

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Tablas de Volúmenes para Tres Especies de Mangles en Barra de Tecoanapa,
Marquelia, Guerrero

Por:

ANIBAL PRESTEGUI SANTOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Tablas de Volúmenes para Tres Especies de Mangles en Barra de Tecoaapa,
Marquelia, Guerrero

Por:

ANIBAL PRESTEGUI SANTOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada

Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal

M.C. Salvador Valencia Manzo
Coasesor

M.C. Héctor Darío González López
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2014

Este proyecto de tesis ha sido financiado y apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 13-30-3613-2192 a cargo del profesor investigador Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A mi Madre:

Petra Santos Bautista, a quien admiro y respeto por ser una mamá dulce y de gran corazón, gracias por luchar siempre para ver mis metas realizadas, hoy te dedico este esfuerzo, ya que con tu lucha diaria y tus consejos hicieron que me esforzara más y poder cumplir una de mis metas.

A mi Padre:

Eduardo Prestegui Vargas, a quien respeto por ser un hombre humilde y de gran corazón, gracias por luchar siempre para darme lo mejor, por confiar en mí y por todas esas cosas que nunca terminaré de agradecerle.

A mis Hermanos:

Uriel, Abigail y Neftali, gracias por su apoyo durante toda mi carrera profesional sin importar la distancia, gracias por su cariño y amor manifestado hacia mi persona y por alentarme a seguir adelante.

A mis Abuelos y Tíos:

Gracias por todo su amor y su cariño, gracias por apoyarme moralmente y por alentarme siempre para seguir luchando cada día, pero sobre todo por sus consejos.

A mis Sobrinos

Minerva, Uriel, Idalia, Arley, Wendy Guadalupe, Eduardo Gael, Ángel y Alan David, gracias a todos ustedes por darme su cariño y amor, gracias por sacarme una sonrisa cada vez que lo necesitaba.

A mis Primos:

Gracias por apoyarme moralmente sin importar el tiempo y la distancia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias por haberme dado la vida, por la familia tan hermosa que me regalaste, pero sobre todo por haberme dado la oportunidad de estar con salud y concluir uno de mis objetivos de mi vida.

A mi *ALMA MATER* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por haberme facilitado los recursos necesarios para formarme profesionalmente.

Al Departamento Forestal, principalmente a los maestros y administrativos, por sus enseñanzas y apoyo hacia mi persona durante toda mi carrera.

Al Dr. Celestino Flores López, por brindarme todo su apoyo como maestro durante toda la carrera y como asesor para realizar esta tesis, gracias por su paciencia, su tiempo, por sus conocimientos, dedicación y confianza depositada en mi para la realización de este trabajo.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por su asesoramiento para la revisión de este trabajo, gracias por su amistad y por compartirme sus conocimientos.

Al M.C. Héctor Darío González López, por su apoyo brindado para la revisión de este trabajo, gracias por su amistad.

A mis padres y hermanos por su apoyo moral y económico para poder alcanzar esta meta.

A mis amigos, Enrique Eguluz Pedraza, Nazareth Patricio Hernández, Jorge Yair Palma Zárate, Carmen Lizbeth Prestegui García, José Luis de la Cruz García, Gerardo Pérez López, Rosalinda Mondragón Sánchez, Fabiola Mondragón Sánchez, Itzel Neví Pérez García, María del Carmen Cruz Ramírez, Luz del Carmen Cruz Ramírez, José Cruz Ramírez, Patricia Fernández Guzmán, gracias por su amistad.

A la familia Gutiérrez Noyola, de la comunidad de Barra de Tecoaapa, por su apoyo incondicional para la realización de este trabajo, especialmente a Deysi Mariel Gutiérrez Noyola por cocinarnos durante un mes que por cierto cocina muy rico.

A María Magdalena Colón Alarcón, Jorge Yair Palma Zarate, Adín Velázquez Pérez, Francisco Javier Gutiérrez Noyola, Ubaldo Acevedo Prestegui, Carlos Colón Alarcón y al Dr. Celestino Flórez López, por su apoyo para la obtención de datos de campo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	5
1.1.1 Objetivo específicos	5
1.2 Hipótesis.....	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 Características generales de los manglares.....	6
2.2 Descripción de las especies de mangle	7
2.3 Tipos de manglares	8
2.4 Tablas de volumen	10
2.4.1 Importancia de las tablas de volumen.....	11
2.4.2 Tipos de tablas de volumen	11
2.4.3 Procedimiento para la elaboración de tabla de volumen	13
2.4.4 Cubicación de tipos dendrométricos principales.....	13
2.4.5 Estadísticos para determinar ecuaciones de mejor ajuste.....	16
2.4.6 Validación de tablas de volúmenes.....	18
2.5 Estudios de tablas de volumen en especies tropicales y manglares.....	25
3 MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 Descripción del área de estudio	26
3.1.1 Localización	26
3.1.2 Clima.....	27
3.1.3 Edafología.....	28
3.1.4 Vegetación.....	28
3.2 Obtención de información de campo	28

3.2.1 Selección y medición de árboles.....	28
3.2.2 Número de árboles evaluados	30
3.3 Cálculo de volúmenes individuales por tipos dendrométricos	32
3.4 Modelos matemáticos utilizados.....	33
3.5 Proceso para la obtención de volumen individual	33
3.6 Análisis estadísticos	35
3.7 Criterios de elección del modelo	35
3.8 Validación de las tablas de volumen	35
3.9 Construcción de las tablas de volúmenes para las especies de estudio.....	36
4 RESULTADOS	37
4.1 Selección del modelo sin y con ramas para las tres especies de mangles	37
4.2 Validación del modelo para las tres especies de mangles	44
4.2.1 Validación del modelo sin ramas por especie	44
4.2.2 Validación del modelo con ramas por especie.....	45
4.3 Elaboración de las tablas de volúmenes	45
5 DISCUSIÓN	52
5.1 Selección del modelo	52
5.2 Validación del modelo seleccionado	54
6 CONCLUSIONES.....	55
7 RECOMENDACIONES	56
8 LITERATURA CITADA.....	57
APÉNDICE	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Ecuaciones de tipos dendrométricos para calcular el volumen de fuste de árboles (Cailliez, 1980; Prodan <i>et al.</i> , 1997; Romahn y Ramírez, 2006).....	14
2	Fórmulas de cubicación de secciones de fustes de árboles más utilizadas (Cailliez, 1980; Romahn y Ramírez, 2006).....	15
3	Tamaño de muestra para la validación de tablas de volumen utilizados por diferentes autores.....	21
4	Ecuaciones utilizadas por diversos autores para determinación de volúmenes en especies de manglares.....	22
5	Ecuaciones utilizadas por diversos autores para determinación de volúmenes de especies tropicales y/o latifoliadas.....	23
6	Ecuaciones utilizadas por diversos autores para determinación de volúmenes de especies tropicales y/o latifoliadas. Continuación.....	24
7	Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y de altura de <i>Rhizophora mangle</i> en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero....	30
8	Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y de altura de <i>Avicennia germinans</i> en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero..	31
9	Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y de altura de <i>Laguncularia racemosa</i> en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	31
10	Modelos utilizados para la elaboración de tablas de volúmenes para tres especies de mangles, en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	34
11	Ecuaciones de predicción sin y con ramas de tres especies de mangles en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	37
12	Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total sin ramas para <i>Rhizophora mangle</i> de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	38
13	Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla	

	de volumen fuste total con ramas para <i>Rhizophora mangle</i> de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	39
14	Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total sin ramas para <i>Avicennia germinans</i> de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	40
15	Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total con ramas para <i>Avicennia germinans</i> de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	41
16	Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total sin ramas para <i>Laguncularia racemosa</i> de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	42
17	Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total con ramas para <i>Laguncularia racemosa</i> de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	43
18	Estadísticos de validación de las tablas de volúmenes fuste total sin ramas para tres especies de mangles de Barra de Tecoaapa.....	44
19	Estadísticos de validación de las tablas de volúmenes fuste total con ramas para tres especies de mangles de Barra de Tecoaapa...	45
20	Tabla de volumen fuste total sin ramas para <i>Rhizophora mangle</i> en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	46
21	Tabla de volumen fuste total con ramas para <i>Rhizophora mangle</i> en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	47
22	Tabla de volumen fuste total sin ramas para <i>Avicennia germinans</i> en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	48
23	Tabla de volumen fuste total con ramas para <i>Avicennia germinans</i> en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	49
24	Tabla de volumen fuste total sin ramas para <i>Laguncularia racemosa</i> en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	50
25	Tabla de volumen fuste total con ramas para <i>Laguncularia racemosa</i> en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.....	51
26	Estadísticos de modelos utilizados en estudios de mangles.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización geográfica del área de estudio de Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero, México.....	26
2	Diagrama ombrotérmico de las normales climatológicas (temperatura y precipitación) de la estación de Marquelia del periodo 1981-2010.....	27

RESUMEN

En este estudio se evaluaron 87 árboles de *Rhizophora mangle*, 112 de *Avicennia germinans* y 101 de *Laguncularia racemosa*, estimando el volumen individual de cada árbol mediante las fórmulas del neiloide truncado, paraboloides truncado y cono, correspondientes a cada sección y la fórmula del cono truncado para las ramas y para la regeneración menor a 2.5 cm de diámetro; con el objetivo de seleccionar un modelo de regresión que permita estimar el volumen fuste total y total árbol para los manglares de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

Se ajustaron 15 modelos mediante los procedimientos Proc Reg y Proc Nlin del programa estadístico SAS 9.1, para la selección del mejor modelo se consideraron el coeficiente de determinación, el coeficiente de determinación ajustado, el cuadrado medio del error, el valor de F, el índice de Furnival y el coeficiente de variación. Para la validación de las tablas de volúmenes se excluyeron 13, 16 y 15 árboles respectivamente de las especies mencionadas.

El modelo para la estimación para ambos volúmenes y para las tres especies fue el de Schumacher-Hall 2 con una R^2_{aj} mayor a 0.98 y con valores mínimos de índices de Furnival. El modelo seleccionado fue validado, presentando valores que oscilan entre 17.53 a 42.49% de la raíz del error medio cuadrático (REMC) y un sesgo de la diferencia agregada (DA) entre 0.37 a 12.59% para la tabla de fuste total sin ramas y para la tabla de volumen fuste total con ramas presentó valores de error que van de 16.49 a 29.36 % y de DA de 0.28 a 8%, las diferencias entre el volumen real y el estimado fueron mínimas y no pasaron del 15%, considerando el modelo como el adecuado para la estimación de volúmenes. Las tablas que se presentan en este estudio son de dos entradas y el modelo es un logarítmico que considera dos variables independientes, por lo tanto para su aplicación se hace necesario utilizar las variables diámetro a 1.3 m de altura para el caso de *Avicennia* y *Laguncularia* y en el caso de *Rhizophora* el diámetro es a 0.30 m después de las raíces zancudas y con sus respectivas alturas.

Palabras Claves: Tablas de volúmenes, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*.

ABSTRACT

In this study 87 trees of *Rhizophora mangle*, 112 of *Avicennia germinans* and 101 of *Laguncularia racemosa* were evaluated by estimating the individual volume of each tree by the formulas of the truncated neiloid, paraboloid truncated and cone for each section and the formula of the truncated cone to branches and regeneration less than 2.5 cm in diameter; with the aim of selecting a regression model to estimate the total volume and the total stem mangrove tree to Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

Using the procedures Proc Reg and Proc NLIN of statistical program SAS 9.1, 15 models were fitted. For selecting the best model were considered the coefficient of determination, the adjusted coefficient of determination, the mean square error, the value of F, the index of Furnival and the coefficient of variation. To validate of volume tables were excluded 13, 16 and 15 trees respectively of the species mentioned.

The model for the estimation of both volumes and for the three species was the Schumacher-Hall 2 with R^2_{aj} of 0.98 and minimum values of Furnival index. The selected model was validated, with values that oscillate between 17.53 to 42.49% of the root mean square error (Root MSE) and bias the aggregate difference (AD) between 0.37 to 12.59% for the table total stem without branches and to the table total stem with branches all presented error values ranging from 16.49 to 29.36% and from 0.28 to AD 8%, the differences between actual and estimated volume were minimal and did not exceed 15 %, then the model is appropriate for the volume estimation. The tables presented in this study are two entrances and is a logarithmic model that considers two independent variables, so for your application it is necessary to use the variables diameter at 1.3 m height in the case of *Avicennia* and *Laguncularia* and in the case of *Rhizophora* diameter is 0.30 m after the stilt roots and their respective heights.

.Keywords: volume tables, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*.

1 INTRODUCCIÓN

Los humedales costeros, en particular los manglares, son ecosistemas adaptados a la salinidad del agua y a vivir en suelos anegados, se desarrollan en planicies costeras de los trópicos húmedos en el mundo, en las desembocaduras de ríos, arroyos y lagunas, poseen raíces aéreas especializadas como neumatóforos (raíces respiratorias) en *Avicennia* y *Laguncularia* y raíces fúlcreas (raíces adventicias) en *Rhizophora*. Los manglares son zonas de alimentación, hábitat y crecimiento para juveniles crustáceos y aves permanentes y migratorias, sirven de transición entre los ecosistemas terrestres y ecosistemas marinos, convirtiéndose así en el recurso forestal más importante de los ecosistemas tropicales (Travieso-Bello, S/F; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 1995; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1998; López-Portillo y Ezcurra, 2002; Duke y Allen, 2006; Conabio, 2008; Conabio, 2009a; Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2009).

Los manglares se encuentran distribuidos normalmente entre los 25 grados de latitud norte y sur por todo el mundo. Con excepción en la costa Atlántica, los manglares se extienden hacia el norte hasta las Bermudas con (32° latitud norte) y hacia el sur hasta la región de Laguna en Brasil con una latitud de (28° 30' Sur). La distribución, composición y fisonomía de las comunidades de manglar están influidas por los cambios latitudinales en la temperatura y la precipitación, pero localmente dependen del sustrato, salinidad, inundación y el relieve (Travieso-Bello, S/F; Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1999; Day *et al.*, 1987; López-Portillo y Escurra, 2002).

Desde un punto de vista tanto biológico y socioeconómico, los manglares constituyen unos de los ecosistemas más importantes del mundo. Estos proporcionan una amplia variedad de recursos naturales, bienes y servicios, entre los cuales se encuentran medicinas, leña, taninos y material de construcción. Por otro lado, actúan como sistemas naturales de control de inundaciones, filtros biológicos y barreras contra huracanes y son uno de los ecosistemas que capturan más carbono, siendo esta la función que constituye uno de los principales servicios ambientales más importantes que ofrecen los manglares, por ello la importancia de su conservación y preservación (Valdez-Hernández, 2002; Moreno-May *et al.*, 2010).

Los manglares comprenden 54 especies, distribuidas en 20 géneros y pertenecientes a 16 familias. En México, las especies que más predominan son: *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo), *Avicennia germinans* (L.) L. (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn, (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* L. (mangle botoncillo o falso mangle). Estas especies se encuentran bajo la categoría de amenazadas (Semarnat, 2010). Por otro lado, se han registrado, *Rhizophora harrisonii* Leechm., y *Avicennia bicolor* Standl., en las costas de Chiapas; es común encontrarlas asociadas dependiendo de sus requerimientos y resistencia a la salinidad (Travieso-Bello, S/F; López-Portillo y Ezcurra, 2002; Conabio, 2009a; Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2009; Trejo-Torres, 2009).

Los manglares en México ocupan una superficie de más de 770 mil hectáreas, se distribuyen a lo largo de las costas del Océano Pacífico, Golfo de México y el Mar Caribe, en 17 estados de la República Mexicana donde a nivel región, la Península de Yucatán tiene un 55%, seguida por la región pacífico norte con un 24.5%, la región pacífico centro es la que menor extensión de manglar contiene con un 0.9%, a nivel estado, Campeche, posee la mayor superficie de manglar del país con 25.2%, seguido por Quintana Roo con 16.9%, Yucatán con 12.9%, Sinaloa 10.5% y Nayarit con un 9.3% y los estados con menor cobertura son Guerrero con 1%, Michoacán con 0.2%, Jalisco 0.3% y Baja California con un 0.004% (Conabio, 2009a).

Este tipo de vegetación forestal es de suma importancia, por lo que México cuenta con el 45.2% de la superficie total decretada como área natural protegida federal, el 21.4% se encuentra decretada como área natural protegida estatal. Los estados con mayor porcentaje de manglares en áreas protegidas federales son: Baja California (100%), Campeche (90.3%), Chiapas (66.9%) y Quintana Roo (64.5%). Los estados con el mayor porcentaje de manglares en áreas protegidas estatales son: Chiapas (71.3%), Yucatán (45.8%) y Campeche (35.4%). Y los estados con manglar sin protección a nivel federal o estatal son Colima y Guerrero (Conabio, 2009a).

A pesar de que existen áreas de protección, la cobertura de los manglares ha disminuido considerablemente, registrándose una tasa de deforestación promedio anual de 2.5% a nivel nacional; donde la tasa de deforestación más alta se presenta

en el Golfo de México, con 2.8%, el 0.8% más que la costa del pacífico. De continuar con estas tendencias, las proyecciones al año 2025 indican una pérdida del 50% de la superficie nacional, de manera que es evidente que el manglar es un ecosistema amenazado (INE, 2005).

En este contexto, gran parte de esta deforestación se ha asociado con los impactos directos a las actividades humanas: cambio de uso de suelo, fragmentación de la cobertura de manglar, afectaciones indirectas y contaminación, degradación y destrucción por la tala inmoderada, desarrollo urbano, desarrollo agrícola y ganadero y la sobre explotación de los recursos (Travieso-Bello, S/F; López-Portillo y Ezcurra, 2002; Valdez-Hernández, 2004; Conabio, 2008; Conabio, 2009a; Semarnat, 2011).

Por otra parte, en la investigación científica y en el manejo de los recursos naturales, una de las actividades más importantes es el monitoreo de los cambios que sufren los ecosistemas terrestres y acuáticos. El monitoreo permite contar con información sobre las variables críticas para su diagnóstico y facilita un seguimiento a largo plazo. Por lo que, los manglares a pesar de su gran diversidad biológica son uno de los ecosistemas considerados críticos por la gran amenaza que presentan (Maass y Ceballos, 2005; Espinoza-Garduño, 2012; López-Portillo, 2012).

Por lo anterior, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), estableció junto con otras instituciones un programa de monitoreo sistematizado a largo plazo a través de indicadores ecológicos y ambientales que permitan determinar las condiciones de los ecosistemas acuáticos y los principales agentes de transformación; para definir esquemas de manejo, que conduzcan a la conservación, manejo o rehabilitación de los manglares y con ello definir las acciones necesarias para la protección de las zonas costeras (Semarnat, 2003; Acosta-Velásquez 2007; Restrepo-Martínez y Vivas-Aguas, 2007; Conabio, 2008).

De las zonas costeras es necesario destacar, que los manglares funcionan como reservorio de carbono y tienen la capacidad de fijar carbono emitido a la atmósfera en las ramas, hojas y tallos, debido al elevado consumo de CO₂ (dióxido de carbono).

Por ello, es necesario contar con información sobre el volumen y la biomasa de los manglares para determinar la retención de carbono, siendo estos más ricos que los bosques terrestres, como lo muestran los siguientes estudios realizados por Donato *et al.* (2011) que encontraron que en promedio almacenan $1,023 \text{ ton C ha}^{-1}$, mientras que Adame y Kauffmann, (S/F) encontraron que los manglares de la reserva de la biósfera de Sian Ka'an en Quintana Roo, almacenan en promedio $1328 \text{ ton C ha}^{-1}$, a su vez Manrow-Villalobos y Vilchez-Alvarado (2012) estudiaron el contenido de biomasa y carbono arriba del suelo en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín en Costa Rica ellos encontraron que la cantidad de carbono almacenada es de 330.27 y $257.10 \text{ ton ha}^{-1}$ de biomasa y 153.25 y $119.29 \text{ ton ha}^{-1}$ de carbono. Por otra parte, Moreno-Cáliz *et al.* (2002) encontraron que en los manglares de Tabasco el contenido de carbono fluctúa entre 47 y 82 kg C m^{-2} , que almacenan más carbono que cualquier bosque terrestre. Por ello es importante cuantificar el volumen como herramienta para estimar biomasa que es la cantidad de carbono almacenado en un bosque (FAO, 1998; Robles-Valle *et al.*, 2000).

