

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FORESTAL



Tabla de Producción de Biomasa Foliar Seca para Menta (*Hedeoma drummondii*

Benth) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila

Por:

**ALEXIS RAFAEL MALDONADO MORALES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FORESTAL

Tabla de Producción de Biomasa Foliar Seca para Menta (*Hedeoma drummondii*  
Benth) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila

Por:

**ALEXIS RAFAEL MALDONADO MORALES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



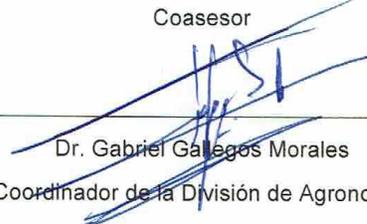
Dr. Jorge Méndez González  
Asesor Principal Interno



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



Dr. Mario Alberto García Aranda  
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2019

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** gracias por cada detalle y momento durante la realización de este trabajo, gracias a él por ser la base de mi moral, por darme la oportunidad de despertar no solo con vida, sino que también me permitió continuar con salud, fuerzas y empeño; por hacer de cada avance, cada experiencia y momento un aprendizaje, momentos únicos que me ayudan a crecer como persona. Por brindarme la oportunidad de que cada mañana puedo empezar de nuevo, sin importar la cantidad de errores y faltas cometidas durante el día anterior.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme la oportunidad de formarme como profesionista, brindándome las bases para salir adelante y enfrentar los obstáculos que se presenten. En especial al departamento forestal, donde curse la carrera de ingeniero forestal, a todos los profesores y personas que laboran en el mismo, del cual me siento muy orgulloso de ser egresado.

Gracias al **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias** (INIFAP) Campo Experimental Saltillo, por todas las facilidades otorgadas y por permitir realizar este trabajo a través 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.

Debo agradecer de manera especial y sincera a la **M. C. E. Edith Villavicencio Gutiérrez** investigadora de Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP, por aceptarme para realizar esta tesis de nivel licenciatura bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte

invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como persona. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del buen trabajo que se ha realizado. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Agradecerle por la caridad y exactitud con la que enseñó y compartió cada uno de sus conocimientos y lecciones, los cuales tomo como muy valiosos que me servirán más adelante. Gracias maestra por haber elegido ser maestra, por haberme enseñado tan bien y por haberme permitido el desarrollo de esta tesis. Gracias maestra.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al **Dr. Jorge Méndez González** por su paciencia, disponibilidad y generosidad al compartir su experiencia y amplio conocimiento en el campo de estudio y lograr el desarrollo de esta tesis. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia que hizo que nuestras siempre revisiones erróneas terminaran en el buen trabajo que se ha realizado. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado.

Agradezco de manera sincera al **Dr. Mario Alberto García Aranda** por sus siempre atentas y rápidas respuestas a las diferentes inquietudes surgidas durante el desarrollo de este trabajo, lo cual se ha visto también reflejado en los buenos resultados obtenidos.

Agradezco también de manera sincera a mis amigos y compañeros de trabajo **Luis miguel Toribio Ferrer** y **Santiago Mendoza Morales** por la caridad y amabilidad con la que me enseñaron y compartieron cada uno de sus conocimientos.

## DEDICATORIA

### A MI FAMILIA

**Rafael Maldonado Solórzano;**

**Arminda Morales Morales;**

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre que me cuida desde el cielo por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, agotadoras noches en las que su compañía dan paz a mi corazón; 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.

**Guadalupe Maldonado Morales (PIKIS);**

**Arley Maldonado Morales (BEBE);**

Gracias a mis hermanos por apoyarme en cada decisión y proyecto de vida, gracias por cada día demostrarme lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser; Gracias por creer en mí, no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos.

Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

## **A MI NOVIA**

**Liliana Salinas** Ella pues, fue el ingrediente perfecto para poder lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria en la vida, el poder haber culminado esta tesis con éxito, siendo la persona que se preocupó por mí en cada momento y que siempre quiso lo mejor para mi porvenir. Te agradezco por tantas ayudas y tantos aportes no solo para el desarrollo de mi tesis, sino también para mi vida; eres mi inspiración y mi motivación.

## **A MIS AMIGOS**

A todos, sin excluir a ninguno, **los del módulo 7 Luis Fernando (Pavo), Roberto (Tito), Carlos Manuel (Chango), Leonel (Cubi), Pepe y firulais el novio de la inolvidable Tachi** por no ayudar en nada más que en distraer y hacer perder tiempo, es decir, ayuda para el estrés, a **Emanuel de Jesús (Nelo), Samuel, José Luis, Toni, Víctor** amigos de toda la carrera. Pero en especial a **Elver López García, Luis Miguel Toribio Ferrer, Santiago Mendoza Morales, Liliana Sanchez Salinas, María del Carmen, Neysi Anahí, Yaeni, Delmar, Luis Fernando** los amigos que han estado a lo largo de toda mi vida apoyándome incondicionalmente en los malos y buenos momentos que en el transcurso de vida he pasado, que dios bendiga a cada uno de ellos y los guie en su camino, en la distancia amigos les hago saber que los quiero mucho.

## **A MIS PRIMOS**

A todos los de la familia y en especial a Homero Morales, Alermo Morales Gracias por su apoyo y consejos brindados para seguir adelante y mejorar como persona.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRAC.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1 Objetivo general .....	16
1.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Hipótesis.....	16
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1 Plantas aromáticas .....	19
2.2 Descripción de la familia Lamiaceae .....	19
2.3 Descripción Género ( <i>Hedeoma spp</i> ) .....	20
2.4 Descripción de botánica de la menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.).....	20
2.5 Clasificación Taxonómica de la menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.) .....	21
2.6 Beneficios y usos de la menta.....	23
2.7 Investigaciones químicas de la menta.....	23
2.8 Importancia de la evaluación de recursos no maderables.....	24
2.9 Modelos alométricos.....	25
2.10 Tablas de producción .....	26
2.11 Estudios afines mediante modelos matemáticos.....	27
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
3.1 Descripción del área de estudio .....	30

3.2	Fisiografía- clima .....	31
3.3	Geología-edafología .....	31
3.4	Hidrología .....	32
3.5	Uso de suelo y vegetación .....	32
3.6	Levantamiento de datos y diseño de muestreo .....	32
3.7	Datos de campo .....	34
3.8	Obtención de biomasa.....	36
3.9	Análisis estadístico .....	37
3.9.1	Prueba de Durbin-Watson.....	39
3.9.2	Prueba de Shapiro-Wilk .....	40
3.9.3	Prueba de White .....	41
3.10	Capacidad predictiva del modelo .....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>43</b>
4.1	Estadísticas básicas.....	43
4.2	Estadísticas de bondad de ajustes de los modelos.....	44
4.2.1	Prueba de Durbin-Watson.....	48
4.2.2	Prueba de Shapiro-Wilk .....	49
4.2.3	Prueba de White .....	51
4.3	Capacidad predictiva del modelo .....	52
4.4	Tabla de producción de hoja seca (g) menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.).....	54

<b>5 CONCLUSIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>6 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>
<b>7 ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.) ....	21
Cuadro 2. Compuestos químicos de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.). .....	24
Cuadro 3. Estudios de herbáceas mediante modelos matemáticos.....	29
Cuadro 4. Materiales y equipos utilizados para el muestreo .....	30
Cuadro 5. Número de poblaciones y plantas de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.) muestreadas en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. ....	33
Cuadro 6. Modelos ajustados para estimar la biomasa foliar seca de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.). .....	37
Cuadro 7. Estadísticas básicas de las variables dasométricas de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.) en Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. ....	43
Cuadro 8. Estadística de los modelos para determinar la biomasa foliar seca de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.). .....	44
Cuadro 9. Producción de hoja seca ( <i>g</i> ) de <i>Hedeoma drummondii</i> Benth en función de la altura y diámetro promedio de cobertura ( <i>Dp</i> ) de la herbácea para rodales naturales del Ejido Cuauhtémoc, municipio de Saltillo, Coahuila.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grupos de especies más utilizadas en el sur de Coahuila.....	18
Figura 2. Especies de herbáceas no cultivadas más utilizadas en el sureste de Coahuila.....	18
Figura 3. <i>Hedeoma drummondii</i> Benth. ....	22
Figura 4. Distribución geográfica de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. ....	34
Figura 5. Regla de decisión para el estadístico ( $d$ ) de Durbin-Watson .....	40
Figura 6. Valores observados diámetro promedio y estimados del modelo Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.....	47
Figura 7. Valores observados altura total y estimados del modelo Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.....	47
Figura 8. Distribución de la autocorrelación de los residuales del modelo de Schumacher-Hall de la biomasa foliar seca de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.....	49
Figura 9. Normalidad de Q-Q plot de los residuales del modelo de Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca para menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.....	50

Figura 10. Histograma de residuales del modelo de Schumacher-Hall para menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. .... 51

Figura 11. Residuales sin presencia de heterocedasticidad de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. .... 52

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Planta de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.).....	23
Fotografía 2. Medición de variables dendrometricas de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.): A) Selección del sitio; medición de variables B) altura total, C) diámetro de cobertura. ....	35
Fotografía 3. Obtención de variables de biomasa de menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.): a) Peso de hoja seca y b) registro de biomasa foliar seca. ....	36

## RESUMEN

La menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) es un recurso forestal no maderable que se usa como planta aromática y medicinal, esta especie nativa se distribuye de manera perenne en América del Norte, principalmente en Estados Unidos y la parte norte de México. Con el propósito de moderar su aprovechamiento y evaluar sus existencias, el objetivo del estudio fue comparar diez modelos alométricos para seleccionar el que determine el mejor balance entre su complejidad y la capacidad de ajuste en la estimación de la biomasa foliar seca (*Bfs*), la evaluación se realizó en siete poblaciones naturales distribuidas en el Ejido Cuauhtémoc, municipio de Saltillo en Coahuila. La muestra se conformó de 316 plantas, de las cuales se obtuvo su altura total (*At*), diámetro mayor (*DM*), diámetro menor (*Dm*) y diámetro promedio (*Dp*) de la cobertura foliar estas expresadas en centímetros (*cm*) y la biomasa foliar seca (*Bfs*) expresada en gramos (*g*). Las variables se utilizaron para ajustar diez modelos de regresión en el programa de SAS 9.4, mediante el procedimiento proc model. Del análisis estadístico se seleccionó el modelo de Schumacher-Hall por registrar valores superiores de  $R^2$   $A_j$  (0.78) y el menor valor en la raíz cuadrada media del error (*RCME*, 0.029), un coeficiente de variación (*CV*) de 33.85 % y una suma cuadrada del error (*SC error*) de 0.298628 considerando la significancia de sus parámetros ( $p \leq 0.0001$ ) a partir de este se elaboró una tabla de doble entrada que estima la biomasa foliar seca (*Bfs*) de las plantas.

Palabras clave: Menta, aromática, modelos alométricos, no maderable, biomasa.

## ABSTRAC

Mint (*Hedeoma drummondii* Benth.) is a non-timber forest resource that is used as an aromatic and medicinal plant, this native species is distributed perennially in North America, mainly in the United States and the northern part of Mexico. With the purpose of moderating its use and evaluating its stock, the objective of the study was to compare ten allometric models to select the one that determines the best balance between its complexity and the capacity of adjustment in the estimation of the dry foliar biomass ( $B_{fs}$ ), the evaluation was carried out in seven natural populations distributed in the Ejido Cuauhtémoc, municipality of Saltillo in Coahuila. The sample consisted of 316 plants, from which it was obtained their total height ( $A_t$ ), major diameter ( $DM$ ), minor diameter ( $Dm$ ) and average diameter ( $Dp$ ) of the foliar cover these expressed in centimeters ( $cm$ ) and the dry foliar biomass ( $B_{fs}$ ) expressed in grams ( $g$ ). The variables were used to adjust ten regression models in the SAS 9.4 program using the proc model procedure. From the statistical analysis, the Schumacher-Hall model was selected because it recorded higher values of  $R^2$   $aj$  (0.78) and the lowest value in the mean square root of the error ( $RCME$ , 0.029), a coefficient of variation ( $CV$ ) of 33.85 % and a square sum of the error ( $SC$  error) of 0.298628 considering the significance of its parameters ( $p \leq 0.0001$ ). From this, a double entry table was elaborated that estimates the dry foliar biomass ( $B_{fs}$ ) of the plants.

Keywords: Mint, aromatic, allometric models, non-timber, biomass.

## 1 INTRODUCCIÓN

Challenger y Dirzo (2009), mencionan que los ecosistemas forestales son un sistema natural formado por un conjunto de organismos vivos que albergan la mayor riqueza biológica de nuestro planeta, y las personas dependen de estos como su principal fuente de recurso de materia prima generándose así su medio de vida. No obstante una de las causas más representativas de la pérdida de la biodiversidad es la alta demanda y el alto consumo de los recursos naturales provocando su deterioro a un ritmo muy acelerado (Broad *et al.*, 2003).

Es en esta situación que los productos forestales no maderables (PFNM) entran con un papel muy importante en la participación del desarrollo social, económico y cultural de muchas regiones rurales (FAO, 1995). En América latina hasta la fecha se han ido transformando las técnicas tradicionales de aprovechamiento de los PFNM con la finalidad de lograr que los productos se comercialicen a una mayor escala para generar una actividad económica importante en muchas comunidades rurales (Zamora-Martínez *et al.*, 2001).

