

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FORESTAL



Tabla de Producción de Biomasa Foliar Seca para Laurel  
(*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

Por:

**CRISTABEL SALAZAR MENDOZA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Septiembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FORESTAL

Tabla de Producción de Biomasa Foliar Seca para Laurel  
(*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

Por:

**CRISTABEL SALAZAR MENDOZA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



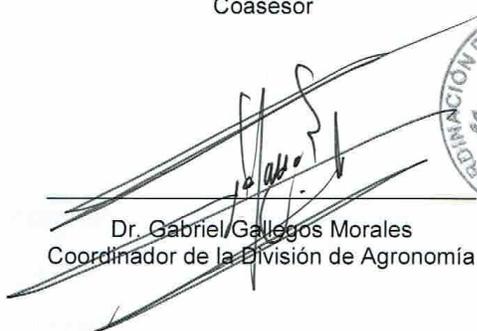
Dr. Jorge Méndez González  
Asesor Principal Interno



M.C. E. Edith Villavicencio Gutiérrez  
Asesor Principal Externo



M.C. Héctor Darío González López  
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Septiembre de 2019

## **AGRDECIMIENTOS**

Gracias a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) por haberme permitido formarme dentro de sus instalaciones y ser mi casa. Gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, las cuales pusieron un pequeño aporte ya sea de manera directa o indirecta y que el día de hoy se verá reflejado en la culminación de mi licenciatura.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el soporte al presente proyecto de tesis, así como ser el principal apoyo financiero para la realización de este.

Al Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP por apoyar esta tesis por medio del proyecto SIGI:13271734312 titulado: Desarrollo e implementación de dos sistemas de procesamiento para a) extracción de aceites esenciales y b) extracción de fibra de ixtle: generación de productos de alta calidad

A la M. C Edith Villavicencio Gutiérrez por creer en mí y brindarme su amistad y principalmente por permitirme ser copartícipe en la realización de este proyecto y de su gran apoyo en los análisis estadísticos y disposición para la revisión de este trabajo.

Al Dr. Jorge Méndez Gonzales y al Dr. Mario Alberto García Aranda por la información que me proporcionaron, tanto de nueva literatura como información personal, muchas gracias.

A Dios por cada detalle y momento durante la realización de mi carrera, gracias a Él por ser la base moral, por cada día en el que me permitió despertar no solo con vida, sino que también continuar con salud, fuerzas y empeño, fue mi principal apoyo y motivador para cada día continuar sin tirar la toalla. fue mi principal apoyo y motivador para cada día continuar sin tirar la toalla.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre; por la confianza, cariño y amor, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

Gracias a mi pareja, siendo la motivación en mi vida encaminada al éxito, fue el ingrediente perfecto para lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria en la vida, se preocupó por mí en cada momento y que siempre quiso lo mejor para mí porvenir.

Gracias, hija mía por ser la fuente de mi esfuerzo y todas las energías requeridas en este proyecto, gracias por ser el motor de mi vida.

La gratitud hacia mis amigos por la presencia y apoyo indispensable; el hecho de poder contar con ellos durante mi vida en los buenos y malos momentos, son un verdadero tesoro en mi vida.

“Mis más sinceros agradecimientos para todos ustedes”

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Jaime Salazar Villanueva y Karol Cristabel Mendoza Mendoza, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Jaime Salazar Mendoza y Leslie Salazar Mendoza por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mi pareja Jesús Alberto Hernández Tafoya, por estar conmigo en los momentos más turbulentos.

A las familias Yaber López, López Flores, Méndez Encina, Macías Pineda y Méndez Bazaldúa. Durante el desarrollo de mi carrera se presentaron diversidad de situaciones que pudieron ser fácilmente causante del fracaso, pero esto no sucedió, y fue gracias al apoyo presentado por estas familias, sin su apoyo todo esto sería diferente, estoy muy agradecida de todo corazón.

A mis amigos Francisco Sánchez Macías, Fátima Monserrat Méndez Encina, Santiago Mendoza Morales, Noemi López Flores, María Angelica Pineda Iregoyen, les doy las gracias por todo el apoyo que han brindado y agradezco a dios por ponerme en mi camino una amistad tan pura, verdadera y productiva para mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

|            |   |          |
|------------|---|----------|
| <b>I.</b>  | <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                   | <b>1</b> |
| 1.1        | Objetivo general .....                                      | 3        |
| 1.2        | Objetivos específicos.....                                  | 3        |
| 1.3        | Hipótesis.....  | 3        |
| <b>II.</b> | <b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>                         | <b>4</b> |
| 2.1        | Descripción de la familia Laurácea.....                     | 4        |
| 2.2        | Descripción del género <i>Litsea</i> (Lamarck) .....        | 4        |
| 2.3        | Generalidades de <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl) Mez. .... | 5        |
| 2.3.1      | Clasificación taxonómica .....                              | 5        |
| 2.3.2      | Distribución y hábitat .....                                | 6        |
| 2.4        | Importancia de las plantas aromáticas .....                 | 7        |
| 2.5        | Especias y hierbas culinarias .....                         | 9        |
| 2.6        | Propiedades .....   | 12       |
| 2.7        | Biomasa .....   | 12       |
| 2.8        | Correlación y regresión .....                               | 13       |
| 2.9        | Modelos alométricos.....                                    | 14       |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| 2.10        | Tabla de producción.....                         | 15        |
| 2.11        | Trabajos afines.....                             | 16        |
| <b>III.</b> | <b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                 | <b>17</b> |
| 3.1         | Descripción del área de estudio .....            | 17        |
| 3.1.1       | Ubicación geográfica .....                       | 17        |
| 3.1.2       | Hidrología .....                                 | 18        |
| 3.1.3       | Fisiografía.....                                 | 18        |
| 3.1.4       | Geología .....                                   | 18        |
| 3.1.5       | Edafología .....                                 | 19        |
| 3.1.6       | Clima .....                                      | 19        |
| 3.1.7       | Vegetación.....                                  | 19        |
| 3.2         | Levantamiento de datos y diseño de muestreo..... | 20        |
| 3.3         | Variables independientes .....                   | 21        |
| 3.4         | Variables dependientes.....                      | 22        |
| 3.5         | Análisis estadístico.....                        | 23        |
| 3.5.1       | Prueba de Durbin-Watson .....                    | 25        |
| 3.5.2       | Prueba de Shapiro-Wilk.....                      | 26        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.5.3 Prueba de White .....                          | 27        |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>              | <b>29</b> |
| 4.1 Estadísticas básicas .....                       | 29        |
| 4.2 Validación de los modelos alométricos.....       | 33        |
| 4.2.1 Corrección del modelo Schumacher-Hall .....    | 35        |
| 4.2.2 Capacidad predictiva del modelo.....           | 40        |
| 4.3 Tabla de producción de biomasa foliar seca ..... | 41        |
| <b>V. CONCLUSIÓN .....</b>                           | <b>44</b> |
| <b>VI. LITERATURA CITADA .....</b>                   | <b>45</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                   | <b>55</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Distribución de Laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez.). Elaborado a partir de (Jiménez-Pérez y Lorea- Hernández, 2009) y datos de GBIF (2018). .....   | 7  |
| Figura 2. Principales países importadores de plantas aromáticas de México. Elaborado a partir del informe de Comercio Internacional en Nosis Trade (2018)..  | 8  |
| Figura 3. Principales países exportadores de plantas aromáticas a México. Elaborado a partir del informe de Comercio Internacional en Nosis Trade (2018)..   | 9  |
| Figura 4. Grupos de especies más utilizadas en el norte de México (Martínez, 2015a).....   | 11 |
| Figura 5. Especies más utilizadas en el norte de México (Martínez, 2015a). .....   | 11 |
| Figura 6. Regla de decisión para el estadístico ( $d$ ) de Durbin-Watson (Guajarati y Poter, 2010). .....  | 26 |
| Figura 7. Gráfica de valores observados ( $dp$ ) y estimados del modelo Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca de laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. .... | 32 |
| Figura 8. Gráfica de valores observados altura y estimados del modelo Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca de laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. ....   | 33 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 9. Normalidad Q-Qplot de los residuales del modelo ajustado para estimar la biomasa foliar seca de <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez, en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. .... | 34 |
| Figura 10. Histograma de residuales del modelo ajustado para ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez.), en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. ....  | 35 |
| Figura 11. Gráfica de estimados vs residuales con presencia de heteroscedasticidad. ....  | 36 |
| Figura 12. Tendencia de los residuales. ....  | 38 |
| Figura 13. Residuales con el factor de ponderación. ....  | 39 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Materiales y equipo utilizados para el muestreo.....   | 17 |
| Cuadro 2. Coordenadas de los sitios y total de plantas muestreadas en el Ejido .   | 21 |
| Cuadro 3. Modelos ajustados para estimar la biomasa foliar seca de Laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.....                      | 24 |
| Cuadro 4. Estadísticas básicas de las variables dendrométricas de Laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.....                        | 29 |
| Cuadro 5. Estadísticos de los modelos ajustados para estimar la biomasa foliar seca de laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez.). en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila..... | 30 |
| Cuadro 6. Estudios de Biomasa foliar.....  | 31 |
| Cuadro 7. Regresión ponderada con modelo de varianza.....  | 39 |
| Cuadro 8. Tabla de producción de biomasa foliar seca de laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.....                                 | 42 |
| Cuadro 9. Tabla de producción de biomasa foliar seca de laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. (Continuación).....                 | 43 |

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

|  |    |
|--|----|
| Fotografía 1. Hojas de Laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl) Mez.) .....   | 6  |
| Fotografía 2 . Medición de variables; a) diámetro; b) altura; c) peso y registro de biomasa foliar seca de Laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez.)..... | 23 |

## RESUMEN

*Litsea parvifolia* (Hemsley) Mez. es una planta de tipo arbustivo perenne de la familia Lauraceae, con hojas verde-azuladas, alternas de consistencia coriácea, que se usan como condimento en la cocina. Como especia aromática sus hojas secas o mezclas se usan para condimentar e impartir aroma, su presentación puede ser entera o rota. Como hierba culinaria, las hojas frescas se usan como saborizante y en la herbolaria. Con el propósito de regular su aprovechamiento y determinar sus existencias, el objetivo de este estudio fue seleccionar un modelo alométrico que estime la biomasa foliar seca de los arbustos en pie de las áreas representativas del sureste de Coahuila. Se evaluaron poblaciones naturales distribuidas en el municipio de Saltillo, Coahuila. En 2017 se muestrearon 156 individuos en cinco sitios en la época de aprovechamiento de julio a octubre, midiendo: altura total ( $At$ , cm), diámetro mayor ( $DM$ , cm) diámetro menor ( $Dm$ , cm) y diámetro promedio ( $Dp$ ) de la copa arbustiva, considerando todas las categorías de altura y cobertura de los arbustos en pie y biomasa foliar seca ( $Bfs$ , g), con estas variables se evaluaron 10 modelos alométricos mediante el procedimiento PROC MODEL en SAS versión 9.4. El modelo seleccionado fue el de Schumacher-Hall en su forma no lineal, dada la presencia de heteroscedasticidad en los residuales, fue necesario una corrección, se usó la regresión por ponderación con modelo de varianza. El diámetro promedio ( $Dp$ ) y la altura total ( $At$ ) están correlacionados con la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) del Laurel, el modelo es confiable y puede ser usado para estimar la producción de los predios.

Palabras clave: Laurel, *Litsea parvifolia*, no maderable, regresión ponderada.

## ABSTRACT

*Litsea parvifolia* (Hemsley) Mez. is a perennial shrub-type plant of the Lauraceae family, with blue-green, alternate leaves of coriaceous consistency, which are used as a condiment for cooking. As an aromatic spice, its dried leaves or mixtures are used to season and give aroma. As a culinary herb, fresh leaves are used as a flavoring and in herbal medicine. In order to regulate their use and determine their stock, the objective of this study was to select an allometric model that estimates the dry foliar biomass of standing shrubs in representative areas of southeastern Coahuila. Natural populations distributed in the municipality of Saltillo, Coahuila were evaluated. In 2017 156 individuals were sampled in five sites during the harvest season (July to October), measuring: total height ( $A_t$ , cm), major diameter (DM, cm) minor diameter (Dm, cm) and average diameter (Dp) of the shrub crown, considering all categories of height and cover of shrubs in foot and dry foliar biomass (Bfs, g), with these variables 10 allometric models were evaluated through the PROC MODEL procedure in SAS version 9.4. The model selected was the Schumacher-Hall model in its non-linear form, given the presence of heteroscedasticity in the residuals, a correction was necessary, the regression by weighting with variance model was used. The average diameter (Dp) and total height ( $A_t$ ) are correlated with the dry foliar biomass (Bfs) of the laurel, the model is reliable and can be used to estimate the production of the plots.

Keywords: Laurel, *Litsea parvifolia*, non-timber, weighted regression.

## I. INTRODUCCIÓN

Los productos forestales no maderables (PFNM) tienen una gran importancia en la obtención de bienes y servicios esencialmente en las comunidades rurales pues tienen diferentes usos: alimenticias, culturales y medicinales, en la actualidad los PFNM son también una fuente de ingresos económicos pues se extraen derivados que se usan en la industria farmacéutica principalmente y son de alta demanda en el comercio extranjero (Chandrasekharan *et al.*, 1996).

México proporciona una gran variedad de PFNM, procedentes de regiones templadas, áridas y tropicales, se estima que se aprovechan alrededor de 1,250 PFNM, las partes que se aprovechan son las ramas, hojas y peciolos las cuales son de consumo y de uso medicinal, recolectadas directamente del campo y solo el 1.13 % están protegidas (Blancas *et al.*, 2017).

El aprovechamiento de Laurel se caracteriza principalmente por el uso tradicional o cultural que se le da en las comunidades rurales pues es parte de celebraciones religiosas, además se usa como planta medicinal preparado como infusión que alivia la tos y diversas enfermedades estomacales también es utilizada como condimento de cocina y en algunos casos se ha reportado como insecticida (Montañez-Armenda *et al.*, 2011). En la industria se extraen aceites esenciales pues se ha demostrado la presencia de compuestos fenólicos como lignina y taninos con una alta actividad antioxidante en las hojas y madera (Tapia-Torres *et al.*, 2014).

Expuesto lo anterior Dávila *et al.* (2011) mencionan que el uso múltiple del Laurel lo hace susceptible a una sobreexplotación, de igual manera menciona que el aprovechamiento del Laurel en la época de floración y los cambios de uso de suelo son factores que afectan la abundancia de esta especie. En este sentido Blancas *et al.*, (2017) proponen que para el aprovechamiento sostenible debe estar basado en los conocimientos tradicionales, la silvicultura y experiencias académicas de manejo que faciliten su conservación y sigan proporcionando los bienes y servicios a las comunidades rurales.

