

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Ecuaciones de Predicción de Volumen para *Conocarpus erectus* L. en dos
Manglares de Colima.

Por:

BRENDA MONSERRAT VÁZQUEZ RAMOS

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

Ecuaciones de Predicción de Volumen para *Conocarpus erectus* L. en dos
Manglares de Colima.

Por:

BRENDA MONSERRAT VÁZQUEZ RAMOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

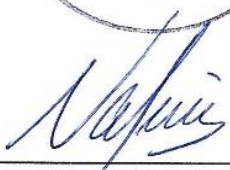
INGENIERO FORESTAL

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. 425103001-217, a cargo del Profesor Investigador Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A mis Padres, por darme la herencia de la vida y el privilegio de ser su hija; por enseñarme que las cosas en esta vida tienen su costo y tienen que ser ganadas para gozar de ellas. Les agradezco profundamente la persona que soy y en el lugar en el que estoy, ustedes han sido mi pilar, quienes siempre me han cuidado y han velado por mí. Ustedes siempre han estado conmigo en todos los momentos y en todos los aspectos de mi vida, por más grandes y chicos, por más felices y dolorosos siempre los hemos sabido sobrellevar; cómo podre agradecerles tan grande amor.

Gracias por todo eso, porque después de tanto tiempo, he comprendido que el amor verdadero se entrega sin esperar nada a cambio. Y aunque la vida a veces es solo un soplo en el viento, todos los días se deben hacer las cosas con amor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser mi segundo hogar, en donde tuve la oportunidad de conocer gente maravillosa que se ha convertido en una familia más y por darme la oportunidad de crecer en el aspecto académico.

A mis Asesores, el Dr. Celestino Flores, el M.C. Adrián Hernández y el M.C. Salvador Valencia, por sus consejos, apoyo, aportaciones tanto dentro de la carrera como en este proyecto de tesis.

A la Familia Ramos Pinto en general, por siempre apoyarme y permitirme estar en esta magnífica institución, en especial a mi abuelita Doña Lupe Pinto, a mi tío el Ing. Guillermo y al Padre Omar por ser como unos padres para mí y mis prospectos a seguir.

A la Familia Ibarra Manzanares, por permitirme ser parte de su familia durante mi estancia en Saltillo y compartir tan bellos recuerdos y anécdotas en especial a mis dos inseparables amigas Zaira y Alayla.

Al COCACIF y a todos sus integrantes, por darme la oportunidad de vivir tan grata experiencia de fungir como presidenta y trabajar con ellos por casi dos años, mismos que fueron los más bonitos de mi carrera, donde sin duda alguna el Ing. Gil Cabrera fue nuestro soporte, apoyo máspreciado y nuestro gran amigo, siempre agradeceré su amistad dentro del COCACIF como del resto de la carrera.

A mis estimados amigos Fernando Argüello, César Nájera, Sergio González y Arley Gómez, por apoyarme en la obtención de datos de campo, gracias por su amistad y compañerismo.

A mis compañeros de Carrera e Institución, que se convirtieron en grandes amigos y siempre agradeceré su amistad: Bárbara Sánchez, Amayrani Arroyo, Marlene Orozco, Walter Villalobos, Juan Zavala, Francisco Sánchez, Jonatan Sánchez, Santiago Mendoza, José del Villar, Emir del Villar, Pablo Marroquín y Andrés Rodríguez, ya que de todos ellos aprendí algo y siempre lo llevaré presente entre las risas y momentos que vivimos.

Y mi mejor amiga de la infancia Martha Hernández, que pese a la distancia nuestra amistad sigue más viva y fuerte que nunca.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos e hipótesis	3
2 MATERIALES Y MÉTODOS	1
2.1 Descripción del área de estudio.....	1
2.2 Metodología de campo	2
2.2.1 Diseño de muestreo	2
2.2.2 Medición de variables	3
2.2.3 Tamaño de muestra	3
2.3 Análisis de datos	4
2.3.1 Captura de datos	4
2.3.2 Cálculo del volumen individual	4
2.4 Modelos matemáticos ajustados	7
2.5 Análisis estadísticos	8
2.6 Elección del mejor modelo de volumen	8
2.7 Pruebas de supuestos del modelo de regresión	8

2.8 Validación de las ecuaciones de volumen	9
2.9 Análisis gráfico	10
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
3.1 Ajuste de las ecuaciones de volumen	11
3.2 Selección y obtención de las ecuaciones de volumen	11
3.3 Validación de las ecuaciones de volumen	15
4 CONCLUSIÓN.....	18
5 LITERATURA CITADA.....	19

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y categoría de altura de <i>Conocarpus erectus</i> L. en El Chupadero y El Paraíso, Colima.	4
Cuadro 2. Valores estadísticos descriptivos de los datos obtenidos en El Chupadero y El Paraíso, Colima para <i>Conocarpus erectus</i> L.	7
Cuadro 3. Ecuaciones probadas para este estudio y recomendadas en el manual del SiBiFor (Vargas <i>et al.</i> , 2018).	7
Cuadro 4. Parámetros de las modelos para volumen total fuste y volumen total árbol para <i>Conocarpus erectus</i> L. en las localidades El Chupadero y El Paraíso del estado de Colima.	11
Cuadro 5. Comparación de bondad de ajuste de las ecuaciones de volumen utilizadas en este estudio, para <i>Conocarpus erectus</i> L. en las localidades El Chupadero y El Paraíso del estado de Colima.	12
Cuadro 6. Resultados de los criterios de exactitud y sesgo para la validación de las ecuaciones de volumen fuste total y total árbol de <i>Conocarpus erectus</i> L.	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Ubicación geográfica de las localidades El Paraíso, Municipio de Armeria y El Chuapadero, Municipio de Tecomán, Colima.	1
Figura 2. Análisis grafico de los modelos utilizados para la obtención de las ecuaciones de volumen fuste total (a) y total árbol (b) de <i>Conocarpus erectus</i> L.....	13
Figura 3. Diagramas de dispersión del modelo de 2 para la elaboración de ecuaciones de volumen fuste total (a) y total árbol (b) para <i>Conocarpus erectus</i> L. en las localidades El Chupadero y El paraíso del estado de Colima.....	16

RESUMEN

Los manglares son ecosistemas ricos en biodiversidad y por ende de gran importancia ecológica. La mayor pérdida de manglar se encuentra en Guerrero, Jalisco y Colima. Por tanto, es de interés, tener conocimiento de las existencias reales, para determinar, que volumen se tiene y cuanto se ha perdido.

En el presente estudio se generaron dos ecuaciones de volumen, una para volumen total del fuste (sin ramas) y otra para volumen total árbol (fuste y ramas) para la especie *Conocarpus erectus* L. en el estado de Colima.

Se evaluaron 134 árboles, de diferentes categorías diamétricas, a los cuales se les estimó su volumen individual utilizando la fórmula de cono truncado para la punta y la fórmula de Smalian para las diferentes secciones del tronco. Se ajustaron siete modelos de dos entradas, mediante los procedimientos Proc Reg y Proc Nlin del programa estadístico SAS 9.4.

