

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

ESTRUCTURA POBLACIONAL Y CRECIMIENTO DEL ORÉGANO *Lippia graveolens* EN EL EJIDO SANTA MARÍA COAPAN, TEHUACÁN, PUEBLA

XARENI RAMÍREZ LÓPEZ

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis, titulada: “**Estructura poblacional y crecimiento del orégano *Lippia graveolens* en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla**”, realizada por la alumna: **Xareni Ramírez López**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dr. Carlos Ramírez Herrera

ASESOR: 
Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá

ASESOR: 
Dr. Mario Valerio Velasco García

Montecillo, Texcoco, Estado de México, enero 2021

**ESTRUCTURA POBLACIONAL Y CRECIMIENTO DEL ORÉGANO *Lippia graveolens*
EN EL EJIDO SANTA MARÍA COAPAN, TEHUACÁN, PUEBLA**

Xareni Ramírez López, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

Lippia graveolens H. B. K. (orégano) es una especie silvestre utilizada como condimento de importancia económica por su aprovechamiento de los propietarios de los terrenos que lo poseen. Los objetivos fueron 1) determinar la estructura vertical y distribución espacial de *Lippia graveolens* en diferentes condiciones topográficas y 2) ajustar modelos de predicción para estimar el rendimiento promedio por planta de biomasa foliar seca y generar una tabla de producción. Para el objetivo 1 se obtuvo la altura, diámetro basal, número de tallos, área basal, área de copa, índice valor de importancia (IVI), tipos de curvas de estructura poblacional, y distribución espacial para cada condición topográfica. Las condiciones topográficas 3, 4 y 5 con topoforma de ladera presentaron valores mayores de altura y diámetro basal. La condición topográfica 5 presentó los mayores valores de número de tallos, área basal y área de copa. La curva de estructura poblacional tipo V fue la más común. La distribución espacial fue principalmente del tipo agregada. La topoforma, exposición y pendiente del terreno influyen en la estructura vertical y distribución espacial de orégano. Para el objetivo 2 se realizó una matriz de correlación de Pearson, para determinar las variables más relacionadas con la biomasa foliar seca. El modelo de Takata fue el que mejor se ajustó a los datos y con este se realizó una tabla de doble entrada para obtener la biomasa foliar seca de las plantas de *L. graveolens*. Las variables altura y diámetro promedio de copa son las que tienen mayor relación para estimar la biomasa foliar seca del orégano.

Palabras clave: topoforma, exposición, rendimiento, modelos de predicción, tabla de producción.

**POPULATION STRUCTURE AND GROWTH OF THE OREGAN *Lippia graveolens* IN
THE EJIDO SANTA MARIA COAPAN, TEHUACÁN, PUEBLA**

Xareni Ramírez López, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

Lippia graveolens H. B. K. (oregano) is a wild species used as a condiment and of economic importance for its use by the owners of the land. The objectives were 1) to determine the vertical structure and spatial distribution of *Lippia graveolens* under different topographic conditions and 2) to adjust prediction models to estimate the average yield per plant of dry leaf biomass and generate a production table. For the objective 1 it was obtained the height, basal diameter, number of stems, basal area, crown area, importance value index (IVI), types of population structure curves, and spatial distribution for each topographic condition. Topographic conditions 3, 4 and 5 with slope topography presented higher values of height and basal diameter. Topographic condition 5 presented the highest values of number of stems, basal area and crown area. The curve of population structure type V was the most common. The spatial distribution was mainly of the aggregated type. The topographic form, exposure and slope of the terrain influence the vertical structure and spatial distribution of oregano. For objective 2, a Pearson correlation matrix was made to determine the variables most related to dry leaf biomass. Takata's model was the one that best fitted the data and with this, a double entry table was made to obtain the dry leaf biomass of *L. graveolens* plants. The variables height and average crown diameter are those that have the greatest relationship to estimate the dry leaf biomass of oregano.

Key words: topographic form, exposure, yield, models of prediction, production table.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado durante la realización de los estudios de maestría.

A las autoridades ejidales y poseedores de terrenos del ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla por permitirme el acceso a la toma de datos.

Al Servicio Forestal y Ambiental Yadao S. C. por su colaboración y apoyo en la toma de datos.

Al Dr. Carlos Ramírez Herrera por la dirección de esta investigación, por compartirme sus conocimientos, por su revisión y aportaciones, y por todo el apoyo brindado para poder culminar este trabajo.

Al Dr. Mario Valerio Velasco García por su paciencia, asesoría, revisión, por sus observaciones y sugerencias para la mejora de este trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá por su valiosa participación, asesoría, revisión y sugerencias en esta investigación.

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño a mis padres, Jovita López Santiago⁺ y José Ramírez Juárez; por su amor incondicional, enseñanzas, educación y consejos. Además, por alentarme a ser una mejor persona cada día.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
Literatura Citada.....	4
CAPÍTULO I. ESTRUCTURA POBLACIONAL Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ORÉGANO (<i>Lippia graveolens</i> H. B. K.) EN EL EJIDO SANTA MARÍA COAPAN, TEHUACÁN, PUEBLA.....	8
1.1. RESUMEN.....	8
1.2. ABSTRACT.....	9
1.3. INTRODUCCIÓN.....	10
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
1.4.1. Área de estudio y muestreo.....	12
1.4.2. Estructura poblacional.....	14
1.4.3. Distribución espacial.....	16
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
1.5.1. Estructura poblacional.....	17
1.5.2. Distribución espacial.....	25
1.6. CONCLUSIONES.....	28
1.7. LITERATURA CITADA.....	28
CAPÍTULO II. RENDIMIENTO DE LA BIOMASA FOLIAR SECA DEL ORÉGANO (<i>Lippia graveolens</i> H. B. K) EN EL EJIDO SANTA MARÍA COAPAN, TEHUACÁN, PUEBLA.....	34
2.1. RESUMEN.....	34
2.2. ABSTRACT.....	35
2.3. INTRODUCCIÓN.....	36
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
2.4.1. Área de estudio y muestreo.....	38
2.4.2. Análisis de la información.....	38

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
2.6. CONCLUSIONES	49
2.7. LITERATURA CITADA	49
CONCLUSIONES GENERALES	53