El uso de las tablas de producción o rendimiento tiene un papel importante en la cuantificación de los recursos forestales ya que tiene como base el análisis estadístico de correlación y regresión mediante modelos matemáticos entre las variables dasométricas de interés para estimar de manera simple la producción en volumen o peso de las especies o grupo de especies forestales (Avery y Burkhart, 1983).

En este sentido el presente estudio tiene como fin encontrar las relaciones entre las variables dasométricas diámetro, altura y peso seco de hojas mediante el ajuste de modelos matemáticos que permitan estimar la producción de biomasa foliar y poder a partir de la selección de un modelo el construir una tabla de producción para el Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez).

### **1.1 Objetivo general**

Generar una tabla de producción de biomasa foliar seca para Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez), en el Ejido Cuauhtémoc, Municipio de Saltillo, Coahuila, mediante una ecuación alométrica.

### **1.2 Objetivos específicos**

Determinar las relaciones alométricas vegetales de la planta aromática Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez), en el Ejido de Cuauhtémoc, Municipio de Saltillo, Coahuila.

Seleccionar y evaluar modelos alométricos para estimar peso seco del Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez), en el Ejido de Cuauhtémoc, Municipio de Saltillo, Coahuila.

### **1.3 Hipótesis**

Ho: La estimación de biomasa foliar del Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez) a través de la tabla de producción está en función de sus variables dendrométricas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Descripción de la familia Laurácea

Familia con aproximadamente 50 géneros y más de 2500 plantas de interés comercial y una importancia ecológica como productores principales de alimentos para varias aves. Son árboles o arbustos perennifolios por lo general pubescentes; hojas alternas u opuestas con células oleíferas, simples y enteras, estipulas ausentes; inflorescencias cimosas, racemosas o pseudoumbeladas; flores hermafroditas o unisexuales; tépalos en dos series, libres, imbricados, deciduos o parcialmente persistentes y más o menos agrandados en el fruto; estambres dispuestos en cuatro verticilos; hipanto usualmente presente, corto o largo, rodeando por completo al ovario; fruto drupáceo, por lo común negro en la madurez y en la parte carnosa verde o amarillo pálido (Van Der Werff y Lorea, 1997).

### 2.2 Descripción del género *Litsea* (Lamarck)

Son árboles o arbustos de hojas alternas a opuestas, penninervadas, glabras o pubescentes; las inflorescencias son pseudoumbeladas, solitarias o agrupadas, axilares o en ramas; las flores son unisexuales; los tépalos mayormente seis, elípticos u ovados y extendidos; tiene de 9 a 12 estambres masculinas, filamentos muy bien desarrollados; el ovario globoso en las flores femeninas y atrofiado en las masculinas; en las flores masculinas el hipanto es corto y plano en las femeninas es urceolado; el fruto se sostiene por un pedicelo poco o muy engrosado (Van Der Werff y Lorea, 1997).

### 2.3 Generalidades de *Litsea parvifolia* (Hemsl) Mez.

Arbusto de hasta 3 m de altura; hojas ovada-lanceolada a oblicuo, mucronulado en el ápice y redondeado, cordada o subcordada en la base, más o menos coriáceas, reticulada, no más de 4 cm de largo. La característica principal es una floración perceptible en la lámina de la hoja, en el tallo, los brotes y en el cáliz de la fruta, debido a la presencia de una fina película de la pubescencia que desaparece rápidamente; la inflorescencia es una simple umbela axilar subterminal que nace de un pedúnculo delgado y más o menos recurvado; las flores de 3 a 4 por umbela, están subtendidos en pedicelos de 2 mm de largo, densos y tomentosos (Allen, 1945).

#### 2.3.1 Clasificación taxonómica

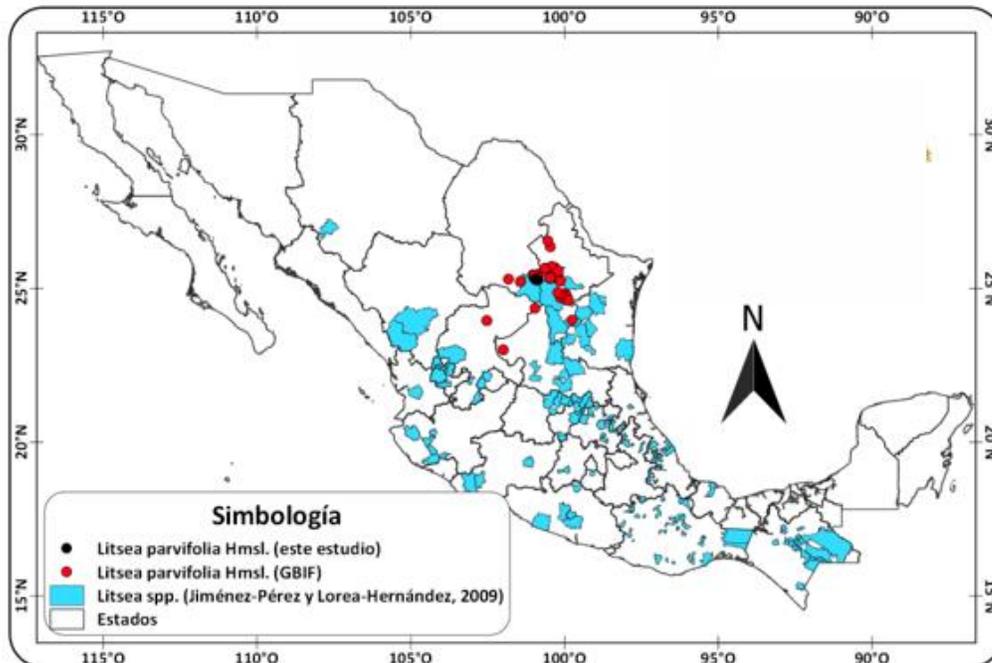
|               |                                       |
|---------------|---------------------------------------|
| Reino:        | Metaphyta                             |
| División      | Magnoliophyta                         |
| Subfilo:      | Angiospermae                          |
| Clase:        | Magnoliopsida                         |
| Orden:        | Laurales                              |
| Familia:      | Lauraceae                             |
| Género:       | <i>Litsea</i>                         |
| Especie:      | <i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl) Mez. |
| Nombre común: | Laurel de monte                       |



**Fotografía 1.** Hojas de Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl) Mez.).

### **2.3.2 Distribución y hábitat**

El género *Litsea* contiene más 400 especies distribuidas ampliamente en Asia, Australia y las Islas del Pacífico (Valencia, 2013), Bartlett (1909) describe 11 especies del género *Litsea* para América, mientras que Allen (1945) describe 4 especies una con tres variedades. Se encuentran en hábitat de zonas húmedas, bosques de pino o en el matorral (Jiménez-Pérez y Lorea-Hernández, 2009).



**Figura 1.** Distribución de Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.). Elaborado a partir de (Jiménez-Pérez y Lorea- Hernández, 2009) y datos de GBIF (2018).

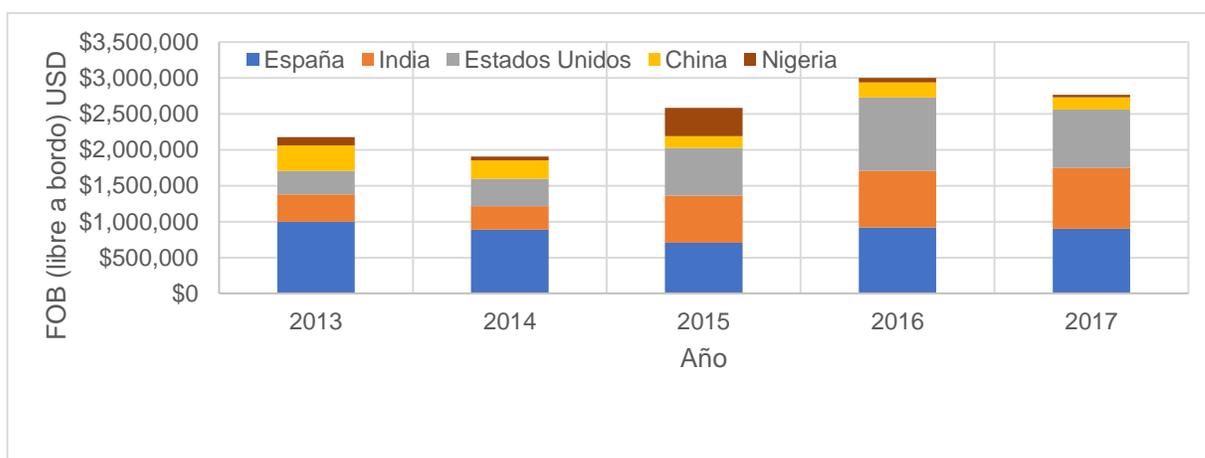
## 2.4 Importancia de las plantas aromáticas

Una planta aromática es toda aquella planta de origen vegetal que por su composición química desprende un olor o sabor agradable o no en condiciones ambientales naturales; sin embargo, hay ocasiones en que una planta no desprende olor hasta cuando se le somete a un proceso industrial, las plantas aromáticas contienen principios activos en su tallos, flores, frutos y hojas lo cuales están constituidos total o parcialmente por esencias (Bandoni, 2002).

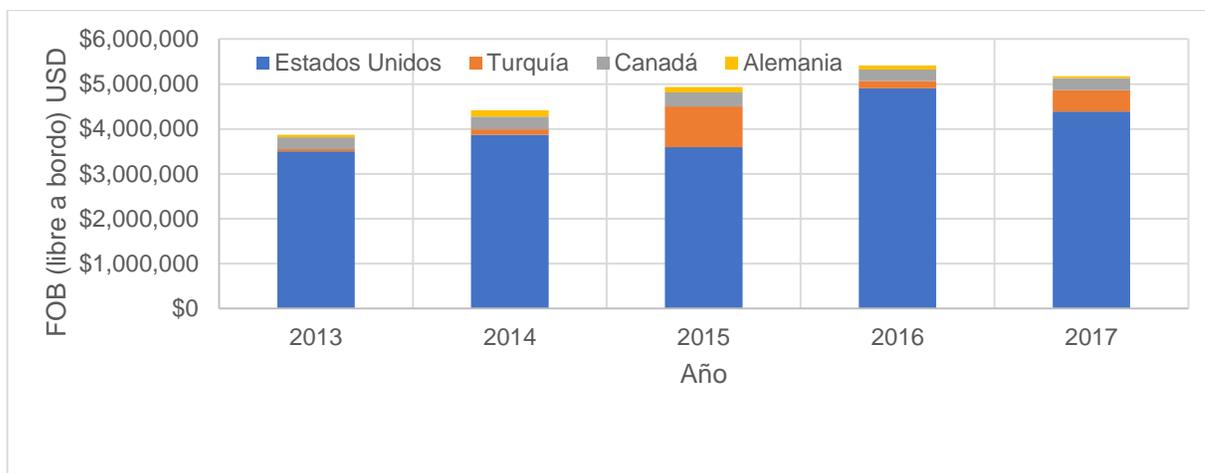
En el reino vegetal hay diversas familias en las cuales se pueden encontrar especies aromáticas como en las Pináceas, Verbenáceas, Mirtáceas, Lamiáceas, Rutáceas, Lauráceas, Piperáceas, Apiáceas y Asteráceas, cada especie de estas familias

aporta uno a más de un producto aromático, esto dependen de diversos factores como el ambiente natural, los factores intrínsecos, el proceso de extracción y la variabilidad genética de las especies, así mismo la calidad y cantidad se ven afectadas por la época de cosecha, el estado de desarrollo y la tecnología usada para el proceso de extracción (Bandoni, 2002).

Las plantas aromáticas se comercializan de distintas maneras: como plantas ornamentales, material fresco o desecado del cual el principal uso es alimenticio o medicinal, también se comercializa para la extracción de aceites esenciales, resinoides, concretos, extractos crudos o purificados, oleorresinas, exudados naturales (bálsamos y resinas) entre otras. Las principales industrias donde se emplean las plantas aromáticas son: la industria cosmética, alimenticia, licorera, farmacéutica, agroquímica, química fina, tabacalera, textil, petroquímica y minera, pinturas y disolventes (Bandoni, 2002).



**Figura 2.** Principales países importadores de plantas aromáticas de México. Elaborado a partir del informe de Comercio Internacional en Nosis Trade (2018).



**Figura 3.** Principales países exportadores de plantas aromáticas a México. Elaborado a partir del informe de Comercio Internacional en Nosis Trade (2018).

## 2.5 Especies y hierbas culinarias

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-000-SCFI/SAGARPA-2017 hay 109 productos clasificados como especias y hierbas culinarias tienen características comunes y sus perfiles de calidad pueden ser más o menos los mismos.

Las especias se agrupan de diversas maneras en función de sus propiedades, las partes utilizadas, analogías o familias botánicas, importancia económica, similitudes de los métodos de su cultivo, tipo de planta, hábito de crecimiento, etc.

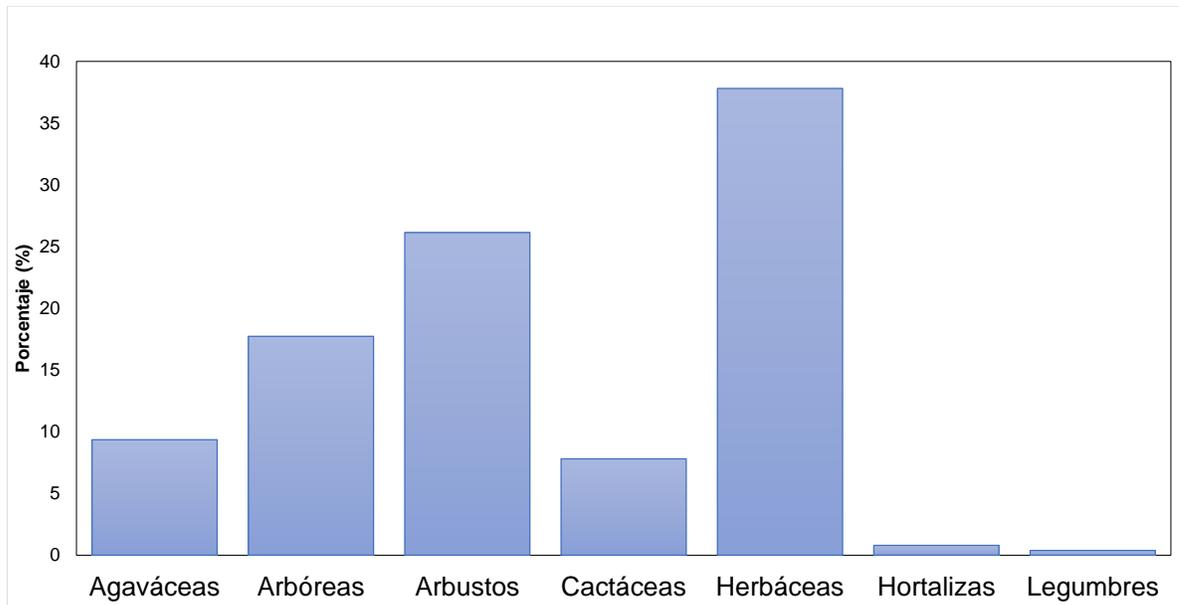
**Especia:** cualquier vegetal seco o deshidratado, fragante, aromático o pungente sustancia vegetal, que, en forma entera, rota, quebrada o molida contribuye al sabor, picor de los alimentos, cuya función primera es sazonar y no nutrir; y de las cuales ninguna porción de aceite volátil y ningún otro principio saborizante ha sido removido (Mercado *et al.*, 2013). Las especias se pueden clasificar en: (1) frutos

secos y bayas (pimienta), (2) raíces secas, rizomas, bulbos, (3) semillas secas (comino), (4) partes florales secas (estigmas), (5) hojas secas (6) corteza seca (Van Der Werff y Lorea, 1997).

