4$  cuando diámetro y altura están dados en metros;  $\alpha_i, \beta_i$  = coeficientes a determinar mediante el ajuste.

## 2.5 Análisis de datos

La muestra para el análisis de datos consta de 148 árboles de los cuales 111 serán utilizados para el ajuste. Los sistemas compatibles ahusamiento-volumen comercial se ajustaron por medio del procedimiento MODEL, aplicando el método de estimación de máxima verosimilitud de información (FIML), en el paquete estadístico SAS 9.0 para facilitar el ajuste y la obtención de los parámetros en las ecuaciones de forma simultánea. Así mismo, se evaluó el cumplimiento de los principales supuestos de regresión (heterocedasticidad, normalidad y autocorrelación) con la finalidad de garantizar la validez y estabilidad del modelo.

## 2.6 Estadísticos para la selección del sistema compatible con mejor ajuste

La evaluación y selección de la mejor ecuación se determinó de acuerdo a los estadísticos de ajuste como: mayor valor de coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj}$ ) y los menores valores de Suma de Cuadrado del Error (SCE), Cuadrado Medio del Error (CME) y la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RCME) (Prodan *et al.*, 1997; Vargas-Larreta *et al.*, 2018). Además, se evaluaron los valores de los estadísticos de Durbin-Watson (DW), Shapiro-Wilk y White's Test. Se calificaron todos los estadísticos antes mencionados, en donde se asignaron valores de uno a cinco de forma descendente, siendo uno el valor con menor importancia y cinco el valor del sistema estadístico con mayor importancia, por lo que al final la sumatoria con mayor valor corresponde al mejor modelo ajustado (Tamarit *et al.* 2017).

## 2.7 Validación de las tablas de volumen comercial

Para la validación del sistema compatible ahusamiento-volumen comercial se utilizó una muestra aleatoria del 25% del total de árboles medidos, considerando al menos siete árboles de cada una de las siguientes categorías diamétricas representativas del sitio: 0, 5, 10, 15 y 20. Dichos árboles no forman parte de la muestra original para el análisis de los modelos ahusamiento-volumen comercial.



Los 37 árboles seleccionados fueron cubicados de la misma manera que la muestra original a fin de evaluar el modelo seleccionado con mejor ajuste a la base de datos principal.

La validación de los modelos compatibles ajustados considera la capacidad para la estimación de perfil fustal y volumen comercial, éste procedimiento se deberá realizar por medio de los siguientes estadísticos:

a) Raíz del cuadrado medio del error

$$RCME = \sqrt{\sum (O_i - E_i)^2 / n}$$

b) Error medio absoluto (EMA)

$$EMA = \frac{\sum |O_i - E_i|}{n}$$

c) Diferencia agregada (DA)

$$DA = \frac{\sum (O_i - E_i)}{n}$$

Dónde:

$O_i$  = Valor observado

$E_i$  = Valor estimado

$n$  = número de observaciones.

El estadístico DA, cuando el valor es negativo éste determina que hay sobreestimaciones y por el contrario cuando DA es valor positivo indica una subestimación. Los estadísticos analizados deberán tener valores cercanos a cero (Prodan *et al.*, 1997).

Posteriormente para confirmar el buen ajuste del mejor modelo se graficaron los datos de diámetro observado con los estimados y el volumen observado con el estimado de las secciones de cada árbol utilizado en la muestra de validación; además se indicó la línea de tendencia con su respectiva  $R^2$  y ecuación del gráfico.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Ajuste de funciones compatibles de ahusamiento – volumen comercial

Los estadísticos del ajuste de los cinco modelos compatibles se muestran en el Cuadro 4. Los parámetros de los sistemas ajustados fueron significativos con un nivel de confianza del 99% a excepción del sistema de Clutter (1980), el cual presenta dos parámetros no significativos, y por ello se descarta de la selección, además de no presentar un ajuste correcto a los datos utilizados.