Para la selección del mejor modelo se consideraron el coeficiente de determinación ajustado, la suma del cuadrado medio del error, el cuadrado medio del error, la raíz del cuadrado medio del error. Para el proceso de validación de las ecuaciones de volúmenes se utilizaron 34 árboles diferentes a la muestra que se utilizó en la generación de los modelos, dicha validación se realizó con base a los resultados de exactitud y sesgo; con el EMA (error medio absoluto) y la REMC (raíz cuadrada media del error medio cuadrático) como medida de exactitud y la DA (diferencia agregada como medida del sesgo).

El mejor modelo para la estimación de ambos volúmenes fue el modelo 2, con una R^2_{aj} de 0.9667 para fuste y 0.9380 para total árbol. En la validación presenta una raíz cuadrada del error medio cuadrático de 0.00880 para fuste y 0.02555 para total árbol, con una diferencia agregada de 3.22 % para fuste y 15.71 % para total, lo que señala que las ecuaciones que este estudio presentan son aptas para su uso.

Palabras Claves: botoncillo, modelos alométricos, tarifas de volumen, Schumacher-Hall

ABSTRACT

The mangroves are ecosystems rich in biodiversity and therefore of great ecological importance. The largest loss of mangrove is found in Guerrero, Jalisco and Colima. Therefore, it is of great interest, to have knowledge of the real existence trees, to determine, what volume one has or has lost.

In the present study two volume equations were generated, one for total trunk volume (no branches) and another for total tree volume (trunk and branches) for the *Conocarpus erectus* species in the state of Colima.

A total of 134 trees, of different diametric categories, were evaluated, to which their individual volume was estimated using the truncated cone and Smalian formula. Seven models of two entries were adjusted, using the Proc Reg and Proc Nlin procedures of the statistical program SAS 9.4.

For the selection of the best model, we considered the adjusted coefficient of determination, the sum of the mean square of the error, the mean square of the error, the root of the mean square of the error. For the validation process of the volume equations, 34 different trees were used to the sample that was used in the generation of the models, this validation was made based on the results of accuracy and bias; with the EMA (absolute mean error) and REMC (square root mean square error) as a measure of accuracy and the DA (difference added as a measure of the bias).

Using the established criteria, the best model for the estimation both volumes was the model 2, with an R^2_{aj} of 0.9667 for stem and 0.9380 for total tree. In the validation it presents a square root of the mean square error of 0.00880 for stem and 0.02555 for total tree, with an aggregate difference of 3.22% for fuse and 15.71% for total tree, which indicates that the equations of this study are suitable for use.

Keywords: botoncillo, allometric models, volume tables, Schumacher-Hall

1 INTRODUCCIÓN

El principal componente necesario para el manejo forestal, así como la planeación e investigación, es la medición forestal, ya que proporciona información de carácter cuantitativo a nivel de árboles individuales o de rodales; es con la medición con la que se puede calcular el volumen de árboles individuales y por componente (Romahn *et al.*, 1994).

De tal modo los bosques al ser promotores de bienes y servicios, como la retención y almacenamiento de carbono y producción de madera, requieren una cuantificación del volumen y la biomasa (Sola *et al.*, 2012). Para dicha determinación es necesario conocer el volumen total de árboles en pie (Imaña, 1998). Lo que hace a la tabla de volumen un instrumento aplicable, ya que constituyen el cimiento de los inventarios forestales, los que a su vez son el cimiento de la silvicultura y de los programas de manejo forestal sustentable (Romahn *et al.*, 1994).

Al utilizar tarifas de volumen se da un mejor control a los aprovechamientos forestales, por lo que su uso es muy común para los prestadores de servicios técnicos forestales, ya que pueden estimar las dimensiones de madera anuales, con sólo medir variables como el diámetro y la altura (Acosta y Carrillo, 2008). No obstante, es necesario generar este tipo de información para que pueda ser utilizada para generar estudios de impacto ambiental, aprovechamiento, restauración, protección y conservación de los recursos (González, 2003).

También los bosques de manglar o manglares son recursos forestales productores de bienes y servicios maderables y no maderables, como leña, carbón, madera, postes, taninos, etc. (INE, 2005). Estos tienen una alta capacidad de fijar carbono en las ramas, hojas y tallos. Por lo cual se hace necesario contar con información sobre el volumen y la biomasa, siendo éstos más ricos que los bosques terrestres, pues se ha encontrado que, en promedio, almacenan $1,023 \text{ ton C ha}^{-1}$, año^{-1} y generan hasta $20 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}$ de biomasa (Flores *et al.*, 2007; Donato *et al.*, 2011).

Al respecto, se les denomina manglar a las comunidades vegetales distribuidas en los litorales de las regiones calientes del planeta (Rzedowski, 1978). Cubren aproximadamente entre el 60 y 75% de las líneas costeras del mundo y su distribución es restringida a zonas tropicales y subtropicales (Mejía *et al.*, 2014).

México ocupa el cuarto lugar de 125 países que poseen este tipo de ecosistemas y representa el 0.4% de la superficie nacional (Valderrama *et al.*, 2017).

Pero pese al gran esfuerzo por proteger estas áreas, la principal causa de pérdidas se debe a actividades antropogénicas como agricultura, ganadería, acuacultura, urbanización y turismo (FAO, 2007), pero específicamente en el estado de Colima por las actividades de extracción de sal, contaminación de desagües urbanos y la cosecha de madera y leña (Foroughbakh *et al.*, 2004; Torres y Quintanilla, 2014).

En Colima *Conocarpus erectus* se utiliza para cercos perimetrales y vivienda por su dureza, y para la fabricación de carbón y para la obtención de taninos. Además, la especie juega un papel importante en la protección de la fauna acuática y en la producción de alimentos (cangrejos, peces, camarones) y tiene una gran importancia recreativa en las áreas estuarinas (Torres, 2016).

Dicha especie, a diferencia de otros mangles, se encuentra en lugares de menor inundación, pero resistente a mayor nivel de salinidad (Rzedowski, 1978). Además, no desarrolla adaptaciones como viviparidad, neumatóforos y dispersión de semilla por agua, por lo que se considera un falso mangle de manera botánica, pero al tener una asociación ecológica con este ecosistema se le conoce como “mangle botoncillo” (Trejo, 2009).

A pesar de la importancia que tienen los mangles y de que son una fuente maderable y de leña en la región han sido poco estudiados en tema de cálculo de volumen, ya que existen pocos registros de tablas de volumen y manejo de manglares (Prestegui, 2014). Uno de los trabajos que se han realizado en México acerca de estos ecosistemas es el de Prestegui (2014) en donde se elaboraron tablas de volúmenes para tres especies de mangles (*Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* L. y *Laguncularia racemosa* L.) en Guerrero, donde se probaron 15 distintos modelos de regresión.

No solo en Guerrero, sino en todo México, las especies que son más predominantes en los manglares son *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* mismas que se encuentran amenazadas (Nash y Nee, 1984; Domínguez *et al.*, 2010). Pero estados como Colima y Guerrero se encuentran sin protección a nivel federal o estatal de este recurso (CONABIO, 2009). Lo que provoca una incertidumbre de la cantidad de volumen perdido y las existencias reales de los manglares

Con base en lo anterior y con el objeto de proporcionar información para cuantificar el volumen existente en los manglares del estado de Colima, este estudio genero dos ecuaciones de volumen para *Conocarpus erectus* de un ámbito local. Debido a que este tipo de ecuaciones permiten tener un resultado más preciso, al estimar el volumen por medio de dos variables como lo son diámetro y altura (Vargas *et al.*, 2018).