En la actualidad existen muy pocos registros en la literatura científica relacionados a la elaboración de tablas de volumen y manejo de los manglares. Por ejemplo, García-Corona y Aldana-Pereira (S/F) realizaron tablas de volumen para *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* en Cuba, donde probaron cinco modelos de regresión de volumen. Los manglares de Barra de Tecoanapa se encuentran en una de las regiones marinas prioritarias (Cópala-Punta Maldonado) con mayor biodiversidad y se localizan entre los sitios con relevancia biológica con necesidades de rehabilitación ecológica (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998; Tovilla-Hernández *et al.*, 2009).

Por lo anterior y con el objeto de establecer una referencia volumen existente en los manglares, en especial los de Barra de Tecoanapa, el propósito de este estudio fue generar tablas de volúmenes de doble entrada para *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* como herramienta para la estimación de biomasa aérea y almacenamiento de carbono en los manglares que se considera un servicio ambiental importante como alternativa de manejo.

1.1 Objetivo general

Elaborar tablas de volumen de fuste total árbol para *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* a partir de la comparación de ecuaciones lineales y no lineales utilizando las variables diámetro y altura, para manglares de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

1.1.1 Objetivo específicos

Seleccionar el mejor modelo lineal o no lineal a partir de la comparación de estadísticos, qué estimen el volumen fuste total árbol de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

Obtener dos tablas de volúmenes, una de fuste total árbol con ramas y otra sin ramas, para cada especie en estudio, en los manglares de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

1.2 Hipótesis

H0: Los modelos utilizados en la elaboración de tablas de volúmenes en latifoliadas no se pueden aplicar para la elaboración de tablas de volumen para los manglares.

H1: Los modelos utilizados en la elaboración de tablas de volúmenes en latifoliadas se pueden aplicar para la elaboración de tablas de volumen para los manglares.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características generales de los manglares

Los manglares son un tipo de humedal formado por especies leñosas arbóreas o arbustivas, compuesta de una o más especies de mangle, que mantienen sus hojas verdes durante todo el año, viven en ambientes salinos y se distribuyen a lo largo de las costas tropicales y subtropicales del mundo, forman una cobertura medianamente densa, prácticamente sin plantas herbáceas y sin trepadoras, rara vez con alguna epífita o parásita. Los manglares son las únicas plantas verdaderamente vivíparas, es decir las semillas germinan antes de desprenderse de la planta progenitora, además presentan mecanismos de exclusión (rechazo) y de excreción (expulsión) de sal (Travieso-Bello, S/F; Snedaker y Getter, 1985; Rzedowski, 2006).

Los manglares a pesar de encontrarse en condiciones de inundación, en suelos inestables y de haber desarrollado estrategias de adaptación al ambiente, requieren según las investigaciones de algunas condiciones mínimas para su desarrollo y conservación; en este sentido conviene resaltar las siguientes: clima, latitud, temperatura del agua, precipitación, salinidad, competencia, huracanes, vientos, tormentas, sustrato y tipo de suelo que por lo general crecen en suelos ácidos carecientes de oxígeno y pueden ser benéficos o destructivos para su desarrollo (Travieso-Bello, S/F; Snedaker y Getter, 1985; Guevara-Mancera *et al.*, 1998; Pinto-Nolla, 1999; Twilley y Day, 1999).

A nivel mundial existen dos grupos de diversidad de manglares que son el grupo Oriental (Australia, Asia del Sudeste, India, África Oriental, y Océano Pacífico Occidental) donde el número total de especies es aproximadamente 40 y el grupo Occidental (África Occidental, el Caribe, Florida, Atlántico Sudamérica, y el Norte Pacífico y Sudamérica) donde el número de especie es sólo ocho. Las principales especies pertenecen a cinco familias taxonómicas: Verbenaceae, Combretaceae, Palmae, Rhizophoraceae y Lythraceae (Tomlinson, 1986, Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2009).

2.2 Descripción de las especies de mangle

Rhizophora mangle L. (mangle rojo). Es un árbol o arbusto muy característico por sus raíces aéreas, ramificadas en forma de zancos que sirven como sostén en suelos anegados, son árboles perennifolios es decir, con hojas todo el año, halófitos (resistente a la sal y a las inundaciones), con troncos rectos, copas redondeadas, hojas opuestas simples de color verde en el haz y amarillentas con puntos negros en el envés, corteza color olivo tornándose a rojo, con inflorescencias simples con 2 o 3 flores amarillas, con una sola semilla que germina en el interior del fruto (viviparidad). Es una especie con un amplio patrón de distribución en las costas americanas, del África Occidental y de ciertas islas del Pacífico, en México se encuentra a lo largo de las costas del Golfo, Pacífico y el Caribe, en latitudes tan extremas como Isla San Esteban en Baja California o Huixtla en el sur de Chiapas. El mangle se desarrolla a una temperatura de 21°C a 30°C, a una precipitación de 800 a 1000 mm en suelos saturados y generalmente rico en materia orgánica (Jiménez, S/F; Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2009).

Laguncularia racemosa (L.) Geartn (mangle blanco). Árbol o arbusto, dioicos (sexos separados) o hermafroditas (ambos sexos), tronco ramificado; corteza rugosa de color grisácea-café; copa redondeada y densa, hojas simples opuestas, elípticas y redondeada, sus flores crecen en grupos en las puntas de las ramas, los frutos son sedosos y carnosos. La semilla empieza a germinar dentro del fruto cuando este se encuentra adherido al árbol, con una tolerancia menor a la salinidad que el mangle rojo. Esta especie presenta mecanismo de excreción, así como lenticelas en sus neumatóforos para captar oxígeno. Mundialmente se distribuye en el oeste de África desde Senegal a Camerún, en las Bermudas y en América en ambas costas desde Florida y el norte de México hasta Brasil y Ecuador, las Islas Galápagos y hasta el noroeste de Perú. En México habita en ambas costas (Golfo y Pacífico) y el Mar Caribe. Crece en altitudes de 0 a 15 msnm. Se desarrolla en climas tropicales, con temperaturas mínimas de 15.5°C. Crece en suelos arenosos y arcillosos (Agraz-Hernández *et al.*, 2006; Conanp, 2009).

Avicennia germinans (L) L. (mangle negro). Árbol pequeño o arbusto perennifolio, con diámetro de 20 a 60 cm. Se distingue por sus raíces superficiales, modificadas (neumatóforos) que permiten la absorción del oxígeno en suelos pantanosos, crecen erectas y saliendo del agua alrededor del tronco principal, corteza de color rojiza, con hojas opuestas de tamaños variables, con flores muy pequeñas y crecen en grupos que poseen órganos femeninos y masculinos, es decir presentan ambos sexos en la misma planta (monoico), donde alcanza su madurez sexual cuando tienen de 2 a 3 metros de altura. *Avicennia germinans* es la especie más tolerante a condiciones climáticas rigurosas y extremas en sal, se encuentra a una altitud de 0 a 15 msnm. Se desarrolla en climas lluviosos, así como en climas secos semiáridos o áridos. A nivel mundial se distribuye desde Estados Unidos (Florida, Texas) por Guatemala y Belice hasta Panamá, así como en el oeste de Sudáfrica e India. En México en las costas del Pacífico, Golfo y el Mar Caribe (Agraz-Hernández *et al.*, 2006; Conabio, 2009b).

Por otra parte, existe una cuarta especie *Conocarpus erectus* L., que es considerada como mangle; sin embargo, por carecer de las características de viviparidad, raíces con estructuras respiratorias por encima del suelo, capacidad de excretar la sal, no es un mangle verdadero, pero si una de las especies más asociadas ecológicamente con los manglares (Basáñez-Muñoz *et al.*, 2008; Trejo-Torres, 2009).

2.3 Tipos de manglares

El desarrollo y estructura de los manglares están determinados por la topografía, temperatura, precipitación, periodos de inundación, sustrato y la cantidad de sal; de manera que cada especie domina aquella zona a la cual se ha adaptado mejor. Se conocen cinco principales tipos de estructuras de manglares: de franja o borde, de cuenca, ribereño, de sobreinundación y enano; a continuación se describen cada uno de ellos (Travieso-Bello, S/F; Snedaker y Getter, 1985; Trejos-Castillo *et al.*, 2007; Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2010).

Los manglares de borde o franja están situados a lo largo de litorales ligeramente inclinados de la tierra firme e islas grandes, frecuentemente están expuestos a bahías abiertas y fuertes vientos; y reciben oleajes entre moderados y suaves. Se encuentran mejor definidos en aquellas islas con elevaciones que impiden el excesivo lavado de la costa producido por las mareas altas. Las velocidades de flujo son tan pequeñas, que no transportan grandes cantidades de escombros a las aguas adyacentes en mareas descendientes; la especie dominante es *Rhizophora mangle*.

Los manglares de cuenca ocurren en depresiones topográficas con poco flujo y reflujos de aguas detrás del manglar de borde. Las aguas de inundación tienden a acumularse en la depresión y raramente sufren un completo intercambio durante el ciclo completo de mareas. Este tipo de manglar está situado frecuentemente tierra adentro en formaciones semejantes a una franja o hilera a lo largo de los drenajes terrestres internos y ocurren también en el centro de grandes islas. Estos manglares están expuestos a aguas menos salinas por periodos más largos del año. El flujo y reflujos de aguas salinas ocurre probablemente durante mareas extremadamente altas y mareas causadas por tormentas, en áreas húmedas, estos poseen muy a menudo una flora de epífitas bien desarrolladas, dominada principalmente por orquídeas; el predominio de una especie depende de la salinidad y concentración de nutrientes, bosques mono específicos o combinados de *Avicennia germinans* si el sitio registra salinidades mayores a 40 g kg^{-1} ; y de *Laguncularia racemosa* si la salinidad es menor a 35 g kg^{-1} .

Los manglares ribereños ocurren en los llanos de inundaciones de los drenajes de agua dulce proveniente de ríos, los cuales son inundados por corrientes de agua durante los periodos de abundantes lluvias y escorrentías. Siendo este tipo, los manglares más productivos.

Los manglares de sobreinundación tienden a ocurrir en llanos de mareas e islas completamente inundadas durante la mayoría de los ciclos mareales, debido a que las aguas entrantes y salientes bañan completamente las islas, las basuras y los escombros no se acumulan.

Los bosques enanos ocurren donde existen severas limitaciones para el crecimiento y desarrollo de los manglares. Estos forman una comunidad escasa y dispersa de especies de manglar en forma de matorrales, las cuales, muy raramente alcanzan dos metros de altura. Los manglares enanos ocurren comúnmente en ambientes con carbonatos y en áreas áridas.

Es importante destacar que aunque cada tipo de manglar realiza las mismas funciones de producción, respiración, reciclaje de nutrientes; además cada uno tiene de acuerdo a su estructura patrones diferentes de regulación, los cuales están relacionados con condiciones ambientales específicas que promueven o restringen cada función (Snedaker y Getter, 1985).

2.4 Tablas de volumen

Las ecuaciones de regresión, representadas en forma de “tablas de volumen” o “tarifas de volumen” se desarrollaron a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, pero no es, sino hasta 1804, en Alemania, donde se construyeron para la cubicación de árboles de uso maderable. Las tablas o tarifas de volumen pueden elaborarse para una sola especie o para grupos de especies e incluso para una o varias localidades. Los volúmenes se pueden expresarse en unidades como pies cúbicos, pies tabla, cuerdas, metros cúbicos o cualquier otra unidad de interés (Torres-Rojo y Torres-Magaña, 2001).

Las tablas de volumen o ecuaciones de volumen se define como una tarifa, fórmula o gráfica, la cual estima el volumen de un árbol o de un grupo de árboles en función de variables llamadas entradas de la tarifa, donde se pueden elaborar tarifas individuales y tarifas de rodal (Cailliez, 1980). Sin embargo, existen otras definiciones al respecto, y la definen como una expresión tabulada que establece el volumen medio de los árboles en pie de diversos tamaños y especies, de acuerdo con una o más de sus dimensiones fáciles de medir, tales como el diámetro normal, la altura y la forma (Husch *et al.*, 1982).

2.4.1 Importancia de las tablas de volumen

Los bosques proporcionan muchos servicios, como por ejemplo la producción de madera, leña y almacenamiento de carbono. Por lo que requieren una estimación rigurosa del volumen y biomasa de los árboles (Sola *et al.*, 2012).

Para determinar el volumen total de un bosque es importante conocer principalmente el volumen total de árboles en pie (volumen del tronco, volumen de corteza y volumen de las ramas) dependiendo de la finalidad del producto que se mide, se tendrá el volumen correspondiente, comercial o biomasa total del bosque (Imaña-Encinas, 1998).

El instrumento que cumple con estos requisitos son las tablas de volumen que son de gran importancia, ya que constituyen el fundamento de los inventarios forestales, los que a su vez son el cimiento de la silvicultura y de los programas de manejo forestal sustentable, ya que a través de las ecuaciones de regresión, es posible calcular el volumen de árboles individuales y por ende las existencias volumétricas por unidad de superficie a nivel género y especie (Romahn *et al.*, 1994; Romero-Hernández, 2005; Escobar-Cruz, 2007; Acosta-Mireles y Carrillo-Anzures, 2008).

Por otra parte son muy pocas y casi nulas las tablas de volumen utilizadas para estimar la biomasa y el almacenamiento de carbono que multiplicado por variables fáciles de medir (densidad de la madera y un factor de expansión de la biomasa) sirven como herramienta para la cuantificación de carbono, que es un elemento de importancia en los estudios sobre el cambio climático en los bosques tropicales y subtropicales como lo son los manglares (FAO, 1998; Sola *et al.*, 2012).

2.4.2 Tipos de tablas de volumen

Las tablas de volumen se pueden clasificar en regional, local, estándar, gráficas, tablas de una entrada, de dos entradas, de tres entradas, tarifas, específicas, compuestas, universales.

En términos generales existen siete criterios fundamentales en los que se apoya la gran mayoría de las clasificaciones de las tablas de volumen; a continuación se menciona cada uno de ellos (Romahn *et al.*, 1994).

- Número de variables consideradas
- Procedimiento de construcción
- Extensión geográfica del área de aplicación
- Unidades en que se construye
- Cantidad del volumen individual de árboles en que se basan
- Tipo de material taxonómico que interviene
- El hecho de que sean aplicables a árboles individuales o a rodales

De los criterios expuestos el considerado más importante es el que se basa a la extensión del área geográfica de aplicación. Con este criterio, las tablas de volúmenes pueden clasificarse en tres categorías: tabla local o de una entrada, tabla estándar o de doble entrada y tablas de volumen con coeficiente de forma, a continuación se describen cada una de ellas (Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982; Romahn *et al.*, 1994; Imaña-Encinas, 1998).

Tablas estándar o de doble entrada, estas son elaboradas para satisfacer áreas relativamente grandes, por lo que consideran como variables independientes diámetro normal, altura y en ocasiones algún índice de forma, se pueden elaborar para especies individuales o grupos de especies, sin embargo la aplicabilidad de esta tabla depende de la forma de los árboles a los cuales se aplica.

Las tablas locales o de una entrada se pueden elaborar en base a valores de campo o bien se pueden derivar de la tabla estándar directamente, por lo que estima el volumen en términos del diámetro normal, este tipo de tablas poseen un área de aplicación muy restringida.

Tablas de volumen con factor de forma o de tres entradas este tipo de tablas son elaboradas considerando las variables independientes de diámetro normal, altura total o comercial y algunas medidas de forma.

2.4.3 Procedimiento para la elaboración de tabla de volumen

La construcción de la tabla de volumen, implica una serie de etapas fundamentales que son: definición de objetivos, elección y tamaño de muestra, mediciones de campo y la construcción de la tabla (Romahn y Ramírez, 2006). Mientras que, Torres-Rojo y Torres-Magaña (2001), menciona dos etapas más para la elaboración de tablas: cálculo de los volúmenes individuales y validación de la tabla.

Los objetivos son considerados los cimientos principales para todo el proceso de trabajo, pues en base a ellos se elige la especie o las especies, los motivos que inducen a construir una tabla de volumen y el tamaño de muestra, que debe ser representativa de la población e incluir árboles de todas las categorías diamétricas, el número mínimo recomendado son diez árboles por categoría. En términos generales, el número recomendado por Velasco-Bautista *et al.* (2006) es de 215 árboles distribuidos en diferentes categorías diamétricas y calidades de estación. Por otro lado Cailliez (1980) menciona que se debe considerar 50 a 100 árboles para tablas de una sola entrada y 80 a 150 para tablas de doble entrada.

2.4.4 Cubicación de tipos dendrométricos principales

Los fustes o trozas de los árboles no tienen la forma de un cuerpo geométrico perfecto, por lo que complica obtener el volumen de cada uno de ellos. Sin embargo, se recurren a los tipos dendrométricos o cuerpos de rotación. Los tipos dendrométricos más simples que se acercan a cada parte del fuste son el cilindro, el paraboloides, el cono y neiloide, además se han derivado ecuaciones para conoides truncados (Cuadro 1) (Prodan *et al.*, 1997; Romahn y Ramírez, 2006).

Por otra parte, existen fórmulas de cubicación con procedimientos más sencillos, donde los fustes o troncos de los árboles deben dividirse en trozas o secciones de igual o diferente longitud y se cubican por separado, de tal forma que la precisión de la cubicación será mayor entre menor sea la longitud en que se divide el fuste (Romahn y Ramírez, 2006).

Cuadro 1. Ecuaciones de tipos dendrométricos para calcular el volumen de fuste de árboles (Cailliez, 1980; Prodan *et al.*, 1997; Romahn y Ramírez, 2006).

No.	Ecuación	Precisión	Solidos Geométricos
1	$V = d_b * L$	Exacta	Cilindro
2	$V = \frac{d_b * L}{2}$	Exacta	paraboloide apolónico
3	$V = \frac{d_b * L}{3}$	Subestima	Cono
4	$V = \frac{d_b * L}{4}$	Subestima	Neiloide
5	$V = \frac{\pi}{4} * L * \left(\frac{d_b^2 + d_s^2}{2} \right)$	Exacta	Paraboloide truncado
6	$V = \frac{\pi}{4} * L * \left(\frac{d_b^2 + d_b d_s + d_s^2}{3} \right)$	Exacta	Cono truncado
7	$V = \frac{\pi}{4} * L * \left(\frac{d_b^2 + \sqrt[3]{d_b^4 d_s^2} + \sqrt[3]{d_b^2 d_s^4} + d_s^2}{4} \right)$	Exacta	Neiloide truncado

Dónde: No= número consecutivo de la ecuación V= Volumen de la troza L= longitud de la troza d_b = área transversal del diámetro de la base de la troza d_s = área transversal del diámetro superior de la troza.

Las fórmulas que se pueden mencionar son la de Smalian, Huber y Newton que proporcionan volúmenes con un grado de precisión necesario para cubicaciones comerciales. Por otro lado las fórmulas de Simpson, Kuntze y Heyer, son de mayor precisión en trabajos de investigación como se observa en el Cuadro 2, (Romahn *et al.*, 1994; Romahn y Ramírez, 2006; Torres-Rojo y Torres-Magaña, 2001).

Cuadro 2 Fórmulas de cubicación de secciones de fustes de árboles más utilizadas (Cailliez, 1980; Romahn y Ramírez, 2006).