#### 3.2 Selección de función compatible de ahusamiento – volumen comercial

El sistema compatible con mejor ajuste a los datos utilizados tanto para la descripción de fuste y volumen comercial fue el de Cruz-Cobos *et al.* (2008) modificación de Cielito 1 (Cuadro 5), presentando la mayor  $R^2_{aj}$  con valor de 0.9648 para ahusamiento y 0.9279 en la ecuación de volumen, un poco por debajo del coeficiente de determinación ajustado en el mismo modelo aplicado a *Pinus arizonica* con 0.97 en volumen comercial y 0.96 para ahusamiento, en *P. durangensis* con valores de 0.99 y 0.97 para volumen comercial y ahusamiento, respectivamente y *P. engelmannii* con valores de 0.97 volumen comercial y 0.96 en ahusamiento; esto en el Estado de Chihuahua (Silva-González *et al.*, 2018); además de tener los menores valores de RCME tanto para la determinación de ahusamiento como la predicción de volumen comercial, dichos valores son más bajos comparados con el estudio aplicado a *Pinus patula* Schltdl. *et* Cham. con 0.0932 y 3.374 en volumen comercial y ahusamiento, respectivamente (Hernández *et al.*, 2013).

En segundo término, el mejor ajuste lo presentó el sistema de Fang y Bailey Caso I -a, 1999 y en tercer lugar el de Fang y Bailey Caso II -a, 1999 (Cuadro 5).

Cuadro 4. Parámetros de los sistemas compatibles de ahusamiento-volumen comercial utilizados para *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

Sistema compatible ahusamiento- volumen	Valores de los Parámetros de los modelos ajustados					
	B0	B1	B2	A0	A1	A2
Fang y Bailey Caso I-a (1999)	0.286922			0.28274	1.779504	0.874554
	<.0001			<.0001	<.0001	<.0001
Clutter (1980)	-0.01202	0.930172	2.150468	111.4379	3.171379	-1.1483
	0.1218	<.0001	<.0001	0.0369	<.0001	<.0001
Lenhart (1971)	-0.02476	0.358025		0.110474	1.140928	0.897573
	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001
Cruz-Cobos <i>et al.</i> (2008), modificación de Cielito 1.	1.161158	-2.09038	1.692093	1.783212		
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		
Fang y Bailey Caso II-b (1999)	5.42636	1.933529	-0.21926	1.950293	1.709031	0.112287
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Cuadro 5. Estadísticos de ajuste de los sistemas compatibles ahusamiento-volumen comercial utilizados para *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

Sistema de volumen compatible	Ecuación de ahusamiento				
	SCE	CME	RCME	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	Calificación
Fang y Bailey Caso I-a (1999)	0.1461	0.000248	0.0158	0.9586	24
Clutter (1980)	0.1688	0.000287	0.0170	0.9521	8
Lenhart (1971)	0.1491	0.000253	0.0159	0.9579	20
Cruz-Cobos <i>et al.</i> (2008), modificación de Cielito 1	0.1241	0.000211	0.0145	0.9648	30
Fang y Bailey Caso II-b (1999)	0.1601	0.000273	0.0165	0.9545	19

Sistema de volumen compatible	Ecuación de volumen comercial				
	SCE	CME	RCME	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	Calificación
Fang y Bailey Caso I-a (1999)	0.2499	0.000425	0.0206	0.8898	24
Clutter (1980)	1.3477	0.002300	0.0479	0.4047	11
Lenhart (1971)	0.7377	0.001260	0.0355	0.6733	19
Cruz-Cobos <i>et al.</i> (2008), modificación de Cielito 1	0.1635	0.000278	0.0167	0.9279	28
Fang y Bailey Caso II-b (1999)	0.4606	0.000785	0.0280	0.7965	23

Dónde R<sup>2</sup><sub>aj</sub>= valor de coeficiente de determinación ajustado, SCE= Suma de Cuadrados del Error, CME= Cuadrado Medio del Error; RCME= Raíz del Cuadrado Medio del Error.

### 3.3 Validación del mejor sistema compatible de ahusamiento – volumen comercial

Con la finalidad de constatar los resultados, se realizó la validación del mejor modelo con 37 árboles independientes de la muestra original. Se realizó la comparación de los tres mejores modelos con base a medidas del EMA, de la REMC y la DA (Cuadro 6); dichos estadísticos son recomendados por Prodan *et al.* (1997), además de ser utilizados en algunos estudios, por ejemplo: tabla de volumen para *Buchenavia capitata* Vahl (Machado *et al.*, 2003); sistema compatible de ahusamiento-volumen comercial para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Hidalgo, México (Hernández *et al.*, 2017a) y modelos compatibles de ahusamiento-volumen para árboles de *Gmelina arborea* Roxb. en El Alto Magdalena, Colombia (Niño *et al.*, 2018).