1.1 Objetivos e hipótesis

El objetivo general de este trabajo fue generar dos ecuaciones de volumen para *Conocarpus erectus* para el estado de Colima, a partir de la comparación de ecuaciones lineales y no lineales, utilizando las variables de diámetro y altura.

Objetivos específicos

Ajustar siete ecuaciones para estimar volumen del fuste total y volumen total árbol de la especie *Conocarpus erectus* en El Chupadero y El Paraíso, Colima.

Seleccionar el mejor modelo a partir de la comparación de sus estadísticos, que estimen el volumen del fuste total y volumen total árbol de *Conocarpus erectus*.

Obtener dos ecuaciones de volumen, una para fuste total y otra para volumen total árbol para *Conocarpus erectus*.

Validar las dos ecuaciones de volumen de la especie en estudio, en El Chupadero y El Paraíso, Colima.

Hipótesis

Ho: La ecuación seleccionada para la predicción de volumen de *Conocarpus erectus* en El Chupadero y El Paraíso, Colima, no se ajustan a un nivel de significancia del 95% para el modelo.

H1: La ecuación seleccionada para la predicción de volumen de *Conocarpus erectus* en El Chupadero y El Paraíso, Colima, se ajustan a un nivel de significancia del 95% para el modelo.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se ubica en el estado de Colima, que colinda con Jalisco y Michoacán de Ocampo. Corresponde a dos localidades dentro de los límites de los municipios de Armería y Tecomán, los cuales fueron: El Chupadero y El Paraíso.

El punto de referencia de El Chupadero se encuentra a una altitud de 7 msnm, a una latitud norte de $18^{\circ}44'58''$ y longitud oeste de $103^{\circ}44'58''$, mientras que El Paraíso se encuentra a una altitud de 6 msnm, con latitud norte $18^{\circ}51'54''$ y longitud oeste $103^{\circ}57'53''$ (Figura 1).

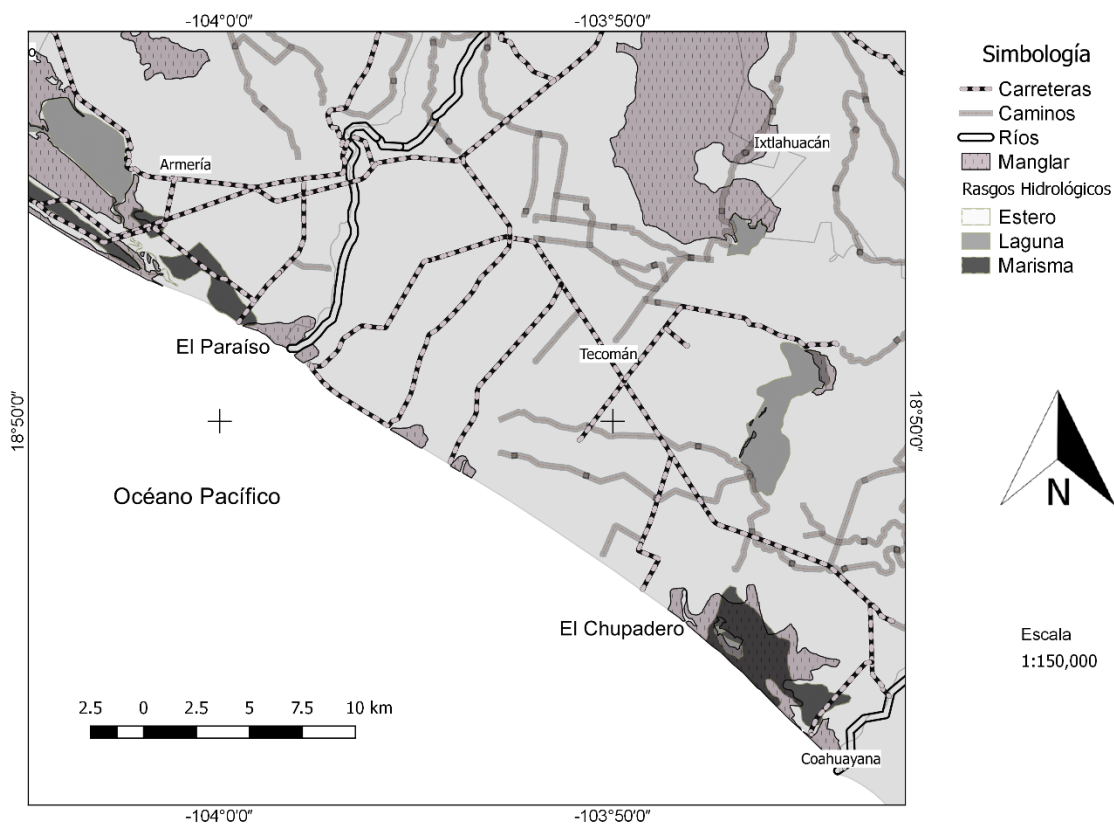


Figura 1. Ubicación geográfica de las localidades El Paraíso, Municipio de Armería y El Chuapadero, Municipio de Tecomán, Colima.

Cabe mencionar que los 81 sitios de manglar en el país identificados por los especialistas, dos, corresponden al estado de Colima, los cuales son identificados como Laguna Barra de Navidad y Laguna de Cuyutlán (Acosta *et al.*, 2007). Las localidades con las que se trabajó están distribuidas en Laguna de Cuyutlán en la Región Hidrológica RH 16 Armería-Coahuayana (CNA, 1988).

Las localidades presentan características diferentes en cuanto al clima y suelo. Con respecto al clima, El Chupadero presenta un clima cálido-húmedo (Awo (Lw)), con lluvias en verano, el régimen pluvial anual oscila entre los 800 y 1 200 mm, la temperatura media anual de 22 °C y temperatura del mes más seco y frío es de 10 °C. En contraste, El Paraíso refleja un clima cálido-seco (BS (h')), con pocas precipitaciones todo el año, un régimen pluvial promedio de 762 mm, con una temperatura promedio anual de 22 °C y en el mes más frío y seco de 18 °C (INIFAP-CONABIO, 1995).

En el caso del suelo, El Chupadero presenta en mayor proporción solonchak gleyco de textura fina y gleysol vertico de textura fina en menor proporción; en cuanto a El Paraíso se compone casi en su totalidad de fluvisol eútrico de textura fina, las dos localidades presentan suelo regosol eútrico de textura gruesa en menor proporción (García E. – CONABIO, 1998; CONAFOR, 2014).

2.2 Metodología de campo

2.2.1 Diseño de muestreo

El diseño de muestreo empleado en las dos localidades fue selectivo, ya que se levantaron los datos en los lugares donde se encontró presencia de dicha especie. Pero al realizar la elección de los árboles de *Conocarpus erectus*, se tuvo en cuenta que estuvieran sanos, con copas completas y sin huecos (Tenorio, 2003).

El método aplicado para mediar las variables es el de árboles en pie, por lo que no involucra el derribo ni el troceo de los individuos. De tal modo que se realizaron mediciones de alturas y diámetros entre troza y troza a diferentes secciones del árbol (Romahn *et al.*, 1994).