No.	Ecuación	Precisión	Nombre
1	$V = \left(\frac{d_b + d_s}{2} \right) * L$	Media	Smalian
2	$V = d_m * L$ y $V = \frac{\pi L}{4} * \left(\frac{d_b + d_s}{2} \right)^2$	Media	Huber
3	$V = \frac{L}{6} * (d_b + 4d_m + d_s)$	Exacta	Newton
4	$V = \frac{L}{3} * \left[(d_1 + d_{n+1} + 4(d_2 + d_4 + d_n) + 2(d_3 + d_5 + d_{n-1})) \right]$	Exacta	Simpson
5	$V = \left(\frac{d_1 + d_n}{2} + d_2 + d_3 + d_4 + d_{n-1} \right) * L$	_____	Kuntze
6	$V = (d_{m1} + d_{m2} + d_{m3} + d_{m4} + d_{mn}) * L$	_____	Heyer

Dónde: No= número consecutivo de la ecuación; V= Volumen de la troza L= longitud de la troza; d_b = área transversal del diámetro de la base de la troza; d_s = área transversal del diámetro superior de la troza; d_m = área de la sección media; $d_1, 2, 3, 4$ = diámetro consecutivo de la troza.

Aunque en los Cuadros 1 y 2 se describe que la mayoría de las fórmulas son exactas, en realidad no existe una exactitud completa, porque esta depende más de las mediciones del diámetro, que de la fórmula de cálculo utilizada, pues todas las fórmulas dan resultados similares, con un error relativo inferior al 1% (Cailliez, 1980). Es importante mencionar que a pesar de la mayor precisión que se tiene al utilizar la fórmula de Newton, esta no es utilizada con frecuencia ya que no es fácil de usar en la práctica por lo que se ha optado por usar las otras fórmulas como la de Smalian, cilindro, paraboloides apolónicas, cono y neiloide; aunque la fórmula de Smalian se propuso para aplicaciones prácticas, se obtienen sobreestimaciones en los tipos dendrométricos del neiloide y cono, mientras que al usar la fórmula directa del cono y

neiloide pueden producir subestimaciones considerables y, es por esta razón que se ha optado a utilizar las fórmulas correctas para conoides trucados como lo son paraboloides truncados, cono truncado y neiloide truncado (Cailliez, 1980; Prodan *et al.*, 1997).

2.4.5 Estadísticos para determinar ecuaciones de mejor ajuste

En el proceso de elaboración de tablas de volumen, generalmente se prueban varias ecuaciones de regresión, por lo que es importante seleccionar la mejor ecuación de una forma objetiva que permita la mejor estimación de volumen. Anteriormente las tablas de volumen se realizan por el método de mínimos cuadrados y los estadísticos más utilizados para la elección del modelo son: cuadrado medio del error, coeficiente de determinación, índice de Furnival, valor de F calculado; coeficiente de determinación ajustado; coeficiente de correlación, coeficiente de variación, suma de residuales (Barrena *et al.*, 1986; Moret *et al.*, 1998; Cuadrado-Hidalgo, 1985; Machado-Carcasés *et al.*, 2003; Alvarado-Chay, 2003; Romero-Hernández, 2005; Pacheco-Fonseca, 2011, Hernández-Santiago, 2013). A continuación se explica cada uno de los estadísticos más utilizados en la elaboración de tablas de volumen.

Coeficiente de determinación (R^2) es una relación lineal entre las variables dependientes e independientes, mide la bondad de ajuste del modelo y se utiliza en ecuaciones que describen un proceso; expresa la proporción de la variación total de la suma corregida de la variable dependiente explicada por la variable independiente. El modelo que se debe seleccionar debe presentar el valor más alto, lo más cercano a uno (Idola-Gabeitla y Fernández-Manzo, S/F; Barrena *et al.*, 1986; Sit y Poulin-Costello, 1994; Walpole *et al.*, 1999; Navarro-Martínez, 2002; González-Jacobo, 2003; Galán-Larrea *et al.*, 2008; Pacheco-Fonseca, 2011).

Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) este criterio es más confiable que R^2 (coeficiente de determinación) debido a que este último aumenta su valor a medida que aumenta una nueva variable, ante esta desventaja, la comparación para modelos que involucran diferente número de variables, se logra mejor con el coeficiente ajustado, ya que expresa la cantidad de variación total explicada por la

regresión. El modelo que presenta el valor más alto (cercano a uno) es el que se selecciona para la estimación de volumen (Schlaegel, 1984; Cuadrado-Hidalgo, 1985; Sit y Poulin-Costello, 1994; Moret *et al.*, 1998; Mora y Gómez, 2003; da-Cunha y Guimarães-Finger, 2009).

Coefficiente de correlación (r) es el grado de asociación o correlación lineal entre dos variables, mide el grado de intensidad de esta posible relación entre las variables. Este coeficiente se aplica cuando la relación que puede existir entre las variables es lineal, se le da un valor positivo cuando r es mayor a cero y un valor negativo cuando el valor se aproxime a -1 y cuando r es igual a cero no existe correlación, por lo tanto el valor de r varía entre $+1$ y -1 (Alvarado-Chay, 2003; Mora y Gómez, 2003).

Error estándar de la estimación o cuadrado medio del error (CME), se define como la suma residual de cuadrados y da una medida de dispersión de los datos con referencia a la función de ajuste, se utiliza en ecuaciones que estiman o predicen valores, el criterio para seleccionar el modelo es el que presente el valor más cercano a cero (más bajo). Este valor solamente debe ser utilizado como criterio de comparación cuando las variables dependientes presenten las mismas unidades de medida (Sit y Poulin-Costello, 1994; Moret y Ruíz, 1998; Muñoz-Flores, 2012).

Índice de Furnival (I). Este índice permite la comparación de modelos lineales con aquellos que tienen variables dependientes diferentes, es decir variables no transformadas (modelos no logarítmicos) contra variables transformadas (modelos logarítmicos). La ecuación que presente el menor índice (cercano a cero) será la mejor para estimar el volumen (Barrena *et al.*, 1986; Imaña-Encinas, 1998; Moret *et al.*, 1998; Machado-Carcasés *et al.*, 2003; Salas *et al.*, 2005; da-Cunha y Guimarães-Finger, 2009).

Coefficiente de variación (CV %) es una medida de dispersión de amplia utilización que permite comparar dispersiones de dos distribuciones distintas, este coeficiente está definido como la relación por cociente que se establece entre la desviación estándar y la media aritmética de la variable es decir, la desviación estándar expresada en porcentaje, de esta manera se selecciona el modelo que

presente menor coeficiente de variación (Schlaegel, 1984; da-Cunha y Guimarães-Finger, 2009; Ramiro-Vásquez y Caballero-Núñez, 2011).

Suma de residuales (SR) es uno de los criterios clave para el ajuste de los modelos, permite observar la distribución de las diferencias entre los valores estimados por la ecuación y los valores reales (medidos) que deberá ser lo más homogénea posible. Se selecciona aquel modelo que se acerque en las diferencias lo más cercano a cero que significa que los valores estimados se acercan bastante a los valores reales, lo que demuestra una buena estimación de la ecuación (Kometter y Maravi, 2007; Pacheco-Fonseca, 2011; Picard *et al.*, 2012).

F calculado (F-Valor) es una prueba de homogeneidad de los coeficientes de regresión que permite determinar si la variable estimada con la ecuación varía indistintamente o está influenciada por la variable independiente. Si F-calculado es mayor que la F-tabular a un 99% de confianza, demuestra que hay una alta influencia de la variabilidad de las variables (Muñoz-Flores *et al.*, 2003; Kometter y Maravi, 2007; Pacheco-Fonseca, 2011).

2.4.6 Validación de tablas de volúmenes

Después de la selección del modelo de regresión para el que se han evaluado los mejores parámetros de ajuste, una de las formas de comprobar su eficacia es su validación. El interés primordial de este proceso es asegurar que los resultados sean generalizables a la población y que no sean específicos de la muestra utilizada para la estimación. Además aseguran la confianza de utilizar estas tablas para la cubicación del arbolado en pie, a partir del diámetro y la altura total del árbol (Armendáriz-Olivas *et al.*, 2003; Machado-Carcasés *et al.*, 2003).

La validación de los modelos fustales debe considerar la capacidad predictiva para estimar: diámetros en cualquier punto del fuste, la altura del fuste en que se encuentra un diámetro límite especificado, volumen entre dos puntos cualesquiera del fuste, o volumen hasta cualquier índice de utilización (Prodan *et al.*, 1997).

Por lo tanto, se recomienda realizar una validación independiente, es decir los datos usados para la validación no deben formar parte de los que se utilizaron para

estimar sus parámetros. En este proceso, lo primero es determinar la naturaleza del sesgo entre los valores estimados y los valores observados, mediante una prueba de t-student y lo segundo corresponde aplicar una prueba para evaluar la exactitud del modelo. A continuación se presentan las expresiones más utilizadas para medir exactitud y sesgo (Prodan *et al.*, 1997; Salas-Eljatib, 2002; Moras y Vallejos-Barra, 2013).

Las expresiones para medir exactitud son:

- Raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMC)

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

- Error medio absoluto (EMA)

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

- Desviación estándar de los residuales (DSR)

$$\text{DSR} = \sqrt{\sum (R_i - R_{\text{MED}})^2 / n}$$

La expresión de la medida de sesgo es:

- Diferencia agregada (DA)

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

En las cuatro fórmulas presentadas, O_i es un valor observado, E_i es un valor estimado, n es el número de observaciones, R_i residuales independientes (observados menos estimados) y R_{MED} media de los residuales independientes.

En este último estadístico es importante ver que los valores negativos en las diferencias están asociados con las sobreestimaciones, en tanto que los valores positivos de la DA indican una subestimación y si los valores de DA se acercan a cero, quiere decir que el modelo es insesgado, sin embargo si los valores son diferentes a cero, el modelo es sesgado (Prodan *et al.*, 1997).

Todos los estadísticos mencionados anteriormente deben presentar valores bajos, es decir valores cercanos a cero (Machado-Carcasés *et al.*, 2003).

Por otra parte para realizar la validación de la tabla de volumen es necesario recurrir al área de estudio para la nueva muestra y realizar las mediciones correspondientes y si no es posible regresar al área de estudio se puede separar un número de árboles que no formen parte de los estimados y realizar la cubicación, que posteriormente se efectuó la comparación de los volúmenes estimados con los reales (Armendáriz-Olivas *et al.*, 2003; Machado-Carcasés *et al.*, 2003; Pacheco-Fonseca, 2011). El número de árboles de la nueva muestra de validación que han utilizados varios autores ha sido muy variado, como se puede ver en el Cuadro 3.

Para la comparación de volúmenes algunos autores como Moret *et al.* (1998) utilizaron el método de los valores predichos utilizando la suma de cuadrados del error de predicción y el coeficiente de determinación de predicción.

Las fórmulas se explican de la siguiente manera:

$$SCE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(y_i - \hat{y}_i \right)^2}{n} \quad r^2 \text{predicción} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(y_i - \hat{y}_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(y_i - \bar{y}_i \right)^2}$$

Dónde:

y_i = volumen individual del árbol

\hat{y}_i = volumen individual estimado del árbol

\bar{y}_i = volumen medio estimado del árbol

SCE = Suma de cuadrados del error de predicción

R^2 predicción = Coeficiente de determinación de predicción

Cuadro 3. Tamaño de muestra para la validación de tablas de volumen utilizados por diferentes autores.

No.	Muestra para la validación	Autor (es)/Año/Especie.
1	50	Pece <i>et al.</i> (2002). <i>Populus deltoides</i> Bartram ex Marshall y <i>Populus x euroamericana</i> (Dode) Guinier.
2	17 y 11	Alvarado-Chay (2003). <i>Aspidosperma megalocarpum</i> Muell. (Malerio colorado) y <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. (Santa maría).
3	7	Pacheco-Fonseca (2011). <i>Quercus laurina</i> Humb et Bonpl.
4	39	Moret <i>et al.</i> (1998). <i>Tectona grandis</i> L. f.
5	25	Machado-Carcasés <i>et al.</i> (2003). <i>Buchenavia capitata</i> Vahl.
6	15	Armendáriz-Olivas <i>et al.</i> (2003). <i>Pinus herrerae</i> Martínez y <i>Pinus durangensis</i> Ehren
7	30	Salas <i>et al.</i> (2005). <i>Pinus pinaster</i> Aiton.
8	20	Hernández-Santiago (2013). <i>Cedrela odorata</i> L.
9	44	Pérez y Kanninen (2003). <i>Tectona grandis</i> L. f.
10	70	Davel y Trincado (2000). <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.

Dónde: No.= número consecutivo de las muestra

Cuadro 4. Ecuaciones utilizadas por diversos autores para determinación de volúmenes en especies de manglares.

No.	Nombre	Ecuación	Autor (es)/Año/Especie/Lugar
1	Exponencial 1	$V=b_0 \cdot D^{b_1}$	Loyche y Amadou (1989). <i>Rhizophora racemosa</i> G. Meyer. y <i>Rhizophora harrisonii</i> L. MA-SWAR, Sierra Leona, África Occidental.
2	Variable combinada	$V=b_0+b_1(D^2 \cdot H)$	Valdez-Hernández (2004). <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Geartn. Nayarit. Díaz-González (2008). <i>Rhizophora mangle</i> L. Honduras.
3	Schumacher-Hall 2	$\text{Log}_{10}V=b_0+b_1\text{log}D+b_2\text{log}H$	García-Corona y Aldana-Pereira (s/f). <i>Rhizophora mangle</i> L., <i>Avicennia germinans</i> (L.) L. y <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Geartn. Cuba.
4	Husch	$\text{Log}_{10}V=b_0+b_1\text{log}D$	Chong (1989). <i>Rhizophora mangle</i> L., <i>Avicennia germinans</i> (L.) L. y <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Geartn. Cuba. Citado por García-Corona y Aldana-Pereira (s/f).
5	Berkhout	$V=b_0+b_1D$	Chong (1988). <i>Pelliciera rhizophorae</i> Planch. & Triana y <i>Rhizophora harrisonii</i> L. Costa Rica. Citado por García-Corona y Aldana-Pereira (s/f).
6	De la variable combinada	$V=b_0(D^2 \cdot H)^{b_1}$	Chandra <i>et al.</i> (2011). <i>Rhizophora apiculata</i> Blume. En Lawas, Sarawak, Malaysia. Cole <i>et al.</i> (1999). <i>Sonneratia alba</i> Sm., <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (L.), <i>Rhizophora apiculata</i> Blume, <i>Xylocarpus granatum</i> K.D. Koenig. <i>Rhizophora mucronata</i> Lam., <i>Lumnitzera littorea</i> Voigt. En Micronesia.

Dónde: No= número consecutivo del modelo; V= Volumen del árbol; b_0 , b_1 , b_2 = parámetros a estimar; D= diámetro; H=altura total; Log=logaritmo de base diez.

Cuadro 5. Ecuaciones utilizadas por diversos autores para determinación de volúmenes de especies tropicales y/o latifoliadas.

No.	Nombre	Ecuación	Autor (es)/Año/Especie/Lugar
7	Exponencial 2	$V = \exp(b_0 + b_1 \log(D) + b_2 \log(H))$	Hernández-Santiago (2013). <i>Cedrela odorata</i> L. (Cedro rojo). San José, Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.
8	Sin nombre 1	$V = b_0 + b_1(D) + b_2(H)$	Piedra y Carreón (1984). Gmelina arborea Roxb (L.). Escarcega, Campeche.
9	Schumacher-Hall 3	$\ln V = b_0 + b_1 \ln D + b_2 \ln H$	Cuadrado-Hidalgo (1985). Gmelina arborea Roxb (L.). En Florencia de Turrialba, Costa Rica. Guerra <i>et al.</i> (S/F). <i>Guazuma crinita</i> Mart. (Bolaina blanca). Ucayali, Perú.
10	Schumacher-Hall 1	$V = b_1 * D^{b_2} * H^{b_3}$	Fernández-Tschieder <i>et al.</i> (2011). <i>Populus deltoides</i> Bartram. "Australiano 129/60" del bajo Delta de Paraná, Buenos, Aires, Argentina. Hernández <i>et al.</i> (2009). <i>Swietenia macrophylla</i> King. En Belice. Amico <i>et al.</i> (2009). <i>Populus nigra</i> L. cv. <i>Italica</i> . En Chubut, Argentina. Galán-Larrea <i>et al.</i> (2008). <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo) y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose (primavera). En San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.
11	Variable combinada	$V = b_0 + b_1(D^2 * H)$	Navarro-Martínez <i>et al.</i> (2002). <i>Peltogyne mexicana</i> Martínez. Guerrero, México.
12	Modelo logarítmico de Spurr	$\log_{10} V = b_0 + b_1 \log(D^2 * H)$	Idola-babeitla y Fernández-Manso (S/F). <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. Vizcaya.

Dónde: No= número consecutivo de los modelos; V= Volumen del árbol; b_0 , b_1 , b_2 = parámetros a estimar; D= diámetro; H= altura total; Ln= logaritmo natural de volumen; \log_{10} = logaritmo de base diez.

Cuadro 6. Ecuaciones utilizadas por diversos autores para determinación de volúmenes de especies tropicales y/o latifoliadas. Continuación...

No.	Nombre	Ecuación	Autor (es)/Año/Especie/Lugar
13	Schumacher-logarítmico	$\text{Log}_{10}V = \text{log}b_0 + b_1 \text{log}D + b_2 \text{log}H$	<i>Cruz et al.</i> (2003). <i>Gordonia brandegeei</i> , <i>Terminalia amazonia</i> , <i>Macrohasseltia macroterantha</i> , <i>Gordonia sp.</i> , <i>Tapirira guianensis</i> , <i>Magnolia yoroconte</i> , <i>Vochysia cf. Jefensis</i> , <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Symphonia globulifera</i> . La Ceiba, Honduras. <i>Pece et al.</i> (2002). Para álamos de la zona de riego de Santiago del Estero, Argentina.
14	De Naslund	$V = b_1 D^2 + b_2 D^2 * H + b_3 D * H^2 + b_4 H^2$	<i>Mora y Gómez</i> (2003). <i>Tectona grandis</i> L. f. Vertiente del Pacífico, Costa Rica.
15	De forma constante	$V = b_1 * D^2 * H$	<i>Pacheco-Fonseca</i> (2011). <i>Quercus laurina</i> Humb. B. En la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.
16	Variable combinada logarítmica.	$\text{Ln}V = b_0 + b_1 \text{ln}(D^2 * H)$	<i>Moret et al.</i> (1998). <i>Tectona grandis</i> L. f. Barinas, Venezuela. <i>Moras y Vallejos-Barra</i> (2013). <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. ssp. <i>globulus</i> . En la región sur de Uruguay. <i>Schlaegel</i> (1984). <i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh. Mississippi, Estados Unidos.
17	Logarítmico	$\text{Ln}V = b_1 \text{ln}D + b_2 \text{ln}H$	<i>Moret y Ruíz</i> (1998). <i>Erismia uncinatum</i> Warm. Bolívar, Venezuela.
18	Modelo logarítmico de Spurr	$\text{Log}_{10}V = b_0 + b_1 \text{log}(D^2 * H)$	<i>Machado-Carcasés et al.</i> (2003). <i>Buchenavia capitata</i> , Vahl. En la región Baracoa, Guantánamo, Cuba.

Dónde: No= número consecutivo de los modelos; V= Volumen del árbol; b_0, b_1, b_2, b_3 = parámetros a estimar; D= diámetro; H= altura total; Ln= logaritmo natural de volumen; Log_{10} = logaritmo de base diez.

Por otro lado, Davel y Trincado (2000) y Machado-Carcasés *et al.* (2003) para la validación y comparación de los volúmenes estimados y reales utilizaron los estadísticos propuestos por Prodan *et al.* (1997).

Moret *et al.* (1998) además de realizar la comparación de volumen por medio de la suma de cuadrados del error de predicción y el coeficiente de determinación de predicción, realizaron un análisis de varianza utilizando un nivel de significancia del 99% para probar si existían o no diferencias significativas entre el volumen real calculado y el volumen estimado, donde los modelos ajustados fueron considerados como tratamientos, utilizaron también la gráfica de residuales para observar la respuesta de los mismos.