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Caracterización de cinco condiciones topográficas de <i>Lippia graveolens</i> en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.	14
Cuadro 2. Valores promedio de los atributos estructurales de <i>Lippia graveolens</i> en cinco condiciones topográficas en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.	17
Cuadro 3. Densidad promedio de <i>Lippia graveolens</i> en cinco condiciones topográficas (CT1, CT2, ..., CT5) por categorías de altura (1 = 1-50 cm, 2 = 51-100 cm, 3 = 101-150 cm, 4 = 151-200, 5 = 201-250 cm, 6 > 251 cm) en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.	22
Cuadro 4. Índice de Valor de Importancia (IVI) por categoría de altura de <i>Lippia graveolens</i> en cinco condiciones topográficas en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.	25
Cuadro 5. Modelos ajustados para estimar la biomasa foliar seca en poblaciones silvestres de <i>Lippia graveolens</i> en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.	40
Cuadro 6. Estadísticos de ajuste y valores de los parámetros de los modelos analizados para estimar biomasa foliar seca de <i>Lippia graveolens</i>	42
Cuadro 7. Producción de biomasa foliar seca (g) de <i>Lippia graveolens</i> en función de la altura y diámetro promedio de copa para poblaciones silvestres en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.	47

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Ubicación del área de estudio; condiciones topográficas y unidades de muestreo en el ejido de Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México..... 13
- Figura 2.** Curvas de estructura poblacional por categorías de altura (1 = 1-50 cm, 2 = 51-100 cm, 3 = 101-150 cm, 4 = 151-200, 5 = 201-250 cm, 6 > 251 cm) de *Lippia graveolens* en las cinco condiciones topográficas en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México..... 24
- Figura 3.** Distribución espacial de *Lippia graveolens* (puntos) y el índice $L_{(t)}$ de Ripley (líneas) en cinco condiciones topográficas en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México. 27
- Figura 4.** Valores observados y predichos para la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México con el modelo de regresión de Takata. 44

INTRODUCCIÓN GENERAL

Orégano, oreganillo, orégano loco, hierba dulce, salvia real y salvia de castilla son los nombres comunes que se aplican a 40 especies de las familias Verbenaceae, Lamiaceae, Compositae y Leguminoseae en México (Huerta, 1997; Villavicencio, Cano & García, 2010). De este número de especies, se comercializan solo 14 especies (Maldonado, 1991). Las especies de la familia Verbenaceae tienen mayor importancia por sus características aromáticas (Huerta, 1997); destacando los géneros *Lantana* con dos especies y *Lippia* con tres especies (Maldonado, 1991).

Lippia graveolens H. B. K., es la de mayor importancia en México (Maldonado, 1991; Willmann, Schmidt, Heinrich, & Rimpler, 2000). Las plantas de esta especie son arbustivas y pueden alcanzar 3.5 m de altura (Calvo, 2011), y crecen en el matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio y bosque templado desde el sur de los Estados Unidos hasta Centroamérica (Willmann *et al.*, 2000; Soto, González, & Sánchez, 2007). En México, *L. graveolens* habita en casi todas las entidades federativas, excepto en ocho (Willmann *et al.*, 2000). En el estado de Puebla, esta especie se registró en seis municipios, de los cuales cinco se localizan en la Reserva de la Biosfera “Tehuacán-Cuicatlán” entre los 1,020 y 2,400 msnm (Soto *et al.*, 2007; Willmann *et al.*, 2000).

El orégano se usa en la medicina tradicional para el tratamiento de enfermedades dermatológicas, gastrointestinales y respiratorias (Hernández *et al.*, 2009; Paredes-Flores, Lira & Dávila, 2007; Blancas, Caballero & Beltrán, 2017) así como en condimento (Tapia-Tapia & Reyes-Chilpa, 2008) y forraje (Paredes-Flores *et al.*, 2007). Además, el aceite que se extrae del follaje (Koksal, Gunes, Orkan & Ozden, 2010) tiene actividad antibacteriana y propiedades antifúngicas (Hernández *et al.*, 2009).

Algunas poblaciones de *L. graveolens* del desierto chihuahuense, el altiplano potosino y Tamaulipas están severamente impactadas por el aprovechamiento (González *et al.*, 2011). Por lo que el aprovechamiento racional de un recurso puede realizarse con base al conocimiento de la organización social y geométrica del conjunto de sus poblaciones (estructura) (Linares, 1997). La estructura de una población es el arreglo tridimensional de los individuos, así como la proporción de tamaños y su arreglo espacial horizontal y vertical (Godínez-Álvarez, Valverde, & Ortega-Baes, 2008).

Bongers, Pompa, Meave, y Carabias (1988) señalan tres tipos de curvas de estructura; el tipo I se caracteriza por tener frecuencia alta en individuos de menor clase de diámetro y disminución de frecuencia en una clase de tamaño a otra; el tipo II se presenta establecimiento esporádico e irregular de plántulas, lo cual provoca picos y valles en la distribución de las clases de diámetro a medida que estas crecen en clases de tamaño más grandes; y el tipo III en la primera clase de diámetro tiene frecuencia muy alta de individuos y al aumentar de tamaño hay frecuencia muy baja y constante en clases siguientes. Peters (1994) de la misma manera define tres tipos de curvas estructurales; el tipo I y II son iguales a las de Bogers *et al.* (1988); y el tipo III la mayoría de los individuos son casi de la misma frecuencia, con ausencia de individuos en las primeras y últimas clases de diámetro. Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla (1995) definieron tres tipos de curvas; el tipo I es similar a las definidas por Bogers *et al.* (1988) y Peters (1994); el tipo II tiene mayor frecuencia de individuos grandes que pequeños; y el tipo III hay mayor frecuencia de individuos de clases de diámetro pequeños y grandes que intermedias. Por último, Velasco-García, Valdez-Hernández, Ramírez-Herrera y Hernández-Hernández (2017) definen el tipo de estructura IV, la cual se caracteriza por tener en la primera frecuencia baja en los estadios plántula, juvenil 2, pre-reproductivo, adulto 2, adulto 3 y adulto 4, y proporción alta de juvenil 1 y adulto 1. Por lo

que la estructura de tamaños de una población refleja la composición de edades, la frecuencia de parches de diferente calidad ambiental o, una combinación de estas dos posibilidades (Martínez-Ramos & Álvarez-Buylla, 1995).