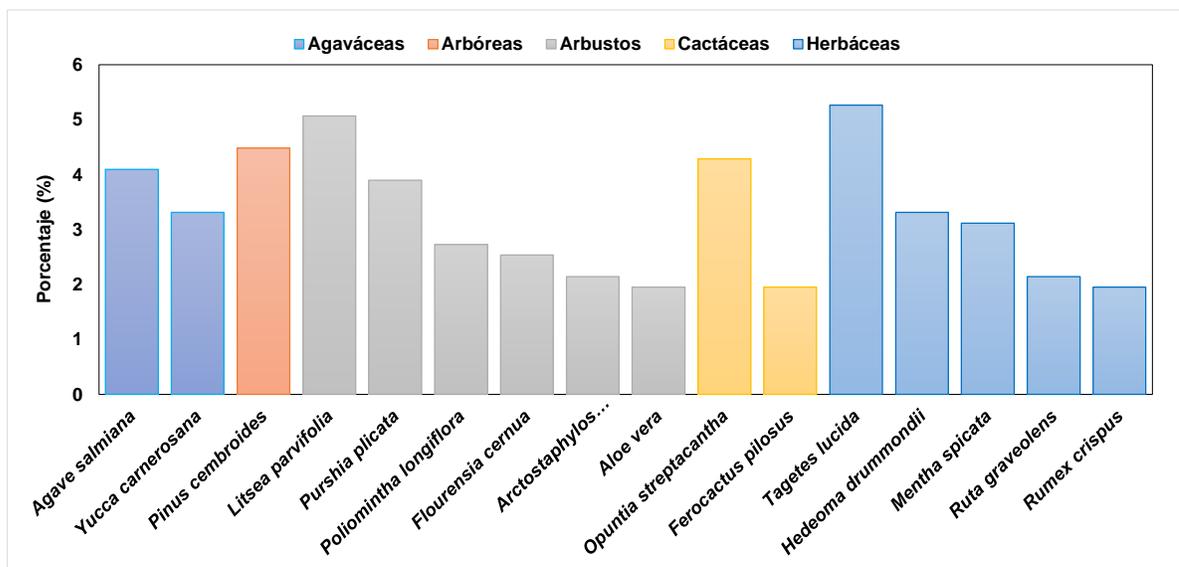
**Hierba culinaria:** El uso culinario típicamente se refiere a las partes de la hoja verde de una planta sea fresca o seca a nivel comercial la especificación de calidad de una especia y hierba culinaria se basa en la descripción de las características de calidad del producto, estas normas de calidad están agrupadas considerando el grupo en particular (familias botánicas, sus similitudes en el método de cultivo, hábito de crecimiento y en su clase comercial) (Montañez-Armenta *et al.*, 2011).

En México por su tradición culinaria las especias y hierbas han sido ampliamente utilizadas no solo en comidas si no también como medicinales desde tiempos prehistóricos, (Valencia, 2013).

De acuerdo con Martínez, (2015a), en el norte de México entre las especies más utilizadas se encuentran yerbaniz (*Tagetes lucida* Cav.), Laurel (*Litsea parvifolia*), menta (*Hedeoma drummondii* Benth), yerbabuena (*Mentha spicata* L), orégano (*Lippia graveolens* Kunth y *Poliomintha longiflora* A.Gray), hojásén (*Flourensia cernua* Dc), pingüica (manzanita) (*Arctostaphylos pungens* Kunth) y ruda (*Ruta graveolens* L.). El laurel (*Litsea parvifolia*) es la segunda especie más utilizada solo después del yerbaniz por lo general son utilizadas como medicinales para los problemas gastrointestinales preparadas en forma de té y son el sustento para muchas familias pues se comercializan a otras comunidades.



**Figura 4.** Grupos de especies más utilizadas en el norte de México (Martínez, 2015a).



**Figura 5.** Especies más utilizadas en el norte de México (Martínez, 2015a).

## 2.6 Propiedades

El género *Litsea* se ha caracterizado por el aceite esencial presente en sus hojas que contiene monoterpenos oxigenados del 14 a 60 % con 1.8-cineole (= eucalyptol), linalool, terpinen-4-ol, y  $\alpha$ -terpineol como los más abundantes; monoterpenos no oxigenados del 8.8 a 43.9 % como  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene, y m-cymene, seguido de sesquiterpenos oxigenados y no oxigenados (0.3 a 40.9 % y 0.1 al 10.5 %, respectivamente). En este caso, nerolidol es el más abundante. *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez, es la única especie que contiene limoneno en cantidades apreciables (16,7 %), y solo esta especie contiene sesquiterpenos oxigenados en cantidades significativa (21.7 %), principalmente nerolidol (15.6 %), y, exclusivamente para esta especie, hedycaryol (Jiménez-Pérez *et al.*, 2011).

## 2.7 Biomasa

De acuerdo con Nájera (1999) la biomasa es la materia orgánica generada a partir de la fotosíntesis que puede estar expresada en unidades de peso. Es la cantidad de materia orgánica viva presente tanto tallos, hojas y corteza “biomasa aérea” así como en las raíces “biomasa subterránea” (Brown, 1997). En el ámbito forestal la biomasa se utiliza frecuentemente para conocer el contenido de carbón por unidad de superficie y de esta manera calcular la capacidad de fijación del carbón por los ecosistemas (Ordóñez *et al.*, 2015).

Existen dos maneras de obtener la biomasa de una planta mediante métodos destructivos o directos que consisten en extraer totalmente la planta y pesar cada componente ya se en verde “peso verde” o dejar secar a temperatura ambiente o

en estufas hasta que se obtenga un peso constante “peso seco”, los métodos no destructivos o indirectos consisten en encontrar una o varias variables de la planta que estén correlacionadas directamente con la biomasa y que sean de fácil medición en campo para ello se emplean métodos estadísticos como la regresión y con ello generar un modelo que se pueda emplear en los inventarios (Brown, 1997).

## 2.8 Correlación y regresión

Walpole et al., (2012) definen la correlación como la fuerza o grado de asociación lineal entre dos variables, esta expresado en coeficientes de  $-1 < x < 0$  correlación negativa y de  $0 < x < 1$  correlación positiva, se simboliza con la letra  $r$ , los valores cercanos a  $-1$  indican una fuerte correlación negativa, es decir, una variable aumenta y la otra disminuye, los valores cercanos a  $+1$  indican una fuerte correlación positiva es decir ambas variables aumentan en un mismo sentido.

La regresión por su parte es el estudio de una variable dependiente  $y$  con respecto a una o varias variables independientes  $x_i$  con el objetivo de predecir o estimar la primera en función de las otras expresado en un modelo matemático  $y = b_0 + b_1x$  (Walpole et al., 2012).

La técnica más utilizada en la regresión es el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) donde el objetivo es determinar los valores de los parámetros o coeficientes de regresión ( $b_n$ ) que minimicen el termino error o también llamado suma cuadrada de los residuales  $e = \sum(y_i - \hat{y}_i)^2$  donde  $y_i$  son las observaciones,  $\hat{y}_i$  es el valor estimado (Walpole et al., 2012).

El coeficiente de determinación  $R^2$  es una medida que determina la calidad de ajuste del modelo, sin embargo, no considera la cantidad de variables presentes en el modelo por lo que se recomienda usar la  $R^2$  *ajustada* ya que se corrige por los grados de libertad del cuadrado medio del error (CME) y el cuadrado medio del total (CMT) (Guajarati y Poter, 2010).

El modelo también debe cumplir con el supuesto de normalidad en donde se considera que los residuales  $e_i = (y_i - \hat{y}_i)$  los cuales se ajustan a una distribución normal con media cero y una varianza constante  $e \sim N(0, \sigma^2)$  el test de Shapiro-Wilk es usada para comprobar tal supuesto, el modelo no debe presentar heterocedasticidad, es decir, la varianza de los residuales deben ser homogéneas “homocedasticas” se usa el test de White para detectar la heterocedasticidad, también los residuales no debe presentar autocorrelación, es decir, que el residual  $e_i$  no es influenciada por ningún otro residual, para detectar la autocorrelación se usa el test de Durbin-Watson (Guajarati y Poter, 2010).

## **2.9 Modelos alométricos**

Gutiérrez y Sánchez (2017) definen la alometría como la relación entre los cambios de tamaño y forma de los organismos, en la cual no se mantiene la proporcionalidad de sus magnitudes, en las plantas la altura, diámetro de copa y fuste, volumen y biomasa son algunos ejemplos.

En este sentido un modelo o ecuación alométrica formaliza de manera cuantitativa la relación entre el aumento relativo de una variable de interés (volumen, biomasa, etc.) respecto a una o varias variables de fácil medición (diámetro, altura, etc.), por

lo general está definido como un modelo potencial  $y = ax^b$  donde  $y$  es la variable de interés  $a$  es un factor constante y  $b$  es el factor de crecimiento o expansión de la variable (Gayon, 2000; Picard *et al.*, 2012).

## **2.10 Tabla de producción**

La silvicultura de acuerdo con su definición es “la ordenación o el manejo científico de los bosques para la continua producción de bienes y servicios” para ello se requiere el conocimiento biológico de la especie de interés, antecedentes de la ordenación silvícola del área de aprovechamiento, referencia de la interrelación de la vegetación y los componentes físicos y biológicos del ambiente, que en conjunto proporcionan el crecimiento de la vegetación donde se distribuye la especie (Daniel *et al.*, 1982).

El crecimiento vegetal está dado por las relaciones alométricas, que se expresan en el aumento en volumen de una planta, este se manifiesta a partir del incremento de sus variables dasométricas como la altura y diámetro, estas variables son las más utilizadas para el desarrollo de tablas de volumen en especies arbóreas (Villavicencio-Gutiérrez *et al.*, 2018).

Una “Tabla de Producción” puede expresar en forma tabulada el contenido medio en volumen, biomasa, etc., de una planta, la cual se genera a partir de un modelo alométrico, donde se involucran dos variables y se puede aplicar para estimar la producción a nivel género o especie, mientras que una “Tarifa de producción” se genera a partir de un modelo donde solo se usa variable (Avery y Burkhart, 1983).

La construcción de una “Tabla de Producción” es una de las etapas fundamentales en los inventarios forestales pues facilita los cálculos posteriores para la obtención de las existencias reales; sin embargo, solo deben ser utilizadas para la región donde se elaboró (Ramos-Uvilla *et al.*, 2014).

### **2.11 Trabajos afines**

Los modelos alométricos han sido ampliamente utilizados en especies arbóreas de Bosques Templados, principalmente en las Pináceas debido a su importancia maderera. En zonas áridas y semiáridas se han usado para calcular la biomasa área en especies arbóreas como mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst.) (Méndez *et al.*, 2012). En la predicción de biomasa forrajera en Palo Verde (*Cercidium floridum* Benth.ex A.Gray), Huizache (*Acacia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Benth.) y Guácima (*Guazuma ulmifolia* Lam.) (López-Merlín *et al.*, 2003; Guillén *et al.*, 2007).

En especies no maderables los modelos alométricos se han usado para estimar la biomasa y rendimiento en candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc) (Ramírez, 2015). Calcular la biomasa, volumen y captura de carbono en especies de zonas áridas (Nájera, 1999). En especies arbustivas los modelos alométricos se han usado para modelar funciones de biomasa en Piquillín (*Condalia microphylla* Cav.) (Gaillard de Benítez *et al.*, 2013). En plantas aromáticas para estimar la biomasa foliar seca de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) (Villavicencio-Gutiérrez *et al.*, 2018) y tomillo (*Thymus vulgaris* L.) (Belmonte y López-Bermúdez, 2003).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

**Cuadro 1.** Materiales y equipo utilizados para el muestreo.

| Físicos   | Equipo      | Especies en estudio                       |
|---|-------------|---|
| Material diverso (bolsas papel diferente tamaño, plumones, cinta métrica, costales, hojas blancas). | Brújula     |   |
| Macetas y contenedores  | Altímetro   | Vehículo                                  |
| Material de jardinería (rozaderas, azadón, tijeras, guantes).                                       | Gps         | Combustible                               |
| Otros materiales complementarios  | Cámara      | Laurel ( <i>Litsea parvifolia</i> Hemsl.) |
| material de uso directo (etiquetas, papelería, reglas).   | fotográfica |   |

#### 3.1 Descripción del área de estudio

##### 3.1.1 Ubicación geográfica

El Ejido Cuauhtémoc se encuentra en el municipio de Saltillo en las coordenadas 100° 56' 57.99" O y 25° 17' 3.61" N, al este colinda con el Ejido Sierra Hermosa, al oeste con el Ejido el Recreo, al norte con la Ciudad de Saltillo y al sur con el Ejido Chapultepec (Chapul) (RAN, 2018).

### **3.1.2 Hidrología**

El Ejido se localiza dentro de la Región Hidrológica (24) Bravo-Conchos, en la cuenca (B) Río Bravo-San Juan, en la subcuenca (e) R. San Miguel clave RH24Be (INEGI, 2010).

### **3.1.3 Fisiografía**

El Ejido se encuentra en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, en la Gran Sierra Plegada, con un sistema de topografía de sierra flexionada, se encuentra a una altitud de 2300 m.s.n.m. en una exposición cenital, pero los sitios muestreados están en exposición norte y sur (INEGI, 2001).