A su vez, Mora y Gómez (2003) seleccionaron las cinco mejores funciones de un total de 30 para construir tablas de volúmenes de una y dos entradas, la validación la realizaron por medio de los errores de estimación, es decir, se basaron en los valores absolutos de las diferencias, las ecuaciones que presentaron las menores diferencias absolutas de estimación fueron las elegidas para construir dichas tablas de volumen.

2.5 Estudios de tablas de volumen en especies tropicales y manglares

La investigación en México en cuanto a la cuantificación de existencias volumétricas son escasas en especies tropicales, en especial en los manglares por lo que la mayoría de las ecuaciones para la estimación de volúmenes corresponden especies de manglares utilizadas en otros países, como se puede observar en el Cuadro 4 y de especies tropicales y/o latifoliadas como se puede ver en el Cuadro 5 y 6.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Localización

El estudio se realizó en la comunidad de Barra de Tecoanapa municipio de Marquelia, ubicado en la desembocadura del Río Quetzala localizado en la región costa chica del estado de Guerrero, dentro de las coordenadas geográficas 16° 30' latitud norte y 98° 44' longitud oeste, a una altitud de 6 msnm (Tovilla-Hernández y Orihuela-Belmonte, 2002; INEGI, 2002). La localización geográfica del área de estudio se representa en la Figura 1.

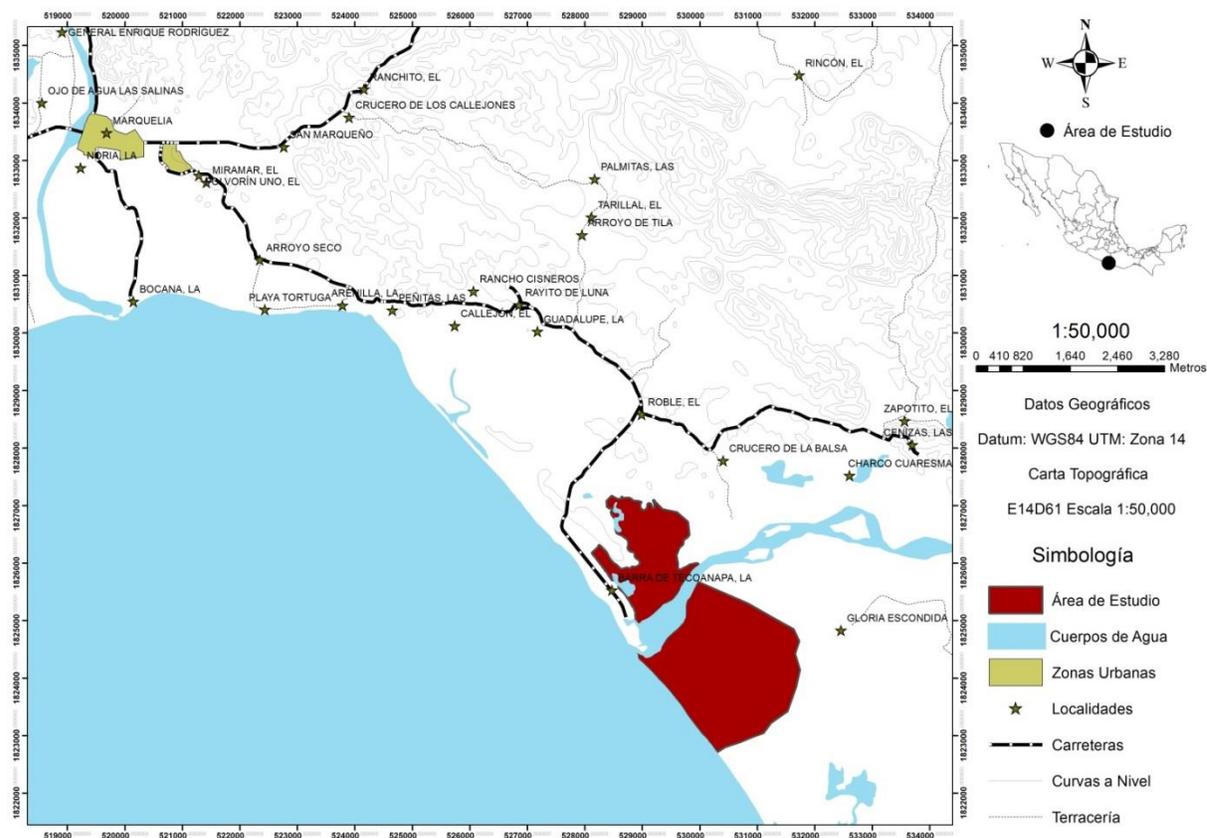


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio de Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero, México.

3.1.2 Clima

El clima que predomina en el área de estudio, es de tipo Awo cálido subhúmedo, con dos estaciones al año: época de lluvia que abarca, junio a octubre y época de seca, noviembre a mayo (Tovilla-Hernández y Orihuela-Belmonte, 2002; Tovilla-Hernández *et al.*, 2009).

La temperatura media anual es de 34.7 °C, con precipitaciones de 1,416 mm anual, donde la máxima precipitación se registra en el mes de septiembre, con registro promedio de 326 mm (Figura 2) (CONAGUA, 2000).

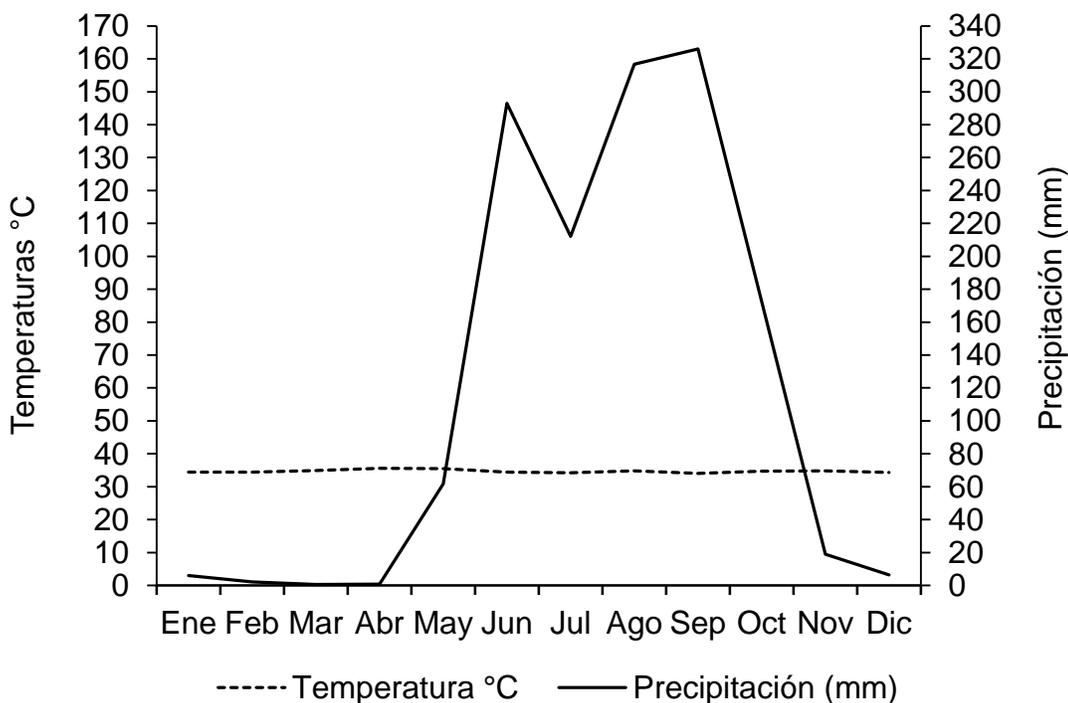


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de las normales climatológicas (temperatura y precipitación) de la estación de Marquelia, Guerrero, del periodo 1981-2010.

3.1.3 Edafología

El tipo de suelo que se encuentra en Barra de Tecoanapa es el gleysol con un 31.65%, son suelos arcillosos, de color gris, ricos en materia orgánica y se agrietan cuando están seco. Cambisol con un 29.55%, son suelos conformados por un horizonte A y un horizonte B rojizo o gris oscuro con textura de arena migajosa a migajón arcilloso. Regosol con 21.82%, son suelos ácidos y moderadamente alcalinos de color pardo, grisáceo amarillento, de textura arenosa. Feozems con un 15.28% son suelos con un alto contenido de materia orgánica y nutrientes, con textura arenosa y arcillosa en forma de bloques (Tovilla-Hernández *et al.*, 2009; Medina-Chena *et al.*, 2010).

3.1.4 Vegetación

La vegetación en el área de estudio está compuesta por comunidades vegetales, constituidas por bosques de manglares, pastizal natural, palmares, selva baja caducifolia y vegetación halófito con algunas trepadoras. El manglar es la vegetación más abundante, la cual está constituida por las cuatro especies de mangle: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, con dominancia en el mismo orden (Tovilla-Hernández y de la Lanza-Espino, 2001; Tovilla-Hernández *et al.*, 2009).

3.2 Obtención de información de campo

3.2.1 Selección y medición de árboles

Para elección de los árboles se tomó en cuenta que estuvieran completamente sanos, copas completas y sin huecos (Tenorio-Galindo, 2003).

Antes a la evaluación, se elaboró un formato de campo dividido en dos columnas, una donde se registró la altura (m) de las secciones del fuste y la otra para el diámetro (cm) a diferentes alturas. De igual forma, se especificó nombre del estado, nombre del predio, nombre del Municipio, fecha de evaluación y especie.

En la medición, se necesitó una pistola nivel Haga para medir la altura total, una cinta diamétrica para medir el diámetro de las secciones del fuste y ramas, una vara graduada de un metro para seccionar el fuste, una cinta métrica de 30 m para alejarse a la distancia necesaria para medir la altura del árbol y para medir la longitud de las ramas, unas maneadas que sirvió para escalar y facilitar la medición de diámetros de las secciones superiores a 1.30 metros.

El método aplicado para la medición fue el de árboles en pie (no destructivo), es decir, no fue necesario derribar los árboles para medirlos, ya que se recurrió a la medición de alturas parciales y de diámetros en puntos seleccionados como divisiones entre troza y troza (Romahn *et al.*, 1994), se escogió este método por tratarse de especies que se encuentran en estatus de amenazadas, de manera que no fue necesario derribarlas, además contribuyen con bienes y servicios que prestan a la sociedad y de esta manera contribuir a su conservación.

La manera en que se empezó la medición fue dividiendo el fuste en secciones de un metro de longitud para medir sus diámetros, para la primera medición se efectuó en la base del árbol, luego a 0.30 m, posteriormente a 1.30 m es decir, a la altura del pecho, luego a 2.30 m, 3.30, 4.30, 5.30, 6.30 hasta la máxima altura que fue posible escalar, en algunos árboles se midió hasta los 11.30 m de altura. En el caso del mangle rojo, se procedió a tomar la primera medida por encima de la raíz más alta y la categoría diamétrica se seleccionó a 0.30 m (Cailliez, 1980).

Para el caso de las ramas de cada árbol, se procedió a medir aquellas ramas con diámetro mayor o igual a 5 cm, por lo que se dividieron en secciones de un metro para medir sus diámetros, donde la primera medida se efectuó en la base de la rama, luego a 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m y en algunas ramas solo se tomó el diámetro de la base y la longitud de la rama por la dificultad que presentaron para medirlas. Es muy importante señalar que en algunos casos no se midieron todas las ramas del árbol por la gran dificultad que presentaron para subir a medir, por lo que puede haber discrepancias en los volúmenes reales y cierto sesgo en el modelo al comparar ambos volúmenes.

3.2.2 Número de árboles evaluados

La mecánica para la evaluación de los árboles, consistió en seleccionar aleatoriamente siete o más individuos por categoría diamétrica (CD), donde se hizo todo lo posible de incluir árboles de todas las categorías en el lugar.

Los diámetros que se midieron fue a partir de la categoría de 0 a 60 cm en el caso de *Rhizophora mangle*, para *Avicennia germinans* de 0 a 75 cm y para *Laguncularia racemosa* de 0 a 80 cm, salvo las categorías 65 y 75 que no se encontraron árboles de esas dimensiones en el lugar, dentro de la categoría cero, se consideró la regeneración menor a 2.5 cm de diámetro.

Por lo tanto, se evaluaron un total de 87 árboles de *Rhizophora mangle*, 112 árboles de *Avicennia germinans* y 101 árboles de *Laguncularia racemosa*, para un total de 300 individuos. En los Cuadros 7, 8 y 9 se puede observar las frecuencias de los individuos evaluados de cada una de las especies estudiadas, según su categoría diamétrica y su categoría de altura.

Cuadro 7. Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y de altura de *Rhizophora mangle* en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

		Categoría en altura (m)					Total	
		0	5	10	15	20		25
Categoría diamétrica (cm)	0	7	1					8
	5	1	5	2				8
	10			6	1			7
	15			5	3			8
	20			3	4	1		8
	25			1	3	2		6
	30			1	4	1	1	7
	35			1	5	1		7
	40				5	2		7
	45				1	3	1	5
	50			1	2	3	1	7
	55				1	5	1	7
	60					2		2
Total	8	6	20	29	20	4	87	

Cuadro 8. Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y de altura de *Avicennia germinans* en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

	Categoría en altura (m)						Total
	0	5	10	15	20	25	
0	5	4					9
5		10					10
10		3	5				8
15			6	3			9
20			5	2	1		8
25			2	5	1		8
30			6	2			8
35			1	5	1		7
40			1	3	4		8
45			1	3	3	1	8
50				3	6		9
55				3	5		8
60				4	2		6
65					2		2
70					2		2
75				1	1		2
Total	5	17	27	34	28	1	112

Cuadro 9. Frecuencia de árboles por categoría diamétrica y de altura de *Laguncularia racemosa* en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

	Categoría en altura (m)						Total
	0	5	10	15	20	25	
0	3	5					8
5		8					8
10			8				8
15			2	5	1		8
20			2	1	2	3	8
25			1	3	3		7
30				4	3		7
35			2	3	1	2	8
40				5	1	1	7
45				1	6		7
50				3	3	1	7
55				2	3	1	6
60					6	2	8
75					2		2
80					1	1	2
Total	3	13	15	27	32	11	101

3.3 Cálculo de volúmenes individuales por tipos dendrométricos

Para calcular el volumen de cada uno de los árboles, se dividió el fuste y ramas en secciones de un metro de longitud procurando que se asemejen a los tipos dendrométricos como: paraboloides truncados, neiloides truncados, cono truncado y el cono (Cailliez, 1980; Prodan *et al.*, 1997; Romahn y Ramírez, 2006).

Para el cálculo del volumen del tocón se empleó la fórmula del neiloide truncado a partir de la categoría diamétrica de 5 cm para las tres especies estudiadas, siendo esta la que más se aproxima a la forma del tocón.

$$V = \frac{\pi}{4} * L * \left(\frac{d_b^2 + 3\sqrt{d_b^4 d_s^2} + 3\sqrt{d_b^2 d_s^4} + d_s^2}{4} \right)$$

A partir de 0.30 m de longitud en adelante excepto la última sección es decir el cono, el cálculo del volumen se llevó a cabo por la fórmula del paraboloides truncados, que se utilizó para la cubicación del fuste.

$$V = \frac{\pi}{4} * L * \left(\frac{d_b^2 + d_s^2}{2} \right)$$

Para la cubicación de la base de la regeneración de la categoría diamétrica cero, por no asemejarse a un tocón, se utilizó la fórmula del cono truncado por tener mejor similitud, de igual forma se utilizó para la cubicación de las ramas.

$$V = \frac{\pi}{4} * L * \left(\frac{d_b^2 + d_b d_s + d_s^2}{3} \right)$$

Para la última sección, el volumen se calculó por medio de la fórmula del cono, es decir para el ápice del árbol, así como también para el ápice de cada una de las ramas, esta misma fórmula fue utilizada para la cubicación de ramas completas donde sólo se tomaron las medidas de la base de la rama y su longitud.

$$V = \frac{S_0 * L}{3}$$

Dónde: V= volumen (m³), L= longitud de la troza(n), d_b= diámetro de la base (m), d_s= diámetro superior (m), π= 3.141592654 y S₀= área de la base (m²).

3.4 Modelos matemáticos utilizados

Los modelos utilizados para la elaboración de las tablas de volumen de mangle, fueron seleccionados después de hacer una revisión de literatura sobre los trabajos realizados para la estimación de volumen para especies de manglares y especies tropicales, donde se seleccionaron 15 modelos los cuales fueron los más utilizados por los autores, como se puede observar en el Cuadro 10 (García-Corona y Aldana-Pereira, S/F; Guerra *et al.*, S/F; Idola-babeitla y Fernández-Manso, S/F; Piedra y Carreon, 1984; Cuadrado-Hidalgo, 1985; Moret y Ruíz, 1998; Moret *et al.*, 1998; Cole *et al.*, 1998; Navarro-Martínez *et al.*, 2002; Pece *et al.*, 2002; Mora y Gómez, 2003; Machado-Carcasés *et al.*, 2003; Cruz *et al.*, 2003; Valdez-Hernández 2004; Galán-Larrea *et al.*, 2008; Díaz-González, 2008; da-Cunha y Guimarães-Finger 2009; Hernández *et al.*, 2009; Amico *et al.*, 2009; Pacheco-Fonseca, 2011; Chandra *et al.*, 2011; Fernández-Tschieder *et al.*, 2011. Moras y Vallejos-Barra, 2013; Hernández-Santiago, 2013).

3.5 Proceso para la obtención de volumen individual

Para el volumen individual fue necesario calcular el volumen fuste total (tocón, fuste y cono) y volumen total árbol (tocón, fuste, cono y ramas) de cada uno de los árboles; para el cálculo de dichos volúmenes, se creó una base de datos en el programa Microsoft Office Excel 2010, con datos de control como: nombre del predio, número de árbol, categoría diamétrica, diámetro de cada una de las secciones (m), altura total del árbol y longitud del cono, utilizando cuatro columnas; una para el volumen del tocón, otra para el volumen del fuste, para el volumen del cono, volumen de las ramas y otras dos para obtener el volumen de fuste total que fue la suma de los volumen del tocón, fuste y cono, y otra para el volumen total del árbol que fue la suma de los tres volúmenes anteriores más el volumen de las ramas.

Cuadro 10. Modelos utilizados para la elaboración de tablas de volúmenes para tres especies de mangles, en Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

No	Nombre	Modelo
1	Exponencial 1	$V=b_0 \cdot D^{b_1}$
2	Variable combinada	$V=b_0+b_1(D^2 \cdot H)$
3	Berkhout	$V=b_0+b_1D$
4	De la variable combinada	$V=b_0 \cdot (D^2 \cdot H)^{b_1}$
5	Sin nombre 1	$V=b_0+b_1(D)+b_2(H)$
6	Schumacher-Hall 1	$V=b_1 \cdot D^{b_2} \cdot H^{b_3}$
7	De forma constante	$V=b_1 \cdot (D^2 \cdot H)$
8	De Naslund	$V=b_1D^2+b_2(D^2 \cdot H)+b_3(D \cdot H^2)+b_4H^2$
9	Exponencial 2	$V=\exp(b_0+b_1\log(D)+b_2\log(H))$
10	Schumacher-Hall 2	$\text{Log}_{10}V=b_0+b_1\log D+b_2\log H$
11	Husch	$\text{Log}_{10}V=b_0+b_1\log D$
12	Modelo logarítmico de Spurr	$\text{Log}_{10}V=b_0+b_1\log(D^2 \cdot H)$
13	Schumacher-Hall 3	$\text{Ln}V=b_0+b_1\text{Ln}D+b_2\text{Ln}H$
14	Variable combinada logarítmica	$\text{Ln}V=b_0+b_1\text{Ln}(D^2 \cdot H)$
15	Logarítmico	$\text{Ln}V=b_1\text{Ln}D+b_2\text{Ln}H$

Dónde: No= número consecutivo de los modelos; V= Volumen del árbol; b_0, b_1, b_2, b_3 = parámetros a estimar; D= diámetro a 1.30 m para *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* y a 0.30 m en el caso de *Rhizophora mangle*; H= altura total; Ln= logaritmo natural de volumen; Log_{10} = logaritmo de base diez.