Existen algunos índices de valoración estructural, como es el índice de valor de importancia (IVI) utilizado principalmente para jerarquizar la dominancia de cada especie en rodales mezclados (Curtis & McIntosh, 1951; Zarco-Espinosa, Valdez-Hernández, Ángeles-Pérez, & Castillo-Acosta, 2010) y el índice de valor forestal (IVF) evalúa la estructura bidimensional (vertical y horizontal) de la vegetación arbórea (Corella-Justavino *et al.*, 2001; Zarco-Espinosa *et al.*, 2010).

El patrón de distribución espacial es la distribución de las plantas en el espacio (Krebs, 1999). La distribución de los individuos puede ser aleatoria, regular y agregada (Matteucci & Colma, 1982). La distribución es aleatoria, cuando todos los puntos del espacio tienen la misma probabilidad de ser ocupados por un individuo (Condes & Martínez, 1998). El patrón espacial es agrupado cuando los individuos de una especie crecen en grupos, y este es regular cuando los individuos tienen tendencia a mantener entre sí una distancia más o menos constante (Matteucci & Colma, 1982; Condes & Martínez, 1998). La importancia de conocer el tipo de distribución de una población es que, por ejemplo, un patrón de distribución regular puede indicar competencia; el patrón de distribución aleatoria puede estar asociado a la estocasticidad demográfica por mortalidad aleatoria, y el patrón de distribución agrupada a la dispersión limitada (Hubbell & Foster, 1983).

Una forma de estimar la producción de los recursos forestales maderables es a través de modelos de predicción de volumen, a partir de variables fáciles de medir por ejemplo el diámetro y

altura (Fierros-Mateo, De los Santos-Posadas, Fierros-González, & Cruz-Cobos, 2017; Hernández-Ramos *et al.*, 2017). Algunos de estos modelos se han ajustado a especies no maderables (*Lippia Graveolens*, *Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) para predecir la biomasa foliar seca y biomasa verde (Villavicencio-Gutiérrez, Hernández-Ramos, Aguilar-González, & García-Cuevas, 2018; Hernández-Ramos *et al.*, 2019).

La importancia de estudiar la estructura de la población, distribución espacial y el rendimiento de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* en el ejido Santa María Coapan, constituye una consideración básica para que en un futuro aprovechamiento su manejo esté orientado a la calidad y continuidad de la producción de orégano. Asimismo, el estudio contribuye a generar conocimiento del orégano en el área de estudio, debido a que la demanda de orégano es vigente, pero existe poca información en relación a las poblaciones que se localizan dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

Literatura Citada

- Blancas, V. J., Caballero, N. J., & Beltrán, R. L. (2017). *Los productos forestales no maderables de México, Fascículo I. Panorama General* (1a ed.). México: Red Temática PFMN, CONACYT.
- Bongers, F., Popma, J., Meave-del Castillo, J., & Carabias J. (1988). Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetation*, 74(1), 55-80. doi: 10.1007/BF00045614
- Calvo, I. L. M. (2011). Biodiversidad y condimentos: el orégano de monte. In G. R. Durán & G. M. E. Méndez (Eds.), *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán* (1a ed., pp. 353-354). México: CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDEMA.
- Condes, S. & Martínez, M. (1998). Comparación entre los índices de distribución espacial de árboles más usados en el ámbito forestal. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 7(1/2), 173–187. Obtenido de <http://www.inia.es/IASPF/1998/vol7/12.S.CONDES.pdf>
- Corella-Justavino, F., Valdez-Hernández, J. I., Cetina-Alcalá, V. M, González-Cossio, F. V., Trinidad-Santos, A., & Aguirre-Rivera, J. R. (2001). Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Revista Ciencia Forestal en México*,

- 26(90), 73-102. Obtenido de <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/914/2168>
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32, 476-496. doi: [dx.doi.org/10.2307/1931725](https://doi.org/10.2307/1931725)
- Fierros-Mateo, R., De los Santos-Posadas, H. M., Fierros-González, M. A., & Cruz-Cobos, F. (2017). Crecimiento y rendimiento maderable en plantaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Agrociencia*, 51(1), 201-214. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30250026006>
- Godínez-Álvarez, H., Valverde, T., & Ortega-Baes, P. (2008). Demographic trends in the Cactaceae. *Botanical Review*, 69(2): 173–203. doi: 10.1663/0006-8101(2003)069[0173:DTITC]2.0.CO;2
- González, E. M. S., González, E. M., López, E. I. L., Tena F. J. A., Retana, R. F. I., Ruacho, G. L., & González, G. C. (2011). *Lippia graveolens* H.B.K. ¿Especie o complejo de especies?. In S. G. Pérez, C. M. P. González, I. G. Alejandre, & G. M. C. González (Comp.), *El orégano mexicano: Estado actual del conocimiento* (1a ed., pp. 11-22). Durango, México: La Casa Editorial de Durango.
- Hernández-Ramos, A., Cano-Pineda, A., Flores-López, C., Hernández-Ramos, J., García-Cuevas, X., Martínez-Salvador, M., & Martínez, A. L. (2019). Modelos para estimar biomasa de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en seis municipios de Coahuila. *Maderas y Bosques*, 25(2), 1-13. doi: [10.21829/myb.2019.2521806](https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521806)
- Hernández-Ramos, J., Santos-Posadas, H. M., Valdez-Lazalde, J. R., Tamarit-Urias, J. C., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., Peduzzi, A., & Carrero, O. (2017). Biomasa aérea y factor de expansión en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia*, 51(8), 921-938. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30253817008>
- Hernández, T., Canales, M., Ávila, J. G., García, A. M., Meraz, S., Caballero, J., & Lira, R. (2009). Composition and antibacterial activity of essential oil of *Lippia graveolens* H.B.K. (Verbenaceae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(4), 295-300.
- Huerta, C. (1997). Orégano mexicano; oro vegetal. *Biodiversitas*, 3(15), 8-13. Obtenido de <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv15art2.pdf>
- Hubbell, S. P. & Foster, R. B. (1983). Diversity of canopy trees in a neotropical forest and implications for conservation. In S.L. Sutton, T.C. Whitmore, & A.C. Chadwick (eds), *Tropical Rain Forest: Ecology and Management* (pp .25-41). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Koksal, O., Gunes, E., Orkan, O. O, & Ozden, M. (2010). Analysis of effective factors on information sources at Turkish Oregano farms. *African Journal of Agricultural Research*, 5(2), 142-149. doi:10.5897/AJAR09.598
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological Methodology* (2da ed.). Addison-Wesley Longman, Inc.