### **3.1.4 Geología**

El Ejido presenta la era geológica Mesozoica (M) del sistema Cretácico Inferior (Ki). Culminación de dinosaurios amonitas e invertebrados (foras plantónicos), seguidos de su extinción. Decremento de la belemnites, las plantas con flores (angiospermas), llegan a ser dominantes. Los mamíferos y las aves se diversifican. Se inicia aumento en el nivel del mar. De 145 a 65 millones de años. Al final del periodo Cretácico inicia la orogenia Laramide (Sierra Madre Oriental). Emplazamiento de rocas intrusivas forman el núcleo de la sierra cristalina de Baja California Norte. Se inicia la apertura Golfo de México, invasión de los mares y deposición de rocas evaporíticas al inicio del período. Se inicia el rompimiento del Supercontinente Pangea. Formación de extensos depósitos de carbón al Norte de México (Coahuila). Los minerales formados en esta eran de tipo sedimentario son:

yeso, carbón bituminoso, lignito y antracita. Los generados por procesos hidrotermales: plata, plomo, zinc, molibdeno, manganeso mercurio, barita y fluorita. Hubo condiciones favorables para la formación de hidrocarburos (INEGI, 1988).

### **3.1.5 Edafología**

El tipo de suelo dominante es leptosol suelos delgados calcárico con más de 2 % de carbonato de calcio, réndzico con un horizonte mólico que está directamente por encima de la capa de carbonato de calcio, la segunda unidad de suelo es de tipo phaeozem suelos oscuros fértiles en magnesio, potasio y sin carbonatos en el subsuelo húmico ricos en carbono orgánico en una capa de 50 cm, endoléptico limitados por roca dura continua y la tercera unidad de suelo es de tipo leptosol húmico-réndzico. Es de textura media con una superficie pedregosa (INEGI, 2006a).

### **3.1.6 Clima**

El clima es de tipo BS1kw Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C, temperatura del mes más caliente menor de 22 °C. Precipitación de 500 mm a 800 mm, lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 % al 10.2 % del total anual (INEGI, 2006b; INEGI, 2007; INEGI, 2008).

### **3.1.7 Vegetación**

El Ejido se encuentra dentro de la zona de manejo 3 de la Sierra Zapaliname nombrado “Cañón Cuauhtémoc” la vegetación en las partes altas está compuesta

por bosques de coníferas. y en las partes secas domina el matorral rosetófilo y submontano, en las partes bajas está dominado por pastizales (PROFAUNA, 2008). El Laurel (*Litsea parvifolia* Hemsl.) es una especie arbustiva con brotes anuales asociada en la vegetación de matorral rosetófilo con Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) y nopales (*Opuntia* spp), Orégano (*Poliomintha longiflora* A. Gray.), Pino (*Pinus cembroides* Zucc), Capulín, Lentrisco (*Rhus virens* Lindh. ex A. Gray), Encino (*Quercus saltillensis* Trel., *Quercus greggii* Trel.), Palo amarillo (*Mahonia trifoliolata* (Moric.) Fedde) (Villavicencio-Gutiérrez *et al.*, 2018).

### 3.2 Levantamiento de datos y diseño de muestreo.

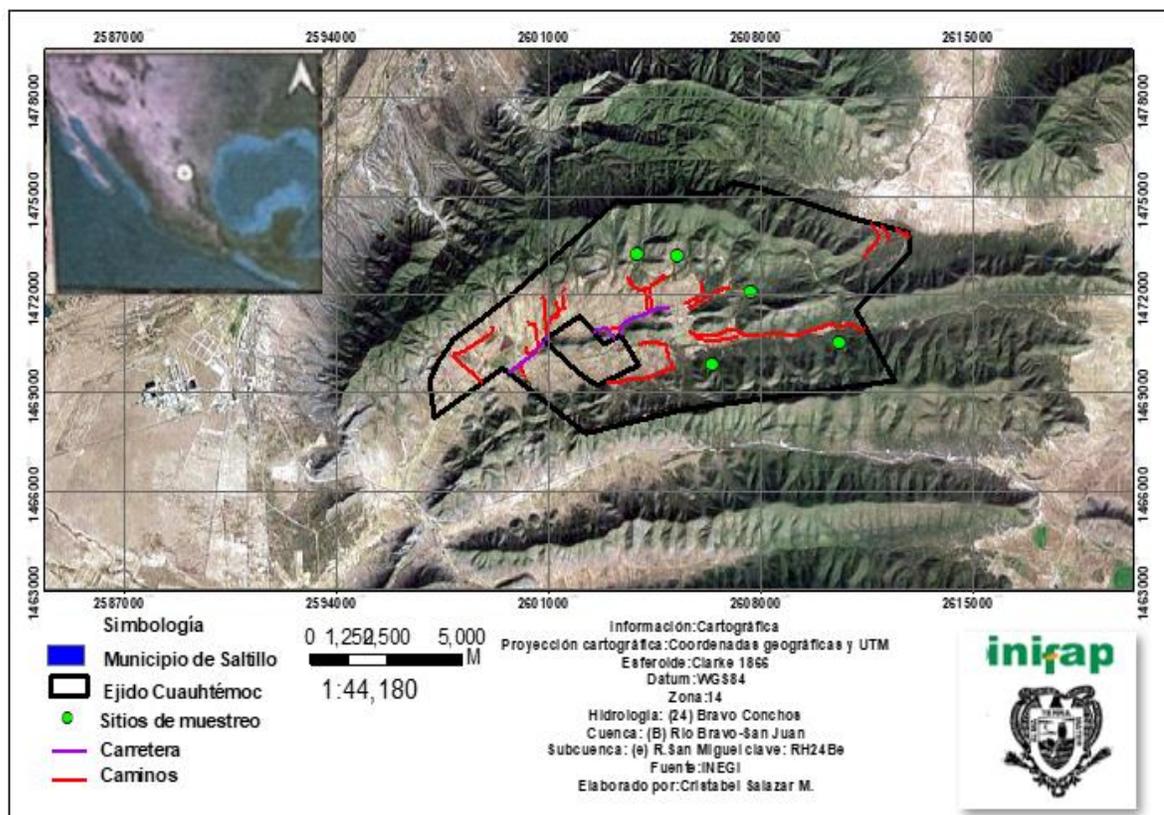


Figura 6. Sitios de muestreo.

**Cuadro 2.** Coordenadas de los sitios y total de plantas muestreadas en el Ejido

| Estado   | Municipio | Sitio | Localidad  | Longitud        | Latitud        | Exposición | Altitud | Total |
|----------|-----------|-------|------------|-----------------|----------------|------------|---------|-------|
| Coahuila | Saltillo  | 1     | Cuauhtémoc | 100° 57' 45.80" | 25° 18' 06.10" | S          | 2350    | 156   |
|          |           | 2     |            | 100° 56' 58.09" | 25° 18' 03.04" | S          | 2419    |       |
|          |           | 3     |            | 100° 55' 31.07" | 25° 17' 27.40" | S          | 2420    |       |
|          |           | 4     |            | 100° 56' 17.40" | 25° 16' 14.40" | N          | 2380    |       |
|          |           | 5     |            | 100° 53' 48.27" | 25° 16' 34.93" | N          | 2522    |       |

### 3.3 Variables independientes

Para el registro de las variables dasométricas de la especie, se establecieron sitios de muestreo de forma circular y con una superficie de 100 m<sup>2</sup>. En cada sitio se registraron parámetros geográficos (coordenadas, altitud, exposición y tipo de vegetación).

En cada sitio se evaluaron variables alométricas como; altura total ( $At$ ), diámetro mayor arbustivo ( $DM$ ) y diámetro menor arbustivo ( $Dm$ ) expresadas en centímetros ( $cm$ ) considerando todas las categorías de altura y cobertura de los arbustos en pie.

La altura total ( $At$ ) de la planta se midió en centímetros ( $cm$ ) desde la base del suelo hasta la punta de las ramas más altas, el diámetro promedio ( $Dp$ ) de la cobertura foliar del arbusto se calculó considerando la medición de dos diámetros perpendiculares diámetro mayor ( $DM$ ) y diámetro menor ( $Dm$ ) de cada arbusto, ambos expresados en centímetros ( $cm$ ).

### **3.4 Variables dependientes**

Posterior al registro de las variables independientes, se aplicó un muestreo destructivo de las plantas durante la época de aprovechamiento de julio a octubre considerando la mayor variación de tamaños de la especie de interés. A las plantas seleccionadas se les cortó el follaje de la copa (tallos y hojas), guardando la muestra de la planta en bolsas de papel con su etiqueta correspondiente.

Posteriormente, las muestras se deshidrataron en el invernadero del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP a temperatura ambiente durante cinco días, luego los tallos y las hojas secos se separaron. El peso de hoja seca por muestra se determinó en una Balanza Analítica digital Marca ADAM con una precisión de 0.001 g. De este modo se obtuvo la biomasa foliar seca (*Bfs*) por planta, la cual es el componente aprovechable y de importancia comercial en esta especie.



**Fotografía 2 .** Medición de variables; a) diámetro; b) altura; c) peso y registro de biomasa foliar seca de Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.).

### 3.5 Análisis estadístico

La variable dependiente biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) y las variables independientes diámetro promedio ( $Dp$ ) y altura total ( $At$ ) fueron empleadas para ajustar modelos de regresión tipo lineal, lineal múltiple y no lineal, los cuales han presentado resultados adecuados en estudios semejantes (Villavicencio-Gutiérrez *et al.*, 2018).

La base de datos empleada para el análisis de regresión se depuró mediante la detección de "Outlier", con la programación "*r influence*" de SAS 9.4 Institute Inc.,

con el propósito de eliminar posibles errores en la base de datos, que podrían afectar los estadísticos de regresión.

**Cuadro 3.** Modelos ajustados para estimar la biomasa foliar seca de Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

| Modelo | Nombre                         | Ecuación                                   |
|--------|--------------------------------|--|
| 1      | Alométrico                     | $Bfs = b_0(DpAt)^{b_1}$                    |
| 2      | Coefficiente mórfico constante | $Bfs = b_1(Dp^2 At)$                       |
| 3      | Modelo australiano             | $Bfs = b_0 + b_1Dp^2 + b_2At + b_3Dp^2 At$ |
| 4      | Variable combinada lineal      | $Bfs = b_0 + b_1(Dp^2 At)$                 |
| 5      | Spurr                          | $Bfs = b_1(Dp^2 At)^{b_2}$                 |
| 6      | Schumacher-Hall                | $Bfs = b_0(Dp)^{b_1}(At)^{b_2}$            |
| 7      | Schumacher                     | $Bfs = b_0Exp(-b_1/ Dp)$                   |
| 8      | Potencia                       | $Bfs = b_0(Dp)^{b_1}$                      |
| 9      | Takata                         | $Bfs = (Dp^2 At) / (b_0 + b_1Dp)$          |
| 10     | Thornber                       | $Bfs = b_0(At/Dp)^{b_1}(Dp^2 At)$          |

Donde **Dp**: diámetro promedio de cobertura (cm). **At**: altura total (cm). **b<sub>n</sub>**: parámetros del modelo. **Exp**: exponencial de la expresión.

El modelo seleccionado para estimar la biomasa foliar seca (*Bfs*) fue el que presentó los valores mayores de coeficiente de determinación ajustado ( $R^2Aj$ ), el valor más bajo de la raíz cuadrada media del error (*RCME*), el coeficiente de variación más bajo (*CV*) y la suma de cuadrados de los residuales más bajo

( $\sum |RESS|$ ) además de la significancia de sus parámetros ( $P \leq 0.05$ ) (Segura y Andrade, 2008; Picard *et al.*, 2012).

Para la verificación de los supuestos de regresión se aplicaron las pruebas de Durbin-Watson que realiza la prueba de colinealidad entre variables integradas en el modelo, la prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad y, por último, la prueba de White para detectar heterocedasticidad. Los modelos de regresión fueron ajustados en el programa de SAS 9.4, mediante el procedimiento PROC MODEL. (Ramos-Uvilla *et al.*, 2014).

### 3.5.1 Prueba de Durbin-Watson

Para detectar la autocorrelación se utiliza el estadístico  $d$  de Durbin-Watson que se define como:

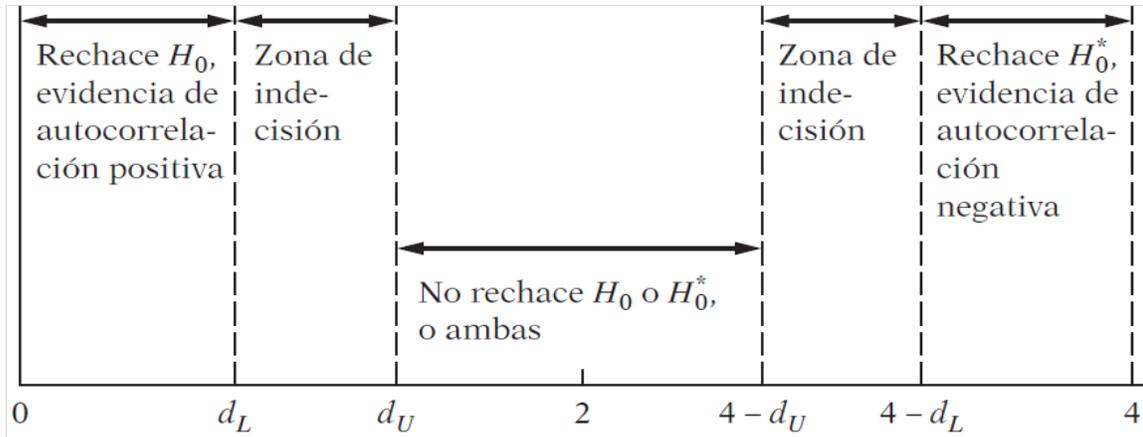
$$d = \frac{\sum_{i=2}^{i=n} (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^{i=n} e_i^2}$$

Donde  $e_i$  son los residuales, el estadístico ( $d$ ) tiene valores entre  $0 \leq d \leq 4$  que plantea la siguiente hipótesis:

$$H_0 = \text{No hay autocorrelación positiva}$$

$$H_0^* = \text{No hay autocorrelación negativa}$$

Dada la complejidad de interpretar este estadístico se plantea la siguiente regla de decisión (Gujarati y Poter, 2010).



**Figura 6.** Regla de decisión para el estadístico ( $d$ ) de Durbin-Watson (Gujarati y Poter, 2010).

Donde  $d_L$  es el límite inferior,  $d_U$  el límite superior de los valores en la tabla estadística de Durbin-Watson.

### 3.5.2 Prueba de Shapiro-Wilk

El supuesto de normalidad en los residuales de la regresión expresa que todos los residuales están distribuido normalmente, es decir,  $e_i \sim N(0, \sigma^2)$  (Gujarati y Poter, 2010).