2.2.2 Medición de variables

De cada árbol se registraron las alturas (m) y los diámetros (cm) a diferentes alturas de fuste y largo de ramas; así como también de los datos de sitio como, el nombre de la localidad, municipio, estado, fecha y especie.

Se midió el diámetro de las ramas a diferentes longitudes con una cinta diamétrica, una varilla graduada a 1 m de distancia para realizar las mediciones de los diámetros. Una cinta métrica de 30 m para tomar distancia y medir la altura de los árboles con la pistola Haga y una cinta métrica de 3 m para medir lo largo de las ramas.

La primera medición de diámetro del fuste, se realizó a la base, después a 0.30 m de altura, después con ayuda de la varilla se seccionó a cada 0.50 m de altura, hasta la altura posible para escalar, midiendo cada uno de esos diámetros. En el caso de las ramas se toman en cuenta sólo aquellas iguales o mayores a 5 cm de diámetro, dividiéndolas en secciones de 1 m para obtener sus diámetros, tomando la primera medida en la base de la rama y después a cada metro de distancia.

2.2.3 Tamaño de muestra

Se seleccionaron alrededor de 10 individuos por categoría diamétrica en cada una de las dos localidades. De esta manera se obtuvieron 134 árboles como muestra, de los cuales 100 individuos se utilizaron para el proceso de ajuste de los modelos alométricos y el resto (34) para la validación de la mismo (Cuadro 1).

Estos individuos cumplieron ciertos criterios para su selección, teniendo en cuenta aspectos como: ser individuos sanos, sin huecos y con una copa completa (Tenorio, 2003).

Cuadro 1. Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y categoría de altura de *Conocarpus erectus* L. en El Chupadero y El Paraíso, Colima.

		Categoría en altura (m)				Total
		0	5	10	15	
Categoría diamétrica (cm)	0	8 (2)	11 (3)			19
	5	2	33(10)			35
	10		13 (4)	25 (7)		38
	15		4 (1)	17 (4)	3	24
	20		1	13 (3)	1	15
	25		1	2		3
Total		10	63	57	4	134

*Entre paréntesis los individuos utilizados para la validación.

2.3 Análisis de datos

2.3.1 Captura de datos

Para calcular el volumen primero se generó una base de datos en el programa Excel, tomando en cuenta datos como: número de árbol, nombre de la localidad, categoría diamétrica, diámetros a las diferentes alturas y altura total del árbol.

2.3.2 Cálculo del volumen individual

Una vez creada la base de datos, se procedió a obtener los volúmenes de cada uno de los árboles con sus respectivas ramas. Para ello se crea en una hoja de Excel otra base de datos con las variables: número de árbol, localidad, Hm (altura tomada a diferentes alturas del fuste en metros), Dm (diámetro a diferentes alturas en centímetros), volumen de la troza (m³) y volumen acumulado de la troza (m³), dichas columnas fueron utilizadas para el fuste.

Para las ramas las columnas cambian a: número de árbol, número de rama, posición de la rama (primaria o secundaria), Hm, Dm, volumen de la troza (m³), volumen acumulado de la troza (m³) y volumen acumulado de la troza por árbol (m³).

El acomodo de los datos va de tal modo que Hm comience con la altura 0 de la base a la punta y que Dm, comience de la base y termine en la punta en 0. Por lo que el cálculo del volumen para el fuste y las ramas comenzó de la base y termina en la punta del árbol, expresándose en m³.

De tal modo, para este cálculo se utilizaron dos fórmulas, la fórmula de cono truncado para la parte superior del fuste y la fórmula de Smalian para el resto de las trozas del fuste (Barrera *et al.*, 1986; Montalvo *et al.*, 2001).

2.3.2.1 Cálculo del volumen de las trozas

Asemejando que el fuste de *Conocarpus erectus* es parecido a un paraboloides, se utilizó la fórmula de Smalian para las trozas debido a que esta fórmula es aplicable con precisión a la mayoría de los cuerpos geométricos de fustes y trozas (Romahn y Ramírez, 2010; Prodan *et al.*, 1997). Además de ser exacta para la forma de paraboloides truncado (Cailliez, 1980; Prodan *et al.*, 1997; Romahn y Ramírez, 2010).

$$V_T = \frac{\pi}{4} \left[\frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right] L$$

Donde:

V_T= volumen de la troza (m³).

D₁= diámetro superior de la troza (cm).

D₂= diámetro inferior de la troza (cm).

L= longitud que existe entre el extremo superior e inferior de la troza (m).

Esta fórmula es aplicable entre trozas de 1 a 2 metros, ya que entre más pequeña es la troza mayor es la precisión (Romahn y Ramírez, 2010).

El mismo procedimiento que se usó para el fuste, fue usado en cada una de las ramas de los árboles, con la única diferencia que el volumen total de ramas para un árbol es la sumatoria del valor del volumen de todas sus ramas.

2.3.2.2 Cálculo de la punta del árbol

Bailey propone, que este volumen sea obtenido con la fórmula de Smalian, pero según Cailliez (1980), esta ecuación tiende a sobreestimar el volumen del cono, por lo que se optó por la fórmula de cono truncado, recomendada por Cailliez (1980) por su mayor precisión. Este procedimiento se realizó, no sólo en los conos de los fustes sino también en la parte cónica de las ramas primarias y secundarias de cada árbol.

$$VC = \frac{\pi}{12} * (D1^2 + D2^2 + (D1 * D2)) * L$$

Dónde:

VC= volumen de la troza (m³).

D1= diámetro superior de la troza (cm).

D2= diámetro inferior de la troza (cm).

L= longitud que existe entre la base y la punta del cono (m).

Por ende, el volumen (m³) por árbol se obtuvo de la siguiente manera:

Volumen de las trozas del fuste + volumen del cono= Volumen total del fuste.

Volumen total del fuste + volumen de ramas= Volumen total árbol.

Como se muestra en el Cuadro 2, del total de los individuos medidos en campo, el diámetro mayor que se encontró fue de 26.5 cm y una altura máxima de 13.8 m; el volumen máximo del fuste fue de 0.20003 m³ (sin ramas) y 0.29552 m³ (con ramas).

Cuadro 2. Valores estadísticos descriptivos de los datos obtenidos en El Chupadero y El Paraíso, Colima para *Conocarpus erectus* L.

Variable	n	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
D(cm)	134	9.55	6.459	1	26.5
H(m)	134	7.21	3.083	1.13	13.8
VTF(m ³)	134	0.03	0.04	0.00017	0.20003
VTA(m ³)	134	0.05	0.06	0.00017	0.29552

Donde: D= Diámetro normal (1.30 m), H= altura total, VTF= volumen total fuste, VTA= volumen total árbol.

2.4 Modelos matemáticos ajustados

Dado que no hay ecuaciones para predicción de volumen para *Conocarpus erectus*, se utilizaron las ecuaciones de dos entradas con los mejores resultados según Vargas *et al.* (2018), como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Ecuaciones probadas para este estudio y recomendadas en el manual del SiBiFor (Vargas *et al.*, 2018).