Para el cálculo del volumen de las ramas se generó otra base de datos donde incluyó datos como número de árbol, número de la rama, diámetros de cada una de las secciones, longitud de la rama y longitud del cono, donde se cubicó cada una de las secciones por medio de la fórmula del cono truncado y el ápice de la misma por medio de la fórmula del cono donde la suma de las secciones dio como resultado el volumen de la rama y por último se generó otra columna para la suma de todas las ramas que conforman el árbol.

3.6 Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos se empleó el programa estadístico de regresión SAS versión 9.1, utilizando los procedimientos (Proc Reg y Proc Nlin) para modelos exponenciales es decir no lineales, los modelos ajustados se pueden observar en el Cuadro 10 (Cumplido-Ortiz, 2002).

3.7 Criterios de elección del modelo

Los criterios para elegir el mejor modelo de estimación de volumen fueron: valor de F calculado (valor más alto), coeficiente de determinación (valor más alto), coeficiente de determinación ajustado (valor más alto), cuadrado medio del error (valor más bajo), coeficiente de variación (valor más bajo), número de variables (K) (valor más bajo) (Schlaegel, 1984; Cuadrado-Hidalgo, 1985; Barrena *et al.*, 1986; Moret *et al.*, 1998; Machado-Carcasés *et al.*, 2003; Mora y Gómez, 2003, Pacheco-Fonseca, 2011; Muñoz-Flores, 2012). Teniendo en cuenta que se utilizaron modelos con y sin transformaciones logarítmicas; fue necesaria, la determinación del Índice de Furnival (I) el cual es utilizado para la comparación de ecuaciones de regresión con y sin transformaciones (Barrena *et al.*, 1986). El índice de Furnival se expresa de la siguiente manera:

$$I = [f'(y)]^{-1} S$$

Dónde: I= índice de Furnival, $f'(y)$ = derivada de la variable dependiente y S= desviación estándar residual

3.8 Validación de las tablas de volumen

Para la validación del modelo para cada una de las especies se obtuvo una muestra aleatoria, al menos un árbol por categoría diamétrica los cuales no formaron parte de la muestra original para el análisis del modelo.

Se seleccionaron 13 árboles de *Rhizophora mangle*, para *Avicennia germinans* se excluyeron un total de 16 árboles y para la especie de *Laguncularia racemosa* se eligieron 15 árboles, los volúmenes de los árboles fueron cubicados de la misma forma que se cubicaron los que fueron utilizados para el análisis de los modelos, esto se realizó a fin de evaluar los modelos con una base de datos diferentes a la utilizada para el ajuste.

La validación y comparación de los modelos se realizó en base a medidas de error absoluto de exactitud y sesgo, por lo tanto para este estudio los estadísticos utilizados fueron lo recomendado por Prodan *et al.* (1997), Davel y Trincado (2000).

- Raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMC) medida de exactitud

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

- Diferencia agregada (DA) media de sesgo

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

Dónde:

Σ = sumatoria, O_i = Valor observado, E_i = Valor estimado y n = Número de observaciones

Los estadísticos previamente mencionados deberán tener valores cercanos a cero no exceder el 1% en el caso de la DA, ya que según Prodan *et al.* (1997) para el estadístico de diferencia agregada, el modelo es insesgado si los valores son cercanos a cero, y si fueran mayores a uno, la tabla será defectuosa, con errores de estimación muy altos, en cuyo caso es conveniente realizar otra estimación tomando más datos.

3.9 Construcción de las tablas de volúmenes para las especies de estudio

Con los criterios anteriormente mencionados se pudo escoger el mejor modelo que predice el volumen; por lo tanto, se construyeron dos tablas de volumen por cada especie de mangle (volumen de fuste total con corteza y volumen total árbol con corteza y ramas).

4 RESULTADOS

4.1 Selección del modelo sin y con ramas para las tres especies de mangles

Para este trabajo se ajustaron modelos con variables diferentes es decir con variable dependiente transformada y no transformada, por lo tanto fue necesario determinar el índice de Furnival, el cual es utilizado para la comparación en este tipo de casos donde existen dos tipos de variables (Apéndice 1, 2, 3, 4, 5 y 6) a continuación se describen los resultados obtenidos del análisis estadístico.

En el Cuadro 11, se muestran los coeficientes de las ecuaciones de predicción de volumen con y sin ramas como respuesta del mejor ajuste de los datos, siendo el modelo de Schumacher-Hall 2 el que presentó mejor ajuste según el criterio de selección con un índice de Furnival menor comparado con los otros modelos (Cuadro 12, 13, 14, 15, 16 y 17), como se puede observar este modelo mostró una R^2_{aj} alta y un índice de Furnival bajo, lo que muestra una buena homogeneidad y normalidad de los datos, es importante mencionar que el modelo fue el mismo para las tres especies presentando valores con la misma tendencia.

Cuadro 11. Ecuaciones de predicción sin y con ramas de tres especies de mangles de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

Especies	Tipo de tabla	Ecuación de predicción de volumen
<i>Rhizophora mangle</i>	Sin ramas	$\text{Log}_{10}\text{VFT} = -3.91847 + 2.09357 \cdot \text{log}_{10}\text{D} + 0.35731 \cdot \text{log}_{10}\text{H}$
	Con ramas	$\text{Log}_{10}\text{VTA} = -3.87984 + 2.24256 \cdot \text{log}_{10}\text{D} + 0.21063 \cdot \text{log}_{10}\text{H}$
<i>Avicennia germinans</i>	Sin ramas	$\text{Log}_{10}\text{VFT} = -3.71647 + 1.85502 \cdot \text{log}_{10}\text{D} + 0.49900 \cdot \text{log}_{10}\text{H}$
	Con ramas	$\text{Log}_{10}\text{VTA} = -3.70724 + 1.98372 \cdot \text{log}_{10}\text{D} + 0.41400 \cdot \text{log}_{10}\text{H}$
<i>Laguncularia racemosa</i>	Sin ramas	$\text{Log}_{10}\text{VFT} = -3.68153 + 1.81212 \cdot \text{log}_{10}\text{D} + 0.55995 \cdot \text{log}_{10}\text{H}$
	Con ramas	$\text{Log}_{10}\text{VTA} = -3.65909 + 1.89133 \cdot \text{log}_{10}\text{D} + 0.49916 \cdot \text{log}_{10}\text{H}$

Dónde: D= diámetro a 0.30 m para *Rhizophora mangle* y 1.30 m en el caso de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*; H= altura total; Log_{10} = logaritmo de base diez.

Cuadro 12. Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total sin ramas de *Rhizophora mangle* de Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

No	Nombre	Modelo	F Val	R ²	R ² _{aj}	CME	CV	I	K
1	Exponencial 1	VFT=b ₀ *D ^{b₁}	794.30	0.9566	0.9554	0.0286	31.6615	0.1691	1
2	Variable combinada	VFT=b ₀ +b ₁ (D ² *H)	1088.98	0.9380	0.9371	0.0227	28.2135	0.1507	1
3	Berkhout	VFT=b ₀ +b ₁ D	354.85	0.8313	0.8290	0.0618	46.5299	0.2485	1
4	De la variable combinada	VFT=b ₀ *(D ² *H) ^{b₁}	1120.06	0.9688	0.9680	0.0205	26.8055	0.1432	1
5	Sin nombre 1	VFT=b ₀ +b ₁ (D)+b ₂ (H)	178.37	0.8340	0.8293	0.0616	46.4819	0.2483	2
6	Schumacher-Hall 1	VFT=b ₁ *D ^{b₂} *H ^{b₃}	753.07	0.9695	0.9682	0.0204	26.7401	0.1428	2
7	De forma constante	VFT=b ₁ *(D ² *H)	2001.44	0.9648	0.9643	0.0229	28.3233	0.1513	1
8	De Naslund	VFT=b ₁ D ² +b ₂ (D ² *H)+b ₃ (D*H ²)+b ₄ H ²	550.97	0.9692	0.9675	0.0208	27.0528	0.1445	4
9	Exponencial 2	VFT=exp(b ₀ +b ₁ log(D)+b ₂ log(H))	753.07	0.9695	0.9682	0.0204	26.7401	0.0362	2
10	Schumacher-Hall 2	Log ₁₀ VFT=b ₀ +b ₁ logD+b ₂ logH	6115.44	0.9942	0.9941	0.0097	-10.2634	0.0249	2
11	Husch	Log ₁₀ VFT=b ₀ +b ₁ logD	10851.1	0.9934	0.9933	0.0109	-10.8920	0.0264	1
12	Modelo logarítmico de Spurr	Log ₁₀ VFT=b ₀ +b ₁ log(D ² *H)	9545.10	0.9925	0.9924	0.0124	-11.6080	0.0282	1
13	Schumacher-Hall 3	LnVFT=b ₀ +b ₁ lnD+b ₂ lnH	6115.44	0.9942	0.9941	0.0513	-10.2634	0.0249	2
14	Variable combinada logarítmica	LnVFLT=b ₀ +b ₁ ln(D ² *H)	9545.10	0.9925	0.9924	0.0656	-11.6080	0.0282	1
15	Logarítmico	LnVFLT=b ₁ lnD+b ₂ lnH	26.81	0.4268	0.4109	7.8951	-127.3048	0.3091	2

Dónde: No= Número consecutivos de los modelos, VFT= Volumen fuste total, F val= Valor de F calculada, R²= Coeficiente de determinación, R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado o corregido, CME= Cuadrado medio del Error, CV= Coeficiente de variación, I= Índice de Furnival, K= Número de variables.

Cuadro 13. Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total con ramas para *Rhizophora mangle* de Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

N _o	Nombre	Modelo	F Val	R ²	R ² _{aj}	CME	CV	I	K
1	Exponencial 1	$VTA=b_0 \cdot D^{b_1}$	1018.72	0.9659	0.9649	0.0307	27.438	0.1752	1
2	Variable combinada	$VTA=b_0+b_1(D^2 \cdot H)$	802.17	0.9176	0.9165	0.0395	31.124	0.1987	1
3	Berkhout	$VTA=b_0+b_1D$	445.23	0.8608	0.8589	0.0668	40.463	0.2584	1
4	De la variable combinada	$VTA=b_0 \cdot (D^2 \cdot H)^{b_1}$	954.74	0.9637	0.9626	0.0327	28.318	0.1808	1
5	Sin nombre 1	$VTA=b_0+b_1(D)+b_2(H)$	239.13	0.8707	0.8671	0.0629	39.266	0.2507	2
6	Schumacher-Hall 1	$VTA=b_0 \cdot D^{b_1} \cdot H^{b_2}$	739.28	0.9690	0.9676	0.0283	26.344	0.1682	2
7	De forma constante	$VTA=b_1 \cdot (D^2 \cdot H)$	1484.79	0.9531	0.9525	0.0415	31.916	0.2038	1
8	De Naslund	$VTA=b_1D^2+b_2(D^2 \cdot H)+b_3(D \cdot H^2)+b_4H^2$	553.88	0.9694	0.9676	0.0283	26.349	0.1683	4
9	Exponencial 2	$VTA=\exp(b_0+b_1\log(D)+b_2\log(H))$	739.28	0.9690	0.9676	0.0283	26.344	0.0502	2
10	Schumacher-Hall 2	$\log_{10}VTA=b_0+b_1\log D+b_2\log H$	4876.80	0.9928	0.9926	0.0127	-12.690	0.0336	2
11	Husch	$\log_{10}VTA=b_0+b_1\log D$	9529.03	0.9925	0.9924	0.0130	-12.837	0.0340	1
12	Modelo logarítmico de Spurr	$\log_{10}VTA=b_0+b_1\log(D^2 \cdot H)$	7065.67	0.9899	0.9898	0.0175	-14.888	0.0394	1
13	Schumacher-Hall 3	$\ln VTA=b_0+b_1\ln D+b_2\ln H$	4876.80	0.9928	0.9926	0.0672	-12.690	0.0336	2
14	Variable combinada logarítmica	$\ln VTA=b_0+b_1\ln(D^2 \cdot H)$	7065.67	0.9899	0.9898	0.0925	-14.888	0.0394	1
15	Logarítmico	$\ln VTA=b_1\ln D+b_2\ln H$	26.47	0.4237	0.4077	7.7568	-136.332	0.3611	2

Dónde: No= Número consecutivos de los modelos, VTA= Volumen total árbol, F val= Valor de F calculada, R²= Coeficiente de determinación, R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado o corregido, CME= Cuadrado medio del Error, CV= Coeficiente de variación, I= Índice de Furnival, K= Número de variables.

Cuadro 14. Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total sin ramas para *Avicennia germinans* de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

No	Nombre	Modelo	F Val	R ²	R ² _{aj}	CME	CV	I	K
1	Exponencial 1	VFT=b ₀ *D ^{b₁}	772.67	0.9427	0.9415	0.0502	35.9700	0.2241	1
2	Variable combinada	VFT=b ₀ +b ₁ (D ² *H)	841.61	0.8995	0.8985	0.0482	35.2414	0.2195	1
3	Berkhout	VFT=b ₀ +b ₁ D	430.07	0.8206	0.8187	0.0860	47.0877	0.2933	1
4	De la variable combinada	VFT=b ₀ *(D ² *H) ^{b₁}	845.20	0.9473	0.9463	0.0461	34.4675	0.2147	1
5	Sin nombre 1	VFT=b ₀ +b ₁ (D)+b ₂ (H)	214.45	0.8218	0.8180	0.0864	47.1851	0.2939	2
6	Schumacher-Hall 1	VFT=b ₀ *D ^{b₁} * H ^{b₂}	585.78	0.9497	0.9481	0.0445	33.8641	0.2109	2
7	De forma constante	VFT=b ₁ *(D ² *H)	1582.04	0.9434	0.9428	0.0491	35.5713	0.2216	1
8	De Naslund	VFT=b ₁ D ² +b ₂ (D ² *H)+b ₃ (D*H ²)+b ₄ H ²	439.45	0.9503	0.9481	0.0445	33.8694	0.2109	4
9	Exponencial 2	VFT=exp(b ₀ +b ₁ log(D)+b ₂ log(H))	585.78	0.9497	0.9481	0.0445	33.8641	0.0805	2
10	Schumacher-Hall 2	Log ₁₀ VFT=b ₀ +b ₁ logD+b ₂ logH	3344.57	0.9863	0.9860	0.0149	-15.6261	0.0466	2
11	Husch	Log ₁₀ VFT=b ₀ +b ₁ logD	5856.07	0.9842	0.9840	0.0170	-16.6830	0.0497	1
12	Modelo logarítmico de Spurr	Log ₁₀ VFT=b ₀ +b ₁ log(D ² *H)	6328.85	0.9854	0.9852	0.0157	-16.0572	0.0478	1
13	Schumacher-Hall 3	LnVFT=b ₀ +b ₁ lnD+b ₂ lnH	3344.57	0.9863	0.9860	0.0789	-15.6261	0.0466	2
14	Variable combinada logarítmica	LnVFT=b ₀ +b ₁ ln(D ² *H)	6328.85	0.9854	0.9852	0.0833	-16.0572	0.0478	1
15	Logarítmico	LnVFT=b ₁ lnD+b ₂ lnH	49.31	0.5120	0.5016	4.3866	-116.5377	0.3472	2

Dónde: No= Número consecutivos de los modelos, VFT= Volumen fuste total, F val= Valor de F calculada, R²= Coeficiente de determinación, R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado o corregido, CME= Cuadrado medio del Error, CV= Coeficiente de variación, I= Índice de Furnival, K= Número de variables.

Cuadro 15. Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total con ramas para *Avicennia germinans* de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

No	Nombre	Modelo	F Val	R ²	R ² _{aj}	CME	CV	I	K
1	Exponencial 1	$VTA=b_0 \cdot D^{b_1}$	879.03	0.9492	0.9482	0.0766	34.0733	0.2768	1
2	Variable combinada	$VTA=b_0+b_1(D^2 \cdot H)$	852.01	0.9006	0.8996	0.0830	35.48801	0.2883	1
3	Berkhout	$VTA=b_0+b_1D$	439.17	0.8237	0.8218	0.1474	47.27116	0.3840	1
4	De la variable combinada	$VTA=b_0 \cdot (D^2 \cdot H)^{b_1}$	836.66	0.9468	0.9457	0.0803	34.8865	0.2834	1
5	Sin nombre 1	$VTA=b_0+b_1(D)+b_2(H)$	223.43	0.8277	0.8240	0.1456	46.97735	0.3816	2
6	Schumacher-Hall 1	$VTA=b_0 \cdot D^{b_1} \cdot H^{b_2}$	626.36	0.9528	0.9513	0.0720	33.0343	0.2683	2
7	De forma constante	$VTA=b_1 \cdot (D^2 \cdot H)$	1595.7	0.9438	0.9432	0.0839	35.67021	0.2897	1
8	De Naslund	$VTA=b_1D^2+b_2(D^2 \cdot H)+b_3(D \cdot H^2)+b_4H^2$	462.98	0.9527	0.9506	0.0730	33.26754	0.2702	4
9	Exponencial 2	$VTA=\exp(b_0+b_1\log(D)+b_2\log(H))$	626.36	0.9535	0.9513	0.0720	33.0343	0.1260	2
10	Schumacher-Hall 2	$\log_{10}VTA=b_0+b_1\log D+b_2\log H$	3667.9	0.9875	0.9872	0.0145	-17.48646	0.0567	2
11	Husch	$\log_{10}VTA=b_0+b_1\log D$	6689.0	0.9861	0.9860	0.0159	-18.29827	0.0593	1
12	Modelo logarítmico de Spurr	$\log_{10}VTA=b_0+b_1\log(D^2 \cdot H)$	6580.4	0.9859	0.9858	0.0162	-18.44675	0.0598	1
13	Schumacher-Hall 3	$\ln VTA=b_0+b_1\ln D+b_2\ln H$	3667.9	0.9875	0.9872	0.0773	-17.48646	0.0567	2
14	Variable combinada logarítmica	$\ln VTA=b_0+b_1\ln(D^2 \cdot H)$	6580.4	0.9859	0.9858	0.0860	-18.44675	0.0567	1
15	Logarítmico	$\ln VTA=b_1\ln D+b_2\ln H$	46.63	0.4980	0.4874	4.3637	-131.3611	0.4259	2

Dónde: No= Número consecutivos de los modelos, VTA= Volumen total árbol, F val= Valor de F calculada, R²= Coeficiente de determinación, R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado o corregido, CME= Cuadrado medio del Error, CV= Coeficiente de variación. I= Índice de Furnival, K= Número de variables.

Cuadro 16. Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total con ramas para *Laguncularia racemosa* de Barra de Tecoaapa, Marquelia Guerrero.