- Linares, R. (1997). *Caracterización del Bosque de Cativo (Prioria copaifera) en dos estados sucesionales: climax y 21 años post-aprovechamiento*. Simposio Internacional "Posibilidades de manejo Forestal Sostenible en América Tropical. Santa Cruz de la Sierra: BOLFRO, CIFOR, IUFRO.
- Maldonado, A. L. (1991). Descripción botánica, distribución y usos del orégano en México. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1ra ed., pp. 41-44). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Martínez-Ramos, M. & Álvarez-Buylla, E. (1995). Ecología de poblaciones de plantas de una selva húmeda en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 56(1), 121-153. doi: 10.17129/botsci.1469
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Washinton, D.C.: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Paredes-Flores, M., Lira, S., R., & Dávila, A. P. D. (2007). Estudio etnobotánico de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Acta Botánica Mexicana*, (79), 13-61. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=574/57407902>
- Peters, C. M. (1994). *Sustainable Harvest of Non-timber Plant Resources in Tropical Moist Forest: An Ecological Primer*. Washington, D.C.: Biodiversity Support Program.
- Soto, M. A., González, M. F., & Sánchez, O. (2007). Evaluación del riesgo de extinción de *Lippia graveolens* de acuerdo al numeral 5.7 de la NOM-059-SEMARNAT-2001. In O. Sánchez, R. Medellín, A. Aldama, B. Goettsch, J. Soberón, & M. Tambutti (Eds.), *Método de evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER)* (pp. 93-96). D.F., México: SEMARNAT, INE, Instituto de Ecología de la UNAM, CONABIO.
- Tapia-Tapia, E. C., & Reyes-Chilpa, R. (2008). Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Maderas y Bosques*, 14(3), 95-112. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61712189005>
- Velasco-García, M. V., Valdez-Hernández, J. I., Ramírez-Herrera, C., & Hernández-Hernández, M. L. (2017). Atributos dendrométricos, estructura poblacional y diversidad de estadios de *Dioon holmgrenii* (Cycadales: Zamiaceae). *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 1-16. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v65n4/0034-7744-rbt-65-04-01609.pdf>
- Villavicencio, G. E. E., Cano, P. A., & García, C. X. (2010). *Metodología para determinar las existencias de orégano (Lippia graveolens H.B.K.) en rodales naturales de Parras de la Fuente, Coahuila*. Saltillo, Coahuila, México: INIFAP.
- Villavicencio-Gutiérrez, E. E., Hernández-Ramos, A., Aguilar-González, C. N., & García-Cuevas, X. (2018). Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 187-207. doi: 10.29298/rmcf.v9i45.139
- Willmann, D., Schmidt, E. M., & Rimpler, H. (2000). *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán Fascículo 27*. Verbenacea J. St.-Hil. (1a ed.). D.F., México: UNAM. 73 p.

Zarco-Espinosa, V. M., Valdez-Hernández, J. I., Ángeles-Pérez, G., & Castillo-Acosta O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 26(1), 1-17. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a1.pdf>

CAPÍTULO I. ESTRUCTURA POBLACIONAL Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ORÉGANO (*Lippia graveolens* H. B. K.) EN EL EJIDO SANTA MARÍA COAPAN, TEHUACÁN, PUEBLA

1.1. RESUMEN

El orégano, *Lippia graveolens* H. B. K., es una especie silvestre con amplia distribución en los ecosistemas semiáridos en México. Existe poca información sobre la dinámica de poblaciones de esta especie en el centro de México y, en específico en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, por lo que el objetivo de esta investigación fue determinar la estructura vertical y distribución espacial de *Lippia graveolens* en diferentes condiciones topográficas. Se identificaron cinco condiciones topográficas con base a la topoforma, exposición y pendiente, y las plantas de orégano se clasificaron en categorías de altura. Se establecieron dos unidades de muestreo contiguas de 250 m² (10 x 25 m) cada una en cada condición topográfica. Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre las condiciones topográficas para los atributos estructurales (altura, diámetro basal, número de tallos, área basal y área de copa). Las condiciones topográficas 3, 4 y 5 con topoforma de ladera presentaron valores mayores de altura y diámetro basal. La condición topográfica 5 con exposición sureste y con mayor pendiente (65 %) presentó los mayores valores de número de tallos, área basal y área de copa. La densidad promedio fue 4,044 plantas ha⁻¹. La categoría de altura 4 fue la que presentó el mayor número de plantas ha⁻¹, excepto en la condición topográfica 2. Las categorías de altura 1 y 6 tuvieron menor número de plantas ha⁻¹. La curva de estructura poblacional tipo V fue la más común, con número bajo de renuevos e individuos seniles. La distribución espacial fue principalmente del tipo agregada. La topoforma, exposición y pendiente del terreno influyen en la estructura vertical y distribución espacial de orégano.

Palabras clave: condición topográfica, topoforma, exposición, pendiente, atributos estructurales.

1.2. ABSTRACT

Oregano, *Lippia graveolens* H. B. K., is a wild species with wide distribution in semi-arid ecosystems in Mexico. There is little information about the population dynamics of this species in the center of Mexico and, specifically in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, so the objective of this research was to determine the vertical structure and spatial distribution of *Lippia graveolens* under different topographic conditions. Five topographical conditions were identified based on the topofom, exposure and slope, and oregano plants were classified in height categories. Two contiguous sampling units of 250 m² (10 x 25 m) each were established for each topographic condition. Differences ($P < 0.05$) were found between the topographic conditions for structural attributes (height, basal diameter, number of stems, basal area, and crown area). Topographic conditions 3, 4 and 5 with slope topography presented higher values of height and basal diameter. Topographic condition 5 with southeast exposure and with higher slope (65%) presented the highest values of number of stems, basal area and crown area. The average density was 4,044 plants ha⁻¹. The category of height 4 was the one that presented the highest number of plants ha⁻¹, except in the topographic condition 2. The categories of height 1 and 6 had less number of plants ha⁻¹. The type V population structure curve was the most common, with low number of shoots and senile individuals. The spatial distribution was mainly of the aggregated type. The topofom, exposure and slope of the terrain influence the vertical structure and spatial distribution of oregano.