Modelo	Ecuación
1	$V = B_0 * D^2 * H$
2	$V = B_0 * D^{B_1} * H^{B_2}$
3	$V = B_0 * (D * H)^{B_1}$
4	$V = B_0 + B_1 * D^2 * H$
5	$V = B_0 + (B_1 * H) + (B_2 * (D^2 * H))$
6	$V = B_0 + B_1 * D^2 + B_2 * D^2 * H + B_3 * H$
7	$V = B_0 + B_1 * D^{B_2} * H^{B_3}$

Dónde: V= Volumen total del fuste y volumen total árbol (m³); B₀, B₁, B₂ y B₃= parámetros a estimar, D= diámetro normal (a 1.30 m), H= Altura total.

2.5 Análisis estadísticos

Para el procesamiento de datos se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.4, con los procedimientos Proc Reg para modelos lineales y Proc Nlin para modelos no lineales, este paquete se utilizó para la regresión y la obtención de estadísticos de cada modelo para la elección del mejor ajuste.

2.6 Elección del mejor modelo de volumen

Para la elección del mejor modelo se tomaron en cuenta criterios como el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) con el valor más alto, cercano a 1. La suma del cuadrado del error (SCE); cuadrado medio del error (CME), raíz cuadrada media del error (RCME) y error estándar (EE), de estos cuatro últimos, el criterio para seleccionar el modelo, es el que presente el valor más bajo, cercano a 0 (Barrera et al., 1986; Prodan et al., 1997; Machado et al., 2003; Muñoz et al., 2012; Hernández, 2013; Prestegui, 2014).

2.7 Pruebas de supuestos del modelo de regresión

A manera de reforzar la elección del mejor modelo se emplearon dos pruebas para comprobar dicha decisión

La prueba de Shapiro Wilk (SW) se realizó para saber si los datos residuales hacen referencia a una distribución normal; de tal manera que si p-valor es menor al nivel de confianza, se concluye que los datos tienden hacia una normalidad en cuanto a su distribución. La prueba de autocorrelación de los residuales se hizo con la prueba de Durbin Watson (DW), la cual permite saber si los valores presentan dependencia cuanto al orden de obtención, sus valores van de 0 a 4, un valor cercano a 0 indica correlación positiva, valores cercanos a 2 indican que no existe autocorrelación en los residuales y un valor cercano a 4 indica que la autocorrelación es negativa (Canavos, 1988).

2.8 Validación de las ecuaciones de volumen

Para la validación se empleó una muestra de 34 árboles, los cuales no fueron involucrados en el procesamiento de los datos de la generación de las ecuaciones de predicción. Estos individuos fueron cubicados mediante el mismo proceso de los anteriores y con la misma ecuación que fue elegida mediante los criterios con los estadísticos antes presentados.

La validación de las ecuaciones se hizo con base en los resultados de exactitud y sesgo recomendadas por Prodan *et al.* (1997). Es de importancia validar las ecuaciones de volumen, ya que con ello se garantiza cierto grado de confiabilidad, demostrando que puede ser aplicable no sólo a la muestra con la que se realizó su procedimiento, sino a otra gama distinta de datos (Machado *et al.*, 2003).

- Error medio absoluto como medida de exactitud.

$$EMA = \sum |O_i - E_i| / n$$

- Raíz cuadrada del error medio cuadrático como medida de exactitud.

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

- Diferencia agregada como medida del sesgo.

$$DA = \sum (O_i - E_i) / n$$

Donde: Σ = sumatoria, O_i = valor observado, E_i = valor estimado y n = número de individuos.

En el caso de las medidas de exactitud los valores deben ser cercanos a 0 y en el caso específico de DA los valores negativos se asocian a sobreestimaciones, y los positivos indican subestimación, por lo tanto, sí, la DA se acerca a cero, se indica que el modelo es insesgado (Prodan *et al.*, 1997; Hernández, 2013).

2.9 Análisis gráfico

A manera de reforzar visualmente el buen ajuste del modelo seleccionado, se realizó un diagrama de dispersión de puntos en donde el eje X hace referencia al diámetro normal y el eje Y los volúmenes observados, posteriormente se grafica los datos estimados para verificar que se encuentre semejante o próximo a los datos observados. Adicionalmente se incorpora una banda de confiabilidad para hacer constar se los datos estimados se encuentran dentro de los límites permisibles (95% de confiabilidad) para las predicciones del modelo para *Conocarpus erectus* en las localidades de estudio.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ajuste de las ecuaciones de volumen

En este trabajo se probaron siete diferentes modelos propuestos por Vargas *et al.* (2018), en donde todos los modelos fueron estadísticamente significativos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros de las modelos para volumen total fuste y volumen total árbol para *Conocarpus erectus* L. en las localidades El Chupadero y El Paraíso del estado de Colima.

Tipo de ecuación	Modelo	Ecuación de predicción de volumen	Pr > F
VTF	1	$V= 0.000032*D^2*H$	< .0001
	2	$V= 0.000141*D^{1.6437}*H^{0.8129}$	< .0001
	3	$V= 0.000086*(D*H)^{1.3643}$	< .0001
	4	$V= 0.00525+0.00003012*D^2*H$	< .0001
	5	$V= -0.00241+0.00141*H+0.00002811*D^2*H$	< .0001
	6	$V= -0.00506+0.0000685*D^2+0.0000211*D^2*H+0.00185*H$	< .0001
	7	$V= -0.00159+0.000169*D^{1.6055}*H^{0.7993}$	< .0001
VTA	1	$V= 0.000043*D^2*H$	< .0001
	2	$V= 0.000341*D^{1.6827}*H^{0.5172}$	< .0001
	3	$V= 0.000175*(DH)^{1.2868}$	< .0001
	4	$V= 0.00854+0.00004081*D^2*H$	< .0001
	5	$V= 0.00367+0.00089583*H+0.00003953*D^2*H$	< .0001
	6	$V=0.00723+0.00021024*D^2+0.00001802*D^2*H+0.00226*H$	< .0001
	7	$V= -0.00325+0.000441*D^{1.6243}*H^{0.4904}$	< .0001

Donde: Volumen, D= diámetro normal, D²=diámetro normal al cuadrado, H= altura total, VTF= volumen total fuste y VTA= volumen total árbol.

3.2 Selección y obtención de las ecuaciones de volumen

En el proceso de regresión se obtuvieron los parámetros para los modelos de volumen (Cuadro 4), en donde todos los modelos fueron estadísticamente

significativos, así como los resultados de los criterios para su selección, en donde el modelo 2 mostró CME, SCME, EE y RCME más bajos y cercanos a 0 y el coeficiente de determinación ajustado más alto, 0.9667 en el caso de volumen fuste total y 0.9380 en volumen total árbol (Cuadro 5).

En la prueba de DW para volumen del fuste total, el valor obtenido está dentro del rango aceptable y no presta autocorrelación, por el contrario, para el volumen total árbol el valor obtenido está por debajo del mínimo aceptable (1.5) de autocorrelación, lo que indica que en este modelo los residuales presentan problemas de colinealidad. Mientras que en la prueba de normalidad de SW en ambos casos los valores obtenidos están por debajo del mínimo aceptable (0.8), pero los residuales tienden a una distribución normal.