Cuadro 6. Estadísticos de validación de los tres mejores sistemas compatibles de ahusamiento-volumen comercial que se ajustan a *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

Sistema de volumen compatible	Ecuación de ahusamiento			Ecuación de volumen comercial		
	RCME	EMA	DA	RCME	EMA	DA
1. Cruz-Cobos <i>et al.</i> (2008), modificación de Cielito 1	0.0259	0.0087	0.0018	0.0658	0.0069	0.0046
2. Fang y Bailey Caso I-a (1999)	0.0230	0.0100	0.0016	0.0484	0.0090	0.0034
3. Fang y Bailey Caso II-b (1999)	0.0199	0.0097	0.0014	0.1817	0.0208	0.0128

Dónde: Error Medio Absoluto (EMA); Raíz del Cuadrado Medio del Error (REMC) y Diferencia agregada (DA).

El menor error promedio lo presentaron los sistemas N°3 (0.01990 cm) y N°2 (0.04845 m<sup>3</sup>) en la estimación de diámetros de fuste y volumen comercial, respectivamente. El sistema N°1 presentó el menor valor de error promedio absoluto para predecir diámetro y volumen comercial. El estadístico de diferencia agregada (DA), muestra que en los tres sistemas presentan subestimación tanto para la predicción de fuste como para volumen comercial, sin embargo, de éstos el que presenta menor valor de DA para fustes es el sistema N°3 seguido del sistema N°2 y para la predicción de volumen comercial el menor valor lo presenta el sistema N°2 y en segundo término el sistema N°1, y de acuerdo a lo establecido por Prodan *et al.*, 1997, como el valor de DA es cercano a cero los tres mejores sistemas evaluados son insesgados, además de que se respeta el que éstos tres estadísticos deben ser valores bajos, o bien, valores cercanos a cero (Machado *et al.*, 2003).

En el sistema ahusamiento-volumen comercial compatible Cruz-Cobos *et al.* (2008) modificación de Cielito 1, se observa que los valores predichos se encuentran muy cercanos a los observados, presentando tendencia lineal recta, con un valor de R<sup>2</sup> de 0.9208 y 0.9587 en volumen comercial y diámetro, respectivamente (Figura 3a y 3b), por lo tanto la relación existente en las gráficas ratifica el buen ajuste del modelo; esto resulta similar a la obtenido en estudios para ahusamiento y para sistemas compatibles ahusamiento-volumen para *Pinus taeda* y *Eucalyptus grandis* (Rachid *et al.*, 2014), , *Pinus arizonica*, *P. duranguensis* y *P. engelmannii* (Silva-González *et al.*, 2018), *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (Fassola *et al.*, 2007).

En segundo término, el modelo con mejor ajuste de valores estimados con los observados y con errores de estimación bajos es el modelo 2, teniendo línea de tendencia recta con valores de R<sup>2</sup> de 0.8779 para volumen comercial y 0.9486 para ahusamiento (Figura 4).