Key words: topographic condition, landform, exposure, slope, structural attributes.

1.3. INTRODUCCIÓN

Lippia graveolens H. B. K. pertenece a la familia Verbenaceae (Maldonado, 1991; Huerta, 1997). En México, se conocen 40 especies de plantas herbáceas con el nombre común de orégano (Huerta, 1997). *Lippia graveolens* es una de las especies de mayor abundancia en 24 estados de los Estados Unidos Mexicanos (Huerta, 1997; Soto, González, & Sánchez, 2007). Esta especie crece en el medio silvestre, en ecosistemas que se localizan entre el nivel del mar y 2300 msnm (Soto *et al.*, 2007), con precipitaciones que varían entre 300 y 400 mm anuales (Maldonado, 1998).

El orégano es una planta aromática que se utiliza como condimento y uso medicinal (García-Pérez, Castro-Álvarez, Gutiérrez-Urbe, & García-Lara, 2012). El aceite que se extrae de esta planta se usa para elaborar jabones, perfume, cosméticos y saborizantes (Koksal *et al.*, 2010). *Lippia graveolens* tiene poblaciones silvestres vulnerables y amenazadas por los impactos relacionados con la sobre extracción de plantas para la comercialización en el estado de Querétaro (Soto *et al.*, 2007; Osorno-Sánchez, Flores-Jaramillo, Hernández-Sandoval, & Lindig-Cisneros, 2009; Osorno-Sánchez, Torres & Lindig-Cisneros, 2012). Asimismo, el pastoreo y la recolección del orégano pueden afectar negativamente la producción de hojas, ya que en áreas con pastoreo moderado se presentan las mayores cosechas (Cavazos, 1991).

La estructura poblacional de *L. graveolens* se ha descrito por clases de altura y cobertura en algunas poblaciones de esta especie en el Altiplano Potosino, Coahuila, norte de Jalisco y en el semidesierto de Querétaro (Hernández & Arias, 1991; Osorno-Sánchez, Flores-Jaramillo, Hernández-Sandoval, & Lindig-Cisneros, 2009; Osorno-Sánchez, Torres & Lindig-Cisneros, 2012). La estructura de una población es el resultado de la acción de dispersores, depredadores y competidores, además, del clima, suelo, relieve y geología a las que los miembros de esta están

sujetos (Hutchings, 1997). También, la estructura es el resultado de perturbaciones inducidas por actividades del hombre (manejo, aprovechamiento, pastoreo) y perturbaciones naturales (caída de ramas, viento, tormentas) de las poblaciones (Ayerde-Lozada & López-Mata, 2006). La caracterización de la estructura de una población se puede hacer con el ordenamiento vertical de los estratos por categoría de altura y horizontal con el uso de análisis de índices de distribución espacial (Cortés, 2003; Zarco-Espinosa, Valdez-Hernández, Ángeles-Pérez, & Castillo-Acosta, 2010). También el diámetro puede ser una variable para describir la estructura de la población de las plantas (Bongers, Pompa, Meave, & Carabias, 1988; Peters, 1994).

La estructura poblacional es útil para describir el estado en qué se encuentra una población, por ejemplo, las poblaciones pueden decrecer cuando tienen proporción alta de individuos seniles y baja proporción de individuos reproductivos o de plántulas (Godinez-Álvarez, Valverde, & Ortega-Baes, 2008; López-Gallego, 2015). Por lo que la regeneración natural constituye la base para la renovación y continuidad de las especies en un ecosistema (Nathan & Muller-Landau, 2000; Wang & Smith, 2002).

El patrón espacial de una especie es la distribución en el espacio de los individuos de las poblaciones (Matteucci & Colma, 1982). La estructura espacial de una población refleja la representación cartográfica de sus elementos en una localidad o región geográfica (Diggle, 1983). La ubicación de estos elementos se hace a través de las coordenadas cartesianas (De la Cruz, 2006). La distancia entre individuos puede reflejar los procesos de dispersión de semillas, facilitación, competencia, depredación, junto con el resultado de las limitaciones del ambiente, lo cual definirá la estructura espacial de la población (Gómez, 2008).

Sin embargo, no existe información sobre el estado actual de la *L. graveolens* para las poblaciones que crecen en el estado de Puebla en relación a su estructura poblacional y distribución espacial. Por tanto, el objetivo del presente estudio es el siguiente: determinar la estructura vertical y distribución espacial de *Lippia graveolens* en diferentes condiciones topográficas. Y se planteó la siguiente hipótesis: la exposición, la pendiente y la tofoforma influyen en la estructura vertical y distribución espacial en las condiciones topográficas en las que se desarrolla *Lippia graveolens*. la estructura vertical y distribución espacial deben ser diferentes en cada una de las condiciones debido a que la exposición y pendiente modifican las condiciones microclimaticas como se encontró en las especies *Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britton & Rose y *Neobuxbaumia tetetzo* (F. A. C. Weber ex K. Schum.) Backeb (Drezner, 2003; López-Gómez, Zedillo-Avelleyra, Anaya-Hong, González-Lozada, & Cano-Santana, 2012).

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1. Área de estudio y muestreo

La investigación se hizo en el Ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, ubicado en la Reserva de la Biosfera “Tehuacán-Cuicatlán”, entre las coordenadas geográficas: 18°23′26.85″ a 18°23′0.31″N, y 97°23′14.93″ a 97°22′17.53″O (Figura 1) a elevación promedio de 1465 m con clima árido, semicálido, temperatura media anual entre 18 y 22 °C (García, 1981). Cinco condiciones topográficas se identificaron con base a la tofoforma, exposición y pendiente. El tipo de exposición se obtuvo con el modelo de elevación digital escala 1:50000 (INEGI, 2013), utilizando como herramienta de geoprocésamiento “aspect” del software de Arcgis (V. 10.5). El porcentaje de pendiente se obtuvo con un clinómetro (Cuadro 1).