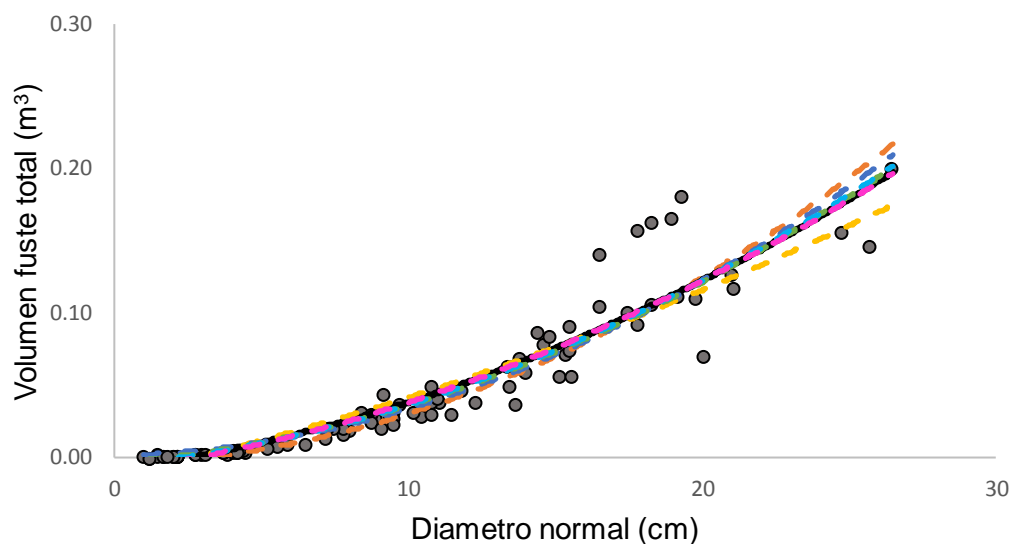
Cuadro 5. Comparación de bondad de ajuste de las ecuaciones de volumen utilizadas en este estudio, para *Conocarpus erectus* L. en las localidades El Chupadero y El Paraíso del estado de Colima.

Tipo de ecuación	Modelo	SCE	CME	RECM	EE	R ² _{aj}
Fuste	1	0.01800	0.00018	0.01349	0.000018	0.9566
	2	0.01350	0.00014	0.01200	0.000014	0.9667
	3	0.01960	0.00021	0.01435	0.000021	0.9523
	4	0.01635	0.00017	0.01292	0.000017	0.9298
	5	0.01546	0.00016	0.01263	0.000016	0.9329
	6	0.01468	0.00015	0.01237	0.000015	0.9356
	7	0.01340	0.00015	0.01204	0.000015	0.9394
Total árbol	1	0.06310	0.00064	0.02524	0.000064	0.9218
	2	0.04900	0.00052	0.02283	0.000052	0.9380
	3	0.07350	0.00077	0.02780	0.000077	0.9080
	4	0.05864	0.00060	0.02446	0.00006	0.87140
	5	0.05828	0.00060	0.02451	0.00006	0.8708
	6	0.05092	0.00053	0.02303	0.000053	0.8860
	7	0.04880	0.00052	0.02289	0.000052	0.8882

Donde: SCE= suma de cuadrado del error, CME= cuadrado medio del error, RCME=raíz cuadrada del cuadrado medio del error, EE=error estándar y R²_{aj}= coeficiente de determinación ajustado o corregido.

Se realizó un análisis gráfico de los modelos ajustados para la ecuación de volumen del fuste total (m^3) (a) y volumen total árbol (m^3) (b), donde se corroboró que el modelo 2 es el modelo que mejor se ajusta para los dos casos (Figura 2).

(a)



(b)

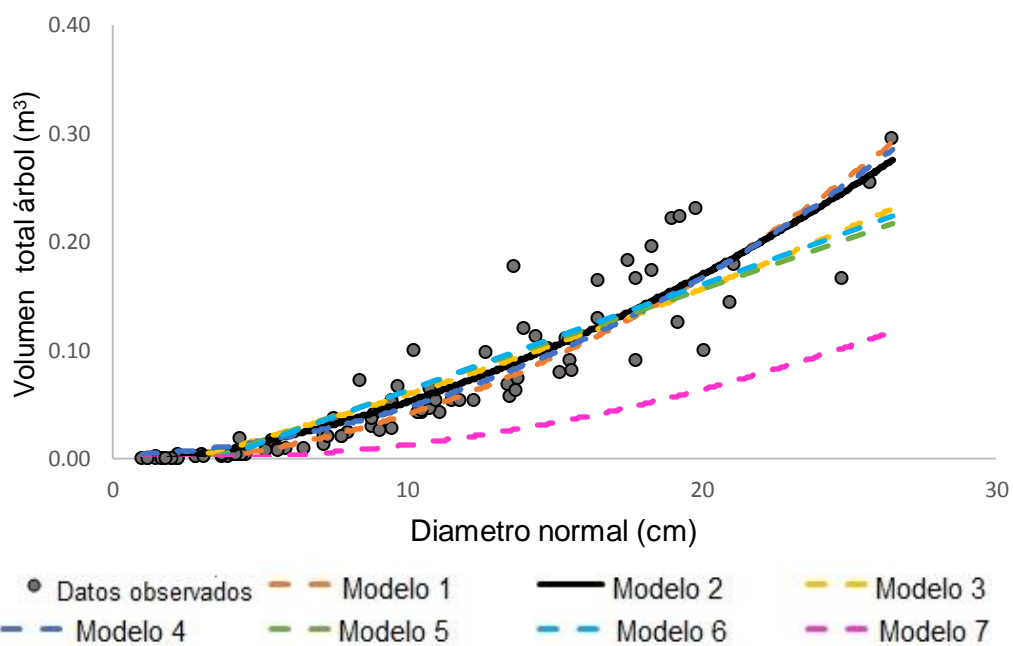


Figura 2. Análisis gráfico de los modelos utilizados para la obtención de las ecuaciones de volumen fuste total (a) y total árbol (b) de *Conocarpus erectus* L.

Al respecto, existen diferentes estudios en coníferas, en donde el modelo de Schumacher (modelo 2) ha dado buenos resultados para predecir volumen, en contraste a trabajos de mangle en donde el modelo de Spurr con término independiente (modelo 4) ha sido seleccionado como el mejor para predecir el volumen (Valdez, 2004; Díaz, 2014), así también como el modelo de Schumacher-Hall logarítmico (García y Aldana, S/F; Prestegui, 2014).

En cuanto al EE, Prestegui (2014), también utiliza el modelo de Schumacher Hall (modelo 2). En donde la especie *Rhizophora mangle* presentó el EE más bajo respecto a las otras dos especies en ese estudio, con 0.0021871 m³ para el modelo de volumen de fuste y 0.0030341 m³ para volumen fuste total de la misma especie. En contraste el presente estudio muestra un EE de 0.000014 m³ para volumen del fuste y 0.000052 m³ para el modelo de volumen total árbol, por lo que se asume que este modelo presentó menor error para esta especie.

Respecto a las siete ecuaciones involucradas, al momento de calificar la ecuación 2 y la de 7 tuvieron buenos resultados, sin embargo, la ecuación 2 se ajusta mejor, ya que presenta un mejor coeficiente de determinación ajustado y gráficamente es más apegado al volumen observado.