Para comprobar tal supuesto existen los métodos numéricos y las pruebas gráficas, la prueba de Shapiro-Wilk es una de las pruebas numéricas más utilizadas debido a que presenta resultados adecuados (Pedrosa *et al.*, 2015). Se expresa de la siguiente manera:

$$W = \frac{\sum_i^k a_i(x_{n-i+1} - x_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde  $x_i$  es la variable para comprobar la normalidad en el caso de la regresión son los residuales  $e_i$ ,  $\bar{x}$  es la media muestral  $a_i$  es una constante que se obtiene de la tabla de coeficientes de Shapiro-Wilk, el valor de  $k$  es usada para encontrar  $a_i$  se obtiene de  $n/2$  cuando  $n$  es un número par y  $n - 1/2$  cuando  $n$  es un número impar (Royston, 1992).

El valor de  $W$  tiene valores entre  $0 \leq W \leq 1$ , valores cercanos a 1 consideran que la muestra se ajusta a una distribución normal.

La prueba de Shapiro-Wilk plante la siguiente hipótesis.

$$H_0 = \text{si } p > 0.05 \text{ los residuales se distribuyen normalmente}$$

$$H_a = \text{si } p < 0.05 \text{ los residuales no se distribuyen normalmente}$$

### 3.5.3 Prueba de White

La prueba general de White para la detección de la heteroscedasticidad se apoya en una regresión auxiliar donde la variable dependiente son los residuales elevadas al cuadrado ( $e_i^2$ ), las variables independientes son las  $x$  originales, sus cuadrados ( $x^2$ ) y sus productos cruzados ( $x_i x_n$ )

Modelo original

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$$

Regresión Auxiliar

$$e^2 = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1^2 + \beta_4 x_2^2 + \beta_5 x_1 x_n$$

La hipótesis nula ( $H_0$ ) establece que no hay heteroscedasticidad en los residuales cuando el tamaño de muestra ( $n$ ) multiplicado con la  $R^2$  obtenida de la regresión auxiliar se ajusta a una distribución ji cuadrada ( $X^2$ ) con grados de libertad igual al número de variables de la regresión auxiliar sin el termino constantes, se dice, que no hay heteroscedasticidad cuando el valor de ji calculado es menor al de las tablas o cuando el valor  $p$  obtenida es mayor al nivel de significancia establecida (Guajarati y Poter, 2010).

$$(n \cdot R_{aux}^2) \sim X_{gl}^2$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Estadísticas básicas

En las estadísticas básicas de los datos se registró que en el área donde se distribuye el Laurel, existe una variabilidad en la conformación de las plantas, existiendo individuos con un diámetro promedio ( $Dp$ ) mínimo de 16.50 cm y diámetro promedio ( $Dp$ ) máximo de 120.50 cm, con una desviación estándar de 22.09 cm. Mientras que la altura total ( $At$ ) mínima es de 27.00 cm y la altura total ( $At$ ) máxima de 201.00 cm con una desviación estándar de 26.59 y la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) mínima es de 1.80 g la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) máxima de 246 g y una desviación estándar de 26.59 g (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Estadísticas básicas de las variables dendrométricas de Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

| Variable (cm) | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|---------------|---------------------|--------|--------|
| $At$ (cm)     | 26.59               | 27.00  | 201.00 |
| $DM$ (cm)     | 28.45               | 18.00  | 152.00 |
| $Dm$ (cm)     | 17.70               | 15.00  | 103.00 |
| $Dp$ (cm)     | 22.09               | 16.50  | 120.50 |
| $Bfs$ (g)     | 44.05               | 1.80   | 246.32 |

**Cuadro 5.** Estadísticos de los modelos ajustados para estimar la biomasa foliar seca de laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.). en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

| Modelo | Parámetro | valor     | Pr >  t | R <sup>2</sup> Aj. | RCME    | CV    | SC error |
|--------|-----------|-----------|---------|--------------------|---------|-------|----------|
| 1      | $b_0$     | 0.006985  | 0.0620  | 0.6568             | 25.8074 | 62.96 | 93243.4  |
|        | $b_1$     | 1.048210  | <.0001  |                    |         |       |          |
| 2      | $b_1$     | 0.000125  | <.0001  | 0.6794             | 24.9441 | 60.86 | 87731.7  |
| 3      | $b_0$     | -15.47780 | 0.0116  | 0.8391             | 17.6707 | 43.11 | 43090.8  |
|        | $b_1$     | 0.011930  | <.0001  |                    |         |       |          |
|        | $b_2$     | 0.197712  | 0.0206  |                    |         |       |          |
|        | $b_3$     | 8.859E-06 | 0.4754  |                    |         |       |          |
| 4      | $b_0$     | 11.61726  | <.0001  | 0.7206             | 23.2837 | 56.8  | 75898.5  |
|        | $b_1$     | 0.000108  | <.0001  |                    |         |       |          |
| 5      | $b_1$     | 0.003852  | 0.0266  | 0.7754             | 20.9511 | 51.11 | 61452.8  |
|        | $b_2$     | 0.751635  | <.0001  |                    |         |       |          |
| 6      | $b_0$     | 0.002887  | 0.0174  | 0.8411             | 17.5584 | 42.84 | 42853.1  |
|        | $b_1$     | 2.083566  | <.0001  |                    |         |       |          |
|        | $b_2$     | 0.251239  | 0.0006  |                    |         |       |          |
| 7      | $b_0$     | 710.9077  | <.0001  | 0.7999             | 19.7064 | 48.08 | 54368.1  |
|        | $b_1$     | 166.3078  | <.0001  |                    |         |       |          |
| 8      | $b_0$     | 0.004275  | 0.0196  | 0.8275             | 18.2947 | 44.63 | 46857.4  |
|        | $b_1$     | 2.245891  | <.0001  |                    |         |       |          |
| 9      | $b_0$     | 3767.943  | <.0001  | 0.7163             | 23.4627 | 57.24 | 77069.7  |
|        | $b_1$     | 44.14441  | <.0001  |                    |         |       |          |
| 10     | $b_0$     | 0.000138  | <.0001  | 0.7915             | 20.1176 | 49.08 | 56660.5  |
|        | $b_1$     | -0.70454  | <.0001  |                    |         |       |          |

$b_n$ : parámetros del modelo.  $Pr > |t|$ : Significancia (0.05).  $R^2Aj.$ :  $R$  cuadrada ajustada.  $RCME$ : Raíz cuadrada media del error.  $CV$ : Coeficiente de variación en porcentaje.  $\sum|RESS|$ : Suma cuadrada de los residuales.

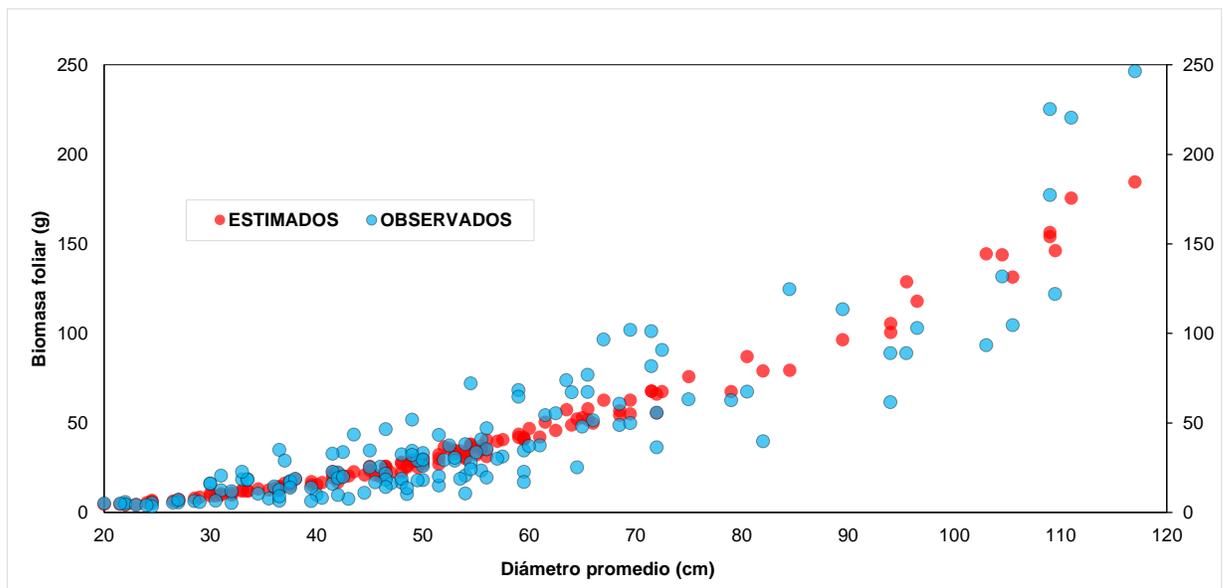
Al analizar en conjunto todos los modelos con 142 datos de diámetro, biomasa foliar seca y altura ,se determinó que el modelo alométrico mejor ajustado fue el 6 de Schumacher-Hall ya que presento alta significancia estadística  $P < 0.0001$  en los sitios evaluados, con valores de  $R^2Aj$  de 0.8414 de todos los casos (cuadro 5), con un  $RCME$  de 17.5584, un coeficiente de variación de 42.84 %, en la suma cuadrada de los residuales ( $\sum|RESS|$ ) de 42,853.1 y significa  $P < 0.05$  en todos sus parámetros. Por el contrario, en el modelo 1 alométrico se registró una  $R^2Aj$  más baja (0.6568).

**Cuadro 6.** Estudios de Biomasa foliar.

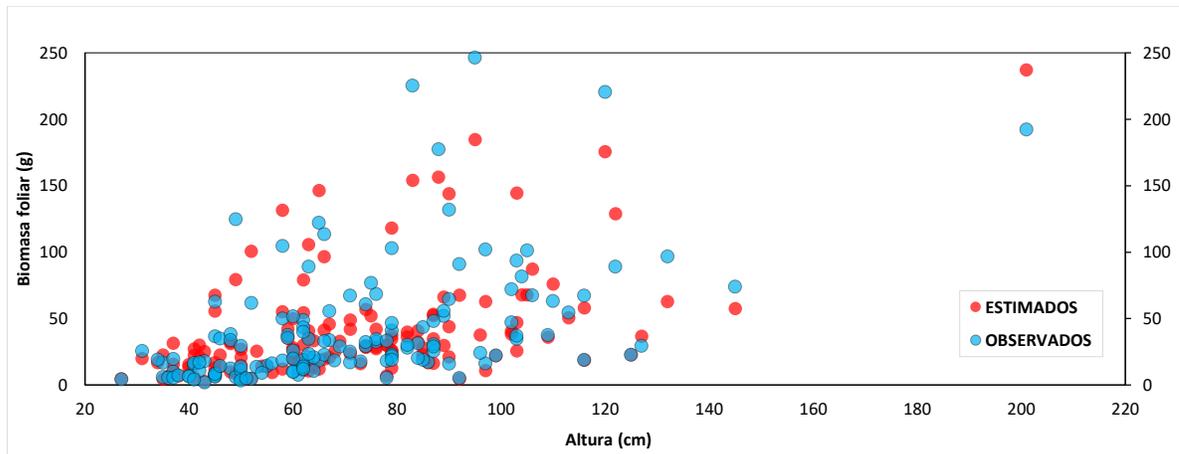
| Especie   | $R^2$                              | Modelo          | Autor  |
|---|------------------------------------|-----------------|--|
| 10 especies en el matorral Tamaulipeco            | 0.62 a 0.98<br>CV de 10.69 a 40.59 | Lineal múltiple | Nájera, (1999).                                |
| Piquillín ( <i>C. microphylla</i> )               | 0.96                               | Lineal múltiple | Gaillard de Benítez <i>et al.</i> , (2013).    |
| ( <i>A. pennatula</i> ) y ( <i>G. ulmifolia</i> ) | 0.42 y 0.55                        | $y = ax^b$      | López-Merlín <i>et al.</i> , (2003).           |
| ( <i>C. floradium</i> )                           | 0.57                               | Lineal múltiple | Guillén <i>et al.</i> , (2007).                |
| Orégano ( <i>L. graveolens</i> )                  | 0.81                               | $y = aDp^bAt^c$ | Villavicencio-Gutiérrez <i>et al.</i> , (2018) |
| Tomillo ( <i>T. vulgaris</i> )                    | 0.95                               | Lineal          | Belmonte y López-Bermúdez, (2003).             |
| Madroño ( <i>Arbutus</i> sp.)                     | 0.94                               | $y = aDp^bAt^c$ | Cruz <i>et al.</i> , (2016)                    |

Para estudios de biomasa foliar además del diámetro y la altura son utilizadas también el perímetro de la copa, el diámetro de la base y cobertura para ajuste de modelos Nájera, (1999). Sin embargo, debido a que cada especie presenta distintas formas el uso de una o más variables depende de la respuesta biológica de la especie al sitio y la variable de interés, así entonces en algunos casos el diámetro es suficiente para ajustar un modelo López-Merlín *et al.*, (2003). Para Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.) el diámetro y la altura presentaron significancia para estimar la biomasa foliar seca (*Bfs*), los estadísticos obtenidos concuerdan con otros estudios similares de especies arbustivas (

Cuadro 6).



**Figura 7.** Gráfica de valores observados (dp) y estimados del modelo Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca de laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.