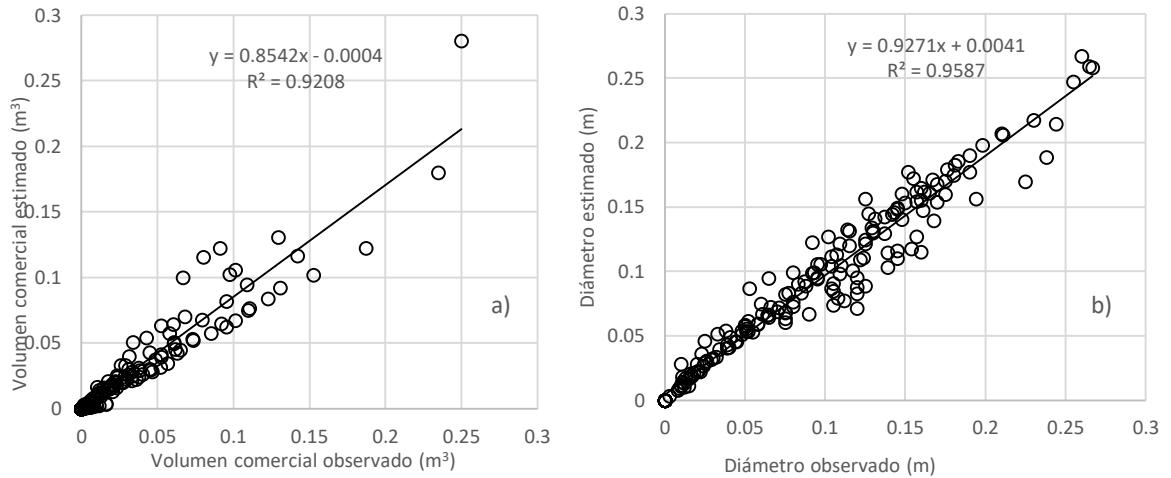


Figura 3. Comparación del volumen comercial y diámetro observado contra los predichos de volumen comercial (a) y diámetro (b) del sistema Cruz-Cobos *et al.* (2008) modificación de Cielito 1, para *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

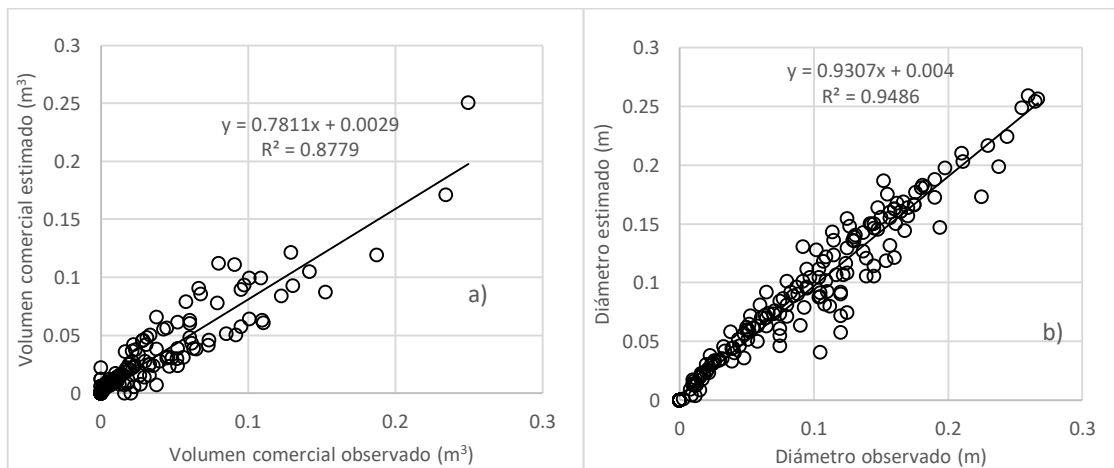


Figura 4. Comparación del volumen y diámetro observado contra los predichos de volumen comercial (a) y diámetro (b) del sistema Fang y Bailey Caso I-a (1999) para *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.