No	Nombre	Modelo	F Val	R ²	R ² _{aj}	CME	CV	I	K
1	Exponencial 1	VFT=b ₀ *D ^{b₁}	710.02	0.9442	0.9428	0.0638	34.6452	0.2526	1
2	Variable combinada	VFT=b ₀ +b ₁ (D ² *H)	681.71	0.8903	0.8890	0.0656	35.1342	0.2561	1
3	Berkhout	VFT=b ₀ +b ₁ D	491.88	0.8541	0.8524	0.0872	40.5131	0.2954	1
4	De la variable combinada	VFT=b ₀ *(D ² *H) ^{b₁}	895.96	0.9552	0.9541	0.0512	31.0361	0.2263	1
5	Sin nombre 1	VFT=b ₀ +b ₁ (D)+b ₂ (H)	250.55	0.8579	0.8545	0.0860	40.2270	0.2933	2
6	Schumacher-Hall 1	VFT=b ₀ *D ^{b₁} * H ^{b₂}	591.20	0.9553	0.9537	0.0517	31.1873	0.2274	2
7	De forma constante	VFT=b ₁ *(D ² *H)	1266.15	0.9371	0.9364	0.0710	36.55205	0.2665	1
8	De Naslund	VFT=b ₁ D ² +b ₂ (D ² *H)+b ₃ (D*H ²)+b ₄ H ²	468.19	0.9581	0.956	0.0491	30.38912	0.2216	4
9	Exponencial 2	VFT=exp(b ₀ +b ₁ log(D)+b ₂ log(H))	591.20	0.9553	0.9537	0.0517	31.1873	0.0993	2
10	Schumacher-Hall 2	Log ₁₀ VFT=b ₀ +b ₁ logD+b ₂ logH	3802.20	0.9892	0.9889	0.0136	-16.1373	0.0509	2
11	Husch	Log ₁₀ VFT=b ₀ +b ₁ logD	6258.02	0.9868	0.9866	0.0165	-17.7667	0.0560	1
12	Modelo logarítmico de Spurr	Log ₁₀ VFT=b ₀ +b ₁ log(D ² *H)	7279.24	0.9886	0.9885	0.0142	-16.4887	0.0520	1
13	Schumacher-Hall 3	LnVFT=b ₀ +b ₁ lnD+b ₂ lnH	3802.2	0.9892	0.9889	0.0720	-16.1373	0.0509	2
14	Variable combinada logarítmica	LnVFT=b ₀ +b ₁ ln(D ² *H)	7279.24	0.9886	0.9885	0.0752	-16.4887	0.0520	1
15	Logarítmico	LnVFT=b ₁ lnD+b ₂ lnH	143.79	0.7739	0.7686	2.1292	-87.7610	0.2767	2

Dónde: No= Número consecutivos de los modelos, VFT= Volumen fuste total, F val= Valor de F calculada, R²= Coeficiente de determinación, R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado o corregido, CME= Cuadrado medio del Error, CV= Coeficiente de variación, I= Índice de Furnival, K= Número de variables.

Cuadro 17. Estadísticos de selección del modelo para la elaboración de la tabla de volumen fuste total con ramas para *Laguncularia racemosa* de Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

No	Nombre	Modelo	F Val	R ²	R ² _{aj}	CME	CV	I	K
1	Exponencial 1	$VTA=b_0 \cdot D^{b_1}$	872.68	0.9541	0.953	0.0786	32.0258	0.2804	1
2	Variable combinada	$VTA=b_0+b_1(D^2 \cdot H)$	1099.8	0.9290	0.9282	0.0657	29.2873	0.2564	1
3	Berkhout	$VTA=b_0+b_1D$	488.37	0.8532	0.8515	0.1360	42.1191	0.3687	1
4	De la variable combinada	$VTA=b_0 \cdot (D^2 \cdot H)^{b_1}$	1214.5	0.9666	0.9658	0.0572	27.3204	0.2392	1
5	Sin nombre 1	$VTA=b_0+b_1(D)+b_2(H)$	256.05	0.8605	0.8572	0.1308	41.3070	0.3616	2
6	Schumacher-Hall 1	$VTA=b_0 \cdot D^{b_1} \cdot H^{b_2}$	801.69	0.9666	0.9654	0.0578	27.4633	0.2404	2
7	De forma constante	$VTA=b_1 \cdot (D^2 \cdot H)$	2008.3	0.9594	0.9589	0.0687	29.93145	0.2620	1
8	De Naslund	$VTA=b_1D^2+b_2(D^2 \cdot H)+b_3(D \cdot H^2)+b_4H^2$	606.99	0.9673	0.9657	0.0573	27.33464	0.2393	4
9	Exponencial 2	$VTA=\exp(b_0+b_1\log(D)+b_2\log(H))$	801.69	0.9666	0.9654	0.0578	27.4633	0.1194	2
10	Schumacher-Hall 2	$\text{Log}_{10}VTA=b_0+b_1\log D+b_2\log H$	4050.7	0.9899	0.9896	0.0134	-17.3588	0.0574	2
11	Husch	$\text{Log}_{10}VTA=b_0+b_1\log D$	6917.7	0.9880	0.9879	0.0156	-18.7678	0.0621	1
12	Modelo logarítmico de Spurr	$\text{Log}_{10}VTA=b_0+b_1\log(D^2 \cdot H)$	7475.8	0.9889	0.9888	0.0145	-18.0618	0.0598	1
13	Schumacher-Hall 3	$\text{Ln}VTA=b_0+b_1\ln D+b_2\ln H$	4050.7	0.9899	0.9896	0.0709	-17.3588	0.0574	2
14	Variable combinada logarítmica	$\text{Ln}VTA=b_0+b_1\ln(D^2 \cdot H)$	7475.8	0.9889	0.9888	0.0767	-18.0618	0.0598	1
15	Logarítmico	$\text{Ln}VTA=b_1\ln D+b_2\ln H$	144.02	0.7742	0.7688	2.10309	-94.5548	0.3129	2

Dónde: No= Número consecutivos de los modelos, VTA= Volumen total árbol, F val= Valor de F calculada, R²= Coeficiente de determinación, R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado o corregido, CME= Cuadrado medio del Error, CV= Coeficiente de variación, I= Índice de Furnival, K= Número de variables.

4.2 Validación del modelo para las tres especies de mangles

4.2.1 Validación del modelo sin ramas por especie

En el Cuadro 18, se muestran los resultados de los valores de la diferencia agregada (DA) y de la raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMC) por especie, en el cual se puede observar que los valores de DA entre el volumen real y el estimado son bajos para las tres especies, estos valores son positivos y de acuerdo con Prodan *et al.* (1997). Significa que en promedio el modelo subestima por la mínima diferencia al volumen real, con un 0.03 % de subestimación para *Laguncularia racemosa*, un 7.3% para *Rhizophora mangle* y para *Avicennia germinans* con un 12%, tomando a la medida de un metro cubico, dicho de otra manera el modelo tiene un sesgo mínimo que va de 0.003750 a 0.125956 quiere decir que existe una mínima diferencia entre el volumen real y el estimado.

En cuanto a la REMC se puede visualizar que los valores obtenidos de las ecuaciones seleccionadas para las tres especies en estudio, presentan porcentajes de error de 17.5 % para *Rhizophora mangle*, 42.4 % para *Avicennia germinans* y el 30.6 % para *Laguncularia racemosa*, lo cual está influenciado principalmente por la gran variabilidad natural del volumen y alturas en los diámetros mayores.

Considerando que los porcentajes de DA son bajos se considera que dichas ecuaciones son confiables para estimar volumen de sus respectivas especies ya que tomando en cuenta la medida a un metro cubico, las diferencias son mínimas.

Cuadro 18. Estadísticos de validación del modelo de fuste total sin ramas para tres especies de mangles de Barra de Tecoaapa.

Especie	Muestra	DA	REMC
<i>Rhizophora mangle</i>	13	0.073270	0.175387
<i>Avicennia germinans</i>	16	0.125956	0.424982
<i>Laguncularia racemosa</i>	15	0.003750	0.306887

Dónde: DA= diferencia agregada, REMC= raíz cuadrada del error medio cuadrático

4.2.2 Validación del modelo con ramas por especie

En el Cuadro 19, se puede observar que las tres ecuaciones presentan en promedio sesgos variables, sin embargo para *Avicennia germinans* se observa un aumento en la subestimación del volumen con respecto a las otras dos especies.

Los valores demuestran que las DA y REMC entre el volumen real y el estimado son mínimas, lo que significa que los volúmenes estimados son muy parecidos a los volúmenes reales, por lo que el sesgo del modelo es poco para las tres especies de mangle, dicho de otra manera, que las ecuaciones para estimar el volumen total árbol subestima con una mínima diferencia a los volúmenes reales con porcentajes que oscilan entre 0.2% a 8% y con errores de 16.4 a 29.3% lo que significa que prácticamente ambos volúmenes son iguales, por lo anterior y de acuerdo a los criterios propuestos por Prodan *et al.* (1997), se puede concretar que dichas ecuaciones son confiable para la estimación de volumen para las tres especies mangles en estudios.

Cuadro 19. Estadísticos de la validación de las tablas de volúmenes fuste total con ramas para tres especies de mangle de Barra de Tecoaapa.

Especie	DA	REMC
<i>Rhizophora mangle</i>	0.028012	0.164981
<i>Avicennia germinans</i>	0.085836	0.227798
<i>Laguncularia racemosa</i>	0.002975	0.293626

Dónde: DA= diferencia agregada, REMC= raíz cuadrada del error medio cuadrático

4.3 Elaboración de las tablas de volúmenes

Para la elaboración de la tablas de volúmenes se sustituyeron los valores de las variables de altura y diámetro a 0.30 metros en el caso de *Rhizophora mangle* y a 1.30 para *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* en el modelo seleccionado, y como resultado de este estudio en los Cuadros 20, 21, 22, 23, 24 y 25 se presentan las tablas de volumen fuste total sin y con ramas para cada especie.

Cuadro 20. Tabla de volumen de fuste total sin ramas para *Rhizophora mangle* en Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

		Categoría de altura (m)				
		5	10	15	20	25
Categoría diamétrica (cm)	5	0.00623	0.00798	0.00923	0.01023	0.01108
	10	0.02660	0.03407	0.03938	0.04365	0.04727
	15	0.06216	0.07963	0.09204	0.10201	0.11047
	20	0.11352	0.14542	0.16810	0.18629	0.20176
	25	0.18112	0.23202	0.26819	0.29723	0.32189
	30	0.26530	0.33986	0.39284	0.43537	0.47150
	35	0.36635	0.46930	0.54247	0.60120	0.65109
	40	0.48451	0.62068	0.71744	0.79511	0.86110
	45	0.62000	0.79425	0.91807	1.01746	1.10190
	50	0.77302	0.99027	1.14465	1.26857	1.37385
	55	0.94374	1.20896	1.39743	1.54872	1.67725
	60	1.13230	1.45052	1.67665	1.85817	2.01239
	$\text{Log}_{10}\text{VFT} = -3.91847 + 2.09357 \cdot \text{log}_{10}\text{D} + 0.35731 \cdot \text{log}_{10}\text{H}$ Dónde: VFT= volumen fuste total (m ³) D= diámetro a 0.30 metros (cm) H= altura (m) F= valor de F calculado R ² _{aj} = coeficiente de determinación ajustado I= índice de Furnival Log ₁₀ = logaritmo en base 10					F=6115.44
R ² _{aj} = 0.9941						

Cuadro 21. Tabla de volumen fuste total con ramas para *Rhizophora mangle* en Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

		Categoría de altura (m)				
		5	10	15	20	25
Categoría diamétrica (cm)	5	0.00684	0.00791	0.00862	0.00916	0.00960
	10	0.03236	0.03744	0.04078	0.04333	0.04541
	15	0.08032	0.09295	0.10124	0.10756	0.11274
	20	0.15312	0.17719	0.19298	0.20504	0.21490
	25	0.25255	0.29225	0.31831	0.33819	0.35446
	30	0.38012	0.43987	0.47909	0.50901	0.53351
	35	0.53709	0.62152	0.67693	0.71922	0.75383
	40	0.72460	0.83850	0.91326	0.97031	1.01701
	45	0.94365	1.09199	1.18935	1.26364	1.32445
	50	1.19516	1.38303	1.50634	1.60044	1.67745
	55	1.47997	1.71261	1.86530	1.98182	2.07719
	60	1.79885	2.08162	2.26721	2.40883	2.52475
	Log ₁₀ VTA= -3.87984+2.24256*log ₁₀ D+0.21063*log ₁₀ H					F= 4876.80
Dónde: VTA= volumen total árbol (m ³) D= diámetro a 0.30 metros (cm) H= altura (m) F= valor de F calculada R ² _{aj} = coeficiente de determinación ajustado l= índice de Furnival Log ₁₀ = logaritmo base 10					R ² _{aj} = 0.9926	

Cuadro 22. Tabla de volumen de fuste total sin ramas para *Avicennia germinans* en Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

		Categoría de altura (m)				
		5	10	15	20	25
Categoría diamétrica (cm)	5	0.00849	0.01200	0.01469	0.01696	0.01895
	10	0.03071	0.04341	0.05314	0.06134	0.06857
	15	0.06516	0.09209	0.11274	0.13014	0.14547
	20	0.11111	0.15702	0.19224	0.22191	0.24805
	25	0.16808	0.23754	0.29081	0.33570	0.37524
	30	0.23572	0.33313	0.40784	0.47080	0.52625
	35	0.31376	0.44341	0.54285	0.62664	0.70045
	40	0.40195	0.56805	0.69543	0.80278	0.89734
	45	0.50010	0.70676	0.86525	0.99882	1.11646
	50	0.60805	0.85932	1.05202	1.21442	1.35745
	55	0.72564	1.02550	1.25547	1.44928	1.61998
	60	0.85275	1.20514	1.47539	1.70314	1.90374
	65	0.98925	1.39804	1.71155	1.97576	2.20848
	70	1.13504	1.60407	1.96378	2.26693	2.53394
	75	1.29001	1.82308	2.23190	2.57644	2.87991
Log ₁₀ VFT=-3.71647+1.85502*log ₁₀ D+0.49900*log ₁₀ H				F= 3344.57	I= 0.0466	
Dónde:				R ² _{aj} = 0.9860		
VFT= volumen fuste total (m ³)						
D= diámetro a la altura del pecho (cm)						
H= altura (m)						
F= valor de F calculado						
R ² _{aj} = coeficiente de determinación ajustado						
I= índice de Furnival						
Log ₁₀ = logaritmo de base 10						

Cuadro 23. Tabla de volumen fuste total con ramas para *Avicennia germinans* en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

		Categoría en altura (m)				
		5	10	15	20	25
Categoría diamétrica (cm)	5	0.00930	0.01240	0.01466	0.01652	0.01812
	10	0.03680	0.04903	0.05799	0.06533	0.07165
	15	0.08226	0.10960	0.12963	0.14602	0.16016
	20	0.14555	0.19393	0.22937	0.25838	0.28339
	25	0.22660	0.30191	0.35709	0.40226	0.44119
	30	0.32533	0.43347	0.51269	0.57754	0.63344
	35	0.44170	0.58852	0.69608	0.78412	0.86001
	40	0.57567	0.76701	0.90719	1.02194	1.12085
	45	0.72718	0.96888	1.14597	1.29091	1.41585
	50	0.89622	1.19410	1.41235	1.59099	1.74497
	55	1.08274	1.44262	1.70629	1.92211	2.10814
	60	1.28673	1.71441	2.02776	2.28423	2.50531
	65	1.50816	2.00943	2.37670	2.67731	2.93643
	70	1.74699	2.32765	2.75309	3.10130	3.40146
	75	2.00323	2.66905	3.15688	3.55617	3.90035
Log ₁₀ VTA=-3.70724+1.98372*log ₁₀ D+0.41400*log ₁₀ H				F= 3667.59	I= 0.0567	
<p>Dónde:</p> <p>VTA= volumen total árbol (m³)</p> <p>D= diámetro a la altura del pecho (cm)</p> <p>H= altura (m)</p> <p>I= índice de Furnival</p> <p>F= valor de f calculada</p> <p>R²_{aj}= coeficiente de determinación ajustado</p> <p>Log₁₀= logaritmo base 10</p>				R ² _{aj} = 0.9872		

Cuadro 24. Tabla de volumen de fuste total sin ramas para *Laguncularia racemosa* en Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

		Categoría en altura (m)				
		5	10	15	20	25
Categoría diamétrica (cm)	5	0.00947	0.01396	0.01752	0.02059	0.02333
	10	0.03326	0.04904	0.06154	0.07229	0.08192
	15	0.06935	0.10224	0.12830	0.15073	0.17079
	20	0.11681	0.17220	0.21610	0.25387	0.28765
	25	0.17502	0.25802	0.32379	0.38038	0.43100
	30	0.24355	0.35904	0.45055	0.52930	0.59975
	35	0.32203	0.47474	0.59574	0.69987	0.79302
	40	0.41019	0.60471	0.75883	0.89147	1.01012
	45	0.50778	0.74858	0.93938	1.10357	1.25045
	50	0.61460	0.90606	1.13700	1.33573	1.51351
	55	0.73047	1.07688	1.35135	1.58755	1.79884
	60	0.85523	1.26079	1.58214	1.85868	2.10606
	65	0.98872	1.45759	1.82911	2.14881	2.43480
	70	1.13083	1.66709	2.09200	2.45765	2.78475
	75	1.28143	1.88910	2.37060	2.78495	3.15560
80	1.44041	2.12348	2.66471	3.13047	3.54710	
$F=3802.02$					$I= 0.0509$	
$\text{Log}_{10}\text{VFT} = -3.68153 + 1.81212 \cdot \text{log}_{10}\text{D} + 0.55995 \cdot \text{log}_{10}\text{H}$					$R^2_{aj} = 0.9889$	
<p>Dónde:</p> <p>VFT= volumen fuste total (m³)</p> <p>D= diámetro a la altura del pecho (cm)</p> <p>H= altura (m)</p> <p>F= valor de f calculada</p> <p>R^2_{aj}= coeficiente de determinación ajustado</p> <p>I= índice de Furnival</p> <p>Log_{10}= logaritmo en base 10</p>						

Cuadro 25. Tabla de volumen fuste total con ramas para *Laguncularia racemosa* en Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

		Categoría de altura (m)				
		5	10	15	20	25
Categoría diamétrica (cm)	5	0.01028	0.01452	0.01778	0.02053	0.02295
	10	0.03812	0.05388	0.06596	0.07615	0.08512
	15	0.08207	0.11600	0.14202	0.16395	0.18327
	20	0.14141	0.19987	0.24471	0.28249	0.31578
	25	0.21566	0.30481	0.37319	0.43082	0.48158
	30	0.30446	0.43032	0.52686	0.60821	0.67988
	35	0.40752	0.57599	0.70520	0.81409	0.91001
	40	0.52460	0.74147	0.90780	1.04799	1.17147
	45	0.65551	0.92649	1.13433	1.30949	1.46378
	50	0.80006	1.13079	1.38446	1.59825	1.78656
	55	0.95809	1.35416	1.65794	1.91396	2.13947
	60	1.12948	1.59640	1.95451	2.25633	2.52218
	65	1.31409	1.85732	2.27397	2.62512	2.93443
	70	1.51181	2.13678	2.61612	3.02010	3.37594
	75	1.72253	2.43461	2.98076	3.44106	3.84650
80	1.94616	2.75069	3.36774	3.88779	4.34587	
				F= 4050.76	I= 0.0574	
$\text{Log}_{10}\text{VTA} = -3.65909 + 1.89133 \cdot \text{log}_{10}\text{D} + 0.49916 \cdot \text{log}_{10}\text{H}$ Dónde: VTA= volumen total árbol (m ³) D= diámetro a la altura del pecho (cm) H= altura (m) F= valor de f calculado R ² _{aj} = coeficiente de determinación ajustado I= índice de Furnival Log ₁₀ = logaritmo en base 10				R ² _{aj} = 0.9896		

5 DISCUSIÓN

5.1 Selección del modelo

Los volúmenes sin y con ramas de árboles de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, pueden ser estimados por el modelo de Schumacher-Hall 2 ya que presentó una R^2_{aj} que oscilan entre 0.98-0.99 para ambos volúmenes y un índice Furnival mucho más bajo que los otros modelos (Cuadro 12, 13, 14, 15, 16, 17).

Al respecto, un estudio realizado por García-Corona y Aldana-Pereira (S/F) en árboles de *Rhizophora mangle* L.; *Avicennia germinans* L. y *Laguncularia racemosa* Geartn. T. en el sector de Bacunagua al sur de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Ellos probaron 5 modelos, 2 modelos con variable dependiente transformada y 3 modelos con variable dependiente no transformada, donde concluyeron que el modelo de Schumacher-Hall 2 con variable transformada fue el modelo seleccionado con una R^2 para *Rhizophora mangle* de 0.97, para *Avicennia germinans* de 0.87 y para *Laguncularia racemosa* una R^2 de 0.99 (Cuadro 26).

Otros estudios realizados en manglares en diferentes partes del mundo (Cuadro 26), donde utilizaron modelos de una entrada (diámetro) y dos entradas (diámetro y altura) mostraron buen ajuste para los datos con R^2_{aj} 0.98-0.99 para modelos de una sola entrada y R^2 de 0.81 a 0.99 lo que quiere decir que existe homogeneidad entre los datos.