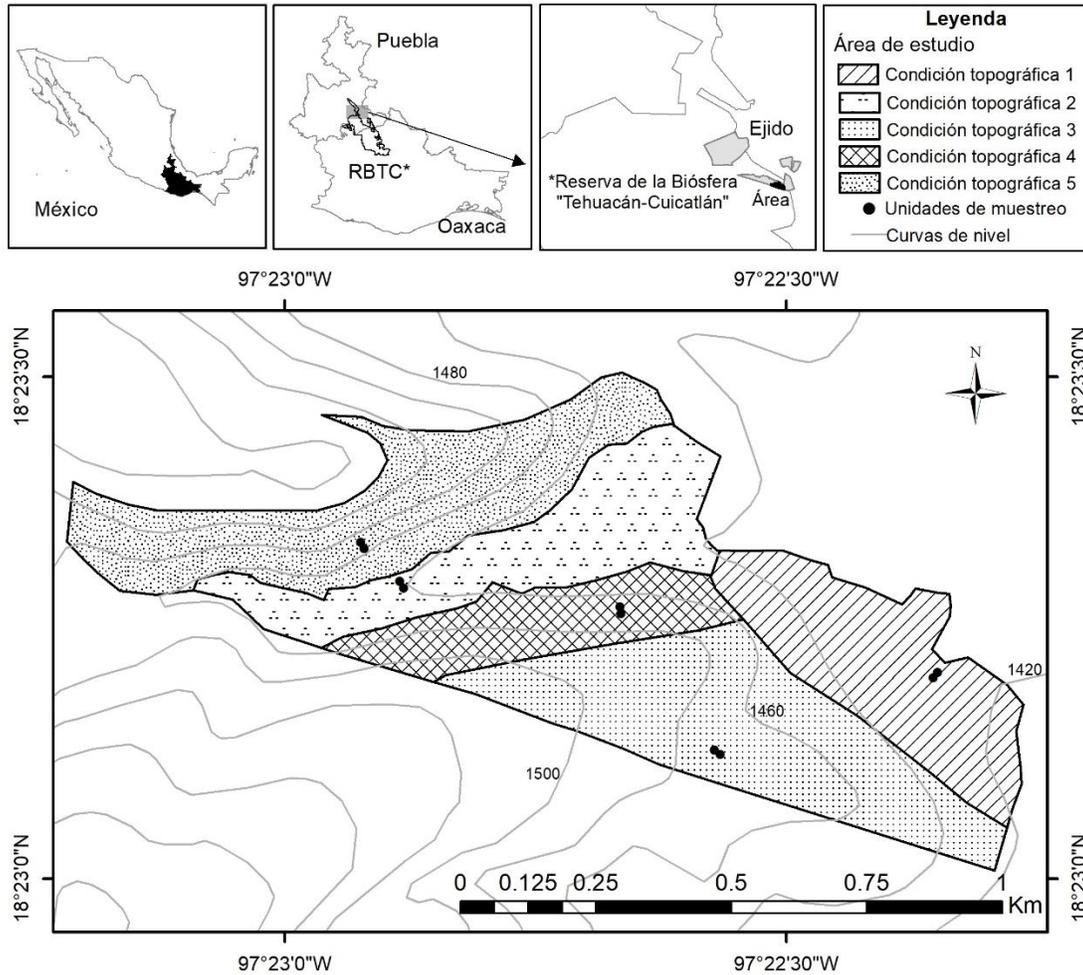


Figura 1. Ubicación del área de estudio; condiciones topográficas y unidades de muestreo en el ejido de Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

Dos unidades de muestreo contiguas de 250 m² (10 x 25 m) cada una se establecieron en cada condición topográfica. Todas las plantas de *L. graveolens* se enumeraron y se ubicaron en el plano cartesiano (X, Y) de las unidades de muestreo. La altura, diámetro basal de cada tallo, número de tallos y diámetro mayor y menor de la copa se registraron para cada una de las plantas. El área de copa se determinó con la ecuación de la circunferencia. Con el número de plantas contabilizadas en las unidades de muestreo se extrapolaron para obtener la densidad de plantas ha⁻¹.

Cuadro 1. Caracterización de cinco condiciones topográficas de *Lippia graveolens* en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

Condición topográfica	Topoforma	Exposición	Pendiente (%)
CT1	Planicie	Cenit	0
CT2	Cañada	Este	15
CT3	Ladera	Este	8
CT4	Ladera	Norte	31
CT5	Ladera	Sureste	65

1.4.2. Estructura poblacional

Seis categorías de altura de las plantas de *L. graveolens* (Categoría 1: 0 a 50 cm, Categoría 2: 51 a 100 cm, Categoría 3: 101 a 150 cm, Categoría 4: 151 a 200 cm, Categoría 5: 201 a 250 cm y Categoría 6: > 251 cm) se definieron con base en el rango de datos obtenidos en el muestreo (Hernández & Arias, 1991; Osorno *et al.*, 2012). El supuesto de normalidad de los atributos estructurales se examinó con la prueba de Shapiro-Wilks. La altura cumplió con el supuesto de normalidad, por lo que, para conocer las diferencias entre las condiciones topográficas, se realizaron análisis de varianza paramétrica (ANOVA) y comparaciones de medias de Tukey. El diámetro basal, número de tallos, área basal y área de copa no cumplieron con el supuesto de normalidad por lo que se realizaron pruebas no paramétricas de varianza y comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis.

Las curvas de estructura poblacional se construyeron con la frecuencia relativa de las categorías de altura para cada condición topográfica y se determinó el tipo de curvas con base en Bongers *et al.* (1988), Peters, (1994), Martínez-Ramos & Álvarez-Buylla (1995) y Velasco-García, Valdez-Hernández, Ramírez-Herrera, & Hernández-Hernández, (2017). La diferencia de las

curvas de estructura poblacional entre las condiciones topográficas se comparó con la prueba de χ^2 . El índice de valor de importancia (IVI) (Curtis & McIntosh, 1951; Stiling, 1999; Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández, 2003) se calculó considerando a las categorías de altura como elementos diferenciados en cada condición topográfica (Velasco-García *et al.*, 2016):

$$\text{IVI} = \text{Densidad relativa} + \text{Dominancia relativa} + \text{Frecuencia relativa}$$