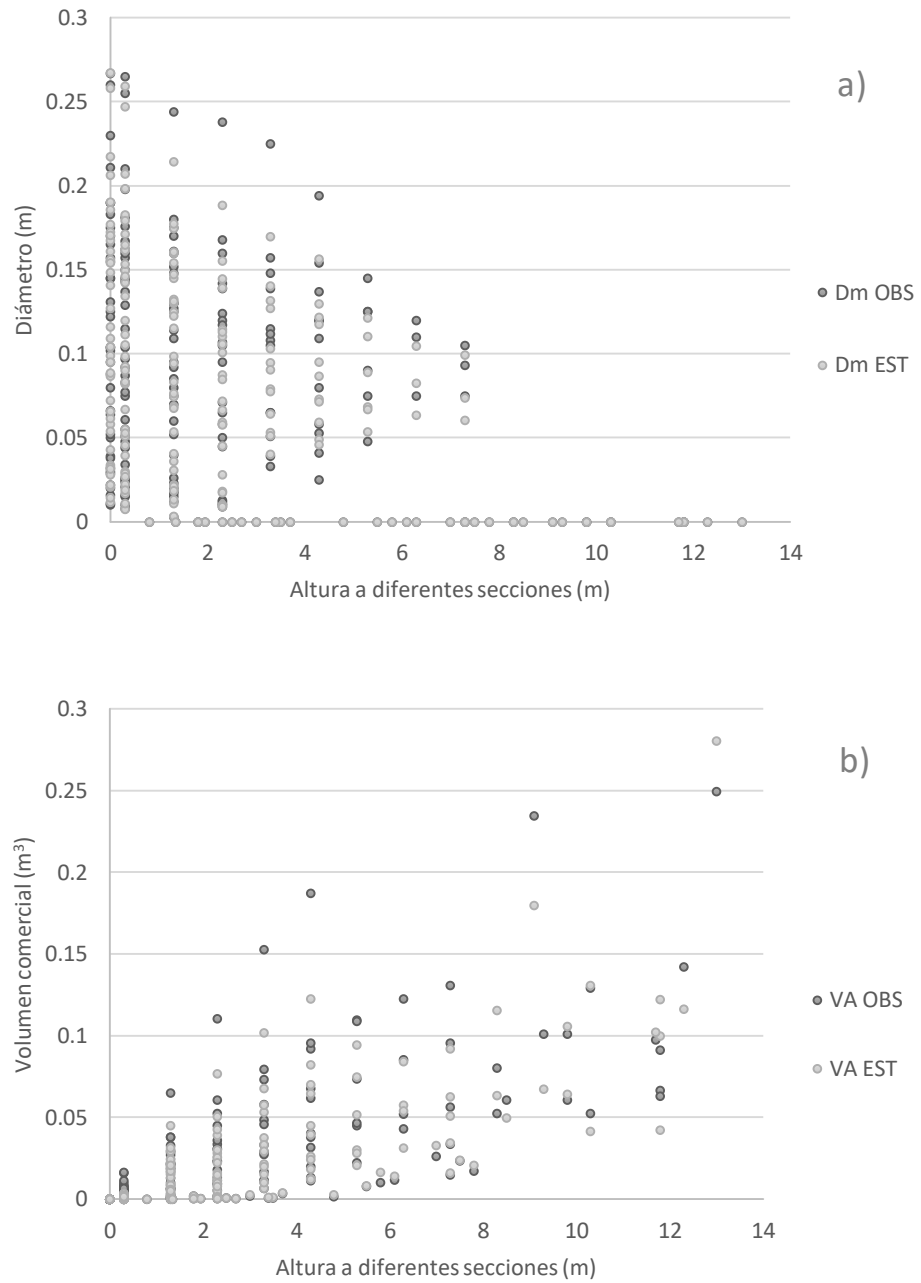


Figura 5. Diámetro (a) y volumen comercial (b) observados y estimados en relación a la altura de fuste a diferentes secciones de para *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima.



Se realizaron las pruebas para constatar el cumplimiento de los supuestos de regresión para el modelo de Cruz-Cobos *et al.* (2008) modificación de Cielito 1, el cual presentó el mejor ajuste; se obtiene que se cumple el supuesto de normalidad y heterocedasticidad, sin embargo, se tienen que el valor de autocorrelación está ligeramente por debajo del valor deseado lo que nos indica problemas bajos de autocorrelación. A pesar de los problemas de colinealidad, se comprueba con los estadísticos de validación que el modelo de Cruz-Cobos *et al.* (2008) modificación de Cielito 1 es aceptable para la predicción de perfil fustal y volumen comercial, como se muestra en la Figura 5 a y 5 b, seguido del modelo de Fang y Bailey Caso I-a (1999).

Cabe señalar que las cinco ecuaciones utilizadas en este estudio han sido aplicadas en diversos estudios para especies de coníferas y especies tropicales, sin embargo, el modelo de Cruz-Cobos *et al.* (2008) ha sido menos frecuente, pero ajustándose de manera adecuada a especies como *Pinus arizonica*, *P. durangensis* y *P. engelmannii* (Silva-González *et al.*, 2018) y *Pinus cooperi* Blanco (Cruz-Cobos *et al.*, 2008) resultando como uno de los dos mejores modelos para predicción de diámetro y volumen comercial. Para el caso del modelo de Fang y Bailey Caso I-a, éste ha sido utilizado en pocos estudios de sistemas compatibles, sin embargo, no ha presentado buenos ajustes para la predicción de fuste y volumen comercial en las especies estudiadas, lo que también indica que es necesario tomar en cuenta aquellas ecuaciones utilizadas con menor frecuencia para el ajuste de sistemas compatibles y que pueden resultar con mejores estimaciones que aquellos sistemas mayormente utilizados.