Por otra parte, en los Cuadros 12, 13, 14, 15, 16 y 17 se puede observar que en ambos casos los modelos con variable dependiente transformada presentan mejor ajuste que los modelos sin transformar presentando valores de R^2_{aj} entre 0.98 y 0.99 comparados con los estudios realizados presentan valores similares a los que arrojaron los modelos utilizados en este estudio.

En términos generales y de acuerdo con los estadísticos en respuesta del ajuste de los modelos lineales y no lineales para volumen sin y con ramas, se puede observar (Cuadros 12, 13, 14, 15, 16 y 17) que todos los modelos en realidad mostraron buen ajuste por sus estadísticos arrojados, donde se puede decir que cualquiera de estos modelos pueden ser utilizados para estimar el volumen sin y

con ramas de los árboles de mangles de Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero excepto el modelo logarítmico $\ln VTA = b_1 \ln D + b_2 \ln H$ que presento valores por debajo del 0.50 de R^2_{aj} para ambos volúmenes. Sin embargo para este trabajo se seleccionó el modelo Schumacher-Hall 2 ya que presentó el índice de Furnival menor que los otros modelos y por sus variables independiente fáciles de medir (diámetro y altura) y por la facilidad de usar la ecuación.

Cuadro 26. Estadísticos de modelos utilizados en estudios de mangles.

Ecuación	Autor/Año/Especie/Lugar	R^2_{aj}	R^2
$V = 0.004 * D^{2.2198}$	Loyche y Amadou (1989). <i>Rhizophora racemosa</i> G. Meyer y <i>Rhizophora harrisonii</i> L. Sierra Leona, África.	0.9942	0.9986
$V = 0.00543946 + 0.00003622(D^2H)$	Valdez-Hernández (2004). <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C. F. Geartn, Nayarit, México.	0.9800	_____
$\log_{10} V = 0.0554 + 1.7670 \log_{10} D + 0.4931 \log_{10} H$	García-Corona y Aldana-Pereira		0.9700
$\log_{10} V = 0.0555 + 1.7671 \log_{10} D + 0.4931 \log_{10} H$	(S/F). <i>Rhizophora mangle</i> ,		0.8700
$\log_{10} V = 0.3980 + 2.2431 \log_{10} D + 0.4931 \log_{10} H$	<i>Avicennia germinans</i> y <i>Laguncularia racemosa</i> . Cuba.	_____	0.9900
$\log_{10} (V) = -9.06038 + 2.3955 \log_{10} D$	Chong (1989). <i>Avicennia</i>		
$\log_{10} (V) = -8.72393 + 2.36491 \log_{10} D$	<i>germinans</i> , <i>Rhizophora mangle</i> y		0.9950
$\log_{10} (V) = -8.92114 + 2.38992 \log_{10} D$	<i>Laguncularia racemosa</i> . Citado por García-Corona y Aldana- Pereira (S/F).	_____	0.9890
$V = -0.37714 + 0.03200D$	Chong (1988). <i>Pelliciera</i>		
$V = -0.50857 + 0.04116D$	<i>rhizophorae</i> y <i>Rhizophora</i> <i>harrisonii</i> . Costa Rica, citado por García-Corona y Aldana-Pereira (S/F).	_____	0.9940
	Cole <i>et al.</i> (1999). <i>Rhizophora</i>		0.9970
$V = 0.0000308(D^2H)^{0.9760}$	<i>mucronata</i> Lam. Micronesia.	_____	0.9100

5.2 Validación del modelo seleccionado

Las estimaciones obtenidas mediante el proceso de validación para el volumen sin y con ramas (Cuadros 18 y 19) se observa que las diferencias agregadas están por debajo del 1% esto a 1 m^3 y errores promedio por categoría 0.175387-0.0.424982 en el volumen sin ramas y 0.164981-0.293626 para el volumen con ramas, por lo que satisfacen los requerimientos para este trabajo y aportan la exactitud en las estimaciones del volumen total en las especies objeto de estudio.

Al respecto, un estudio realizado por Cole *et al.* (1998) Construyeron ecuaciones de volumen de una y dos entradas para cinco especies de mangles (*Sonneratia alba*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata* y *Xylocarpus granatum*) en las islas altas de Micronesia, donde encontraron que las tablas de una sola entrada tienden a sobrestimar en un promedio de 2.7-3.2 % para la mayoría de las especies, así como también encontraron un error de exactitud dentro del 1%.

En estudios en especies tropicales varios autores como Salas-Eljatib (2002) encontró que las diferencias agredas para *Laurelia sempervirens* fue de 0.148% y un error cuadrático de 14.65%, para *Eucryphia cordofolia* con DAP menores a 60cm un REMC de 16.36% y una DA de -2.364% y para DAP mayores de 60 cm la DA fue de 0.902 y REMC de 17.55%. Para *Nothofagus obliqua* la DA fue de -0.688 % y un REMC de 24.66%. A su vez Hernández-Santiago (2013) encontró para *Cedrela odorata* L. una DA por debajo del 1 %, lo cual indica que las diferencias entre volúmenes reales y estimados son mínimas. Salas *et al.* (2005) realizaron una tabla de volumen para *Pinus pinaster* en la comarca del Baixo Miño, Galicia, España. En dicho estudio encontraron un sesgo de 0.25% y un REMC de 7.77%.

Los errores y las diferencias obtenidas como resultado de la validación de la ecuación están por debajo del 1%, lo cual indican que cumplen con los supuestos de exactitud y sesgo por lo que se puede concretar que las ecuaciones para la estimación de las tablas de volumen fuste total con y sin ramas son confiables para estimar volumen de mangles

6 CONCLUSIONES

1. El modelo Schumacher-Hall 2 ($\text{Log}_{10}VFT=b_0+b_1\log D+b_2\log H$) fue el que presentó un índice de Furnival menor al compararlos con los otros modelos ajustados.
2. Los volúmenes sin ramas y con ramas de árboles de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* de Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero, pueden ser estimados de forma confiable con el modelo de Schumacher-Hall 2 ya que representa de mejor forma las relaciones entre las variables volumen, diámetro y altura (Cuadro 11).
3. Con base a la desviación agregada y la raíz cuadrada del error medio cuadrático se puede concluir que las tablas de volumen son confiables.
4. Estadísticamente los modelos empleados en especies latifoliadas mostraron buenos ajustes en manglares de acuerdo con los estadísticos utilizados para este estudio, por lo tanto se acepta la hipótesis H1.
5. Los modelos transformados presentaron mejores estadísticos para el conjunto de datos en comparación con los modelos no transformados.

7 RECOMENDACIONES

Los modelos estadísticamente mostraron buenos ajustes en manglares de acuerdo con las pruebas realizadas, por lo tanto, se recomienda considerarlos en el desarrollo de futuras investigaciones sobre tablas de volumen de árboles en pie de mangles.

Para el uso de las tablas de volumen sin y con ramas se recomienda considerar las variables diámetro a 0.30 m arriba de la raíces zancudas para *Rhizophora mangle* y a 1.30 m para *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, así como la altura total, y de preferencia las categorías trabajadas en este estudio.

En la elaboración de tablas de volumen se recomienda su validación con datos provenientes de la misma zona, ya que nos asegura la eficacia de los resultados y la confianza de utilizar la tabla para la cubicación del arbolado en pie a partir del diámetro y la altura total.

Para mayor efectividad de la tabla de volumen se recomienda ser utilizadas en áreas bajo condiciones ecológicas similares al área de estudio.

8 LITERATURA CITADA

- Acosta-Mireles, M. y F. Carrillo-Anzures. 2008. Tabla de volumen total con y sin corteza para *Pinus montezumae* Lamb. En el estado de Hidalgo. INIFAP. Folleto Técnico No. 07. México. 20 p.
- Acosta-Velázquez, J. 2007. Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 1^{ra} etapa. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (Conabio). Informe final DQ056. México. D. F. 70 p.
- Adame, M. F., B. Kauffmann, V. Valdez, J. M. Frausto y A. Rhodes (coordinadores). (Sin fecha). Determinación de la estructura y existencias de carbono en manglares de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. Áreas Naturales Protegidas (ANP). Quintana Roo. 9 p.
- Agraz-Hernández, C.M., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F.J. Flores-Verdugo y J.J. Jiménez-Zacarías. 2006. Guía de campo. Identificación de los manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p.
- Alvarado-Chay, G. E. 2003. Tablas de volumen local para santa maría (*Calophyllum brasiliense* Camb.) y malerio colorado (*Aspidosperma megalocarpum* Muell.) en la unidad de manejo las ventanas, zona de usos múltiples de la reserva de la biosfera Maya, Peten, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 52 p.
- Amico I., J. Bava y A. Calderón. 2009. Tabla de volumen para *Populus nigra* cv 'Italica' en plantaciones lineales en el noroeste de Chubut. Jornadas de Salicáceas. Chubut. 7p.
- Armendáriz-Olivas, R., A. Quiñones-Chávez, M. Cano-Rodríguez, P. Juárez-Tapia, H.O. Rubio-Arias y J. Rentería-Anima. 2003. Tablas de volúmenes para *Pinus herrerae* y *Pinus durangensis* en el ejido Monterde, municipio de Guazapares, Chihuahua. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Madera-SAGARPA. Folleto Técnico No. 21. Chihuahua. 20 p.
- Arriaga-Cabrera, L., E. Vázquez-Domínguez, J. González Cano, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López y V. Aguilar Sierra (coordinadores). 1998. [en

- [línea]. Regiones Marinas Prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. [Fecha de consulta: 10 de enero de 2014]. Disponible: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalización/doctos/marinas.html>
- Barrena A., V., J. Dancé C., D. Sáenz Y. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. *Revista Forestal del Perú* 13(2):1-10.
- Basáñez-Muñoz, A.J., M.A. Cruz-Lucas, C. Domínguez-Barradas, C. Gonzáles-Gándara, A. Serrano-Solís y A. Hernández-Azuara. 2008. Estructura y producción de *Conocarpus erectus* L. en el sitio Ramsar "Manglares y Humedales de Tuxpan", Veracruz, México. 8(1): 78-87.
- 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.
- Chandra, I. A., G. Seca and M.K. Abu Hena. 2011. Aboveground biomass production of *Rhizophora apiculata* Blume in Sarawak mangrove forest. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. Malaysia. 6(4): 469-474.
- Chong, P. W. 1988. Proposed Integrated Forest Management planning and utilization of mangrove resources in the Terraba-Sierpe Reserve, Costa Rica. *In: Funciones de regresiones de volumen para especies Rhizophora mangle L.; Avicennia germinans L. y Laguncularia racemosa* Geartn.t. En Cuba. pp. 10.
- Chong, P.W. 1989. Manejo Integrado de ecosistemas de manglares en la reserva forestal de Guanabacoa-Cuba. *In: Funciones de regresiones de volumen para especies Rhizophora mangle L.; Avicennia germinans L. y Laguncularia racemosa* Geartn.t. En Cuba. pp. 10.
- Cole, T. G., K. C. Ewel and N. N. Devoe. 1999. Structure of mangrove trees and forest in Micronesia. *Forest Ecology and Management*. pp: 95-109.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2000. Normales Climatológicas 1981-2010, Estación: 00012173. [En línea]. Marquelia, Guerrero. [Fecha de consulta: 24 marzo 2014]. Disponible en: [http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales 8110/ NORMAL12173.TXT](http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales%208110/NORMAL12173.TXT)>.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2008. [en línea]. Manglares de México. Conabio. México. 35 p. [fecha de consulta: 16 de diciembre de 2013]. Disponible en: <http://www.conabio.gob>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2009a. [en línea]. Manglares de México: Extensión y Distribución. 2ª ed. México. 99 p. [fecha de consulta: 26 de enero de 2013]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/Manglares_de_Mexico_Extension_y_distribucion.pdf
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2009b. Mangle negro. Fichas de Especies Mexicanas. (Conabio). México. 6 p.
- Conanp. 2009. Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*). Fichas de especies mexicanas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México. 5 p.
- Cruz, M., R. M. Castillo, C. Vindel y O. Tovar. 2003. Evaluación de un aprovechamiento forestal en bosque latifoliado y elaboración de tablas de volumen en la zona Atlántica de Honduras. Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT). Honduras 74 p.
- Cuadrado-Hidalgo, M. F. 1985. Tablas de volumen para *Gmelina arborea* Roxb en Florencia Norte de Turrialba, Costa Rica. CATIE. Costa Rica. 28 p.
- Cumplido-Ortiz, R. 2002. Tablas de volumen y de incrementos para tres especies del genero *Pinus* de tres predios del estado de Chihuahua, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Estado de México. 114 p.
- Da-Cunha, T. A. y C. A. Guimarães-Finger. 2009. Modelo de regresión para estimar el volumen total con corteza de árboles de *Pinus taeda* L. en el sur de Brasil. Revista forestal Kurú 6(16): 1-15.
- Davel, M. y G. Trincado. 2000. Evaluación de modelos fustales para *Pseudotsuga menziessi* en la Patagonia Andina Argentina. Investigación Agraria. Sistema y Recursos Forestales 9(1): 103-116.

- Day J., W., W. H. Conner, F. Ley-Lou, R.H. Day, and A. Machado. 1987. The productivity and composition of mangrove forest, Laguna de Términos, México. *Aquatic Botany*. 27: 267-284.
- Díaz-González, A. P. 2008. Elaboración de tabla de volumen comercial de *Rhizophora mangle* L. en el Golfo de Fonseca, Honduras. [En línea]. [Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2014]. Disponible en: file:///C:/Users/user/Desktop/SIDALC%20%20Alianza%20de%20Servicios%20de%20Informaci%C3%B3n%20Agropecuaria.htm
- Donato, D.C., J.B. Kauffman, D. Murdiyarsa, S. Kurnianto, M. Stidham and M. Kanninen. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*. 4: 1-5.
- Duke, N.C. y J.A. Allen. 2006. *Rhizophora mangle*, *R. samoensis*, *R. racemosa*, *R. x harrisonii* (Atlantic-East Pacific red mangrove). Species Profiles for Pacific Island Agroforestry 2(1):1-18.
- Escobar-Cruz, J. N. 2007. Compendio automatizado de tablas de volúmenes para árboles de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 64 p.
- Espinosa-Garduño, M. 2012. Evaluación y monitoreo de manglar en la Reserva de la Biósfera los Petenes con énfasis en criterios de sustentabilidad y desarrollo. Asociación Territorios Vivos A. C. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. FN004. México. 91 p.
- FAO. 1998. Directrices para la evaluación en los países tropicales y subtropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 47 p. [En línea] [fecha de consulta: 12 de enero de 2014]. Disponible: <http://www.fao.org/forestry/423402563e77b4073478e56990c2ba430d0df.pdf>
- Fernández-Tschieder, E., H. Fassola E. y M. García C. 2011. Ecuación de volumen total para *Populus deltoides* de plantaciones del bajo delta del Paraná. *INTA*. 37(2): 172-179.
- Galán-Larrea R., H. M. De los Santos-Posadas y J. I. Valdez-Hernández. 2008. Crecimiento y rendimiento de *Cedrela odorata* L y *Tabebuia donnell-smithii*

- Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. *Revista Madera y Bosques* 14 (2):65-82.
- García-Corona I. y E. Aldana-Pereira. [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: 20 de enero de 2014]. Disponible en: <http://www.buscagro.com/biblioteca/PinardelRio/Ilya-Garcia/Corona1.html>
- González-Jacobo, F. 2003. Tabla de volumen para *Piranhea mexicana* (standl.) Radcl. Sm. En la costa de Jalisco. Tesis profesional. Universidad de Guadalajara. Las Agujas, Zapopan Jalisco. 47 p.
- Guerra, W., M. Soudre y M. Chota. S/F. Tabla de volumen comercial de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) de las plantaciones experimentales de Alexander Von Humboldt, Ucayali. Universidad Nacional de Ucayali (UNU). Perú. 22 p.
- Guevara-Mancera, O.A., H. Sánchez-Páez, G.O. Murcia-Orjuela, H.E. Bravo-Pazmiño, F. Pinto-Nolla y R. Álvarez-León. 1998. Conservación y Uso sostenible de los manglares del Pacífico Colombiano. Ministerio del Medio Ambiente. Santa Fe de Bogotá D.C. 178 p.
- Hernández Y. B., C. A. Alvarado y W. Sabido. 2009. Ajuste de funciones volumétricas sólida y aserrable para *Swietenia macrophylla* en tres áreas bajo manejo en Belice. Departamento de Investigación Forestal Aplicada. Belice. 21(2): 15-30.
- Hernández-Alcántara, P. y V. Solís-Weiss. 1995. Algunas comunidades macrobénticas asociadas al mar (*Rhizophora mangle*) en Laguna de Términos, Golfo de México. *Biología Tropical* 43(1-3):117-129.
- Hernández-Santiago, 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.
- Husch, B., C. I. Miller y T. W. Beers. 1982. Forest mensuration. 3a. ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). United States of America, 402 p.

- Idola-Gabeitla, A. y A. Fernández-Manso. S/F. Tarifas de cubicación para el Eucalipto en la provincia de Vizcaya. Departamento de Ingeniería Agraria. España. 4 p.
- Imaña-Encinas, J. 1998. Dasometría práctica. Universidade de Brasília. Faculdade de tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal (Ed). Brasil. 125 p.
- INEGI. 2002. Carta topográfica E14D61 (Copala). Escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2005. Evaluación preliminar de las tasa de pérdida de superficie de manglar. INE. 21p [en línea][fecha de consulta: 26 de enero de 2014]. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/informe_manglar.pdf
- Jiménez, J. A. [S/F]. *Rhizophora mangle* L. (mangle colorado). pp. 450-455. [en línea] [fecha de consulta: 09 de febrero de 2014]. Disponible en: <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Rhizophoramangle.pdf>
- Kometter R. y E. Maravi. 2007. Metodología para elaborar tablas nacionales de conversión volumétrica de madera rolliza en pie a madera aserrada calidad de exportación. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo-The World Bank. Managua, Nicaragua. 32p.
- Loetsch, F., F. Zöhrer and K.E. Heller. 1973. Forest inventory. K.F. Panzer (editor). 2a ed. Verlagsellschaft München Bern Wien. Germany. 469 p.
- López-Portillo, J. A. 2012. Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: inicio de una red multi-institucional. Veracruz. Instituto de Ecología A.C. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. FN007. México, 109 p.
- López-Portillo, J. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. Madera y Bosque, 8:27-57.
- Loyche, M y C.L. Amadou. 1989: Construcción de una tabla local de volúmenes en MA-Swar, Sierra Leona. África Occidental. *In*: Directrices para la ordenación de los manglares. 1994. Chile, p. 367.
- Maass M. y G. Ceballos. 2005. Red mexicana de investigación ecológica a largo plazo: propuesta de creación. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS001. México, 71 p.
- Machado-Carcasés, E. G., A. Pereira y N. A. Ríos. 2003. Tabla de volumen para *Buchenavia capitata*, Vahl. Quebracho, 10:76-82.
- Manrow-Villalobos, M. y B. Vilchez-Alvarado. 2012. Estructura, composición florística, biomasa y carbono arriba del suelo en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín, Limón. Costa Rica. Forestal Mesoamericana Kurú, 9(23):01-18.
- Medina-Chena, A., T. E. Salazar-Chimal y J.L. Álvarez-Palacios. 2010. Fisiografía y Suelos. [En línea]. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2014]. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/9647/1/01FISIOGRAFIAAUTORES.pdf>
- Mora Ch., F. A. y M. Gómez Q. 2003. Ecuaciones y tablas de volumen para árboles individuales en plantaciones de Teca (*Tectona grandis*). Vertiente del Pacífico, Costa Rica. Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR). Costa Rica. 24 p.
- Moras, G. y O. S. Vallejos-Barra. 2013. Tablas de volumen para árboles individuales de *Eucalyptus globulus* ssp. *Globulus* cultivados en la región sur de Uruguay. Agrociencia, 17(2): 11-24.
- Moreno-Cáliz, E., A. Guerrero-Peña, M.C. Gutiérrez-Castorena, C.A. Ortiz-Solorio y D. J. Palma-López. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de Carbono. Madera y Bosques. Número especial, pp: 115-128.
- Moreno-Casasola P., y D. M. Infante-Mata. 2009. Manglares y Selvas Inundables. Instituto de Ecología A. C. CONAFOR y OIMT. Xalapa, Veracruz, México. 150 p.
- Moreno-May, G. J., J.G. Cerón-Bretón, R.M. Cerón-Bretón, J.J. Guerra-Santos, L.E. Amador del Ángel y E. Endañú-Huerta. 2010. Estimación del potencial de captura de carbono en suelos de manglar de isla del Carmen. U. Tecnociencia 4 (1): 23 - 39.
- Moret A. Y y P. Ruíz. 1998. Determinación de ecuaciones de volumen para Mureillo (*Erisma uncinatum*) en la unidad C4 de la reserva forestal Imataca, Bolívar-Venezuela. Revista Forestal Venezolana, 42(2):187-197.