Donde:

$$\text{Densidad: } \frac{\text{Número de individuos por categoría de altura}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Densidad relativa (\%): } \frac{\text{Densidad por categoría de altura}}{\text{Densidad de todas las categorías de altura}} * 100$$

$$\text{Dominancia: } \frac{\text{Total del área basal por categoría de altura}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Dominancia relativa (\%): } \frac{\text{Dominancia por categoría de altura}}{\text{Dominancia de todas las categorías de altura}} * 100$$

$$\text{Frecuencia: } \frac{\text{Cuadrantes en que está presente la categoría de altura}}{\text{Número total de unidades de muestreo}}$$

$$\text{Frecuencia relativa (\%): } \frac{\text{Frecuencia por categoría de altura}}{\text{Frecuencia de todas las categorías de altura}} * 100$$

El IVI cumplió con el supuesto de normalidad verificada con la prueba de Shapiro-Wilks, por lo que, para conocer las diferencias entre categorías de altura en cada condición, se realizaron análisis de varianza paramétrica (ANOVA) y comparaciones de medias de Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico InfoStat Versión 2019 (Di Rienzo *et al.*, 2019).

1.4.3. Distribución espacial

Para el análisis de la distribución espacial las dos unidades de muestreo contiguas en cada condición topográfica se consideraron como una sola, es decir 20 x 25 m (500 m²). El patrón de distribución espacial de la función $K(t)$ de Ripley (Ripley, 1977), se define:

$$K(t) = n^{-2} |A| \sum_{i \neq j} W_{ij}^{-1} I_t(u_{ij})$$

Donde n es el número de individuos en la parcela A , $|A|$ el área de la parcela, u_{ij} la distancia entre i -ésimo y j -ésimo individuo en A , $I_t(u) = 1$ si $u \leq t$ y 0 si no lo es, W_{ij} la proporción de la circunferencia de un círculo con centro en la i -ésimo individuo y radio u_{ij} que está dentro de A , y la sumatoria es de todos los pares de individuos no mayor que t (Ripley, 1977; Diggle, 1983).

Debido a su sencillez, el patrón de distribución de las plantas de *L. graveolens* se determinó con la transformación de $L(t)$ de la función $K(t)$ y la significancia ($P \leq 0.01$) de la función $L(t)$ se analizó con simulaciones de Monte Carlo con el programa TOOLBOX (Besag, 1977; Fisher, 2000), la cual se está dada por:

$$L(t) = \sqrt{\frac{K(t)}{\pi}} - t$$

Donde t es la distancia y π es 3.1416.

Para cierta distancia de t , si el valor de $L(t)$ es mayor que el valor superior del intervalo de confianza, el patrón de distribución es agrupado. Por el contrario, si el valor de $L(t)$ es menor que el valor inferior del intervalo de confianza, corresponde al patrón uniforme y si el valor de $L(t)$ está dentro del intervalo de confianza es patrón aleatorio (Besag 1977).

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1. Estructura poblacional

Los atributos estructurales de *Lippia graveolens* presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre condiciones topográficas. La condición topográfica 3 tuvo los valores mayores para altura y diámetro basal, además de la condición topográfica 5 en altura. Asimismo, las condiciones topográficas 2 y 1 presentaron los valores menores para ambas variables (Cuadro 2). La altura promedio de las plantas en la condición topográfica 5 fue 32 % mayor respecto a la altura promedio de las plantas en la condición topográfica 2 y el diámetro basal fue 21 % mayor en la condición topográfica 3 con respecto a la condicional ambiental 2 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores promedio de los atributos estructurales de *Lippia graveolens* en cinco condiciones topográficas en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

Condición topográfica	Altura (cm)	Diámetro basal (mm)	Número de tallos	Área basal (cm ²)	Área de copa (m ²)
CT1	136.8 bc [†]	10.4 c [‡]	3.2 c [‡]	4.0 c [‡]	0.8 b [‡]
CT2	125.3 c	10.0 c	3.6 bc	3.9 c	0.6 b
CT3	165.1 a	12.1 a	3.5 b	5.4 ab	0.7 b
CT4	151.4 ab	11.6 ab	3.4 bc	4.9 b	0.3 c
CT5	165.6 a	11.9 b	4.3 a	7.3 a	1.0 a
Media	148.8	11.2	3.5	5.0	0.7

[†]Medias con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$) con la prueba de Tukey; [‡] medias con letra diferente son significativamente diferentes ($P < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis.

Estas diferencias entre condiciones topográficas en altura y diámetro basal de *L. graveolens* se pueden deber a la topoforma, exposición y pendiente. En general, las topoformas de planicie y

cañada tuvieron menor diámetro y altura de plantas, en comparación con las laderas. El escurrimiento superficial y la concentración del agua de lluvia sobre el suelo es mayor en pendientes mayores (Poblete, 2004; López-Acevedo, Poch, & Porta, 2004). Sitios con exposición norte presentan mayor humedad, y menor temperatura y evapotranspiración lo que favorece el crecimiento de las plantas (Del Pozo, Fuentes, Hajek, & Molina, 1989; Mandujano, Gallina, Arceo, & Pérez, 2004). Por el contrario, las exposiciones sur y este reciben mayor radiación solar en comparación con las laderas con exposición norte, por lo que las plantas tienen un mayor desarrollo debido a que la intensidad de radiación solar es mayor (Carrasco-Ríos, 2009; Raffo, 2014; Conde, 2016). En concordancia con lo anterior, a pesar que las condiciones topográficas 3 y 2 presentan la misma exposición este, la condición topográfica 3 tuvo mayor altura y diámetro basal de la planta debido a la pendiente baja del terreno, en comparación de la condición topográfica 2 que presentó las plantas con menor altura y diámetro basal debido que el terreno presenta una mayor pendiente; mientras que la condición topográfica 4, a pesar de la pendiente alta, presentó también mayor altura de planta por ubicarse en la exposición norte.

Por el contrario, la condición topográfica 5, aun cuando se ubicó en la exposición sureste y con pendiente más alta, presentó la altura de planta mayor posiblemente por contar con más plantas adultas de *L. graveolens*. De manera similar a esto último, se ha encontrado que el orégano generalmente se desarrolla en suelos muy someros y bajas cantidades de materia orgánica, y pendientes pronunciadas (Casillas-Alcalá, 1992; González, 2012; Martínez, Blando, Morales, & Gómez, 2013; Granados-Sánchez, Martínez-Salvador, López-Ríos, Borja-De la Rosa, & Rodríguez-Yam, 2013). Sin embargo, además de la exposición y pendiente hay otros factores ambientales tales como el clima, agua, geología que pueden afectar el crecimiento de las plantas (González, Bonet, & Echeverría 1996).