#### 4 CONCLUSIONES

De las cinco funciones compatibles de ahusamiento-volumen comercial ajustadas a *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima, dos de ellas presentaron los mejores ajustes a los datos de campo.

De acuerdo a los estadísticos de validación y a las estimaciones de diámetro a cualquier altura del fuste y su correspondiente volumen comercial, el mejor sistema es la ecuación de Cruz-Cobos modificación de Cielito 1.

La ecuación de Cruz-Cobos modificación de Cielito 1 estima el perfil fustal y volumen comercial con un 95% de nivel de confianza para *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

## 5 RECOMENDACIONES

Este estudio está limitado a *Rhizophora mangle* L. en el manglar El Chupadero, Tecomán, Colima; sin embargo, éste sistema compatible generado con los resultados puede ser utilizado en áreas únicamente que cuenten con condiciones similares a las de dicho lugar.

El sistema compatible Cruz-Cobos modificación de Cielito 1 es estadísticamente estable en diámetros de 0 a 40 cm y de la categoría de 0 a 20 metros de altura.

## 6 LITERATURA CITADA

- Agraz-Hernández, C. M., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo y J. J. Jiménez-Zacarías. 2006. Guía de Campo: Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, Camp. México. 45 p.
- Avery, T. E. y H. E., Burkhart. 1983. Forest Measurements. 3ª ed. McGraw-Hill. New York. U.S.A.
- Basáñez M., A. J., G. Olmedo P. y P. Rojas M. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, México. Revista UDO Agrícola. 6: 114-120.
- Cancino, J. 2006. Dendrometría Básica. Universidad de Concepción. 171 p.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister y R. L. Bailey. 1983. Timber Management: a Quantitative Approach. John Wiley & Sons. Nueva York, U.S.A. 333 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1998. Cuencas hidrológicas. Escala 1:250000. México. [En línea]. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2019]. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/hidro/chidro/cue250kgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/cue250kgw)
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2009. Manglares de México: Extensión y Distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 p.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2016. Uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares en la Región Pacífico Centro en 2015. Escala 1:50000. México. [En línea]. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2019]. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/biodiv/monmang/bimagdmo/pc\\_oc2015gw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/biodiv/monmang/bimagdmo/pc_oc2015gw)
- CONAGUA (Comisión Nacional de Agua). 2007. Regiones Hidrológicas. Escala 1:250000. México. [En línea]. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2019]. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/hidro/chidro/rh250kgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/rh250kgw)

- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2008. Memoria de la Consulta Pública para el establecimiento del área natural protegida con categoría de Santuario Playas Boca de Apiza, El Chupadero y El Tecuanillo, en el Estado de Colima. México. 75 p.
- Corral-Rivas, S. y J. J. Návar-Cháidez. 2009. Comparación de técnicas de volumen fustal total para cinco especies de pino en Durango, México. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 15: 5-13.
- Cortina S., S., G. Brachet B., M. Ibáñez de la C. y L. Quiñones V. 2007. Océanos y Costas: Análisis del Marco Jurídico Ambiental en México. Progreso, S.A. de C.V. México. 235 p.
- Cruz-Cobos, F., H. De los Santos-Posadas y J. R. Valdez-Lazalde. 2008. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. Agrociencia. 42: 473-485.
- Díaz G., J. M. 2011. Una revisión sobre los manglares: características, problemáticas y su marco jurídico. Ra Ximhai. 7 (3): 355-369.
- Diéguez-Aranda, U., A. Rojo A., F. Castedo-Dorado, J. G. Álvarez González, M. Barrio-Anta, F. Crecente-Campo, J. M. González G., C. Pérez-Cruzado, R. Rodríguez S., C. A. López-Sánchez, M. A. Balboa-Murias, J. J. Gorgoso V. y F. Sánchez R. 2009. Herramientas Selvícolas para la Gestión Forestal Sostenible en Galicia. Dirección Xeral de Montes, Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia (eds). Tórculo Artes Gráficas, S. A. Lugo. 263 p.
- Fang, Z. y R. L. Bailey. 1999. Compatible volumen and taper models with coeficients for tropical species on hainan Island in Southern China. Forest Science. 45 (1): 85-100.
- Fang, Z., B. E. Borders y R. L. Bailey. 2000. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. Forest Science. 46(1):1-12.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. The World's Mangroves 1980-2005. FAO Forestry Paper. Roma, Italia. 84 p.
- Fassola, H. E., E. Crechi, A. Keller y S. Barth. 2007. Funciones de forma de exponente variable para la estimación de diámetros a distintas alturas en

*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. cultivado en la Mesopotamia, Argentina. RIA 36(2): 109-128.