Las comunidades (mujeres y hombres) obtienen del aprovechamiento de los PFNM una fuente de trabajo e ingresos como un complemento a las actividades agropecuarias (Tapia-Tapia y Reyes-Chilpa, 2008). Los recursos forestales no maderables (RFNM) de los ecosistemas áridos y semiáridos se encuentran principalmente en el Desierto Chihuahuense donde se incluyen los estados de Guanajuato, San Luis Potosí, Querétaro, Nuevo León, Aguascalientes, Durango, Zacatecas, Chihuahua y Coahuila. Entre los PFNM de esta zona de clima árido y semiárido más importantes se encuentran; lechuguilla (fibra), cortadillo (fibra)

candelilla (cera), sotol (tallo o piña) yuca, agaves (hojas y tallo), jojoba (semilla), gobernadora (hojas) y las plantas aromáticas (Zamora-Martínez *et al.*, 2001).

La menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) es una planta no maderable que su principal uso es aromatizante, comestible, posee propiedades medicinales (Pérez-Escandón *et al.*, 2003), además de contener aceites esenciales que presentan componentes con potencial para uso de insecticida (Tovar, 2007). Esta especie nativa se distribuye de manera perenne en América del Norte, principalmente en Estados Unidos y la parte norte de México con mayor presencia en los estados de Coahuila, Nuevo León y Querétaro (Irving, 1980; Slanis y Bulacio, 2005).

Es posible aprovechar adecuadamente los recursos naturales de las regiones áridas y semiáridas como la menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) mediante la aplicación de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa, con la finalidad de cuantificar la producción y promover el aprovechamiento de manera racional y sustentable formando nuevos agronegocios, ayudando a mejorar la economía de las personas que conforman las comunidades rurales.

### **1.1 Objetivo general**

Evaluar y seleccionar modelos alométricos para estimar peso seco de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) en el área representativa de Cuauhtémoc, municipio de Saltillo, Coahuila.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar el modelo con mejor ajuste para determinar la biomasa foliar seca de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) en el área representativa de Cuauhtémoc, municipio, de Saltillo, Coahuila.
- Realizar una tabla de producción de biomasa foliar seca para (*Hedeoma drummondii* Benth.).

### **1.3 Hipótesis**

Ho: La producción de biomasa foliar de la menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) está en función de sus variables dasométricas.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

Tejeda et al. (1998), menciona que en el Desierto Chihuahuense los recursos forestales no maderables (RFNM) constituyen una importante fuente de ingresos y empleo para las comunidades rurales. Se conoce que existen más de 3,000 especies de las cuales se aprovecha en pequeñas cantidades en la herbolaria y algunas en actividades productivas que van desde el ámbito doméstico al industrial. Las especies con un mayor aprovechamiento son: lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), candelilla (*Euphrobia antisyphillitica* Zucc.), mezquite (*Prosopis glandulosa* Torr.), orégano (*Lippia graveolens* Kunth.), guayule (*Phartenium argentatum* A. Gray.), gobernadora (*Larrea tridentada* Sessé y Moc. ex DC.), yuca (*Yucca carnerosana* Trel.) estos últimos son de gran importancia ya que representan una importante fuente de ingresos de las familias de comunidades rurales y ubicadas en zonas marginadas (García-Peña, 2001).

En México se conocen otras plantas aromáticas que se distribuyen en las comunidades rurales y se caracterizan por tener propiedades gastronómicas y medicinales entre ellas; “menta” (*Mentha piperita* L.), “orégano” (*Lippia graveolens* Kunth.), “salvia” (*Salvia officinalis* L.), “albahaca” (*Ocimum basilicum* L.), “tomillo” (*Thymus vulgaris* L.) y “romero” (*Rosmarinus officinalis* L.) (Zgórka y Głowniak, 2001).

En la investigación realizada por Martínez (2015), menciona que las especies del grupo de herbáceas son las más utilizadas en comparación de grupo de arbustos, arbóreos, entre otros (Figura 1). El uso principal de las plantas herbáceas es de aplicación medicinal, ornamental y para alimento, estas corresponden a 199

registros (38.3%). Además, por orden de importancia las especies yerbaniz (*Tagetes lucida* Kav.), menta (*Hedeoma drummondii* Benth.), yerbabuena (*Mentha spicata* L.) y ruda (*Ruta graveolens* L.) son las más representativas (Figura 2).



Figura 1. Grupos de especies más utilizadas en el sur de Coahuila (Martínez, 2015).

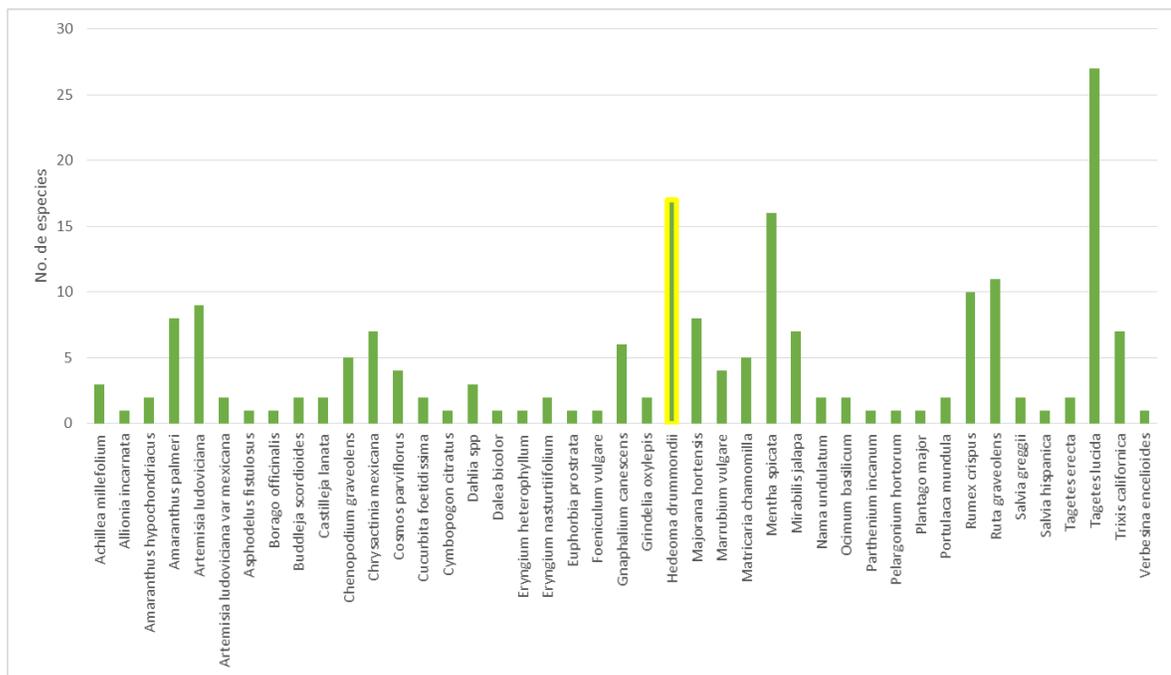


Figura 2. Especies de herbáceas no cultivadas más utilizadas en el sureste de Coahuila (Martínez, 2015).

## **2.1 Plantas aromáticas**

Kraker (2007), menciona que el uso de las plantas aromáticas y medicinales forma parte de nuestras costumbres a lo largo de la historia. Su aprovechamiento comenzó al experimentar cualidades muy agradables como el aroma, los sabores en los alimentos, alivio del dolor y cura de enfermedades.

En la actualidad las plantas aromáticas y medicinales se consideran como una fuente de negocios o especialidades (López, 2011). En los últimos años se ha identificado que se ha incrementado el interés por las plantas aromáticas y medicinales por parte de los diferentes sectores que van desde recolectores, productores, industrias, instituciones y consumidores (Azizi *et al.*, 2007). La utilización de las plantas aromáticas y medicinales en el sector industrial es de mucha importancia en la aplicación de medicina, herbolario, alimentario, perfumero y cosmético (Heywood, 1999).

## **2.2 Descripción de la familia Lamiaceae**

De acuerdo con Irving (1980) esta familia botánica, comprende 200 géneros y 3200 especies; sin embargo, Harley *et al.* (2004) refieren que esta se compone de más de 236 géneros y 7173 especies.

Las plantas de esta familia botánica son dicotiledóneas, presentan hojas simples, opuestas y decusadas, sin estípulas, sus flores tienen corolas bilabiadas, que poseen cinco pétalos y el ovario súpero compuesto por dos carpelos fusionados, simétricos y bilaterales (Irving, 1980).

Zgórka y Głowniak (2001), mencionan que las especies pertenecientes a esta familia presentan propiedades antioxidantes que se relacionan con compuestos fenólicos (taninos, ácidos fenólicos y flavonoides) utilizados principalmente con fines gastronómicos y medicinales.

### **2.3 Descripción Género (*Hedeoma spp*)**

El género *Hedeoma* ha sido poco estudiado, comprende alrededor de 43 especies de herbáceas perennes y subarbustos distribuidas desde Canadá hasta Uruguay (Irving, 1980). En Norteamérica la especie conocida como menta es *Hedeoma drummondii* Benth y en sudamerica se conoce como *Hedeoma multiflora* Benth, también es conocida como *Hedeoma gilliessiis* Benth, *Micromería bpnariensis* Fisch, *Satureja bonariensis* Fisch, *Satureja gilliessii* Benth. Los nombres comunes son: “Tomillo”, “menta de campo”, “peperina de las lomas” (Novoa *et al.*, 2005).

### **2.4 Descripción de botánica de la menta (*Hedeoma drummondii* Benth.)**

Las plantas de *Hedeoma drummondii* Benth tienen un olor muy similar característico a la menta tradicional (*Mentha sp*, *Fam. Menthae*), son aromáticas y de tipo herbáceo. Presentan un tallo densamente puberulento de 25 a 60 cm de largo, ascendente, cuadrangular con abundancia de glándulas oleíferas; presentan una orientación horizontal con yemas en las axilas de las hojas. Ramas laterales en posición vertical erguidas. Las hojas son simples con forma espatulada o elíptica, enteras opuestas, pubescentes en envés y peciolo de 0.20 a 3.7 cm de largo, cortamente pecioladas de 0.7 a 5.3 cm de largo y 0.2 a 2.8 cm de ancho, bases atenuadas con bordes enteros o crenados con foliolos y raquis. Inflorescencia arreglada en cimbras con alrededor de 3-8 flores sobre cada verticilo en la parte de

las axilas de las hojas, las flores son pediceladas de 1-3.5 mm de largo, pulverulentas y con 2 estambres unidos a la corola de un color lavanda. Cáliz bilabiado con un par de dientes en el labio superior y tres en el inferior, tienen una terminación en ápices agudos. Semillas ovadas. Granos de polen seis colgado, en forma de esfera a prolado, tectum reticular (Estrada *et al.*, 2007; Moreno, 1984).

## 2.5 Clasificación Taxonómica de la menta (*Hedeoma drummondii* Benth.)

El género conocido como *Hedeoma* está compuesto de aproximadamente 42 especies en el mundo, 29 especies se distribuyen en México, de las cuales 21 especies son endémicas (Martínez-Gordillo *et al.*, 2013).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.).

Clasificación científica	
Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
División	<i>Magnoliophita</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Lamiales</i>
Familia	<i>Lamiaceae</i>
Género	<i>Hedeoma</i>
Especies	<i>H. drummondii</i>
Nombre binomial	<i>Hedeoma drummondii</i> Benth.
Sinónimos	<i>Hedeoma campora</i>

*Hedeoma ciliata*

*Hedeoma longiflora*

*Hedeoma ovata*

Nombre común :

Poleo

---

Identificación de González-Alvarez del herbario de la facultad de Ciencias Biológicas de la UANL (Número de voucher: 024244).