**Figura 8.** Gráfica de valores observados altura y estimados del modelo Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca de laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

#### 4.2 Validación de los modelos alométricos

Para el modelo Schumacher-Hall el estadístico  $d$  fue de 2.3, y para una  $n$  de 142 con  $k = 3$  y  $\alpha = 0.05$  y en la tabla de Durbin-Watson el límite inferior  $d_L$  es de 1.6 y límite superior de  $d_U$  es de 1.7, entonces:

$$d_U \leq d \leq (4 - d_U)$$

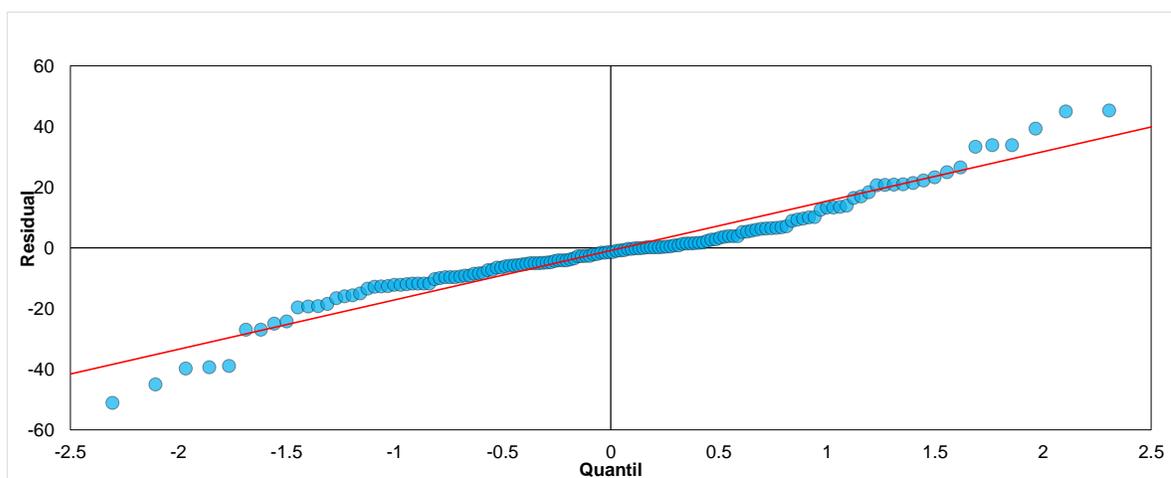
$$1.7 \leq 2.3 \leq (4 - 1.7)$$

$$1.7 \leq 2.3 \leq 2.3$$

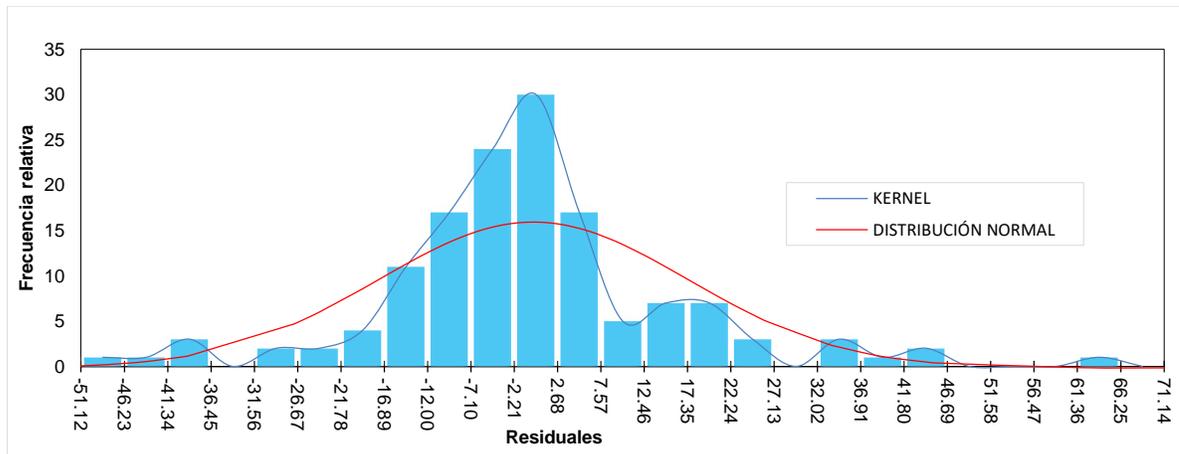
Por lo tanto, para el modelo Schumacher-Hall el estadístico  $d$  se encuentra en la zona de aceptación por lo que no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), se concluye a un nivel de significancia del 95 % que no hay autocorrelación de los residuales.

Para el modelo Schumacher-Hall se obtuvo un  $W$  de 0.93 la cual es cercano a 1 sugiriendo que la muestra se distribuye normalmente, sin embargo, el valor  $p$  es igual menor a 0.05 y planteada la hipótesis nula ( $H_0$ ) se concluye a un nivel de significancia de 95 % que los residuales no provienen de una distribución normal.

A pesar de la prueba numérica para la detección de normalidad de los residuos, la figura de normalidad Q-Q plot y el histograma muestran que los residuales siguen una tendencia normal.



**Figura 9.** Normalidad Q-Qplot de los residuales del modelo ajustado para estimar la biomasa foliar seca de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez, en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.



**Figura 10.** Histograma de residuales del modelo ajustado para (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.), en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

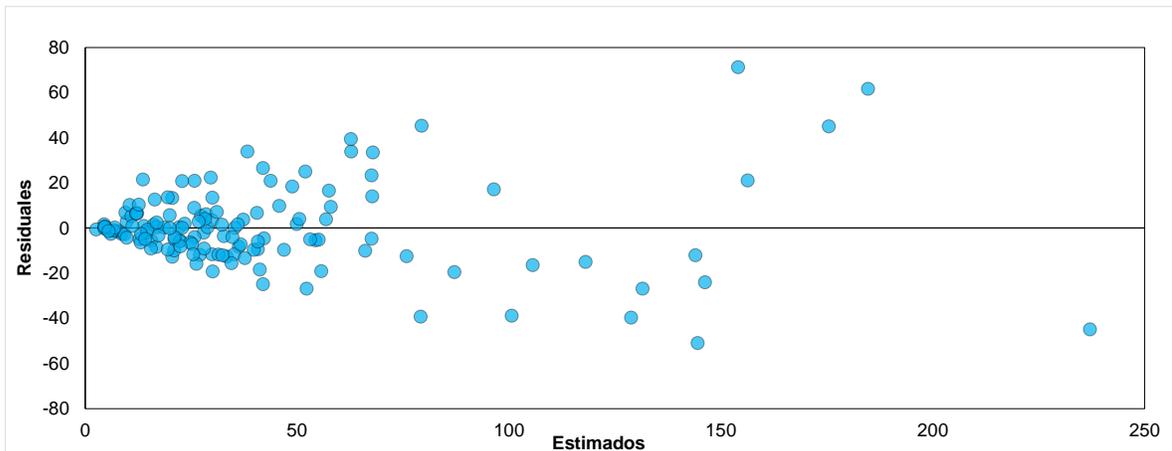
Para el modelo de Schumacher-Hall estimado para Laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.), el valor de  $\chi^2$  calculado fue de 78.90, con 9 grados de libertad y una significancia al 95 % ( $\alpha = 0.05$ ) el valor de tablas de  $\chi^2$  cuadrada es de 16.91 por lo que la hipótesis nula ( $H_0$ ) se rechaza, dado que el valor  $\chi^2$  calculado es mayor al de las tablas por lo tanto los residuales presentan heterocedasticidad, es decir, las varianzas de los residuales no son constantes y se sugiere otro método de estimación para corregir la heteroscedasticidad dado que la varianza aumenta a medida que el valor de las variables explicativas diámetro promedio y altura total aumenta.

#### 4.2.1 Corrección del modelo Schumacher-Hall

Ante la falta de normalidad y la presencia de heteroscedasticidad en los residuales del modelo del Laurel fue necesario hacer una corrección al modelo predictor de biomasa, como se ha realizado en otros estudios, donde se tiene una falta de normalidad y presencia de heteroscedasticidad, como en este caso (Figura 11).

Para corregir este efecto se emplea una regresión por ponderación como lo describen Schreuder y Williams, (1998), Álvarez-González, (2007) y Gómez-García, (2013).

En la heteroscedasticidad se asume que la varianza aumenta a medida que el valor de las variables explicativas aumenta, para corregir este efecto se emplea la inversa de la varianza ( $1/\sigma^2$ ). En modelos de biomasa se ha empleado la inversa del diámetro ( $1/D^c$ ) como factor de ponderación ( $FP$ ) donde el exponente ( $c$ ) se determina probando distintos valores generalmente de 2 al 4 o hacer una regresión tipo exponencial para obtener el valor del exponente (Gómez-García, 2013).



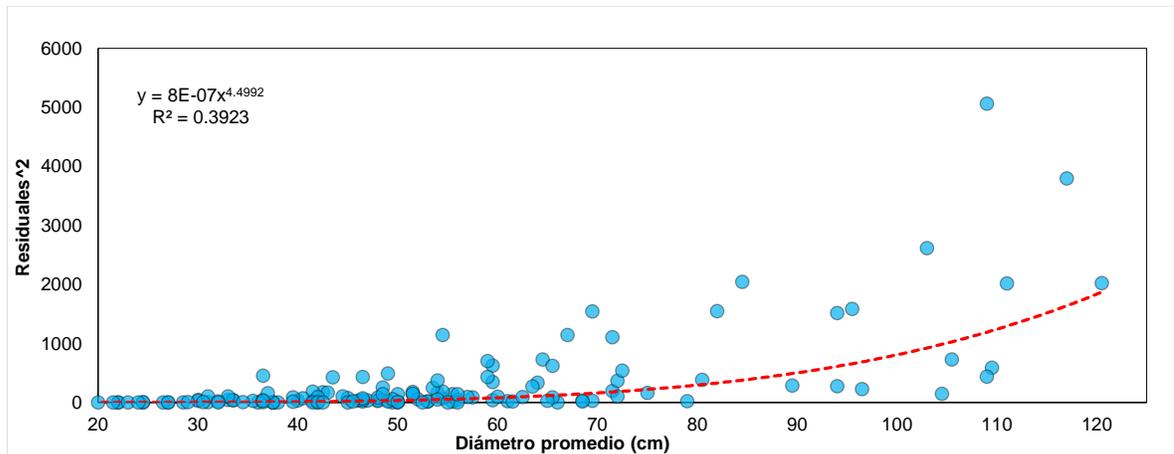
**Figura 11.** Gráfica de estimados vs residuales con presencia de heteroscedasticidad.

Al realizar una figura usando los residuales al cuadrado ( $e_i^2$ ) como variable dependiente con respecto a las variables independiente diámetro promedio ( $Dp$ ) para conocer la tendencia, se observó que los residuales tienden a un comportamiento potencial como se describió anteriormente, el valor del exponente

$(1/Dp^{4.4992})$  (Figura 12) se usó para la regresión ponderada sin embargo no corrigió totalmente la heteroscedasticidad.

Una alternativa empleada es la regresión con modelo de varianza, la cual es similar a la regresión ponderada con la diferencia de que el exponente ( $c$ ) u otro parámetro empleado éste se calcula junto con el modelo original de este modo ya no se emplea el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios si no el Método de Máxima Verosimilitud; sin embargo, para esto se requiere conocer la tendencia o dispersión de la varianza frente a las variables explicativas Kutner *et al.*, (2004) y Picard *et al.*, (2012).

En estudios de biomasa dicha tendencia generalmente se expresa en forma potencial  $e_i^2 = kX_i^c$  con respecto al diámetro (Picard *et al.*, 2012), Schreuder y Williams, (1998) sugieren probar distintas combinaciones de las variables independientes como factor de ponderación, en este estudio para Laurel se utilizaron 9 modelos de varianza como factor de ponderación empleando las variables Diámetro promedio y altura total donde se obtuvieron los siguientes resultados estadísticos (Cuadro 7).



**Figura 12.** Tendencia de los residuales.

Del análisis realizado en la prueba de Durbin-Watson todos los *FP* hacen que el modelo Schumacher-Hall no presente colinealidad en los residuales ya que el valor del estadístico  $d$  están dentro de la zona de aceptación para la hipótesis nula ( $H_0$ ), el factor de ponderación (*FP*) No. 3, 4, 7 y 9 corrigen la heterocedasticidad dado que el valor de  $j_i$  calculado es menor al de las tablas 16.91 y el valor  $p$  es mayor a 0.05

Cuadro 7. Regresión ponderada con modelo de varianza.

| No. | FP                  | Variable   | RCME    | $R^2Aj.$ | DW     | Heteroscedasticidad |              | Normalidad |         |
|-----|---------------------|------------|---------|----------|--------|---------------------|--------------|------------|---------|
|     |                     |            |         |          |        | $\chi^2$            | $p > \chi^2$ | W          | $p > W$ |
| 1   | $Dp^c$              | Bfs        | 17.753  | 0.8376   | 2.1486 | 53.39               | <.0001       | 0.96       | 0.0006  |
|     |                     | Residuales | 0.973   |          |        |                     |              |            |         |
| 2   | $(Dp * At)^c$       | Bfs        | 17.8348 | 0.8361   | 2.249  | 55.45               | <.0001       | 0.96       | 0.0002  |
|     |                     | Residuales | 0.9811  |          |        |                     |              |            |         |
| 3   | $k * Dp^c$          | Bfs        | 18.8233 | 0.8174   | 1.8124 | 5.69                | 0.7702       | 0.95       | <.0001  |
|     |                     | Residuales | 1.0179  |          |        |                     |              |            |         |
| 4   | $k * (Dp * At)^c$   | Bfs        | 19.2571 | 0.8089   | 1.9498 | 14.81               | 0.0962       | 0.94       | <.0001  |
|     |                     | Residuales | 1.0174  |          |        |                     |              |            |         |
| 5   | $Dp$                | Bfs        | 17.6268 | 0.8399   | 2.1942 | 61.28               | <.0001       | 0.96       | 0.0002  |
|     |                     | Residuales | 2.0055  |          |        |                     |              |            |         |
| 6   | $Dp * At$           | Bfs        | 18.0359 | 0.8324   | 2.1922 | 40.90               | <.0001       | 0.96       | 0.0008  |
|     |                     | Residuales | 0.2264  |          |        |                     |              |            |         |
| 7   | $Dp^2 * At$         | Bfs        | 18.4186 | 0.8252   | 2.0267 | 16.20               | 0.0629       | 0.97       | 0.0011  |
|     |                     | Residuales | 0.0282  |          |        |                     |              |            |         |
| 8   | $(Dp^2 * At)^c$     | Bfs        | 17.7949 | 0.8368   | 2.2156 | 54.88               | <.0001       | 0.96       | 0.0004  |
|     |                     | Residuales | 0.9773  |          |        |                     |              |            |         |
| 9   | $k * (Dp^2 * At)^c$ | Bfs        | 19.2341 | 0.8094   | 1.8674 | 6.42                | 0.6977       | 0.94       | <.0001  |
|     |                     | Residuales | 1.017   |          |        |                     |              |            |         |

$Dp$ : Diámetro promedio,  $At$ : Altura total, c y k parámetros del modelo de varianza.

El FP No. 7 ( $Dp^2 * At$ ) corrige satisfactoriamente la heteroscedasticidad (Figura 13) ya que presenta la RCME menor de 18.4186 y una  $R^2Aj.$  de 0.8252, el estadístico W aumentó de 0.93 sin ponderación a 0.97 con el factor de ponderación sugiriendo así que los residuales se acercan más a una distribución normal.