No siempre las ecuaciones suelen dar los mismos resultados, aunque se aplique a la misma especie, ya que cada especie o grupo de árboles tienen respuesta diferente en distinto entorno o lugar. Por lo que es recomendable correr distintos modelos para comparar resultados y seleccionar el mejor modelo, en los artículos consultados, los autores trabajan con más de cinco modelos para seleccionar el de mejor ajuste. En la mayoría de ellas la ecuación de Spurr con término independiente (modelo 4) es la que se ajusta mejor, sin embargo, en ninguno de los trabajos antes mencionados se ajusta el modelo de Schumacher Hall, con excepción de Prestegui (2014).

Cabe destacar que no hay estudios de ecuaciones de volumen para esta especie, además, el tamaño del fuste de los mangles tiene una forma irregular a diferencia de las coníferas que su fuste más regular. A diferencia de los mangles verdaderos con los que convive esta especie, se observó que su fuste es más irregular, con un diámetro máximo de 26.5 cm y una altura máxima de 13.80 m, a

diferencia de los mangles verdaderos que llegan a tener ese diámetro con una altura mayor.

3.3 Validación de las ecuaciones de volumen

Una vez establecida la ecuación de volumen, se procedió a la validación para comprobar la calidad de las estimaciones para volumen fuste total y total árbol, en donde se obtuvieron buenos resultados, respetando los parámetros establecidos por Prodan *et al.* (1997), para lo cual se determina que los estadísticos de exactitud y sesgo como: REMC, EMA y DA sean cercanos a 0 (Machado *et al.*, 2003), como se muestra en el Cuadro 6. Comúnmente la DA se utiliza para coníferas, y casi rara vez es utilizada en manglares.

Las ecuaciones presentan una REMC de 0.00880 para fuste y 0.02555 para total árbol, con una DA de 0.00138 m³ para fuste y 0.00935 m³ para total árbol, lo que señala que las ecuaciones que este estudio presenta son aptas para su uso, dado que los valores estadísticos son cercanos a cero.

Cuadro 6. Resultados de los criterios de exactitud y sesgo para la validación de las ecuaciones de volumen fuste total y total árbol de *Conocarpus erectus* L.

Tipo de Tabla	REMC	EMA	DA
VFT	0.00880	0.00138	0.00138
VTA	0.02555	0.00934	0.00934

Donde: REMC= raíz cuadrada del error medio cuadrático, EMA= Error Medio Absoluto y DA= diferencia agregada.

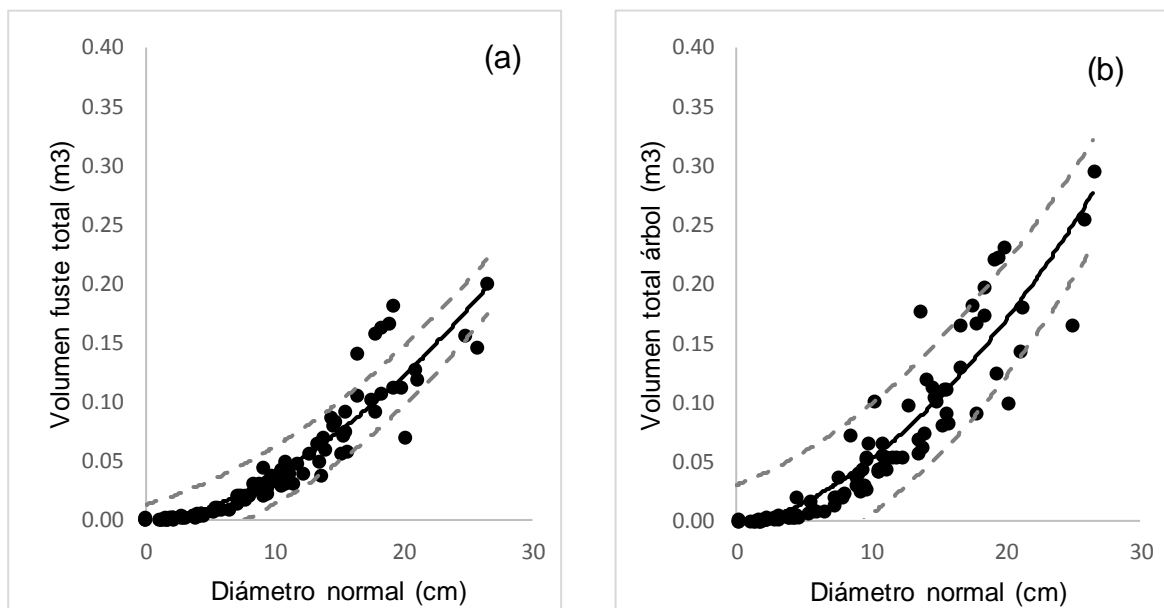
Al convertir la DA en porcentaje, asumiendo como el 100% la media de los valores de los volúmenes observados, se tiene una diferencia agregada de 3.22% para volumen del fuste y 15.77 % para volumen total árbol.

Aún con una R^2_{aj} menor a la obtenida por Prestegui (2014) el modelo de Schumacher-Hall logarítmico, los resultados de REMC y DA, son más bajos, ya que el obtiene una DA de 0.003750 a 0.125956 m³ y un REMC de 0.175387 a 0.424982

con respecto a la ecuación de volumen del fuste. Además de DA de 0.002975 a 0.085836 m³y un REMC de 0.164981 a 0.293626 para ecuación de volumen total árbol.

Por consiguiente, se comprueba que las medidas para sesgo y exactitud respecto a las ecuaciones de volumen fuste total y total árbol utilizando el modelo 2, están dentro de lo confiable y se asume que el modelo es insesgado.

Mediante el análisis gráfico (Figura 3) se muestra la relación entre el volumen real y el estimado por el modelo 2, en donde se aprecia una adecuada estimación del volumen para *Conocarpus erectus* y de alguna manera una predicción más precisa para el volumen del fuste. Además, dicho modelo se encuentra dentro de la banda de confiabilidad del 95% para su predicción.



- Datos observados
- Datos estimados
- Banda de confiabilidad del 95%

Figura 3. Diagramas de dispersión del modelo de 2 para la elaboración de ecuaciones de volumen fuste total (a) y total árbol (b) para *Conocarpus erectus* L. en las localidades El Chupadero y El paraíso del estado de Colima.

Aunque la ecuación sea de dos entradas (diámetro y altura), dicha gráfica se realiza sólo con diámetro y volumen para cotejar la curva de ajuste del modelo 2 y su variación que puede tener dentro de la variable dependiente. Esto debido a que el diámetro en esta especie tiene más efecto que la altura, ya que la forma en la que se desarrolla la especie responde de manera muy diferente en cuanto altura se refiere.

4 CONCLUSIÓN

De las siete ecuaciones ajustadas en este trabajo, el modelo 2 ($V = B_0 \cdot D^{B_1} \cdot H^{B_2}$) fue la que tuvo los mejores resultados de ajuste para volumen del fuste total y volumen total árbol.

El modelo 2, $V = 0.000141 \cdot D^{1.6437} \cdot H^{0.8129}$, presentó un buen ajuste ($R^2_{aj} = 0.9667$), para la elaboración de la ecuación de volumen fuste total para *Conocarpus erectus*.