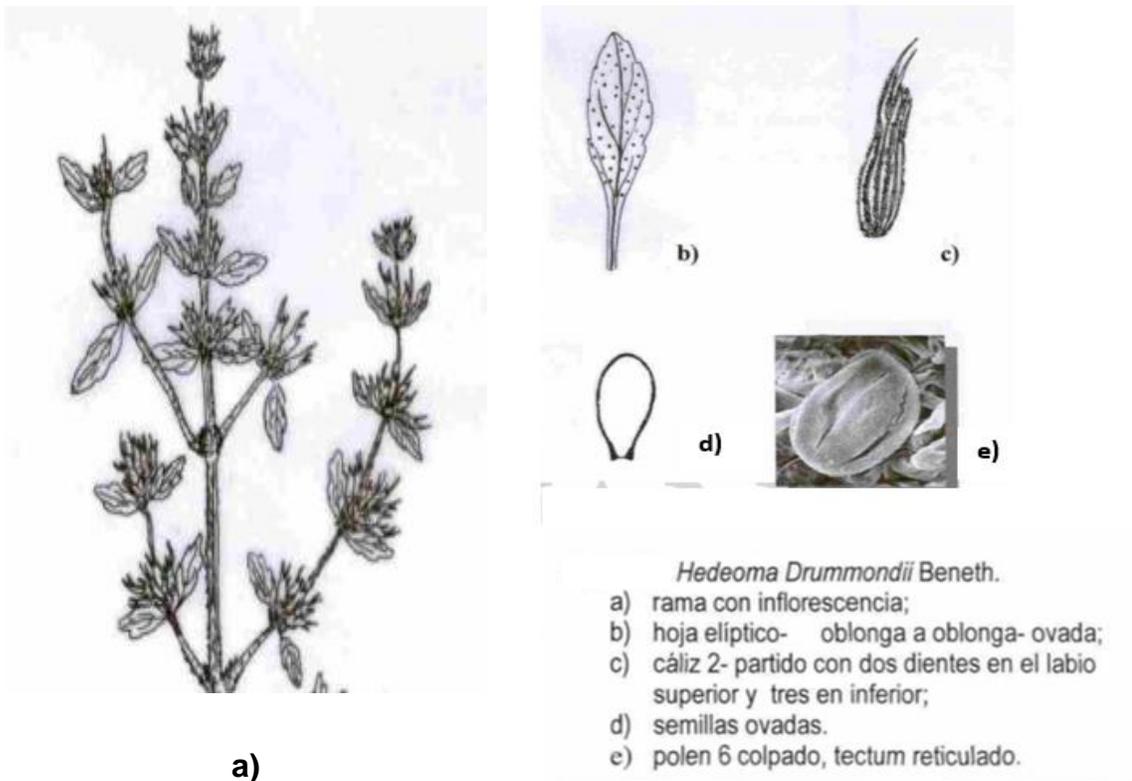


Figura 3. *Hedeoma drummondii* Benth.



Fotografía 1. Planta de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.)

## **2.6 Beneficios y usos de la menta**

Principalmente su consumo en forma de té, para combatir la tos y los resfriados, es un relajante nervioso y calmante (Sánchez, 1981; González-Ferrara, 1998). También se conoce que los antiguos nativos americanos lo utilizaban como condimento de sopas y además para el tratamiento de resfriados y diversos dolores (Vestal, 1952; Rogers, 1980).

## **2.7 Investigaciones químicas de la menta**

Viveros- Valdez (2004), refiere que esta planta tiene propiedades antioxidantes y bactericidas. Los pocos trabajos que se han realizado en la menta no demuestran de manera completa la composición de las moléculas bioactivas que están presentes en esta especie; sin embargo, los estudios de su fotoquímica muestran

que su aceite esencial, tiene un alto contenido de mentol y pulegona (Firmage, 1981).

Cuadro 2. Compuestos químicos de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) (Viveros-Valdez, 2009).

---

Componentes químicos
Mentona
n-metil-piridona-6ácidos carboxílico
Pulegona
Ácido cafeíco
Ácido clorogénico
Ácido rosmarínico
Sideritoflavona
Ácido p-hidroxibenzoico
Luteoína 7- O – glucosa
Mentol
Estragol
12-metil tetradecanoato de metilo
Linolato de metilo

---

## **2.8 Importancia de la evaluación de recursos no maderables**

En la actualidad existen más de 4 000 especies empleadas como productos forestales no maderables (PFNM), muchas de las cuales han alcanzado una cadena de comercialización (SCDB 2001), y al menos 150 productos de comercio

internacional (FAO 2008), por lo cual radica la importancia de la evaluación de estos recursos. La importancia de evaluar los recursos no maderables radica en que tiene un rol vital en la generación de alimentos, medicinas empleo, ingresos, forrajes lo cual contribuye al bienestar de la comunidad (López-Camacho, 2008).

## **2.9 Modelos alométricos**

Salett-Biembengut y Hein (1999), mencionan que los modelos matemáticos están constituidos por relaciones matemáticas (ecuaciones y desigualdades) que son estipulados en términos de variables, que plasman la esencia del problema que se quiere solucionar, establece que un modelo siempre debe tener menos complejidad que el problema real, ya que es una aproximación abstracta de la realidad con simplificaciones y consideraciones que permiten manipular el problema y permiten calcular eficientemente las alternativas de solución.

La alometría es la relación de los cambios en la forma y el tamaño total de los individuos, en la que se mantiene la proporción de magnitudes; un ejemplo son las plantas en los parámetros como la altura, diámetro, volumen y biomasa (Delgado *et al.*, 2005). Para describir el comportamiento entre las variables independientes y dependientes que representan las dimensiones de un individuo se emplean las ecuaciones o modelos alométricos. Estos modelos se han utilizado para estimar el contenido de biomasa (Álvarez, 2008). Los parámetros necesarios para utilizar estos modelos son diámetro a la altura del pecho (*dap*), altura, diámetro (Gómez *et al.*, 2011). Los modelos alométricos favorecen el cálculo de la biomasa de los recursos forestales maderables y no maderables, basándose de la correlación que existe entre las variables de difícil medición (pesos) y aquellas que tienen mayor

facilidad de ser medidas en caso de recurso no maderable (altura total y diámetro de cobertura) (Álvarez, 2008).

Posada et al. (2007), expresa que los modelos alométricos facilitan la estimación de los datos que se obtienen de las mediciones (altura, diámetro) valiéndose de la correlación existente entre las variables medidas con el objetivo de evaluarlos para seleccionar aquellos que determinen el mejor balance entre su complejidad y la capacidad de ajuste de los datos, asimismo, mencionan que los modelos con un mayor número de parámetros tienden a ajustar mejor una base de datos, pero además estos tienden a ser más inestables lo que provoca modelar la variabilidad de esos datos más que su tendencia.

El principio de crecimiento alométrico mide una parte del individuo en relación con el individuo entero o alguna parte del mismo, si bien, en los estudios de crecimiento en altura y diámetro, es de mucha utilidad el análisis de las relaciones entre diferentes extensiones de la planta (Gayón, 2000).

## **2.10 Tablas de producción**

Las tablas de producción o tablas de volumen, se definen como una expresión tabular de valores predichos por una ecuación alométrica (Fucaraccio y Staffieri, 1999). La importancia de las tablas radica en que son una herramienta para conocer de manera confiable las existencias reales y poder realizar un manejo sostenible; así como para la comercialización de los productos (Rondeux, 2010), se elaboran con variables dasonómicas fácil de medir (altura total, diámetro) (Muñoz *et al.*, 2012).

Las tablas de volumen son el fundamento de los inventarios forestales, ya que a través de estas se calcula el volumen y por ende las existencias volumétricas; sin embargo, son ecuaciones generadas para especie y lugar donde se elaboró (Romahn *et al.*, 1994).

### **2.11 Estudios afines mediante modelos matemáticos**

En estudios de especies de zonas áridas se aplica el análisis dimensional como una técnica confiable utilizando variables de fácil medición (altura y diámetro) para ajustar modelos de predicción y poder elaborar tablas de doble entrada con la finalidad de estimar biomasa y volumen de las plantas (Porté *et al.*, 2000).

Herrera, Del Valle y Orrego (2001), realizaron un trabajo en la cuenca media del río Porce, ubicada en la parte baja de la cordillera Central de los Andes colombianos, donde se cuantificó el aporte de la vegetación herbácea y leñosa pequeña (*VH Y LP*) entre las coberturas de bosques primarios y secundarios como parte de la biomasa aérea, en la cual se utilizó un modelo de tipo exponencial negativo para ver la relación entre el área basal de los bosques con su acumulación, el resultado obtenido del modelo en el ajuste  $R^2$  fue muy bajo de 0.2627, mostrando la alta variabilidad que presenta el material.

Belmonte y López-Bermúdez (2003), realizaron un estudio en el campo experimental de El Ardal situado en la Cuenca del Río Mula, Murcia en el Sureste de España, el objetivo principal de este trabajo fue establecer relaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea (ramas, hojas y biomasa total), de *Thymus vulgaris* en condiciones mediterráneas semiáridas, se utilizó un modelo lineal donde

se obtuvo un resultado muy significativo con coeficientes de correlación  $R^2 = 0.98$  y  $0.96$  respectivamente, y con niveles de significación  $P < 0.001$ .

Fassola et al. (2005), realizaron un ensayo situado en las cercanías de la localidad de Santo Tomé, Provincia de Corrientes Argentina con el objetivo de obtener datos de la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* Valls bajo distintas estructuras del dosel de *Pinus taeda* L, entre los cinco y diez años del rodal, estos fueron utilizados para ajustar modelos predictivos de la producción anual del estrato herbáceo, se utilizó el análisis de correlación de Pearson y fue posible establecer que se presentó un alto grado de asociación con la biomasa herbácea con un ajuste de  $R^2 = 0.71$ .

Marabel-García y Álvarez-Taboada (2014), realizaron un estudio en el municipio de Villanueva de la Cañada (Madrid) sobre estimación de biomasa en herbáceas a partir de datos hiperespectrales, regresión PLS y la transformación continuum removal (CR), con el objetivo de comparar los resultados de los métodos mencionados, en ambos casos se realizó una previa transformación de los espectros mediante Continuum Removal (CR) y el resultado encontrado empleando PLS fue de un ajuste de  $R^2=0.92$ ,  $RMSE=3,622$  g/m<sup>2</sup>, fueron muy similares a los obtenidos con los índices de área sobre el mínimo con un ajuste de  $R^2=0.91$ ,  $RMSE=3,615$  g/m<sup>2</sup>.

Villavicencio-Gutiérrez et al. (2018), realizaron un estudio en los municipios General Cepeda, Parras de la Fuente y Ramos Arizpe, en Coahuila de una especie aromática oregano loco (*Lippia graveolens* Kunth) con la finalidad de determinar las relaciones alométricas para seleccionar un modelo que estime la biomasa foliar

seca, se utilizó diez modelos lineales y no lineales mediante el procedimiento de proc model y el modelo seleccionado fue el de Schumacher-Hall con un resultado de ajuste de  $R^2= 0.80$  y el menor valor en la raíz del cuadrado medio del error (RCME, 0.304), considerando la significancia de sus parámetros ( $p \leq 0.0001$ ).

Cuadro 3. Estudios de herbáceas mediante modelos matemáticos.

Grupo de especies	R <sup>2</sup>	Modelo	Autor
Vegetación herbácea y leña pequeña (VH y LP)	0.2627	Modelo tipo exponencial negativo	Herrera, Del Valle y Orrego, (2001).
Ballica ( <i>Lolium perenne</i> ), espiguilla ( <i>Poa pratense</i> ) y trébol blanco ( <i>Trifolium repens</i> )	0.92	Lineal múltiple y lineal simple	Marabel-García y Álvarez-Taboada, (2014).
Orégano ( <i>L. graveolens</i> )	0.81	No Lineal $Y=(a)(DP^b)(At^c)$	Villavicencio-Gutiérrez <i>et al.</i> , (2018).
Tomillo ( <i>T. vulgaris</i> )	0.95	Lineal	Belmonte y López-Bermúdez, (2003).
Gramma brasileña ( <i>Axonopus jesuiticus</i> valls)	0.71	Lineal	Fassola <i>et al.</i> , (2005).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

Cuadro 4. Materiales y equipos utilizados para el muestreo.

Físicos	Equipo	Transporte	Especies en estudio
Material diverso (bolsas de papel de diferente tamaño, plumones, cinta métrica, costales, hojas blancas), macetas y contenedores.	Brújula, Altímetro, GPS y cámara fotográfica	Vehículo, Combustible	Menta ( <i>Hedeoma drummondii</i> Benth.).
Material de jardinería (rozaderas, azadón, tijeras, guantes) y material de uso directo (etiquetas, papelería, reglas).			
Otros materiales complementarios.			

#### 3.1 Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en poblaciones naturales de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.), distribuidas en el municipio de Saltillo en Coahuila, entre las coordenadas 100° 56' 51" longitud oeste y 25° 16' 59.988" latitud norte, con un intervalo de altitud de 2,300 a 2,330 msnm. Los suelos predominantes son del tipo

Litosol, xerosol y yermosol (calcico y háplico), de textura media sin problemas de salinidad (INEGI, 2005). El clima de la región según la clasificación de Köppen modificado por García (2004) e INEGI (2005) es de tipo BS1hw (semiárido-semicálido) y BSohw (muy árido-semicálido) con temperatura media de 18 y 20 °C con valores extremos desde -4 hasta 45 °C y una precipitación anual de 125 a 400 mm. La menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) es una especie arbustiva con brotes anuales que está dentro de la vegetación denominada matorral xerófilo, asociada florísticamente a plantas como cholla (*Opuntia choya*), mezquite (*Prosopis, spp.*), pitahaya dulce (*Stenocereus thurberi* (Engelm. Buxb.), entre otras (Wiggins, 1980).

### **3.2 Fisiografía- clima**

Forman parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y Occidental, posee un clima semiárido con un rango de temperatura que va de los 12 – 22 °C y un rango de precipitación que va de los 200 - 600 mm y un clima Seco templado con lluvias en verano, semiseco templado con lluvias en verano, muy seco semicálido con lluvias en verano, seco semicálido con lluvias en verano y semifrío subhúmedo con lluvias escasas todo el año (INEGI, 2010).

### **3.3 Geología-edafología**

El sitio tiene un afloramiento del periodo cretácico, Paleógeno cuaternario, jurásico, neógeno, no aplicable, no disponible, terciario y triasico. Posee un tipo de roca con suelo: aluvial y lacustre. Sedimentaria: conglomerado caliza, lutita-arenisca, calizalutita, volcanosedimentaria, limolita-arenisca, areniscaconglomerado y lutita. Metamórfica: esquisto y filita. ígnea extrusiva: basalto. ígnea intrusiva: granodiorita.