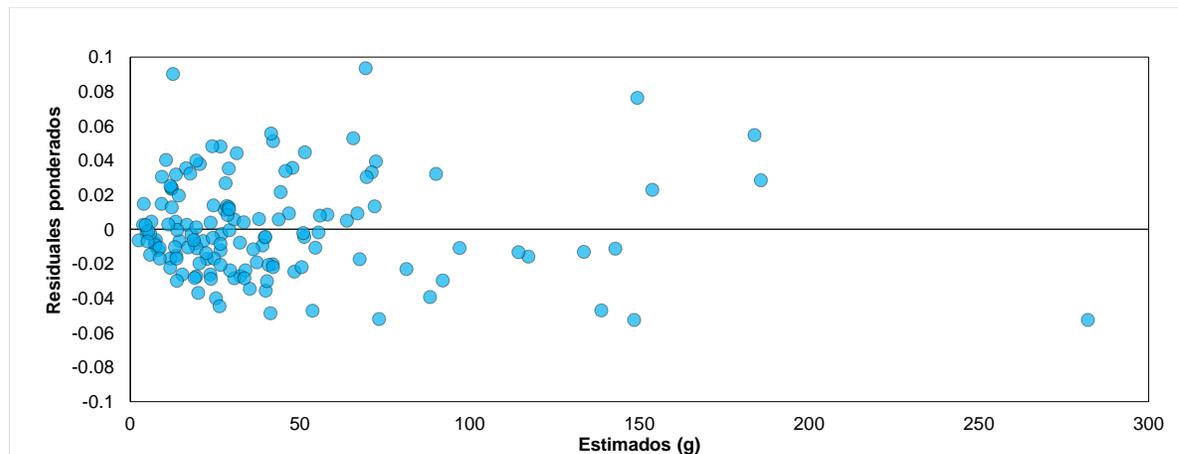


Figura 13. Residuales con el factor de ponderación.

Gómez-García, (2013) utilizó el diámetro y la altura ( $D^2$ ) y  $((D^2H)^{-c})$  como  $FP$  en modelos de biomasa para distintas fracciones del árbol en dos especies de abedul (*Betula pubescens* Ehrh.) y roble (*Quercus robur* L.), Flores *et al.*, (2018) utilizó la altura ( $h$ ) como  $FP$  en Madroño (*Arbutus arizonica* (A.Gray)Sarg.) en modelos de biomasa aérea por fracción de grosor de la planta, en plantas herbáceas Villavicencio-Gutiérrez *et al.*, (2018) utilizaran el diámetro y la altura ( $DpAt$ ) en Orégano (*Lippia graveolens* Kunth), Schreuder y Williams, (1998) sugieren para especies arbóreas utilizar el indistintamente las variables diámetro y altura ( $D^2$ ) y ( $D^2H$ ) ya que proporcionan resultados similares.

#### 4.2.2 Capacidad predictiva del modelo

Para conocer la capacidad predictiva del modelo se emplea la medida del sesgo o frecuentemente llamada diferencia agregada ( $DA$ ), cuando el modelo es insesgado el valor obtenido deberá ser cercano a cero, cuando el valor calculado tiene signo positivo indica una subestimación, si es negativa indica una sobrestimación, un porcentaje menor a 1 % asegura la validez del modelo (Prodan *et al.*, 1997).

Diferencia Agregada

$$DA = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n}$$

Diferencia Agregada Porcentual

$$DA\% = \frac{\sum y_i - \sum \hat{y}_i}{\sum \hat{y}_i} * 100$$

Para el modelo Schumacher-Hall corregido por ponderación la diferencia agregada ( $DA$ ) fue de -0.06 al ser de signo negativo el modelo indica una sobrestimación. La diferencia Agregada porcentual ( $DA \%$ ) fue de 0.16% valor menor al 1 % de esta manera se sugiere que el modelo es válido para el rango de valores observados y cumple estadísticamente para predecir la biomasa foliar seca del Laurel.

### 4.3 Tabla de producción de biomasa foliar seca

Modelo Schumacher-Hall sin ponderación

$$Bfs = b_0(Dp)^{b_1}(At)^{b_2}$$

$$Bfs = 0.002887(Dp)^{2.083566}(At)^{0.251239}$$

Modelo Schumacher-Hall corregido por factor de ponderación

$$Bfs = 0.00147(Dp)^{1.993821}(At)^{0.492306}$$

Residuales corregidos por factor de ponderación

$$e_i = (y_i - \hat{y}_i) \left( \frac{1}{\sqrt{Dp^2 At}} \right)$$

**Cuadro 8.** Tabla de producción de biomasa foliar seca de laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

| Diámetro<br>(cm) | Altura (cm) |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |  |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|                  | 5           | 10    | 15    | 20    | 25    | 30     | 35     | 40     | 45     | 50     | 55     | 60     |  |
| 5                | 0.080       | 0.113 | 0.138 | 0.159 | 0.177 |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 10               | 0.320       | 0.450 | 0.550 | 0.633 | 0.707 | 0.773  |        |        |        |        |        |        |  |
| 15               | 0.718       | 1.011 | 1.234 | 1.421 | 1.587 | 1.736  |        |        |        |        |        |        |  |
| 20               |             |       | 2.189 | 2.523 | 2.815 | 3.080  | 3.323  | 3.548  |        |        |        |        |  |
| 25               |             |       |       | 3.936 | 4.393 | 4.806  | 5.185  | 5.537  | 5.867  |        |        |        |  |
| 30               |             |       |       |       | 6.319 | 6.912  | 7.457  | 7.964  | 8.440  | 8.889  | 9.316  | 9.724  |  |
| 35               |             |       |       |       |       | 9.400  | 10.141 | 10.830 | 11.476 | 12.087 | 12.668 | 13.222 |  |
| 40               |             |       |       |       |       | 12.267 | 13.234 | 14.133 | 14.977 | 15.774 | 16.532 | 17.256 |  |
| 45               |             |       |       |       |       | 15.514 | 16.737 | 17.874 | 18.941 | 19.950 | 20.908 | 21.823 |  |
| 50               |             |       |       |       |       |        | 20.650 | 22.053 | 23.369 | 24.613 | 25.796 | 26.925 |  |
| 55               |             |       |       |       |       |        | 24.971 | 26.668 | 28.260 | 29.765 | 31.195 | 32.560 |  |
| 60               |             |       |       |       |       |        |        | 31.720 | 33.614 | 35.403 | 37.104 | 38.728 |  |
| 65               |             |       |       |       |       |        |        |        | 39.430 | 41.529 | 43.524 | 45.429 |  |
| 70               |             |       |       |       |       |        |        |        | 45.709 | 48.142 | 50.455 | 52.663 |  |
| 75               |             |       |       |       |       |        |        |        | 52.449 | 55.242 | 57.896 | 60.429 |  |
| 80               |             |       |       |       |       |        |        |        | 59.652 | 62.828 | 65.846 | 68.728 |  |
| 85               |             |       |       |       |       |        |        |        |        | 70.900 | 74.306 | 77.558 |  |
| 90               |             |       |       |       |       |        |        |        |        |        | 83.276 | 86.920 |  |
| 95               |             |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        | 96.814 |  |

*D<sub>p</sub>*; Diámetro Promedio (cm).

**Cuadro 9.** Tabla de producción de biomasa foliar seca de laurel (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. (Continuación).

| Diámetro<br>(cm) | Altura (cm) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
|------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
|                  | 65          | 70      | 75      | 80      | 85      | 90      | 95      | 100     | 105     | 110     | 115     | 120     |  |
| 30               | 10.114      |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 35               | 13.754      | 14.265  | 14.758  | 15.234  |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 40               | 17.949      | 18.616  | 19.259  | 19.881  | 20.483  | 21.068  |         |         |         |         |         |         |  |
| 45               | 22.700      | 23.544  | 24.357  | 25.144  | 25.905  | 26.645  | 27.364  | 28.063  |         |         |         |         |  |
| 50               | 28.007      | 29.048  | 30.051  | 31.021  | 31.961  | 32.873  | 33.760  | 34.624  | 35.465  | 36.287  | 37.090  | 37.875  |  |
| 55               | 33.869      | 35.127  | 36.341  | 37.514  | 38.650  | 39.753  | 40.826  | 41.870  | 42.888  | 43.881  | 44.852  | 45.802  |  |
| 60               | 40.285      | 41.782  | 43.225  | 44.621  | 45.972  | 47.284  | 48.560  | 49.802  | 51.012  | 52.194  | 53.349  | 54.479  |  |
| 65               | 47.255      | 49.011  | 50.704  | 52.341  | 53.927  | 55.466  | 56.962  | 58.419  | 59.839  | 61.225  | 62.580  | 63.905  |  |
| 70               | 54.780      | 56.815  | 58.778  | 60.676  | 62.514  | 64.298  | 66.033  | 67.721  | 69.368  | 70.975  | 72.545  | 74.081  |  |
| 75               | 62.858      | 65.194  | 67.446  | 69.624  | 71.733  | 73.780  | 75.770  | 77.708  | 79.597  | 81.441  | 83.243  | 85.006  |  |
| 80               | 71.490      | 74.147  | 76.708  | 79.185  | 81.584  | 83.912  | 86.175  | 88.379  | 90.528  | 92.625  | 94.674  | 96.679  |  |
| 85               | 80.675      | 83.673  | 86.564  | 89.359  | 92.066  | 94.693  | 97.248  | 99.734  | 102.159 | 104.526 | 106.838 | 109.100 |  |
| 90               | 90.414      | 93.773  | 97.013  | 100.145 | 103.179 | 106.124 | 108.986 | 111.774 | 114.491 | 117.143 | 119.735 | 122.270 |  |
| 95               | 100.705     | 104.447 | 108.056 | 111.544 | 114.923 | 118.203 | 121.392 | 124.496 | 127.523 | 130.477 | 133.364 | 136.188 |  |
| 100              |             | 115.694 | 119.691 | 123.555 | 127.299 | 130.932 | 134.464 | 137.902 | 141.255 | 144.527 | 147.725 | 150.853 |  |
| 105              |             |         |         | 136.179 | 140.304 | 144.309 | 148.201 | 151.991 | 155.686 | 159.293 | 162.817 | 166.265 |  |
| 110              |             |         |         |         | 153.941 | 158.334 | 162.605 | 166.763 | 170.818 | 174.775 | 178.642 | 182.424 |  |
| 115              |             |         |         |         |         |         | 177.675 | 182.218 | 186.648 | 190.972 | 195.197 | 199.330 |  |
| 120              |             |         |         |         |         |         |         | 198.356 | 203.178 | 207.885 | 212.484 | 216.983 |  |

## V. CONCLUSIÓN

La producción de biomasa foliar seca para Laurel (*Litsea parvifolia* Hemsl.) está en función de sus variables dasométricas ya que el análisis estadístico realizado de los 10 modelos ajustados para estimar la biomasa 8 presentaron valores superiores a 0.70 en  $R^2 Aj$ .

Ante la presencia de heteroscedasticidad en los residuales fue necesario una corrección por ponderación al modelo, con el método tradicional de ponderación se redujo la heterogeneidad de las varianzas de los residuales; a pesar de ello no fue lo suficiente estadísticamente, por lo tanto, se recurrió a la regresión ponderada con modelo de varianza ajustado por el Método de Máxima Verosimilitud con ello se logró homogeneizar la varianza de los residuales a una significancia de ( $P < 0.05$ ).

El modelo de varianza ( $kDp^c$ ) utilizado en la literatura para corregir la heteroscedasticidad logró corregir el problema; en cambio, la inclusión de la altura mejoró la precisión de los estimadores, por lo que para la especie de Laurel la variable combinada ( $Dp^2At$ ) mejora la homogeneidad de las varianzas de los residuales.

Una vez corregido el problema de la heteroscedasticidad se concluyó que el modelo Schumacher-Hall corregido por ponderación, era el mejor para la estimación de biomasa foliar seca de Laurel a partir de la cual se elaboró una tabla de producción de doble entrada que puede aplicarse para evaluar poblaciones naturales de Laurel en el Ejido Cuauhtémoc, mpio. de Saltillo, Coahuila.

## VI. LITERATURA CITADA

- Allen, C. K. 1945. Studies in the Lauraceae, XI Preliminary Survey of the Mexican and Central American species. *Journal of the Arnold Arboretum* 26(4): 365-434.
- Álvarez-González, J. G.; R. Rodríguez-Soalleiro y A. Rojo-Alboreca. 2007. Resolución de problemas del ajuste simultáneo de sistemas de ecuaciones: heterocedasticidad y variables dependientes con distinto número de observaciones. *Sociedad Española de Ciencias Forestales* 23: 35-42.
- Avery, T. E. y H. E. Burkhart. 1983. *Forest Measurement*. McGraw-Hill. New York, U.S.A. 458 p.
- Bandoni, A. L. 2002. Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica: su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. CYTED. Argentina. 417 p.
- Bartlett, H. H. 1909. A Synopsis of the American Species of *Litsea*. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 44(21): 597-602.
- Becerril-Piña, R., González-Sosa, E., Mastachi-Loza, C. A., Díaz-Delgado, C., & Ramos-Salinas, N. M. 2014. Contenido de carbono en un ecosistema semiárido del centro de México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(1), 9-18.

- Belmonte S., F. y F. López-Bermúdez. 2003. Estimación de la biomasa de una especie vegetal mediterránea (tomillo, *Thymus vulgaris*) a partir de algunos parámetros de medición sencilla. *Ecología* 17: 145-151.
- Blancas V., J.; J. Caballero N. y L. Beltrán R. 2017. Los Productos Forestales No Maderables de México. Fascículo 1. Panorama general. Red Temática de Productos Forestales No Maderables. México. 106 p.
- Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. (FAO Forestry Paper - 134). FAO. Roma. 55 p.
- Cavanilles, A. J. 1790. Flabellaria Paniculata. Passiflora Millefolium. Serratifolia. Glandulosa. Tomentosa. Rubra. Peltata. 10: t. 121–t. 127. In A. J. Cavanilles Diss. F.A. Didot, Paris
- Chandrasekharan C.; T. Frisk. y J. Campos R. 1996. Desarrollo de productos forestales no maderables en américa latina y el caribe. Serie Forestal No. 5. Santiago, Chile. 63 p.
- Cruz C., F.; R. Mendía S.; A. A. Jiménez F.; J. A. Nájera L. y F. Cruz G. 2016. Ecuaciones de volumen para *Arbutus spp.* (madroño) en la región de Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia* 24(68): 41-47.
- Daniel, T. W.; J. A. Helms. y F. S. Baker. 1982. Principios de la Silvicultura. McGraw-Hill. México. 492 p.
- Dávila F., C. A.; F. J. Flores T.; F. Morales D.; R. Clark T. y E. Pérez M. 2011. Estatus poblacional y nivel de aprovechamiento del laurel silvestre (*Litsea*

*glaucescens* Kunth) en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(4): 47-59.

Flores M., F.; D. J. Vega-Nieva; J. J. Corral-Rivas; J. G. Álvarez-González; A. D. Ruiz-González; C. A. López-Sánchez. y A. Carillo P. 2018. Desarrollo de ecuaciones alométricas de biomasa para la regeneración de cuatro especies en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(46): 157-185.