El modelo 2, $V = 0.000341 \cdot D^{1.6827} \cdot H^{0.5172}$ presentó un buen ajuste ($R^2_{aj} = 0.9380$), para la elaboración de la ecuación de volumen total árbol para *Conocarpus erectus*.

Con base a los parámetros de validación se considera que las ecuaciones de volumen de este estudio, son confiables.

El modelo 2 se ajustó correctamente a *Conocarpus erectus* en ambos casos con una R^2_{aj} mayor a 0.90, por lo que se rechaza H_0 . Se puede afirmar que en las ecuaciones seleccionadas si tienen poder predictivo el diámetro normal y la altura sobre el volumen.

5 LITERATURA CITADA

- Acosta M., M y F. Carillo A. 2008. Tabla de volumen total con y sin corteza para *Pinus montezumae* Lamb. en el Estado de Hidalgo. Folleto Técnico No. 7. INIFAP Campo Experimental Pachuca. Pachuca, Hidalgo, México. 20 p.
- Acosta V., J., T. Rodríguez Z., S. Cerdeira E., I Cruz, R. Ressler y M. Ascensión. 2007. Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 1ra etapa. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). México. 70 p.
- Barrena A., V., J. Dancé C. y D. Sáenz Y. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. Revista Forestal del Perú 13: 1-10.
- Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Estimación del volumen. FAO. Montes. No. 22/1. Roma, Italia. 92 p.
- Canavos G. 1988. Probabilidad y Estadística; Aplicaciones y Métodos. Trad. por E. Urbina. Editorial McGraw-Hill. México D.F., México. 651
- Comisión Nacional de Agua. CNA. 1988. Cuencas hidrológicas. Escala 1: 250 000. Comisión Nacional de Agua. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2014. Inventario Estatal Forestal y de Suelos – Colima 2013. Comisión Nacional Forestal. Texcoco, Estado de México. 131p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 p.
- Díaz G., A. P. 2014. Elaboración de tabla de volumen comercial de *Rhizophora mangle* L. en el Golfo de Fonseca, Honduras. Tesis profesional. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Comayagua, Honduras. 72 p.
- Domínguez D., M., J. Zavala C. y P. Martínez Z. 2011 Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección

- Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.
- Donato D., C., J. B. Kauffman, D. Murdiyarso, S. Kurnianto, M. Stidham y M. Kanninen. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*. 4:1-5.
- Flores V., F. J., C. Agraz H. y D. Benítez P. 2007 Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación. En: *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Sánchez, O., M. Herzig, E. Peters, R Márquez H. y L. Zambrano (eds). Instituto Nacional de Ecología -SEMARNAT, U. S. Fish y Wildlife Service, Unidos para la Conservación. México. Pp: 147-159.
- Food and Agricultural Organization (FAO). 2007. The world's mangroves 1980-2005. FAO Forestry Paper 153. Food and Agricultural Organization, Roma, Italia. 77p.
- Foroughbakhch, P. R., A. E. Céspedes C., M. A. Alvarado V., A. Núñez G., M. H. Badii. 2004. Aspectos ecológicos de los manglares y su potencial como fitorremediadores en el Golfo de México. *Ciencia UANL*. 7: 203-208.
- García C., I. y E. Aldana P. [S/F]. Funciones de regresiones de volumen para especies *Rhizophora mangle* L.; *Avicennia germinans* L. y *Laguncularia racemosa* Geartn.t. En cuba. pp. 10. [En línea] [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.buscagro.com/biblioteca/PinardelRio/Ilya-Garcia/Corona1.html>.
- García, E. y CONABIO. 1998. Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1: 1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- González J. F. 2003. Tabla de volumen para *Piranhea mexicana (Standl) Rascl.-Sm.* en la Costa de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. Las Agujas, Zapopan, Jalisco. 39 p.
- Hernández S., N. 2013. Tablas de volúmenes para Cedro Rojo (*Cedrela odorata* L.) en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. 58 p.

- Imaña E., J. 1998. Dasometría práctica. Universidade de Brasília. Faculdade de tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal. Brasil. 125 p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2005. Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de superficie de manglar en México. SEMARNAT-INE. México. 21 p.
- Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (INIFAP-CONABIO). 1995. Edafología, escalas 1:250 000 – 1: 1 000 000. Escala 1: 1 000 000. Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria y la Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Machado C., E. G., A. Pereira y N. A. Ríos. 2003. Tabla de volumen para *Buchenavia capitata*, Vahl. Quebracho. 10:76-82.
- Mejía Q., L. M., M. Jiménez, M. P., Sanjuan M., A., Grijalba B., M., Niño M., L.M. 2014. Bosque de manglar, un ecosistema que debemos cuidar. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. Cartagena D. T. 27p.
- Montalvo G., M., S. Bueno L. y J. Gilberto T. 2001. Ecuación para el cálculo del volumen del árbol para *Pinus occidentalis* Sw., en el Plan Sierra, República Dominicana. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 7: 49-53.
- Muñoz-Flores, H., J., J. C. Velarde-Ramírez, J. J. García-Magaña, J. T. Sáenz-Reyes, E. H. Olvera-Delgadillo y J. Hernández-Ramos. 2012. Predicción de volúmenes de fuste total para plantaciones de *Pinus greggi* Engelm. Rev. Mex. Ciencia Forestal 3: 1-12.
- Nash, D. L. y M. Nee .1984. Flora de Veracruz. Instituto Nacional de Investigación sobre recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz. Fascículo 41. 53 p.
- Prestegui S., A. 2014. Tablas de volúmenes para tres especies de mangles en barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero. Tesis Profesional de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 76 p.
- Prodan, M., P. Rolan, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 586 p.

- Romahn de la V., C. F., H. Ramírez M. y J. L. Treviño G. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. México. 354 p.
- Romahn de la V., C. F., y H. Ramírez M. 2010. Dendrometría. Edición digital corregida y aumentada. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 309 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p.
- Sola G., N. Picard, L. Saint A. y M. Henry. 2012. Resumen del manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier. 17 p.
- Tenorio G., G. 2003. Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Hidalgo. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 78 p.
- Torres F. del C., J. 2016. Los manglares: superhéroes del mundo vegetal. [En línea]. [Fecha de consulta: 6 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://tortugariocuyutlan.com/los-manglares-superheroes-del-mundo-vegetal/>.
- Torres, J. y A. L. Quintanilla M. 2014. Alteraciones antrópicas: historia de la Laguna de Cuyutlán, Colima. Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública. 6: 29-42.
- Trejo T., J. C. 2009. Un mangle de plata: el botoncillo (*Conocarpus erectus*). Centro de Investigación científica de Yucatán, A. C. (CICY). 1:21-22. [En línea]. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2019]. Disponible en: http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/2009/julio/un-mangle-de-plata-el-botoncillo-conocarpus-erectus.
- 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.

Valdez H., J. I. 2004. Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. *Madera y Bosques*, 2:93-104.

Vargas L., B., O. A. Aguirre C., C. G. Aguirre C., F. J. Zamudio S., J. O. López M., J. J. Corral R., E. J. Treviño G., H. M. de los Santos P. y M. Martínez S. 2018. Manual del Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor): Herramientas para el manejo de los bosques templados y tropicales de México. 37 p.