Posee un suelo dominante de calcisol, leptosol, phaeozem, regosol, kastañozem, solonchak y chernozem (INEGI, 2010).

### **3.4 Hidrología**

Hidrológicamente se ubican en las vertientes del Golfo de México y cuencas cerradas del norte y Región Hidrológica 24 (Bravo–Conchos) (Comisión Nacional del Agua, 2002).

### **3.5 Uso de suelo y vegetación**

El uso de suelo radica principalmente de la agricultura. Su vegetación está compuesta principalmente de matorral, bosque, pastizal, áreas sin vegetación y mezquital (INEGI, 2010).

### **3.6 Levantamiento de datos y diseño de muestreo**

La muestra se conformó de 329 individuos de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) distribuidos en siete poblaciones localizadas en un municipio del sureste del estado de Coahuila (Cuadro 5 y Figura 4).

Cuadro 5. Número de poblaciones y plantas de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) muestreadas en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

Estado	Municipio	Localidad	Coordenadas							Exposición	Altitud (msnm)	No. de sitios	Individuos muestreados
			Longitud		Latitud								
Coahuila	Saltillo	1 Cuauhtémoc	100	56	41.7	25	16	48.3	S	2286	1	44	
		2 Cuauhtémoc	100	57	20	25	16	57.9	S		1	47	
		3 Cuauhtémoc	100	56	40.7	25	16	49.2	S		1	43	
		4 Cuauhtémoc	100	57	8.8	25	17	4.3	S		1	39	
		5 Cuauhtémoc	100	57	7.9	25	17	4.9	S		1	50	
		6 Cuauhtémoc	100	57	20.9	25	16	57.5	S		1	54	
		7 Cuauhtémoc	100	57	21.7	25	16	57.6	S		1	52	
Total										7	329		

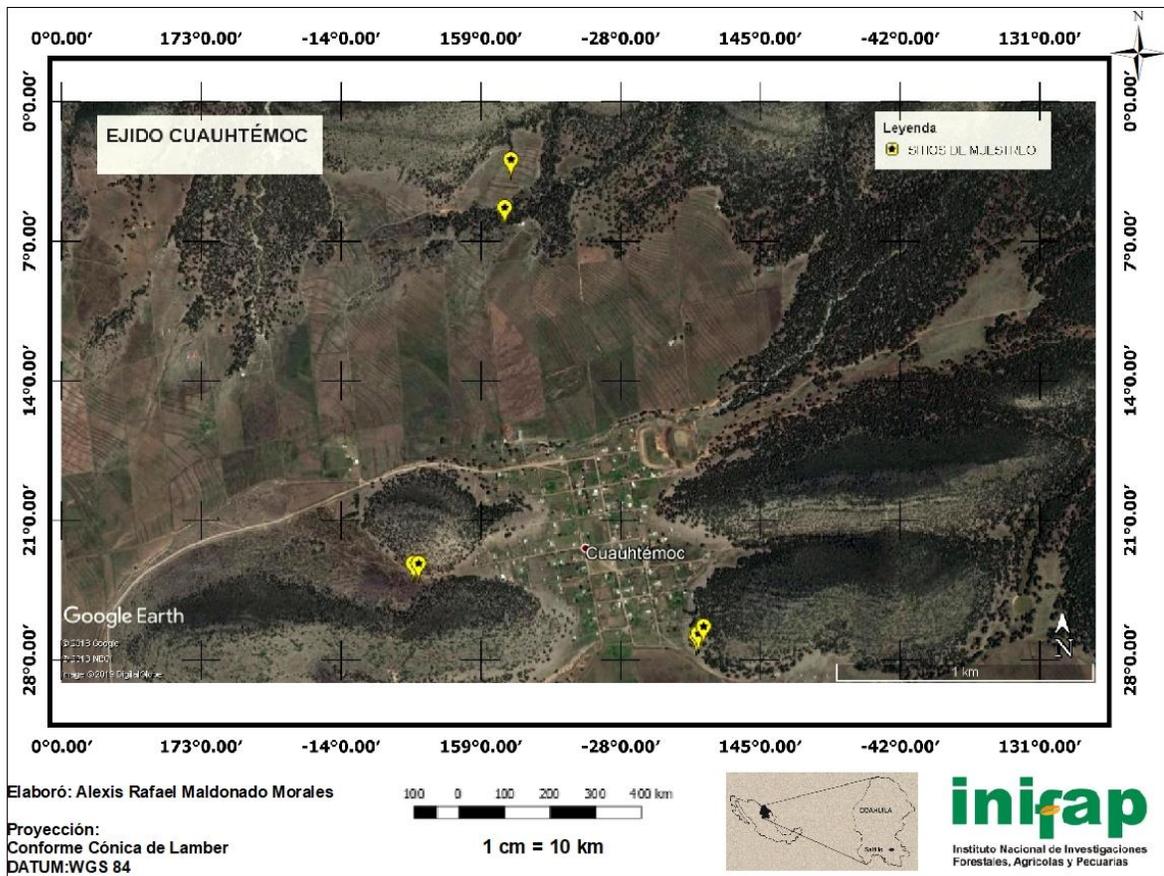


Figura 4. Distribución geográfica de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

### 3.7 Datos de campo

Para la toma de las variables dasométricas de las especies, 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 ( $A_t$ ), diámetro mayor arbustivo ( $DM$ ) y diámetro menor arbustivo ( $D_m$ ) expresadas en centímetros (cm) considerando todas las categorías de altura y cobertura de los arbustos en pie.

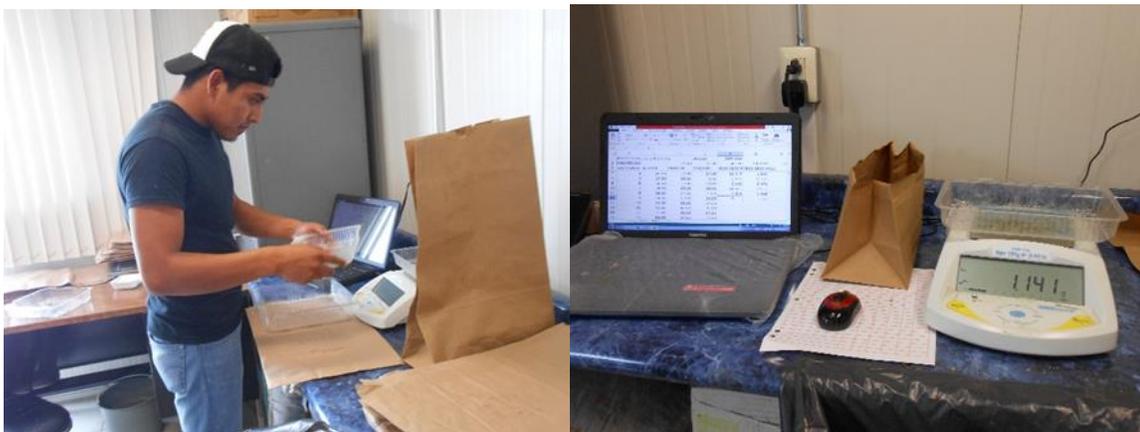
La altura total ( $A_t$ ) de la planta se midió en centímetros ( $cm$ ) desde la base del suelo hasta la punta de las ramas más altas, el diámetro promedio ( $D_p$ ) de la cobertura foliar del arbusto se calculó considerando la medición de dos diámetros perpendiculares diámetro mayor ( $DM$ ) y diámetro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



Fotografía 2. Medición de variables dendrométricas de menta (*Hedeoma drummondii* Benth): A) Selección del sitio; medición de variables B) altura total, C) diámetro de cobertura.

### 3.8 Obtención de biomasa

Posterior al registro de las variables independientes, se aplicó un muestreo destructivo de las plantas durante la época de aprovechamiento (julio a octubre) considerando la mayor variación de tamaños de la especie de interés. A las plantas seleccionadas se les cortó el follaje (tallos y hojas) considerando 3.0 cm desde la base de la planta, 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 por planta, la cual es el componente aprovechable y de importancia comercial en estas especies.



Fotografía 3. Obtención de variables de biomasa de menta (*Hedeoma drummondii* Benth): a) Peso de hoja seca y b) registro de biomasa foliar seca.

### 3.9 Análisis estadístico

Las variables alométricas de altura total ( $At$ ) y diámetro promedio ( $Dp$ ) se analizaron para obtener la mejor relación con la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ). Las variables relacionadas en mayor grado con la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) fueron empleadas para ajustar modelos de regresión tipo no lineal, los cuales han presentado resultados adecuados en estudios semejantes Villavicencio-Gutiérrez *et al.*, (2018) donde realizaron un estudio para la estimación de biomasa foliar seca de una planta aromática orégano del monte (*Lippia graveolens* Kunth.) del sureste de Coahuila; Montalvo, (2018) realizó un estudio de estimación de biomasa y rendimiento de hoja seca de orégano del monte (*Lippia graveolens* Kunth.) en el municipio de Melchor Ocampo, Zacatecas; Belmonte y López-Bermúdez, (2003) estimaron la biomasa de una especie vegetal mediterránea, tomillo (*Thymus vulgaris* L.) con datos de medición sencilla (Cuadro 7).

Cuadro 6. Modelos ajustados para estimar la biomasa foliar seca de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.).

No.	Modelo	Estructura
1	Alométrico	$Bfs = B_0 (DpAt)^{B1}$
2	Coeficiente mórfico constante	$Bfs = B_1 (Dp^2 At)$
3	Modelo australiano	$Bfs = B_0 + B_1 Dp^2 + B_2 At + B_3 Dp^2 At$
4	Potencia	$Bfs = B_0 (Dp)^{B1}$

5	Schumacher	$Bfs = B_0 e^{(-B_1 / Dp)}$
6	Schumacher-Hall	$Bfs = B_0 (Dp)^{B_1} (At)^{B_2}$
7	Spurr	$Bfs = B_1 (Dp^2 At)^{B_2}$
8	Takata	$Bfs = \frac{Dp^2 At}{(B_0 + B_1 Dp)}$
9	Thornber	$Bfs = B_0 \left( \frac{At}{Dp} \right) (Dp^2 At)$
10	Variable combinada lineal	$Bfs = B_0 + B_1 (Dp^2 At)$

---

*At*: altura total (cm). *Dp*: diámetro promedio de cobertura (cm). *Bfs*: Biomasa foliar seca *B<sub>n</sub>*: parámetros del modelo. *e*: exponencial de la expresión.

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 en este caso se eliminaron 13 datos, que podrían afectar los estadísticos de regresión. El modelo seleccionado para estimar la biomasa foliar seca (*Bfs*) fue el que presentó los valores mayores de coeficiente de determinación ajustado (*R<sup>2</sup> aj.*) y el valor más bajo de la raíz cuadrada media del error (*RCME*), además de la significancia de sus parámetros (*P* ≤ 0.05). Para la verificación de los supuestos de regresión se aplicaron las pruebas de Shapiro-Wilk para la normalidad, la prueba de White para detectar heterocedasticidad, y por último, la prueba de Durbin-Watson que realiza la prueba de colinealidad entre variables integradas en el modelo. Los modelos de

regresión fueron ajustados en el programa de SAS 9.4, mediante el procedimiento *proc model*.

### 3.9.1 Prueba de Durbin-Watson

En la estadística de los datos se utilizó la prueba de Durbin-Watson ( $d$ ) para detectar la presencia de autocorrelación que se define como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^T (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T e_t^2}$$

Donde ( $e_t$ ) son los residuales asociados a la observación con el tiempo ( $t$ ), y donde ( $T$ ) se conoce como el número de observaciones, el estadístico ( $d$ ) tiene valores entre ( $0 \leq d \leq 4$ ) que plantea la siguiente hipótesis:

$$H_0 = \text{sin autocorrelación positiva}$$

$$H_1^* = \text{sin autocorrelación negativa}$$

Donde; se establece que se rechaza la  $H_0$  si  $d < d_L$ , no se rechaza si  $d > d_U$  y no se puede concluir cuando el resultado del contraste está comprendido entre  $d_L$  y  $d_U$ . Dada la complejidad de interpretar este estadístico se plantea la siguiente regla de decisión (Gujarati y Poter, 2010).