Gaillard de Benítez, C.; M. Pece; M. Juárez de Galíndez; G. Gómez y M. Zárate. 2013. Modelización de funciones para estimar biomasa aérea individual de piquillín (*Condalia microphylla* Cav, Ramnacea) y tala chiquito (*Celtis pallida* Torr, Celtidacea) en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Revista de Ciencias Forestales - Quebracho* 21(1,2): 46-57.

Gayon, J. 2000. History of the concept of allometry. *American Zoologist* 40(5): 748-758.

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). 2018. *Litsea parvifolia* Mez. <https://doi.org/10.15468/dl.hxk8wc>. Fecha de consulta (7 de septiembre de 2018).

Gómez-García, E.; F. Crecente-Campo y U. Diéguez-Aranda. 2013. Tarifas de biomasa aérea para abedul (*Betula pubescens* Ehrh.) y roble (*Quercus robur* L.) en el noroeste de España. *Madera y Bosques* 19(1): 71-91.

Guajarati D., G. y D. C. Poter. 2010. *Econometría*. McGraw-Hill. México, D. F. 921 p.

Guillén T., A.; A. Palacios E. y J. L. Espinoza V. 2007. Ecuaciones de predicción para la producción de forraje de palo verde (*Cercidium floridum* Benth. Ex A. Gray.) en Baja California Sur, México. *Interciencia* 32(10): 712-715.

Gutiérrez S., J. L. y F. Sánchez G. 2017. *Matemática del crecimiento orgánico. De la alometría al crecimiento estacional*. UNAM. México. 355 p.

Iglesias, M. D. R., & Barchuk, A. H. (2010). *Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina)* (Doctoral dissertation, Asociación Argentina de Ecología).

Informes del Comercio Exterior (Nosis Trade). 2018. Informe del comercio internacional en Importaciones y Exportaciones para México en la categoría Especias. <https://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Mexico/especias--jengibre-azafran-curcuma-tomillo-hojas-de-laurel-curry-y-demas-especias/MX/0910>. Fecha de consulta (11 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1988. Conjunto de datos vectoriales Geológicos. Escala 1:250 000. Serie I. Monterrey. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825675356>. Fecha de consulta (7 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2001. Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional escala 1:1 000 000 serie I. Subprovincias fisiográficas.  
<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267599>.  
Fecha de consulta (7 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2006a. Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional).  
[http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/edafologia/vectorial\\_serieii.a\\_spx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/edafologia/vectorial_serieii.a_spx). Fecha de consulta (7 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2006b. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Precipitación media anual.  
<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267544>.  
Fecha de consulta (7 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Temperatura media anual.  
<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267551>.  
Fecha de consulta (7 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2008. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas.  
<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>.  
Fecha de consulta (7 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0.

[http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones\\_hidrograficas.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx). Fecha de consulta (7 de septiembre de 2018).

Jiménez-Pérez, N. d. C. y F. G. Lorea-Hernández. 2009. Identity and delimitation of the American species of *Litsea* Lam. (Lauraceae): a morphological approach. *Plant Systematics and Evolution* 283(1): 19-32.

Jiménez-Pérez, N. d. C., F. Lorea-Hernández., C. K. Jankowski. y R. Reyes-Chilpa. 2011. Essential Oils in Mexican Bays (*Litsea* spp., Lauraceae): Taxonomic Assortment and Ethnobotanical Implications. *Economic Botany* 65(2): 178–189.

Kutner, M. H.; C. J. Nachtsheim; J. Neter. y W. Li. 2004. *Applied Linear Statistical Models*. McGraw-Hill. New York, U.S.A. 1396 p.

López-Merlín, D.; L. Soto-Pinto; G. Jiménez-Ferrer y S. Hernández-Daumás. 2003. Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *Acacia pennatula* y *Guazuma ulmifolia* en dos comunidades en el norte de Chiapas, México. *Interciencia* 28(6): 334-339.

Martínez A., C. 2015a. Estudio de las especies vegetales útiles en ocho comunidades del municipio de Arteaga, Coahuila, México. Tesis de Ingeniero en Agrobiología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 39 p.

- Méndez G., J.; O. A. Turlan M.; J. C. Ríos S. y J. A. Nájera L. 2012. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(13): 57-72.
- Mercado, G. M., Laura, A., Medrano, A. W., Díaz, J. A. L., & Parrilla, E. Á. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. Nutrición hospitalaria: Organo oficial de la Sociedad española de nutrición parenteral y enteral, 28(1): 36-46.
- Montañez-Armenta, M. d. I. P.; E. Valtierra-Pacheco y S. M. Medina-Torres. 2011. Aprovechamiento tradicional de una especie protegida (*Litsea glaucescens* Kunth) en "Sierra del Laurel", Aguascalientes, México. Ra Ximhai 7(2): 155-172.
- Nájera L., J. A. 1999. Ecuaciones para estimar biomasa, volumen y crecimiento en biomasa y captura de carbono en diez especies típicas del matorral espinoso Tamaulipeco del Nordeste de México. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 93 p.
- Ordóñez D., J. A. B.; R. Rivera V.; M. E. Tapia M. y L. R. Ahedo H. 2015. Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 6(32): 7-16.

- Pedrosa, I.; J. Juarros-Basterretxea; A. Robles-Fernández; J. Basteiro. y E. García-Cueto. 2015. Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica* 14(1): 245-254.
- 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. CIRAD y FAO. Francia y Roma. 223 p.
- Prodan, M.; R. Peters., F. Cox. y P. Real. 1997. *Mensura Forestal*. Agroamerica. San José, Costa Rica. 586 p.
- Protección de la Fauna Mexicana A. C. (PROFAUNA). 2008. Zona Sujeta a Conservación Ecológica Serra de Zapalinamé. PROFAUNA. Saltillo, México. 87 p.
- Ramírez L., A. G. 2015. Tabla de predicción de biomasa y rendimiento de cera de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en Mazapil, Zacatecas. Tesei de Ingeniero Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 56 p.
- Ramos-Uvilla, J. A.; J. García-Magaña; J. Hernández-Ramos; X. García-Cuevas; J. C. Velarde-Ramírez; H. J. Muñoz-Flores. y G. G. García E. 2014. Ecuaciones y tablas de volumen para dos especies de *Pinus* de la Sierra Purhépecha, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(23): 92-109.
- Registro Agrario Nacional (RAN). 2018. Perimetales núcleos agrarios SHAPE
- |         |            |           |
|---------|------------|-----------|
| Entidad | Federativa | Coahuila. |
|---------|------------|-----------|

[http://datos.ran.gob.mx/filescd/dgcat/ran\\_da\\_dgcat\\_poligonos\\_nucleos\\_agrarios\\_shp\\_coah.zip](http://datos.ran.gob.mx/filescd/dgcat/ran_da_dgcat_poligonos_nucleos_agrarios_shp_coah.zip). Fecha de consulta (7 de septiembre de 2018).

Royston, P. 1992. Approximating the Shapiro-Wilk W-test for non-normality. *Statistics and Computing* 2(3): 117–119.

Schreuder, H. T. y M. S. Williams. 1998. Weighted Linear Regression Using D2H and D2 as the Independent Variables. USDA Forest Service. Fort Collins, Colorado. 10 p.

Segura, M. y H. J. Andrade C. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. *Agroforestería en las Américas* a Vol 5(46): 89-96.

Tapia-Torres, N. A.; C. d. I. P. Pérez-Olvera; A. Román-Guerrero; A. Quintanar-Isaías; E. García-Márquez y F. Cruz-Sosa. 2014. Histoquímica, contenido de fenoles totales y actividad antioxidante de hoja y de madera de *Litsea glaucescens* Kunth (Lauraceae). *Madera y Bosques* 20(3): 125-137.

Valencia G., Á. 2013. Hierbas aromáticas y especias más utilizadas en México. Monografía de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 77 p.

Van Der Werff, H. y F. Lorea. 1997. Flora del bajío y regiones adyacentes. Fascículo 56. familia: Lauraceae. INECOL. Xalapa, Veracruz, México. 58 p.

Villavicencio-Gutiérrez, E. E.; A. Hernández-Ramos; C. N. Aguilar-González y X. García-Cuevas. 2018. Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia*

*graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(45): 187-207.

Walpole, R. E.; R. H. Myers; S. L. Myers y K. Ye. 2012. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Pearson. México. 816 p.

## ANEXOS

### Anexo 1. Análisis de varianza modelo Schumacher-Hall sin factor de ponderación.

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F calc. | F tablas |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|---------|----------|
| Modelo              | 3                  | 230413.80         | 76804.60         | 249.13  | 2.670    |
| Error               | 139                | 42853.14          | 308.30           |         |          |
| Total, corregido    | 141                | 273628.64         | 1940.63          |         |          |

### Anexo 2. Salida SAS modelo Schumacher-Hall sin factor de ponderación

| Nonlinear OLS Summary of Residual Errors |          |       |       |       |          |        |        |        |
|--|----------|-------|-------|-------|----------|--------|--------|--------|
| Equatio                                  | DF Model | DF    | SSE   | MSE   | Root MSE | R-     | Adj R- | Durbin |
| n  |          | Error |       |       |          | Square | Sq     | Watson |
| Bfs                                      | 3        | 139   | 42853 | 308.3 | 17.5584  | 0.8434 | 0.8411 | 2.3118 |

| Nonlinear OLS Parameter Estimates |          |                |         |                |
|-----------------------------------|----------|----------------|---------|----------------|
| Parameter                         | Estimate | Approx Std Err | t Value | Approx Pr >  t |
| B0                                | 0.002887 | 0.0012         | 2.41    | 0.0174         |
| B1                                | 2.083564 | 0.0959         | 21.74   | <.0001         |
| B2                                | 0.25124  | 0.0718         | 3.5     | 0.0006         |

| Heteroscedasticity Test |              |           |    |            |                   |
|-------------------------|--------------|-----------|----|------------|-------------------|
| Equation                | Test         | Statistic | DF | Pr > ChiSq | Variables         |
| Bfs                     | White's Test | 78.9      | 9  | <.0001     | Cross of all vars |

| Normality Test |                 |       |        |
|----------------|-----------------|-------|--------|
| Equation       | Test Statistic  | Value | Prob   |
| PSH            | Shapiro-Wilk W  | 0.93  | <.0001 |
| System         | Mardia Skewness | 13.07 | 0.0003 |
|                | Mardia Kurtosis | 7.47  | <.0001 |
|                | Henze-Zirkler T | 4.97  | <.0001 |

### Anexo 3. Análisis de varianza modelo Schumacher-Hall con factor de ponderación

| Fuente de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medios | F calculada | F tablas |
|---------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------------|----------|
| Modelo              | 3                  | 247698.04         | 82566.01        | 243.38      | 2.670    |
| Error               | 139                | 47155.13          | 339.25          |             |          |
| Total corregido     | 141                | 273628.64         | 1940.63         |             |          |

### Anexo 4. Salida SAS modelo Schumacher-Hall con factor de ponderación

| Nonlinear FIML Summary of Residual Errors |          |          |         |          |          |          |          |               |
|---|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| Equation                                  | DF Model | DF Error | SSE     | MSE      | Root MSE | R-Square | Adj R-Sq | Durbin Watson |
| PSH                                       | 3        | 139      | 47155.1 | 339.2    | 18.4186  | 0.8277   | 0.8252   |               |
| NRESID.PSH                                |          | 139      | 0.1104  | 0.000794 | 0.0282   |          |          | 2.0267        |

| Nonlinear FIML Parameter Estimates |          |                |         |                |
|------------------------------------|----------|----------------|---------|----------------|
| Parameter                          | Estimate | Approx Std Err | t Value | Approx Pr >  t |
| B0                                 | 0.00147  | 0.000495       | 2.97    | 0.0035         |
| B1                                 | 1.993821 | 0.0789         | 25.28   | <.0001         |
| B2                                 | 0.492306 | 0.0694         | 7.09    | <.0001         |

| Heteroscedasticity Test |              |           |    |            |                   |
|-------------------------|--------------|-----------|----|------------|-------------------|
| Equation                | Test         | Statistic | DF | Pr > ChiSq | Variables         |
| NRESID.PSH              | White's Test | 16.2      | 9  | 0.0629     | Cross of all vars |

| Normality Test |                 |       |        |  |
|----------------|-----------------|-------|--------|--|
| Equation       | Test Statistic  | Value | Prob   |  |
| PSH            | Shapiro-Wilk W  | 0.97  | 0.0011 |  |
|                | Mardia Skewness | 12.09 | 0.0005 |  |
| System         | Mardia Kurtosis | 1.62  | 0.1062 |  |
|                | Henze-Zirkler T | 1.76  | 0.0039 |  |

## Anexo 5. Procedimiento PROC MODEL con Mínimos Cuadrados Ordinarios

```

PROC MODEL DATA=DATOS;
/*ESTRUCTURA DEL MODELO SCHUMACHER-HALL D=DIÁMETRO H=ALTURA*/
Y = B0*(D**B1)*(H**B2);
FIT Y /
NORMAL /*PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK*/
WHITE /*PRUEBA DE WHITE PARA LA HETEROSCEDASTICIDAD*/
DW /*PRUEBA DE DURBIN-WATSON*/
CONVERGE=0.00001 MAXITER=2000; /*PARÁMETROS DE CONVERGENCIA*/
RUN; QUIT;

```

## Anexo 6. Procedimiento PROC MODEL Mínimos Cuadrados Ponderados

```

PROC MODEL DATA=DATOS;
/*ESTRUCTURA DEL MODELO SCHUMACHER-HALL D=DIÁMETRO H=ALTURA*/
Y = B0*(D**B1)*(H**B2);
FIT Y /
NORMAL /*PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK*/
WHITE /*PRUEBA DE WHITE PARA LA HETEROSCEDASTICIDAD*/
DW /*PRUEBA DE DURBIN-WATSON*/
CONVERGE=0.00001 MAXITER=2000; /*PARÁMETROS DE CONVERGENCIA*/
/*LA VARIABLE PESO SE ESPECIFICA EN EL PASO DATA PESO=D**4.4992*/
WEIGHT PESO;
RUN; QUIT;

```

## Anexo 7. Procedimiento PROC MODEL con Máxima Verosimilitud

```
PROC MODEL DATA=DATOS;  
/*ESTRUCTURA DEL MODELO SCHUMACHER-HALL D=DIÁMETRO H=ALTURA*/  
Y = B0*(D**B1)*(H**B2);  
/*MODELO DE VARIANZA*/  
H.Y = (D**2**H);  
FIT Y /  
FIML /*MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD*/  
NORMAL /*PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK*/  
WHITE /*PRUEBA DE WHITE PARA LA HETEROSCEDASTICIDAD*/  
DW /*PRUEBA DE DURBIN-WATSON*/  
CONVERGE=0.00001 MAXITER=2000; /*PARÁMETROS DE CONVERGENCIA*/  
RUN; QUIT;
```