Flores-Verdugo, F.J, C. M. Agraz-Hernández y D. Benítez-Prado. 2006. Creación y restauración de ecosistemas de manglar: principios básicos, In: Estrategias para el Manejo Integral de la Zona Costera: Un Enfoque Municipal. Moreno-Casasola, P., E, Peresbarbosa y A.C. Travieso-Bello (eds). Xalapa, Ver., México, 2006, Instituto de Ecología A.C. - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT, pp: 1093-1110.

García, E., -CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1998. Climas. Escala 1:1000000. México. [En línea]. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2019]. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/clima/climas/clima1mgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/clima/climas/clima1mgw)

Hernández P., D., H. M. De los Santos P., G. Ángeles P., J. R. Valdez L. y V. H. Volke H. 2013. Funciones de ahusamiento y volumen comercial para *Pinus patula* Schltld. et Champ. en Zacualtipán, Hidalgo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 4 (16): 34-45.

Hernández R., J., A. Hernández R., J. J. García M., X. García C., G.G. García E., H. J. Muñoz F. y E. H. Olvera D. 2017a. Sistema compatible de ahusamiento-volumen comercial para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Hidalgo, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 8 (39): 59-70.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática); INE (Instituto Nacional de Ecología); CONAGUA (Comisión Nacional de Agua). 2007. Mapa de Cuencas Hidrográficas de México, 2007. Escala 1:250000. México. [En línea]. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2019]. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/hidro/chidro/cue250k\\_07gw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/cue250k_07gw)

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias y CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1995. Edafología. Escala 1:1000000. México. [En línea]. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2019]. Disponible en:

[http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/edafo/tsuelo/eda251mgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/edafo/tsuelo/eda251mgw)

- Kauffman, J. B., D. C, Donato y M. F. Adame. 2013. Protocolo para la medición monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Center International Forestry Research. Bogor, Indonesia. 43 p.
- López P., J. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. Madera y Bosques. Número especial: 27-51.
- Lugo, A. E. y S. C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. Annual Review of Ecology and Systematics. 5:39-64.
- Machado C., E. G., A. Pereira y N. A. Ríos. 2003. Tabla de volumen para *Buchenavia capitata*, Vahl. Quebracho, Revista de Ciencias Forestales. 10: 76-82.
- Martínez-López, J. y A. Acosta-Ramos. 2014. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina*, en Ixtlán, Oaxaca, México. Madera y Bosques. 20: 59-70.
- Mejía Q., L. M., M. P. Molina J., A. Sanjuan M., L. M. Grijalba B., y L. M. Niño M. 2014. Bosque de manglar, un ecosistema que debemos cuidar. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. Cartagena de Indias. 27 p.
- Montes de Oca C., E., J. C. Rojas M. y S. Corral R. 2011. Modelo de ahusamiento para *Pinus lellophilla* en la localidad de Chavarría Nuevo, Durango, México. InterSedes: Revista de las Sedes Regionales. 7 (24): 129-135.
- Moreno-Casasola, P., y D. M. Infante M. 2009. Manglares y selvas inundables. Instituto de Ecología A. C., CONAFOR y OIMT. Xalapa, Veracruz, México. 150 p.
- Moreno-Casasola, P., y D. M. Infante M. 2016. Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos. Instituto Literario de Veracruz, S.C. México. 128 p.
- Niño L., G. S., P. A. Ramos M., A. Barrios y A. M. López A. 2018. Modelos compatibles de ahusamiento-volumen para árboles de *Gmelina arborea* Roxb. en el Alto Magdalena, Colombia. Colombia Forestal. 21(2): 174-187.

- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura Forestal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. San José, Costa Rica. 586 p.
- Quiñonez B., G., H. M. De los Santos P., J. G. Álvarez G. y A. Velázquez M. 2014. Sistema compatible de ahusamiento y volumen comercial para las principales especies de *Pinus* en Durango, México. *Agrociencia*. 48 (5): 553-567.
- Rachid C., C., G. Mason E., R. Woollons y F. Resquin. 2014. Volume and taper equations for *P. taeda* (L.) and *E. grandis* (Hill ex. Maiden). *Agrociencia Uruguay*. 18 (2): 47-60.
- Rico G., V. 1981. *Rhizophora harrisonii*. (Rhizophoraceae), un nuevo registro para las costas de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 41: 163-165.
- Rodríguez Z., M. T., C. H. Troche S., A. D. Vázquez L., J. D. Márquez M., B. Vázquez B., L. H. Valderrama L., S. Velázquez S., A. Uribe. M., J. Acosta-Velázquez, J. R. Díaz G., M. I. Cruz L. y R. Ressler. 2012. Informe final\* del Proyecto GQ004: Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2a y 3ra etapas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 304 p.
- Rodríguez Z., M. T., C. H. Troche S., A. D. Vázquez L., J. D. Márquez M., B. Vázquez B., L. H. Valderrama L., S. Velázquez S., M. I. Cruz L. y R. Ressler, A. Uribe. M., S. Cerdeira E., J. Acosta-Velázquez, J. R. Díaz G., R. Jiménez R., L. Fueyo-Mac Donald y C. Galindo L. 2013. Manglares de México: Extensión, Distribución y Monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 128 p.
- Rodríguez, M. T. y C. Troche. 2015. Manglares de México: diez años de retos en su monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, *Biodiversitas*. 120: 14-19.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp: 340-364



- Sajurjo R., E. 2001. Valoración económica de servicios ambientales prestados por ecosistemas: Humedales en México. Instituto Nacional de Ecología. 44 p.
- Santamaría-Damián, S., E. I. Romero-Berny, C. Tovilla-Hernández, M. E. Gallegos-Martínez y J. C. De la Presa-Pérez. 2016. Nuevos registros del mangle centroamericano *Avicennia bicolor* Standl. (Acanthaceae) en la costa pacífica del sureste mexicano con notas sobre su distribución y estatus de conservación. *Lacandonia*. 10 (2): 19 -24.
- Silva-González, E., M. A. Nava-Moreno, F. J. Hernández y J. G. Colín. 2018. Funciones compatibles de ahusamiento-volumen para tres especies de *Pinus* en la Unidad de Manejo Forestal 0808 del estado de Chihuahua. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 26 (73): 58-67.
- Snedaker S. C., C. D Getter. 1985. Pautas para el manejo de los recursos costeros. 2ª. Ed. Research Planning Institute, Inc. Columbia, South Carolina. 295 p.
- Tapia, J. y J. Návar. 2011. Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana*. 13 (2): 19-28.
- Tamarit U., J. C., E. Rojas D., G. Quiñonez B., C. Ordoñez P. y J. C Monárrez González. 2017. Sistema de cubicación para árboles individuales de *Quercus* sp. En bosques bajo manejo de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 8 (40): 69-88.
- Tovilla-Hernández, C. y E. I. Romero-Berny. 2012. Diagnóstico estructural de los manglares de Chiapas y Oaxaca; In: Recursos acuáticos costeros del sureste. Sánchez, A. J., X. Chiappa-Carrara y R., Brito P. (eds). México. 2012. Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán, Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste y Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Académica Sisal. pp: 257-279.
- Travieso B., A. C. 2006. Manglares; In: Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal. Moreno-Casasola, P., E. Peresbarbosa y A. C. Travieso-Bello (eds). Xalapa, Veracruz, México. Instituto de Ecología

- A. C. - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT. Xalapa, Veracruz, México. 1226 p.
- Valderrama L., L. H., M. T. Rodríguez Z., C. Troche S., S. Velázquez S., E. Villeda C., J. A. Alcántara M., B. Vázquez B., M. I. Cruz L. y R. Ressler. 2017. Manglares de México: Actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980-2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 128 p.
- Vargas-Larreta, O., O. A. Aguirre-Calderón, C. G. Aguirre-Calderón, F. J. Zamudio-Sánchez, J. O. López-Martínez, J. J. Corral-Rivas, E. J. Treviño-Garza, H. M. De los Santos-Posadas y M. Martínez-Salvador. 2018. Manual del Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor): Herramientas para el manejo de los bosques templados y tropicales de México. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 76 p.