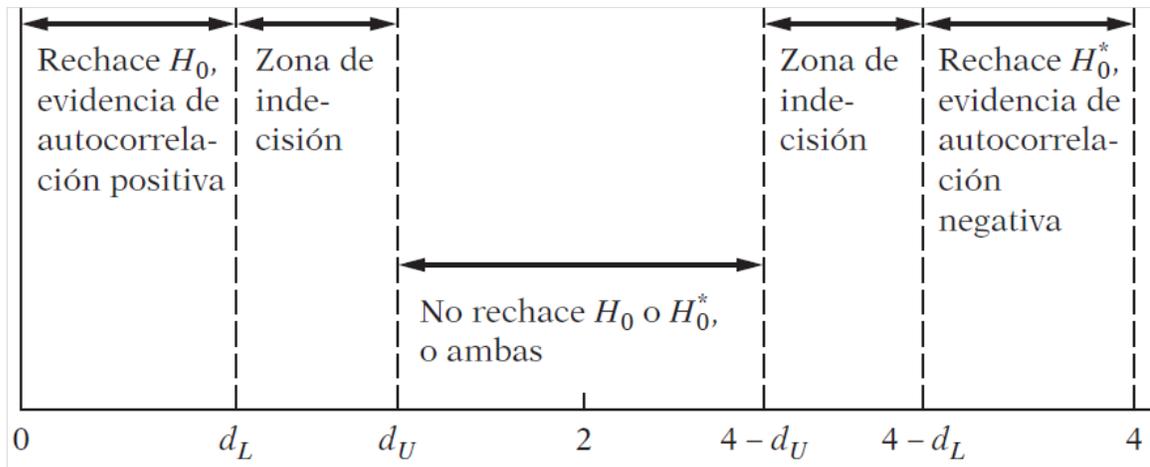


Figura 5. Regla de decisión para el estadístico ( $d$ ) de Durbin-Watson (Guajarati y Poter, 2010).

Donde ( $d_L$ ) se expresa como el límite inferior y ( $d_U$ ) como el límite superior de los valores en la tabla estadística de Durbin-Watson.

### 3.9.2 Prueba de Shapiro-Wilk

El test de normalidad ( $W$ ) tiene como objetivo determinar si una muestra que esta de manera aleatoria presenta una distribución normal, basándose en las desviaciones estadísticas de las muestras con respecto a los valores esperados de los estadísticos con orden de la normal estándar, es decir,  $e_i \sim N(0, \sigma^2)$  (Guajarati y Poter, 2010).

La prueba de Shapiro-Wilk se conoce como una de las pruebas numéricas más utilizadas debido a que presenta resultados adecuados ya que se usa para contrastar la normalidad de una cantidad de datos (Shapiro y Wilk, 1965). 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).

Se establece que el valor de normalidad  $(W)$  puede oscilar en los valores que están entre  $(0 \leq W \leq 1)$ , donde valores cercanos a 1 se consideran como una muestra que se ajusta a una distribución normal.

La prueba de Shapiro-Wilk plantea la siguiente hipótesis.

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

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

### 3.9.3 Prueba de White

La prueba general de White utilizada para la detección de la heteroscedasticidad en el modelo de regresión lineal, que analiza la significancia de una regresión auxiliar en donde se pretende explicar que 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

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

La hipótesis nula ( $H_0$ ) establece que no existe 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 valora de ji calculado es menor al de las tablas o cuando el valor ( $p$ ) obtenida es mayor al nivel de significancia establecida (Gujarati y Poter, 2010).

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

### 3.10 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

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

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Estadísticas básicas

Los primeros resultados de los datos de las variables independientes registraron que en el área donde se distribuye la menta existe una variabilidad en la conformación de las plantas, existiendo individuos con una altura total mínima ( $At$ ) mínima de 4 cm y altura total ( $At$ ) máxima de 25 cm con una desviación estándar de 3.897, también se tiene el diámetro promedio ( $Dp$ ) mínimo de 1 cm y diámetro promedio ( $Dp$ ) máximo de 17 cm, con una desviación estándar de 2.559 cm. Además la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) mínima de 0.005 g la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) máxima de 0.483 g con una desviación estándar de 0.064 g (Cuadro 7).

Cuadro 7. Estadísticas básicas de las variables dasométricas de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) en Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

Variable	Desv. Est.	Mín.	Máx.
Altura (cm)	3.897	4	25
Diámetro Mayor (cm)	3.164	1	21
Diámetro menor (cm)	2.219	1	13
Diámetro promedio (cm)	2.559	1	17
Biomasa foliar seca (g)	0.064	0.005	0.483

## 4.2 Estadísticas de bondad de ajustes de los modelos

Se realizó una corrida con todos los datos para el ajuste de los modelos, como no se obtuvo una  $R^2$  aj. adecuada (valores cercanos a uno), se eliminaron 13 datos con la detección de puntos influyentes, mediante la programación “*r influence*” en SAS en donde los valores *studentizados* mayores a (+2) y menores a (-2) se eliminaron. Posteriormente se realizaron otras corridas y de los 329 datos utilizados finalmente los modelos se ajustaron con 316 datos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Estadística de los modelos para determinar la biomasa foliar seca de menta (*Hedeoma drummondii* Benth).

Modelo	Parámetro	Valor	$Pr >  t $	$R^2$ aj.	RCME	CV (%)	SC error
1	$\beta_0$	0.004528	<.0001	0.7764	0.0301	34.31	0.251876
	$\beta_1$	0.773049	<.0001				
2	$\beta_1$	0.000118	<.0001	-0.0137	0.064	72.94	6.762335
	$\beta_0$	0.017304	0.0306				
3	$\beta_1$	0.001327	<.0001	0.7944	0.0288	32.82	-0.00085
	$\beta_2$	0.003256	<.0001				
	$\beta_3$	6.36E-06	0.6013				
4	$\beta_0$	0.011029	<.0001	0.7044	0.0346	39.44	0.585733
	$\beta_1$	1.284971	<.0001				
5	$\beta_1$	0.467449	<.0001	0.5221	0.0439	50.03	1.372999
	$\beta_2$	8.233961	<.0001				
6	$\beta_0$	0.005321	<.0001	0.7821	0.0297	33.85	0.298618

	$\beta_1$	0.892523	<.0001				
	$\beta_2$	0.616378	<.0001				
<b>7</b>	$\beta_0$	0.006099	<.0001	0.7798	0.0298	33.96	0.345446
	$\beta_1$	0.490953	<.0001				
<b>8</b>	$\beta_0$	-486.223	<.0001	0.7303	0.033	37.61	1.202776
	$\beta_1$	720.2726	<.0001				
<b>9</b>	$\beta_0$	0.00008	<.0001	0.1409	0.0589	67.13	5.65404
<b>10</b>	$\beta_0$	0.060935	<.0001	0.7274	0.0332	37.84	-0.01581
	$\beta_1$	0.000082	<.0001				

$\beta_n$ : parámetros del modelo.  $P_r > |t|$ : significancia (0.05).  $R^2$  aj:  $R$  cuadrada ajustada.  $RCME$ : raíz cuadrada media del error.  $CV$  (%): coeficiente de variación en porcentaje.  $\sum |Sc\ error|$ : suma cuadrada de los residuales.

De las observaciones de los resultados obtenidos se analizaron todos los modelos, mediante el cual se determinó que las variables de altura total ( $At$ ), diámetro promedio ( $Dp$ ) generan una interacción muy significativa en relación a la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) ( $p \leq 0.0001$ ). De todos los modelos aplicados el ajuste estadístico fue similar para todos, de los cuales destacó el modelo 3 y 6 (Cuadro 8), con valores de  $R^2$  aj. más altos y más bajos en  $RCME$ . Sin embargo, el modelo 3 presento problemas de probabilidad en la significancia de los parámetros estadísticos, por lo tanto se eligió el modelo 6 ya que no presento problemas de autocorrelación, normalidad y heterocedasticidad, los valores obtenidos del modelo con respecto a sus variables  $R^2$  aj. (0.7821) y de la  $RCME$  (0.0297) un coeficiente de variación ( $CV = 33.85\%$ ), también la suma cuadrada de los residuales ( $SC\ error = 0.298618$ ) y una

significancia ( $p \leq 0.05$ ) en todos sus parámetros de manera que fue el que se aplicó para estimar la biomasa foliar seca de menta.

El modelo que presentó los mejores estadísticos y que no presentó ninguna dificultad corresponde al de Schumacher-Hall, modelo alométrico que es de tipo sigmoideal (Cuadro 8); además utiliza las variables independientes de altura total ( $At$ ), diámetro promedio ( $Dp$ ) que se identifican con la forma de la planta herbácea de menta y con los cuales se puede generar una tabla de doble entrada para que los productores primarios estimen la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) (Figuras 5 y 6).

El modelo de Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca ( $Bfs$ ) quedo estructurado de la siguiente manera como se indica a continuación:

$$Bfs = 0.005321(Dp)^{0.892523}(At)^{0.616378}$$

Con respecto a la estructura del modelo se dice que la altura total ( $At$ ), diámetro promedio ( $Dp$ ) están correlacionados de manera importante con la biomasa foliar seca de la menta; es decir, sus estimaciones son verídicas para ser utilizados por especialistas en la materia para estimar la biomasa foliar seca en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila (Figuras 5 y 6).

A nivel general, y por lo que respecta al comportamiento de los datos, se puede observar que existe un alto grado de similitud entre los resultados de los demás modelos. En orden de importancia con respecto a su  $R^2$  aj. y su  $RCME$  los modelos que le siguen al modelo 6 son los modelos 3, 7, 1, 8, 10, 4 (Cuadro 8) haciendo referencia que tienen un ajuste de  $R^2$  aj. que va de (0.70 a 0.77) y los modelos 5, 9, 2 (Cuadro 8) un ajuste de  $R^2$  aj. (-0.013 a 0.52) que fueron los menos significativos.

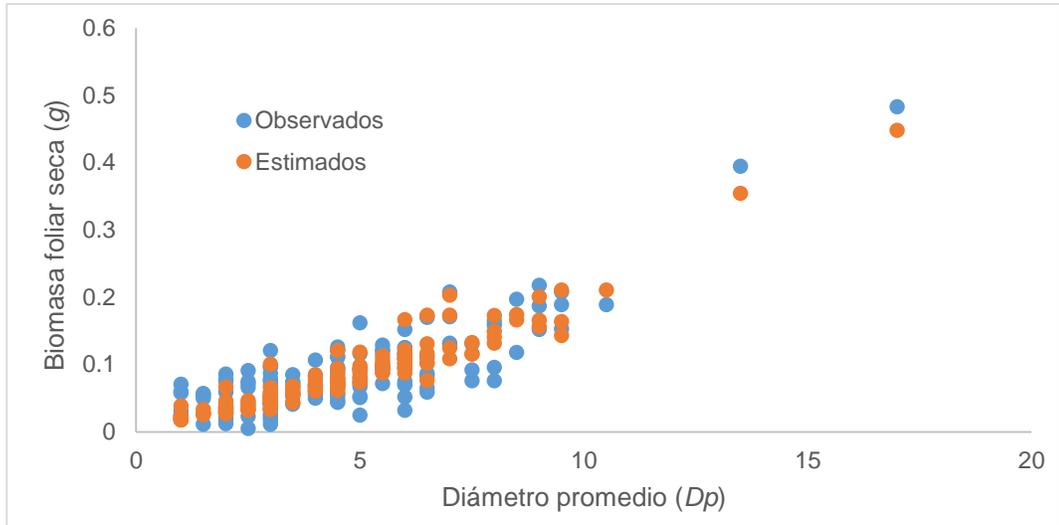


Figura 6. Valores observados diámetro promedio y estimados del modelo Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca de menta (*Hedeoma drummondii* Benth) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

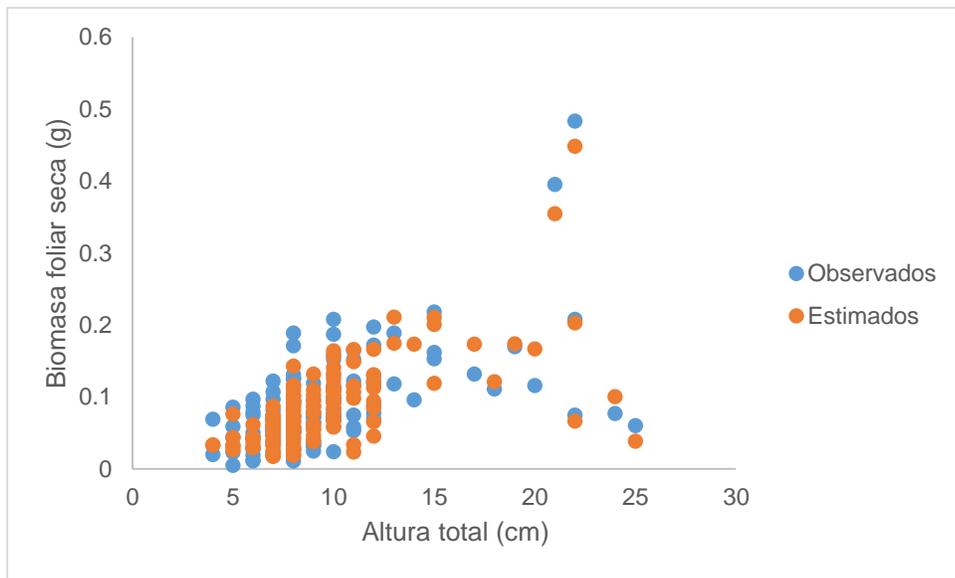


Figura 7. Valores observados altura total y estimados del modelo Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca de menta (*Hedeoma drummondii* Benth) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

#### 4.2.1 Prueba de Durbin-Watson

Para la presencia de autocorrelación en el modelo Schumacher-Hall el estadístico ( $d$ ) fue de 2.0145, con un valor ( $n$ ) de 316, 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  $d_U$  es de 1.7, entonces:

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

$$1.7 \leq 2.01 \leq (4 - 1.7)$$

$$1.7 \leq 2.01 \leq 2.3$$

Por lo tanto, para el modelo Schumacher-Hall el estadístico ( $d$ ) se encuentra en la zona de aceptación por lo que no se rechaza ( $H_0$ ), se concluye a un nivel de significancia del 95 % que no hay autocorrelación de los residuales (Figura 8).