- Moret A., Y., M. Jerez y A. Mora. 1998. Determinación de ecuaciones de volumen para poblaciones de teca (*Tectona grandis* L.) en la unidad experimental de la reserva forestal Caparo, estado Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 42(1):41-50.
- 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(14): 1-12.
- Muñoz-Flores, H., S. Madrigal-Huendo, M. Aguilar-Ramírez, J. García-Magaña y M. Lara-Rubio. 2003. Tablas de volumen para *Pinus lawsonii* Roetzl. y *Pinus pringlei* Shaw. En el oriente de Michoacán. *Revista Ciencia Forestal en México*. 28(94):1-23.
- Navarro-Martínez, J., A. Borja-de la Rosa, M. Á. Musalem-Santiago, H. Ramírez-Maldonado y D. Granados-Sánchez. 2002. Ecuaciones y tablas de volúmenes comerciales con y sin corteza para *Peltogyne mexicana* Martínez, una especie amenazada del estado de Guerrero, México. *Revista Chapingo*, 8(2): 133-139.
- Pacheco-Fonseca, M. 2011. Tabla de volumen para *Quercus laurina* en la comunidad de Ixltlán de Juárez, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad de la Sierra Juárez. Oaxaca, 63 p.
- Pece M., G., C. Gaillard de Benítez, M. J. de Galíndez, y N. A. Ríos. 2002. Tabla de volumen de doble entrada para álamos de la zona de riego de Santiago de Estero, Argentina. *Quebracho*. 9: 95-105.
- Pérez C., L. D. y M. Kanninen. 2003. Estimación del volumen comercial a diámetros y alturas variables para *Tectona grandis* L. F. en Costa Rica. *Revista Forestal*. 39: 56-59.
- Picard N., L. Saint-André y M. Henry. 2012. 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, 223 p.

- Piedra O., R. y M. Carreón M. 1984. Tabla de volumen para la especie *Gmelina arborea* Roxb (L.) en plantaciones del C.E.F. "Ing. Eduardo Sangri Serrano". Revista Ciencia Forestal 48(9): 1-2.
- Pinto-Nolla, F. 1999. Sucesión y fisionomía de los manglares de Colombia. Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales 23:141-161.
- 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.
- Ramiro-Vásquez, E. y A. Caballero-Núñez. 2011. Inconsistencia del coeficiente de variación para expresar la variabilidad de un experimento en un modelo de análisis de varianza. Cultivos Tropicales, 32(3): 59-62.
- Restrepo-Martínez J y L. J. Vivas-Aguas. 2007. Manual metodológico sobre el monitoreo de los manglares del Valle del Cauca y fauna asociada, con énfasis en aves y especies de importancia económica: piangua y cangrejo azul. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR - Santa Marta. (Serie de publicaciones generales No. 21). Colombia, 40 p.
- Robles-Valle, G. R., K. Oliveira-Barbosa y R. Villalobos-Soto. 2000. Programa de Evaluación de los recursos forestales mundiales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 104 p. [en línea]. [Fecha de consulta: 15 de enero de 2014]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/ae159s/ae159s00.HTM>
- Romahn de la V., C. F., H. Ramírez M. 2006. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 354 p.
- Romahn de la V., C.F., H. Ramírez M. y J.L. Treviño G. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 354 p.
- Romero-Hernández, A. E. 2005. Tabla de volúmenes para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en su área de distribución natural en los estados de Puebla y Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 92 p.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.

- Salas, C., L. Nieto y A. Irisarri. 2005. Modelos de volumen para *Pinus pinaster* Ait. En la Comarca del Baixo, Galicia, España. Quebracho. 12: 11-22.
- Salas-Eljatib, C. 2002. Ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de roble-laurel-lingue. [En línea] [Fecha de consulta: 8 de abril de 2014]. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002002000200009.
- Schlaegel B., E. 1984. Green ash volume and weight tables. United States Department of Agriculture. Research paper. New Orleans, Louisiana, 14 p.
- Semarnat. 2003. Norma Oficial Mexicana-022-Semarnat. Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en las zonas de manglar. Diario Oficial de la Federación. Fecha de publicación. 10 de abril de 2003. México, pp: 27-43.
- Semarnat. 2010. Norma Oficial Mexicana-059-Semarnat. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categorías de riesgos y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio a lista de especies riesgo. Diario Oficial de la Federación. Fecha de publicación. 30 de diciembre 2010. México, pp: 1-77.
- Semarnat. 2011. Estrategia Nacional para la atención de los ecosistemas de manglar. Comisión intersecretarial para el manejo sustentable de mares y costas (CIMARES). México. 26 p.
- Sit, V. and M. Poulin-Costello. 1994. Catalog of curves for curve fitting. Biometrics Information Handbook series. W. Bergerud y S. Vera (editors). 4a ed. Ministry of forests research program. 110 p.
- Snedaker, S.C. y C.D. Getter. 1985. Costas. Publicación No. 2 sobre Manejo de Costas. Serie de Información sobre Recursos Renovables. Research Planning Institute, Inc. Columbia, South Carolina, USA. 286 p.
- Sola G., N. Picard, L. Saint-André 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 pp.
- Tenorio-Galindo., 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.
- Tomlinson, P.B. 1986. The Botany of Mangroves. Cambridge Univ. Press, Cambridge. Google books. [En línea]. [Fecha de consulta: 09 de febrero 2014]. Disponible en:<<http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=uwT6SMY-oNAC&oi=fnd&pg=PR9&dq=The+Botany+of+Mangroves.+Tomlinson&ots=AkUCXbJLd&sig=vZg1EdVnu4QNsXDxAn1cPoSFiyU#v=onepage&q&f=false>>.
- Torres-Rojo, J. M. y O. S. Magaña-Torres. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. LIMUSA, NORIEGA. México, 472 p.
- Tovilla-Hernández, C. y D. E. Orihuela-Belmonte. 2002. Supervivencia de *Rhizophora mangle* L. en el manglar de Barra de Tecoaapa, Guerrero, México. Madera y Bosques 8:89-102.
- Tovilla-Hernández, C. y G. de la Lanza-Espino. 2001. Balance hidrológico y de nutrientes en un humedal costero del pacífico sur de México. Hidrobiológica, 11(2): 133-140.
- Tovilla-Hernández, C.; S. A. Mora-Corro; J. Rojas-García y A. D. Vázquez-Lule. 2009. Caracterización del sitio de manglar Barra de Tecoaapa (Desembocadura del río Ometepe), en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. Conabio, México, D.F.11 p.
- Travieso-Bello, A.C. Los manglares. S/F. [En línea]. [Fecha de consulta: 1 de enero 2014]. Disponible en:<<http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/Esp/pdfs/>>
- Trejos-Castillo, N., A. Vega, O. Smith y M. Morán. 2007. Informe final. Diagnóstico del estado actual de los manglares, su manejo y su relación con la pesquería en Panamá. Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC). Panamá, 125 p.

- Trejo-Torres, 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: 26 de enero de 2014]. Disponible en: http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/2009/julio/un-mangle-de-plata-el-botoncillo-conocarpus-erectus.
- Twilley, R. R. y J. W. Day, Jr. 1999. The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystems. *In*: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.). Ecosistemas de manglar en América Tropical. Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. pp. 127-152.
- Valdez-Hernández, J.I. 2002. Aprovechamiento forestal de manglares en el estado de Nayarit, costa Pacífica de México. *Madera y Bosques*. pp: 129-145.
- Valdez-Hernández, J.I. 2004. Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. *Madera y Bosques*, 2:93-104.
- Velasco-Bautista, E., S. Madrigal H., I. Vázquez C., A. González H. y F. Moreno S. 2006. Manual para la elaboración de tablas de volumen fustal en pinos. Libro técnico, No. 1. INIFAP. 34 p.
- Walpole R., E., R.H. Myers y S. L. Myers. 1999. Probabilidad y estadística para ingenieros. Traductor: R. Cruz. 6ta ed. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. México. D.F. 752 p.
- Yáñez–Arancibia, A. y A. L. Lara–Domínguez. 1999. Los manglares de América Latina en la encrucijada. *In*: A. Yáñez–Arancibia y A. L. Lara–Domínguez (eds.). Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. pp. 9-16.
- Yáñez-Arancibia, A., R. R. Twilley y A. L. Lara-Domínguez. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*. 4(2):3-19.
- Zaldívar-Jiménez A., J. Herrera-Silveira, C. Teutli-Hernández, R. Hernández-Saavedra y J. Caamal-Sosa. 2010. Manglares, Biodiversidad, Ecosistema y Comunidades, CONABIO. SEDUMA. Yucatán. pp. 138-139.

APÉNDICE

Apéndice 1. Cálculo del índice de Furnival para la tabla de volumen fuste total con corteza; comparación de modelos con variable dependiente transformada y variable dependiente no transformada para *Rhizophora mangle* en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero

Paso	Concepto	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 5	Mod 6	Mod 7	Mod 8
1	S	0.1691	0.1507	0.2485	0.1432	0.2483	0.1428	0.1513	0.1445
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	0	0	0	0	0	0	0	0
3	(2)/N	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Antilog (3)	1	1	1	1	1	1	1	1
5	I (1)*(4)	0.1691	0.1507	0.2485	0.1432	0.2483	0.1428	0.1513	0.1445

Paso	Concepto	Mod 9	Mod 10	Mod 11	Mod 12	Mod 13	Mod 14	Mod 15
1	S	0.1428	0.0984	0.1044	0.1113	0.2265	0.2562	2.8098
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	-44.1292	-44.1292	-44.1292	-44.1292	-70.9332	-70.9332	-70.9332
3	(2)/N	-0.5963	-0.5963	-0.5963	-0.5963	-0.9586	-0.9586	-0.9586
4	Antilog (3)	0.2533	0.2533	0.2533	0.2533	0.1100	0.1100	0.1100
5	I (1)*(4)	0.0362	0.0249	0.0264	0.0282	0.0249	0.0282	0.3091

Dónde: Mod = modelo, S = Desviación estándar, $\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$ = Sumatoria del logaritmo base diez de la derivada del volumen (m3), Log_{10} = Logaritmo en base diez, (antilog) (3) = Antilogaritmo en base diez del valor en el paso número tres, (2)/N = Paso número dos entre el número de observaciones utilizadas, I (1)*(4) = paso número uno por el paso número cuatro.

Apéndice 2. Cálculo del índice de Furnival para la tabla de volumen total árbol con corteza y ramas; comparación de modelos con variable dependiente transformada y variable dependiente no transformada para *Rhizophora mangle* en Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

Paso	Concepto	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 5	Mod 6	Mod 7	Mod 8
1	S	0.1752	0.1987	0.2584	0.1808	0.2507	0.1682	0.2038	0.1683
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	0	0	0	0	0	0	0	0
3	(2)/N	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Antilog (3)	1	1	1	1	1	1	1	1
5	I (1)*(4)	0.1752	0.1987	0.2584	0.1808	0.2507	0.1682	0.2038	0.1683

Paso	Concepto	Mod 9	Mod 10	Mod 11	Mod 12	Mod 13	Mod 14	Mod 15
1	S	0.1682	0.1126	0.1139	0.1321	0.2592	0.3042	2.7851
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	-38.8497	-38.8497	-38.8497	-38.8497	-65.6537	-65.6537	-65.6537
3	(2)/N	-0.5250	-0.5250	-0.5250	-0.5250	-0.8872	-0.8872	-0.8872
4	Antilog (3)	0.2985	0.2985	0.2985	0.2985	0.1297	0.1297	0.1297
5	I (1)*(4)	0.0502	0.0336	0.0340	0.0394	0.0336	0.0394	0.3611

Dónde: Mod = modelo, S = Desviación estándar, $\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$ = Sumatoria del logaritmo base diez de la derivada del volumen (m³), Log₁₀ = Logaritmo en base diez, (antilog) (3) = Antilogaritmo en base diez del valor en el paso número tres, (2)/N = Paso número dos entre el número de observaciones utilizadas, I (1)*(4) = paso número uno por el paso número cuatro.

Apéndice 3. Cálculo del índice de Furnival para la tabla de volumen fuste total con corteza; comparación de modelos con variable dependiente transformada y variable dependiente no transformada para *Avicennia germinans* en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

Paso	Concepto	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 5	Mod 6	Mod 7	Mod 8
1	S	0.2241	0.2195	0.2933	0.2147	0.2939	0.2110	0.2216	0.2110
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	0	0	0	0	0	0	0	0
3	(2)/N	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Antilog (3)	1	1	1	1	1	1	1	1
5	I (1)*(4)	0.2241	0.2195	0.2933	0.2147	0.2939	0.2110	0.2216	0.2110

Paso	Concepto	Mod 9	Mod 10	Mod 11	Mod 12	Mod 13	Mod 14	Mod 15
1	S	0.2110	0.1220	0.1302	0.1253	0.2808	0.2886	2.0944
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	-40.1570	-40.1570	-40.1570	-40.1570	-74.9297	-74.9297	-74.9297
3	(2)/N	-0.4183	-0.4183	-0.4183	-0.4183	-0.7805	-0.7805	-0.7805
4	Antilog (3)	0.3817	0.3817	0.3817	0.3817	0.1658	0.1658	0.1658
5	I (1)*(4)	0.0805	0.0466	0.0497	0.0478	0.0466	0.0478	0.3472

Dónde: Mod = modelo, S = Desviación estándar, $\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$ = Sumatoria del logaritmo base diez de la derivada del volumen (m3), Log_{10} = Logaritmo en base diez, (antilog) (3) = Antilogaritmo en base diez del valor en el paso número tres, (2)/N = Paso número dos entre el número de observaciones utilizadas, I (1)*(4) = paso número uno por el paso número cuatro.

Apéndice 4. Cálculo del índice de Furnival para la tabla de volumen total árbol con corteza y ramas; comparación de modelos con variable dependiente transformada y variable dependiente no transformada para *Avicennia germinans* en Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

Paso	Concepto	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 5	Mod 6	Mod 7	Mod 8
1	S	0.2768	0.2883	0.3840	0.2834	0.3816	0.2683	0.2897	0.2702
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	0	0	0	0	0	0	0	0
3	(2)/N	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Antilog (3)	1	1	1	1	1	1	1	1
5	I (1)*(4)	0.2768	0.2883	0.3840	0.2834	0.3816	0.2683	0.2897	0.2702

Paso	Concepto	Mod 9	Mod 10	Mod 11	Mod 12	Mod 13	Mod 14	Mod 15
1	S	0.2683	0.1207	0.1264	0.1274	0.2781	0.2933	2.0889
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	-31.5278	-31.5278	-31.5278	-31.5278	-66.3005	-66.3005	-66.3005
3	(2)/N	-0.3284	-0.3284	-0.3284	-0.3284	-0.6906	-0.6906	-0.6906
4	Antilog (3)	0.4694	0.4694	0.4694	0.4694	0.2039	0.2039	0.2039
5	I (1)*(4)	0.1260	0.0567	0.0593	0.0598	0.0567	0.0598	0.4259

Dónde: Mod = modelo, S = Desviación estándar, $\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$ = Sumatoria del logaritmo base diez de la derivada del volumen (m³), Log_{10} = Logaritmo en base diez, (antilog) (3) = Antilogaritmo en base diez del valor en el paso número tres, (2)/N = Paso número dos entre el número de observaciones utilizadas, I (1)*(4) = paso número uno por el paso número cuatro.

Apéndice 5. Cálculo del índice de Furnival para la tabla de volumen fuste total con corteza; comparación de modelos con variable dependiente transformada y variable dependiente no transformada para *Laguncularia racemosa* en Barra de Tecoaapa, Marquelia, Guerrero.

Paso	Concepto	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 5	Mod 6	Mod 7	Mod 8
1	S	0.2526	0.2561	0.2954	0.2263	0.2933	0.2274	0.2665	0.2216
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	0	0	0	0	0	0	0	0
3	(2)/N	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Antilog (3)	1	1	1	1	1	1	1	1
5	I (1)*(4)	0.2526	0.2561	0.2954	0.2263	0.2933	0.2274	0.2665	0.2216

Paso	Concepto	Mod 9	Mod 10	Mod 11	Mod 12	Mod 13	Mod 14	Mod 15
1	S	0.2274	0.1165	0.1283	0.1191	0.2683	0.2742	1.4592
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	-30.9491	-30.9491	-30.9491	-30.9491	-62.0996	-62.0996	-62.0996
3	(2)/N	-0.3599	-0.3599	-0.3599	-0.3599	-0.7221	-0.7221	-0.7221
4	Antilog (3)	0.4366	0.4366	0.4366	0.4366	0.1896	0.1896	0.1896
5	I (1)*(4)	0.0993	0.0509	0.0560	0.0520	0.0509	0.0520	0.2767

Dónde: Mod = modelo, S = Desviación estándar, $\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$ = Sumatoria del logaritmo base diez de la derivada del volumen (m3), Log_{10} = Logaritmo en base diez, (antilog) (3) = Antilogaritmo en base diez del valor en el paso número tres, (2)/N = Paso número dos entre el número de observaciones utilizadas, I (1)*(4) = paso número uno por el paso número cuatro.

Apéndice 6. Cálculo del índice de Furnival para la tabla de volumen total árbol con corteza y ramas; comparación de modelos con variable dependiente transformada y variable dependiente no transformada para *Laguncularia racemosa*, en Barra de Tecoanapa, Marquelia, Guerrero.

Paso	Concepto	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 5	Mod 6	Mod 7	Mod 8
1	S	0.2804	0.2564	0.3687	0.2392	0.3616	0.2404	0.2620	0.2393
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	0	0	0	0	0	0	0	0
3	(2)/N	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Antilog (3)	1	1	1	1	1	1	1	1
5	I (1)*(4)	0.2804	0.2564	0.3687	0.2392	0.3616	0.2404	0.2620	0.2393

Paso	Concepto	Mod 9	Mod 10	Mod 11	Mod 12	Mod 13	Mod 14	Mod 15
1	S	0.2404	0.1156	0.1250	0.1203	0.2662	0.2770	1.4502
2	$\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$	-26.1328	-26.1328	-26.1328	-26.1328	-57.2833	-57.2833	-57.2833
3	(2)/N	-0.3039	-0.3039	-0.3039	-0.3039	-0.6661	-0.6661	-0.6661
4	Antilog (3)	0.4967	0.4967	0.4967	0.4967	0.2157	0.2157	0.2157
5	I (1)*(4)	0.1194	0.0574	0.0621	0.0598	0.0574	0.0598	0.3129

Dónde: Mod = modelo, S = Desviación estándar, $\sum \text{Log}_{10} [f'(y)]^{-1}$ = Sumatoria del logaritmo base diez de la derivada del volumen (m³), Log_{10} = Logaritmo en base diez, (antilog) (3) = Antilogaritmo en base diez del valor en el paso número tres, (2)/N = Paso número dos entre el número de observaciones utilizadas, I (1)*(4) = paso número uno por el paso número cuatro.