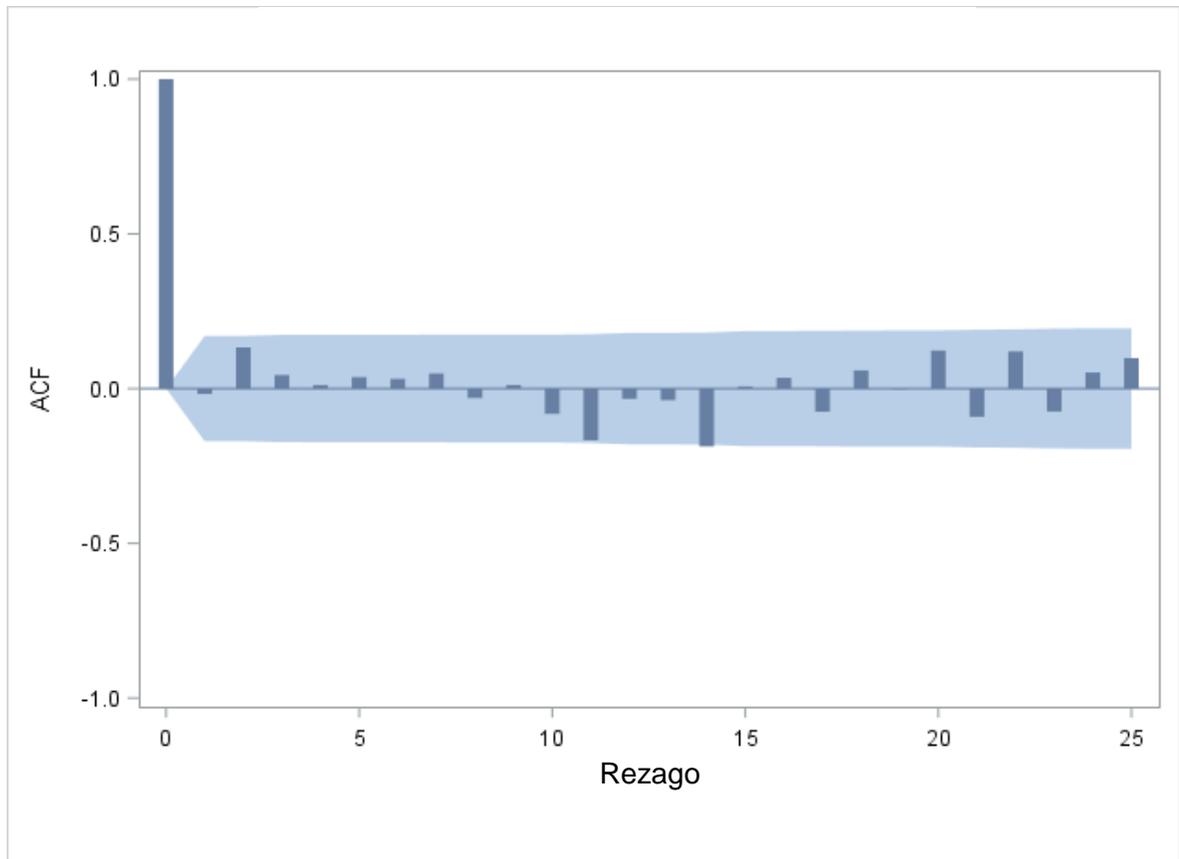


Figura 8. Distribución de la autocorrelación de los residuales del modelo de Schumacher-Hall de la biomasa foliar seca de menta (*Hedeoma drummondii* Benth) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

#### 4.2.2 Prueba de Shapiro-Wilk

El test de normalidad ( $W$ ) para el modelo Schumacher-Hall se obtuvo  $W$  de 0.99 la cual es cercano a 1, sugiriendo que los errores se distribuyen normalmente, con una probabilidad de contraste ( $p$ -Value) de 0.31 mayor a 0.05 y planteada la ( $H_0$ ) se concluye a un nivel de significancia de 95 % que los residuales si provienen de una distribución normal (Figuras 9 y 10).

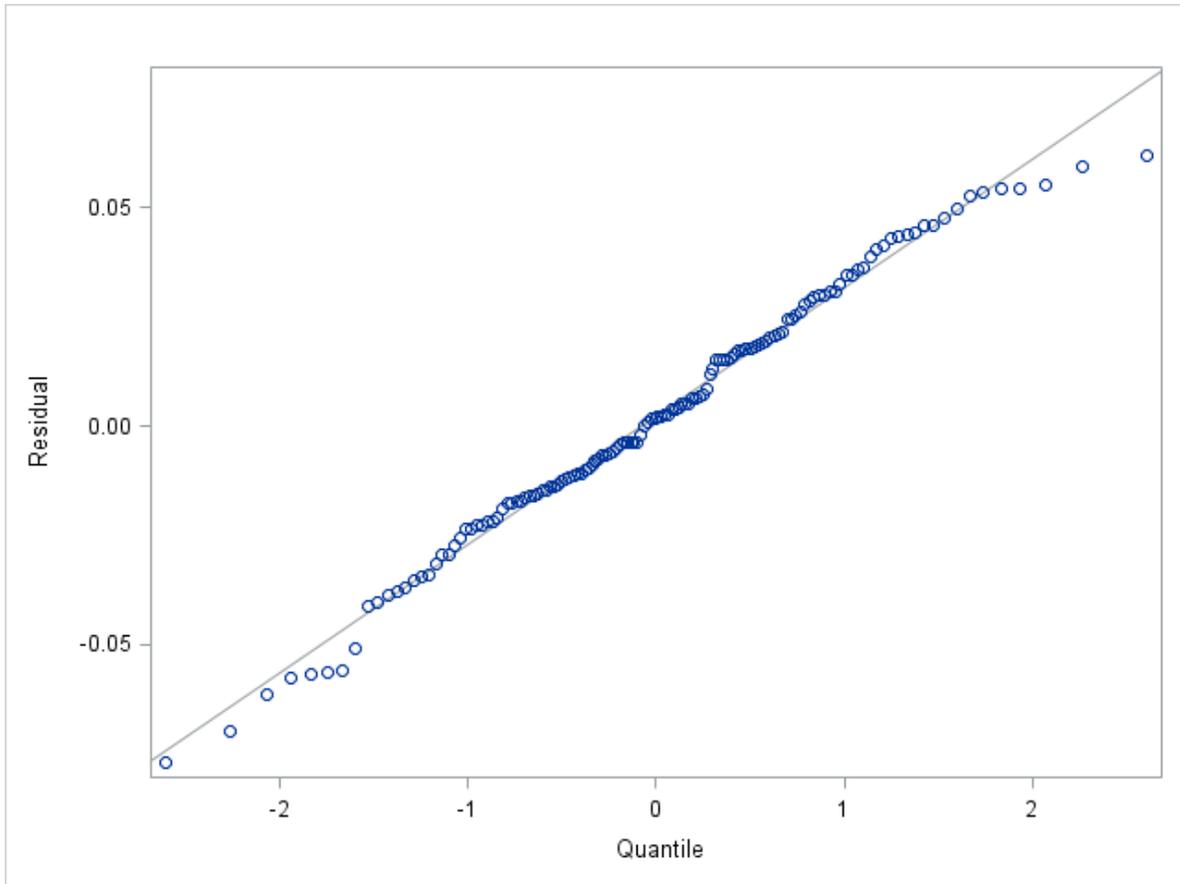


Figura 9. Normalidad de Q-Q plot de los residuales del modelo de Schumacher-Hall para estimar la biomasa foliar seca para menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

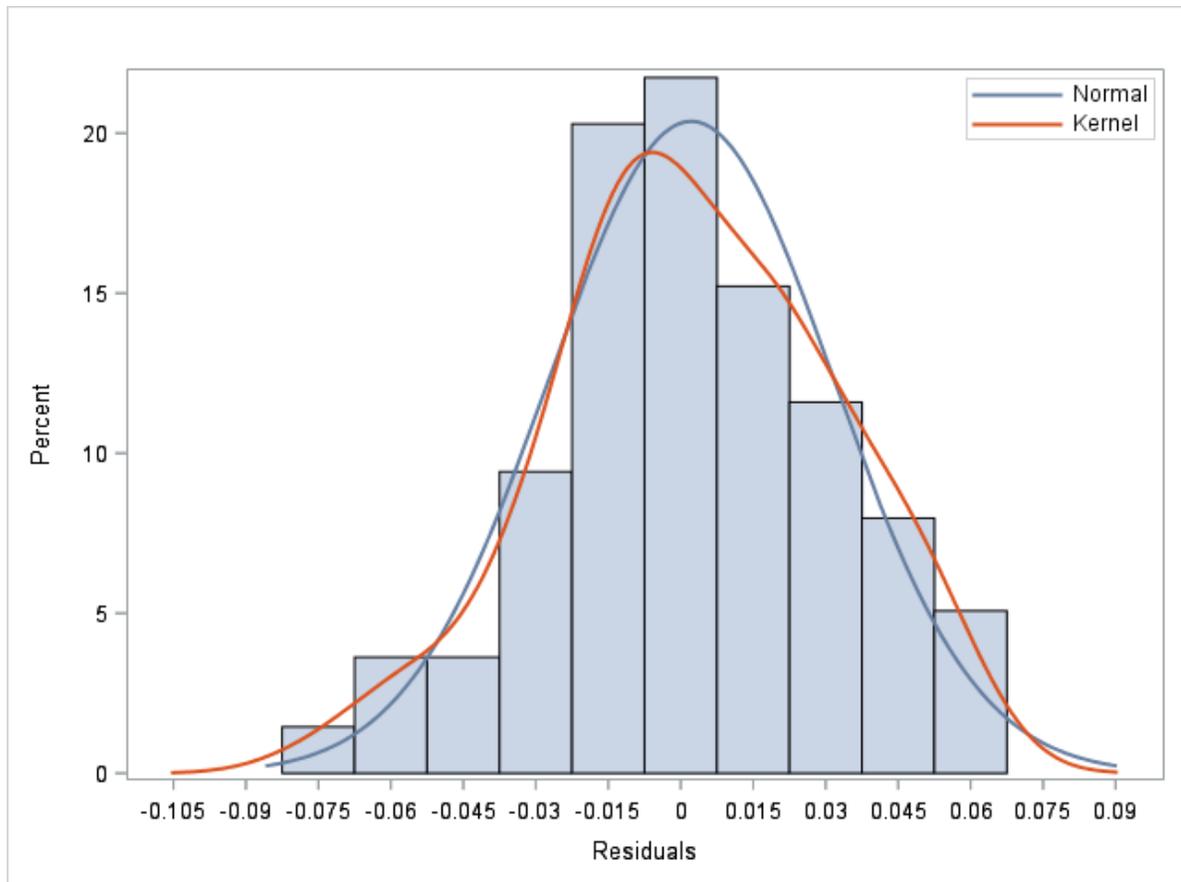


Figura 10. Histograma de residuales del modelo de Schumacher-Hall para menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

#### 4.2.3 Prueba de White

La prueba general de White para el modelo de Schumacher-Hall estimado para menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) el valor de  $\chi^2$  calculado fue de 12.56, 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 acepta, dado que el valor  $\chi^2$  calculado es menor al de las tablas, por lo tanto los residuales no presentan heterocedasticidad, es decir, las varianzas de los residuales son constantes (Figura 11).

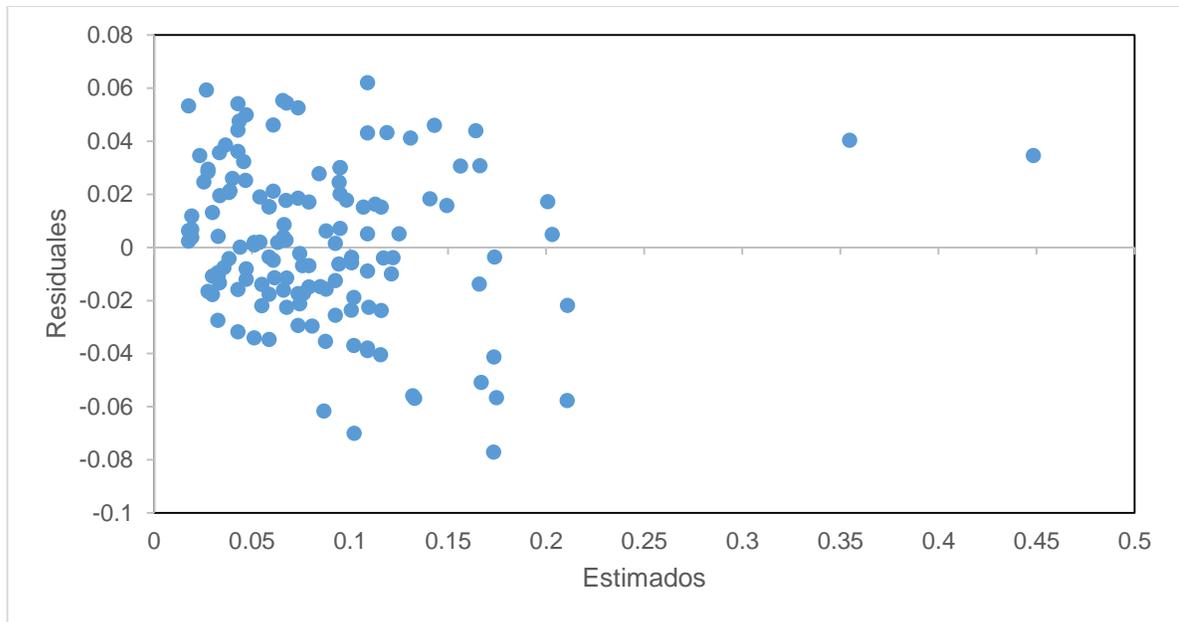


Figura 11. Residuales sin presencia de heterocedasticidad de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

### 4.3 Capacidad predictiva del modelo

Para el modelo de Schumacher-hall de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) corregido mediante la diferencia agregada se obtuvo un valor de 0.0022 y para la diferencia agregada porcentual un valor de 0.22 % por lo tanto se define que el valor es un porcentaje menor a 1 % lo cual asegura la validez del modelo.

De los 10 modelos no lineales ajustados estadísticamente para la estimación de la biomasa foliar seca de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.), siete de ellos presentaron un valor de  $R^2_{aj}$  en un rango de 0.70 y 0.77, de manera que se establece que la biomasa foliar seca está en función de sus variables alométricas; donde la altura total ( $A_t$ ) y diámetro promedio de la cobertura ( $D_p$ ), tienen una mayor relación para su estimación.

Trabajos afines realizados en estimación de biomasa foliar seca en otras especies de herbáceas aromáticas y arbustivas como es el caso del tomillo (*Thymus vulgaris*) refieren que utilizando parámetros de medición sencilla como la altura y diámetro de la planta como los utilizados en el presente estudio, Belmonte y López-Bermúdez (2003), encontraron que en regiones semiáridas de Murcia en España la biomasa total y foliar del tomillo puede estimarse mediante ajustes de modelos lineales a partir de estas variables independientes. Belmonte y López-Bermúdez (2003), obtuvieron una correlación de  $R^2 = 0.9586$ , en su modelo, mientras que con menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) se obtuvo una correlación de  $R^2 = 0.7821$  para la estimación de biomasa foliar seca.

En especies de herbáceas para uso forrajero como *Axonopus jesuiticus* Valls Fassola et al. (2005), utilizaron datos de biomasa para ajustar modelos predictivos mediante un análisis de correlación con el método de Pearson y regresión lineal aplicando los supuestos de normalidad y homogeneidad. Ellos establecieron que la biomasa herbácea tiene un alto grado de asociación con las variables altura y diámetro de la planta, obteniendo una correlación de  $R^2 = 0.71$ , siendo este valor menor al obtenido para el caso de la menta ( $R^2 = 0.7821$ ).

En el caso de las siguientes especies de herbáceas Ballica (*Lolium perenne*), espiguilla (*Poa pratense*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) Marabel-García y Álvarez-Taboada (2014), realizaron en Villanueva de la Cañada (Madrid) un estudio para determinar la biomasa a partir de datos hiperespectrales, regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) y la transformación continuum removal (CR), en ambos casos se obtuvo un resultado significativo empleando regresión de mínimos

cuadrados parciales (*PLS*) un ajuste de  $R^2 = 0.92$  con un valor de  $RMSE = 3.622$  valores que son mayores a los resultados obtenidos con la especie de menta con una correlación de  $R^2 = 0.7821$  y un valor de  $RCME = 0.0297$  ambos significativos.

Finalmente Villavicencio-Gutiérrez et al. (2018), realizaron un estudio similar en los municipios General Cepeda, Parras de la Fuente y Ramos Arizpe, en Coahuila, donde ajustaron los mismos diez modelos no lineales para estimar la biomasa foliar seca de orégano liso (*L. graveolens* Kunth) en este caso para menta (*Hedeoma drummondii* Benth.) también se utilizaron las mismas variables independientes, la altura total de la planta y diámetro promedio de cobertura; en el cual se determinó que ambos estudios el mejor ajuste estadístico se obtuvo con el modelo de Schumacher-Hall con un resultado de ajuste de  $R^2 = 0.80$  y un  $RCME$  de 21.5256 valor mayor al obtenido en menta de  $R^2 = 0.7821$  y  $RCME = 0.0297$  en ambos casos los resultados significativos.

#### **4.4 Tabla de producción de hoja seca (g) menta (*Hedeoma drummondii* Benth.)**

A partir del modelo de Schumacher-Hall, se elaboró una tabla de doble entrada para estimar la biomasa foliar seca de menta para el ejido Cuauhtémoc, municipio de Saltillo, Coahuila. Las variables de medición que sirven de entrada son la altura total y diámetro promedio de cobertura de la herbácea, ambas expresadas en centímetros. A partir de ellas, se pueden identificar el peso en gramos de la hoja seca en plantas en pie, sin necesidad de extraer la planta (Cuadro 9).

Cuadro 9. Producción de hoja seca (*g*) de *Hedeoma drummondii* Benth en función de la altura y diámetro promedio de cobertura (*Dp*) de la herbácea para rodales naturales del Ejido Cuauhtémoc, municipio de Saltillo, Coahuila.

Dp (cm)	Altura (cm)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0.006	0.009	0.011	0.013	0.014	0.016							
2	0.011	0.017	0.021	0.024	0.027	0.030	0.033	0.035	0.038	0.040	0.042	0.044	
3	0.017	0.024	0.030	0.035	0.040	0.044	0.048	0.051	0.055	0.058	0.061	0.064	
4		0.032	0.040	0.046	0.052	0.057	0.062	0.067	0.072	0.076	0.080	0.084	
5			0.049	0.057	0.064	0.071	0.077	0.083	0.088	0.093	0.098	0.103	
6			0.058	0.067	0.076	0.084	0.091	0.098	0.104	0.111	0.116	0.122	
7				0.078	0.088	0.097	0.105	0.113	0.120	0.128	0.134	0.141	
8				0.088	0.099	0.110	0.119	0.128	0.136	0.144	0.152	0.159	
9				0.098	0.111	0.122	0.133	0.143	0.152	0.161	0.170	0.178	
10					0.122	0.135	0.146	0.157	0.168	0.178	0.187	0.196	
11						0.147	0.160	0.172	0.183	0.194	0.204	0.214	
12							0.174	0.187	0.199	0.210	0.222	0.232	
13								0.201	0.214	0.227	0.239	0.250	
14									0.229	0.243	0.256	0.268	
15											0.273	0.286	
16											0.290	0.304	
17												0.321	

Dpc (cm)	altura (cm)												
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1													
2	0.046	0.048	0.050										
3	0.067	0.070	0.072	0.075									
4	0.087	0.091	0.094	0.098									
5	0.108	0.112	0.116	0.120	0.124	0.128							
6	0.127	0.133	0.138	0.143	0.147	0.152	0.156						
7	0.147	0.153	0.159	0.164	0.170	0.175	0.181	0.186	0.191	0.195	0.200		
8	0.166	0.173	0.180	0.186	0.192	0.198	0.204	0.210	0.216	0.221	0.227	0.232	0.237
9	0.186	0.193	0.201	0.208	0.215	0.221	0.228	0.234	0.241	0.247	0.253	0.259	0.265
10	0.205	0.213	0.221	0.229	0.237	0.244	0.251	0.259	0.265	0.272	0.279	0.285	0.292
11	0.224	0.233	0.242	0.250	0.259	0.267	0.275	0.283	0.290	0.297	0.305	0.312	0.319
12	0.243	0.253	0.262	0.271	0.281	0.289	0.298	0.306	0.315	0.323	0.330	0.338	0.346
13	0.261	0.272	0.282	0.292	0.302	0.312	0.321	0.330	0.339	0.347	0.356	0.364	0.372
14	0.280	0.291	0.303	0.313	0.324	0.334	0.344	0.354	0.363	0.372	0.381	0.390	0.399
15	0.299	0.311	0.323	0.334	0.345	0.356	0.367	0.377	0.387	0.397	0.407	0.416	0.425
16	0.317	0.330	0.343	0.355	0.367	0.378	0.389	0.400	0.411	0.421	0.432	0.442	0.452
17	0.335	0.349	0.362	0.375	0.388	0.400	0.412	0.423	0.435	0.446	0.457	0.467	0.478

## 5 CONCLUSIONES

De los diez modelos evaluados para estimar biomasa foliar seca de menta (*Hedeoma drummondii* Benth.), se seleccionó el modelo Schumacher-Hall que presentó los mejores estadísticos con un ajuste de  $R^2_{aj.} = 0.7821$ , una raíz cuadrada media del error (RCME) = 0.0297 con un coeficiente de variación (CV) = 33.85 % y la suma cuadrada de los residuales (SC error) = 0.298618 con una significancia ( $p \leq 0.05$ ).

El modelo Schumacher-Hall es el que mejor predice la biomasa foliar seca (Bfs) de *Hedeoma drummondii* Benth, en la prueba de Durbin-Watson el estadístico ( $d$ ) se encuentra en la zona de aceptación, estableciendo un nivel de significancia ( $p \leq 0.05$ ), concluyendo que no presenta autocorrelación en los residuales. En la prueba de Shapiro-Wilk el modelo Schumacher-Hall presentó un nivel de significancia ( $p \leq 0.05$ ), que los datos abalizados provienen de una distribución normal. Por último en la prueba de White el análisis del modelo Schumacher-Hall mostró que no existe heterocedasticidad concluyendo que las varianzas de los residuales son constantes.

El modelo de Schumacher-Hall identifica la forma de la planta herbácea menta en relación con las variables independientes de altura total ( $At$ ) y diámetro promedio ( $Dp$ ) a partir de la cual se puede generar una tabla de producción de doble entrada que puede aplicarse para evaluar las poblaciones naturales de menta y conocer la biomasa foliar seca de esta planta en el Ejido Cuauhtémoc, del municipio de Saltillo, Coahuila.

La tabla de volumen generada registró un sesgo de  $\pm 0.0022$  g de hoja seca por planta.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, G. 2018. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Tesis de maestría. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza escuela de postgrado. Turri Alba, Costa Rica. 89 p.
- Azizi, M., R. Bos., H. J. Woerdenbag y O. A. Kayser. 2007. comparative study of four chamomile cultivars cultivated in Iran. *Acta Horticulturae*; 749: 93-96.
- Belmonte S., F. y F. López B. 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.
- Broad, S., T. Mulliken y D. Roe. 2003. The Nature and Extent of Legal and Illegal Trade in Wildlife. En: Oldfield, S. (Ed.). *The Trade in Wildlife. Regulation for Conservation*. Earthscan. Londres. Chapter 1: 3-12.
- Challenger, A. y R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Capital natural de México. Vol. II, Estado de conservación y tendencias de Cambio*. Conabio, México. pp 37-73.
- Comisión Nacional del Agua. 2002. Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero Saltillo–Ramos Arizpe, estado de Coahuila. CONAGUA–Gerencia de Aguas Subterráneas. México, D.F., 29 p.

- Craker, L. E. 2007. Medicinal and aromatic plants: future opportunities. In: Issues in new crops and new uses. J. Janick y A. Whipkey (eds.). *American Society for Horticultural Science Press*. Alexandria VA. 248-257.
- Delgado, L. A., M. F. Acevedo, H. Castellanos, H. Ramírez y J. Serrano. 2005. Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia*. 30 (5): 275-283.
- Estrada, E., J. A. Villarreal Q., C. Cantú., I. Cabral., L. Scout y C. Yen. 2007. Etnobotánica en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey, Nuevo León, México. *J. Ethnobiol. Ethnomed*. 3 (8): 8p.
- FAO. 1995. Memoria–Consulta de expertos sobre productos forestales no madereros para América Latina y el Caribe. Serie Forestal N° 1. Dirección de Productos Forestales, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.
- FAO. 2008. Productos forestales no maderables. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [disponible en: [www.fao.org/forestry/site/6388/es](http://www.fao.org/forestry/site/6388/es)]. (17 mayo 2019).
- Fassola, H. E., S. M. Lacorte., A. N. Pachas y R. Pezzuti. 2005. Factores que influyen la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* valls, bajo dosel de pinus taeda l. en el nordeste de corrientes. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 34(3): 21-38.
- Firmage, H. D. 1981. Environmental influences on the monoterpene variation in *Hedeoma drummondii*. *Biochem Syst Ecol*; 9: 53-58.

- Fucaraccio, F. y G. M. Sttafieri. 1999. Desarrollo y uso de ecuaciones de volumen y tablas de volumen en la República de Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. La Plata, Buenos Aires. Argentina. *Informe Técnico UNLP*. 26 p.
- García P., V. E. 2001. Marco institucional, normativo y político para el manejo y comercialización de productos forestales no maderables en México. Documento elaborado en el marco del proyecto “Comercialización de Productos Forestales No Maderables: Factores de Éxito y Fracaso”. UNEP-WCMC. 54 p.
- Gayon, J. 2000. History of the concept of allometry. *Am. Zool.* 40: 748-758.
- Gómez D., J. D., J. D. Etchevers B., A. I. Monterrosos R., J. Campo A. y J. A. Tinoco R. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefoli*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17 (2): 261-272.
- Gonzales A., M. 2014. Identificación taxonómica de *Hedeoma drummondii*. Herbario de la facultad de ciencias biológicas de la UANL. (Número de voucher: 024244).
- González F., M. 1998. Plantas medicinales del noreste de México. México: editorial el sol. 24 p.
- Gujarati, N. D., y C. D. Porter. 2010. *Basic econometrics*. City University of New York. 946 p.

- Herrera A., M. A., J. I. Del valle y S. A. Orrego. 2001. Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. Universidad nacional de Colombia. Medellín. 18 p.
- Heywood, V. 1999. Medicinal and aromatic plants as global resources. *Acta Horticulturae*; 500: 21-29.
- INEGI. 2005. Marco Geoestadístico Municipal, versión 3.1. Recuperado [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/05/05030.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/05/05030.pdf). (17 mayo de 2019)
- INEGI. 2010. Carta Topográfica G14c57 y G14c67.
- Irving, R. S. 1980. The systematics of Hedeoma (Labiatae). *Sida* 8(3): 218-295.
- López I., L. A. 2011. Aromático negocio. El economista.mx. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2019/05/12/aromatico-negocio>. Consultado 2019 mayo 12.
- López C., R. 2008. Productos forestales no maderables: importancia e impacto de su aprovechamiento. *Revista Colombia Forestal*. (11): 215-231.
- Marabel G., M. y F. Álvarez T. 2014. Estimación de biomasa en herbáceas a partir de datos hiperespectrales, regresión PLS y la transformación continuum removal. *Revista de Teledetección*. 42: 39-49.
- Martínez, C. 2015. Estudio de las especies vegetales útiles en ocho comunidades del municipio de Arteaga, Coahuila, México. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 47 p.

- Martínez G., M., I. Fragoso M., M. García P. y O. Montiel. 2013. Géneros de Lamiaceae de México, diversidad y endemismo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84: 30-86.
- Montalvo, L. 2018. Tabla de predicción de biomasa y rendimiento de hoja seca de *Lippia graveolens* Kunth, en Melchor Ocampo, Zacatecas. UAAAN. 50 p.
- Moreno, N. P. 1984. Glosario botánico. CECSA, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. 1a ed. México. 270 p.
- Muñoz F., H. J., R. Velarde., M. García., R. Sáenz., D. Olvera y R. Hernández. 2012. Predicción de volúmenes de fuste total para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 3(14):11-22.
- Novoa, M. C., C. Monti y C. E. Viscaino. 2005. Anatomía y Etnobotánica de Cuatro Especies de *Labiatae* de la Provincia Biogeográfica Pampeana, Usadas en la Medicina Popular. *Acta Farm. Bonaerense* 24 (4): 512-20.
- Pérez E., B. E., M. A. Villavicencio N. y A. Ramírez. 2003. Lista de las plantas útiles del estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México 134 p.
- Pérez E., B. E., M. A. Villavicencio y A. Ramírez A. 2003. Lista de las plantas útiles del estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca. 127 p.
- Porté, A., I. Bosc., Champion and D. Loustau. 2000. Estimating the foliage area of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) branches and crowns with application to

- modelling the foliage area distribution in the crown. *Annals of Forest Science* 57:73-86.
- Posada, S. L., M. S. Zoot y R. Rosero. 2007. Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 20: 141-148.
- Prodan, M., R. Peters., F. Cox y P. Real. 1997. Mensura Forestal. San José de Costa Rica: GTZ-IIICA. 586 p.
- Rogers, D. J. 1980. Lakota names and traditional uses of native plants by Sicangu (Brule) people in the Rosebud area, South Dakota; a study based on Father Eugene Buechels collection the plants of Rosebud around 1920. Rosebud Educational Society, St. Francis, SD. 49 p.
- Romahn de la V., C. F., M. Ramírez y G. Treviño. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. De Méx. México. 354 p.
- Rondeux, J. 2010. Medición de árboles y masas forestales. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 521 p.
- Salett B., M. y N. Hein. 1999. Modelación matemática: estrategia para enseñar y aprender matemáticas. *Educación Matemática*. 11 (1): 119-134.
- Sánchez C., E. 1981. La herbolaria medicinal: Su mercadeo en el área de Monterrey, Nuevo León, México. Un estudio etnobotánico. Bachelor's thesis. Univ. Autónoma de Nuevo León, México. pp 184-192.
- Shapiro, S. S., y M. B. Wilk. 1965. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*. 52(3/4): 591-611.

- Slanis, A. C. y E. del V. Bulacio. 2005. *Hedeoma mandonianum* (Lamiaceae) en Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 40(3-4): 285-287.
- Tapia T., E. y R. Reyes C. 2008. Productos forestales no maderables en México: aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques*. 14(3):95-112.
- Tejeda, C., M. Zamora y R. Sánchez. 1998. Recursos forestales no maderables, situación actual y perspectivas. Reunión de la Comisión Forestal para América del Norte. Yucatán, México. pp 35-49.
- Tovar, J. C. 2007. Composición química, actividad antibacteriana y tóxica de aceites esenciales de seis especies medicinales de Lamiaceae en el estado de Hidalgo. Tesis de licenciatura en Biología. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México 95 p.
- Vestal, P. A. 1952. The ethnobotany of the Ramah Navajo. *Papers of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology* 40(4): 1-94.
- Villavicencio G., E. E., A. Hernández R., C. N. Aguilar G. y X. García C. 2018. Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9 (45): 188-207.
- Viveros V., J. E. 2004. Actividad bactericida de *Hedeoma drummondii* y *Ocimum basilicum* sobre bacterias de importancia en alimentos y su toxicidad sobre *Artemia salina*. Tesis de licenciatura, U.A.N.L. Facultad de Ciencias Biológicas, México. pp 20-30.

- Viveros V., J. E. 2009. Aislamiento dirigido a la identificación de compuestos antirradicales y/o quimiopreventivos de *Hedeoma drummondii* y *Spirulina maxima*. Tesis de licenciatura, U.A.N.L. Facultad de Ciencias Biológicas, México. 111 p.
- Wiggins, I. L. (1980). *Flora of Baja California*. Stanford, Calif: Stanford University Press. 340 p.
- Zamora M., M. C., R. J. M. Torres y L. I. Zamora M. 2001. Análisis de la información sobre productos forestales no madereros en México. FAO. Santiago de Chile, Chile. 120 p.
- Zgórka, G. y K. Głowniak. 2001. Variation of free phenolic acids in medicinal plants belonging to the Lamiaceae family. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 26: 79-87.

## 7 ANEXOS

```

DATA MENTA;
INPUT SITIO PLANTA AT DMAYOR DMENOR DP PSR PSH;
AB=3.1416*(DMAYOR/2)*(DMENOR/2);
CARDS;

;
PROC REG DATA=MENTA;
MODEL PSH=AB AT;
OUTPUT OUT=RESULTADOS STUDENT=STUDENT;
RUN;
PROC SORT DATA=RESULTADOS OUT=ORDENADOS; BY STUDENT; RUN;

```

### The SAS System

The REG Procedure

Model: MODEL1

Dependent Variable: PSH

**Number of Observations Read** 138

**Number of Observations Used** 138

#### Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.44849	0.22424	287.90	<.0001
Error	314	0.10515	0.00077888		
<b>Corrected Total</b>	<b>316</b>	<b>0.55363</b>			

**Root MSE** 0.02791 **R-Square** 0.8101

**Dependent Mean** 0.08774 **Adj R-Sq** 0.8073

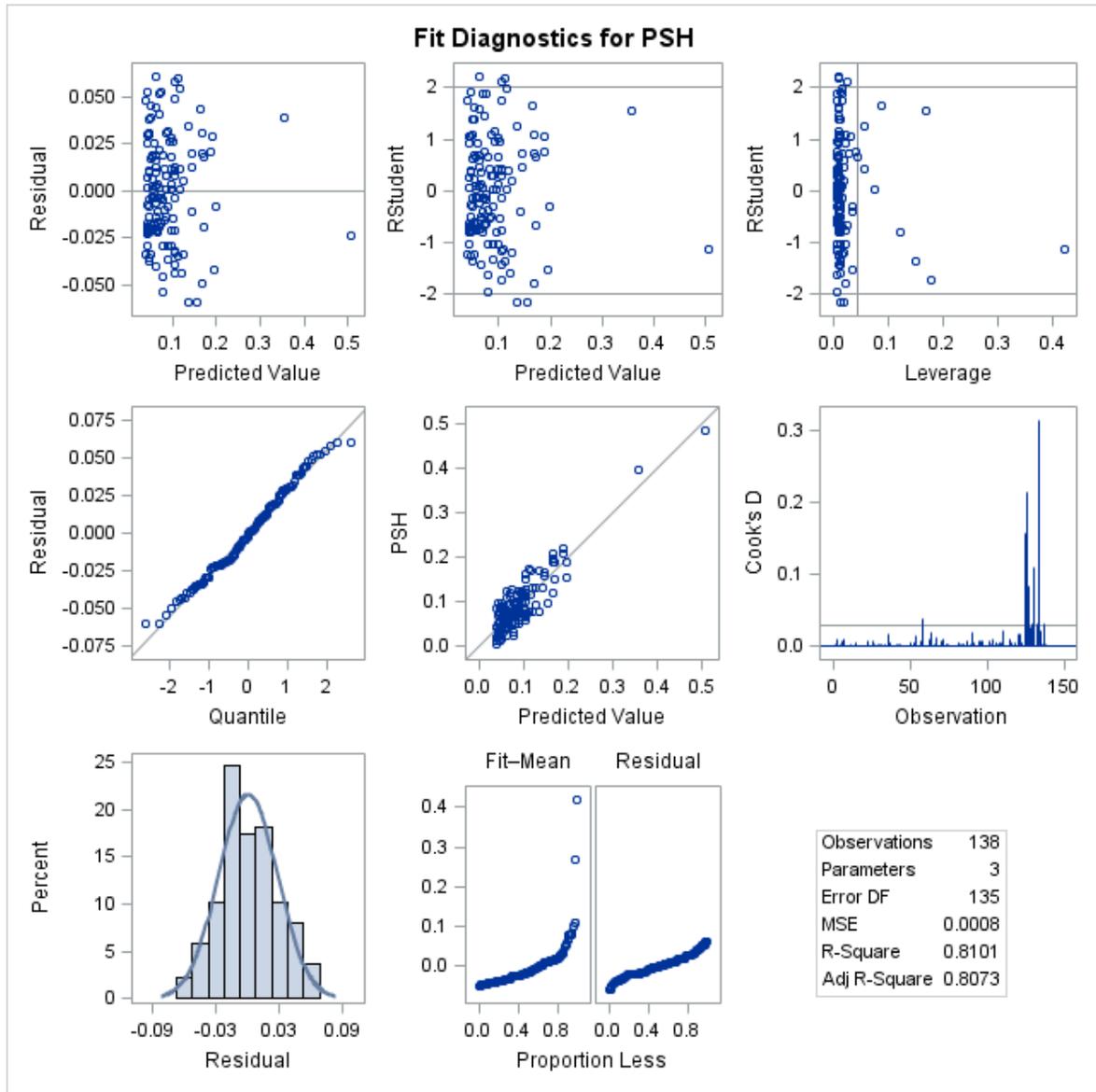
**Coeff Var** 31.80846

#### Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	0.01597	0.00636	2.51	0.0132
AB	1	0.00194	0.00010308	18.80	<.0001

### Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
AT	1	0.00344	0.00068254	5.04	<.0001



```

DATA MENTAHD;
INPUT SITIO PLANTA AT DMAYOR DMENOR DP PSR PSH;
AB=3.1416*(DMAYOR/2)*(DMENOR/2);
CARDS;

;
PROC MODEL DATA=MENTAHD PLOTS(UNPACKPANEL);
PSH = B0*(DP)**B1*(AT)**B2;
PARAMETERS
B0=1
B1=1
B2=1
B3=1
;
FIT PSH / DW NORMAL WHITE CONVERGE=0.0001;
RUN;
PROC MEANS DATA=MENTAHD STD MIN MAX; RUN;

```

The SAS System

The MODEL Procedure

### Nonlinear OLS Summary of Residual Errors

Equation	DF Model	DF Error	SSE	MSE	Root MSE	R- Square	Adj R- Sq	Durbin Watson
PSH	3	313	0.1189	0.000880	0.0297	0.7853	0.7821	2.0145

### Nonlinear OLS Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Approx Std Err	t Value	Approx Pr >  t
B0	0.005321	0.000830	6.41	<.0001
B1	0.892523	0.0632	14.12	<.0001
B2	0.616378	0.0802	7.69	<.0001

### Number of Observations Statistics for System

Used	316	Objective	0.000861
Missing	0	Objective*N	0.1189

The SAS System

The MODEL Procedure

### Heteroscedasticity Test

Equation	Test	Statistic	DF	Pr > ChiSq	Variables
PSH	White's Test	12.56	9	0.1837	Cross of all vars

### Normality Test

Equation	Test Statistic	Value	Prob
PSH	Shapiro-Wilk W	0.99	0.3100
System	Mardia Skewness	0.75	0.3866
	Mardia Kurtosis	-0.67	0.5058
	Henze-Zirkler T	0.29	0.5226