La altura promedio de *L. graveolens* del área de estudio fue mayor que las alturas (69.9 y 94.8 cm) que se encontraron para plantas de esta especie en el semidesierto en Querétaro (Osorno-Sánchez *et al.*, 2012) y la Comarca Lagunera (Flores *et al.*, 2011), respectivamente. Esta diferencia se puede deber al nivel de perturbación que hay entre las regiones donde crece esta especie. En las poblaciones silvestres de *L. graveolens* en los estados de Querétaro, Coahuila, Durango y Chihuahua, las plantas se cortan a edades tempranas para vender el follaje como condimento en el mercado local y nacional (Granados-Sánchez *et al.*, 2013; Orona, Salvador, Espinoza, & Vázquez, 2017). Las plantas de mayor altura pueden tener cantidad mayor de follaje por lo que se pueden dejar plantas de menor altura. Esto puede ocasionar cambios en las estructuras de tamaño de las plantas en las poblaciones donde esta especie se recolecta (Martínez, 1994; Osorno-Sánchez *et al.*, 2012; Flores *et al.*, 2011). También, el pastoreo de ganado puede ser otra causa al ramonear las plantas estas pueden tener menor altura.

En contraste, la población de *L. graveolens* estudiada está dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán por lo que la perturbación de las poblaciones por recolección y pastoreo es mínima, permitiendo que las plantas alcancen el máximo potencial permitido por las condiciones topográficas. Además, las condiciones ambientales como precipitación y temperatura son diferentes en el estado de Puebla donde crece *L. graveolens*; la precipitación anual oscila entre 400 y 500 mm, y la temperatura anual entre 18 y 22°C (García, 1981; Godínez-Álvarez, 2008), con respecto a los estados de Guanajuato, Querétaro, Coahuila, Durango y Chihuahua con precipitaciones medias anuales que varían entre 125 a 400 mm y temperaturas medias anuales entre 15 a 21 °C (García, 1981, Ocampo-Velázquez, Malda-Barrera, & Suárez-Ramos, 2009; Granados-Sánchez, Sánchez-González, Granados, & Borja-De la Rosa, 2011).

Por su parte la condición topográfica 5 presentó los mayores valores de número de tallos, área basal y área de copa; mientras que las condiciones topográficas 1, 2 y 4 presentaron los valores menores (Cuadro 2). El número promedio de tallos por planta, el área basal y área de copa fue 34 %, 87 % y 233 % superior en la condición topográfica 5 respecto a la condición topográfica 1, 2 y 4, respectivamente. Posiblemente porque en la condición topográfica 5 la pendiente es más alta y la exposición es sureste, además, tiene más espacios abiertos. Lo anterior sugiere que las pendientes pronunciadas y la exposición sureste influyen positivamente en el número de tallos de orégano, área basal y área de copa. La orientación de las laderas modifica las condiciones microclimáticas y en especies como *Neobuxbaumia tetetzo* en la exposición norte presentaron más ramificaciones (Drezner, 2003; López-Gómez et al. 2012). El viento puede ocasionar daños al tallo principal de las plántulas de orégano y generar más tallos, en consecuencia, un área basal y área de copa mayor. Además, existen indicios de que las plantas tienen mayor número de tallos cuando se tienen mayores espacios abiertos (Salomón-Montijo, Reyes-Olivas, & Sánchez-Soto, 2016).

En la presente investigación, la media del número de tallos del orégano fue menor que el número (8.7) de tallos que se reportó en poblaciones de orégano en los estados de Coahuila y Durango (Flores *et al.*, 2011) y similar la media del área de copa que se reportó (0.656 m²) para plantas de esta especie en poblaciones silvestres que son aprovechadas en la Comarca Lagunera (Flores *et al.*, 2011). Esto se puede deber a que las poblaciones de plantas de orégano en Coahuila y Durango se cortan para la venta del follaje como condimento (Orona, Salvador, Espinoza, & Vázquez, 2017). Martínez (1994) señala que cuando existe aprovechamiento en plantas menores de 5 años de edad, se ocasiona un arrosamiento, lo que provoca que la planta genere un mayor número de tallos. Además, la alta frecuencia de poda de las plantas de orégano promueve la

emisión de brotes como consecuencia del corte de estos (Casillas-Alcalá, 1992; Martínez, 1996; Osorno-Sánchez *et al.*, 2009; Granados-Sánchez *et al.*, 2013).

La densidad promedio entre condiciones topográficas varió entre 1,820 y 6,240 plantas ha⁻¹ entre las condiciones topográficas 2 y 1, respectivamente (Cuadro 3). La pendiente puede tener un papel importante en la densidad de plantas debido al arrastre de semillas de las partes altas (pendientes pronunciadas) a las zonas con menor pendiente, lo que permite mayor abundancia de la planta en áreas con menor pendiente (Hernández & Arias, 1991). Estos resultados difieren de otros estudios donde se reportó una mayor densidad del orégano en exposición sur y suroeste y menor en noroeste (Castillo & Sáenz 1991; Hernández & Arias, 1991).

Los rangos de densidad de las condiciones topográficas de la presente investigación se encuentran entre los rangos del Altiplano Potosino (3,000 a 4,000 plantas ha⁻¹) (Hernández & Arias, 1991), Zapotitlán Salinas y Chazumba en los estados de Puebla y Oaxaca (1,000 y 5,000 plantas ha⁻¹) (Soto *et al.*, 2007), con excepción del norte de Jalisco que tiene rangos de densidades superiores (6,236 a 25,200 Plantas ha⁻¹) (Cavazos, 1991). Además, la densidad promedio fue 4,044 plantas ha⁻¹, superior a los valores promedios de densidad que se encontraron en poblaciones de orégano en Querétaro (3,891 y 2,450 plantas ha⁻¹) (Osorno-Sánchez *et al.*, 2009; Osorno-Sánchez *et al.*, 2012) y en Tamaulipas (905 plantas ha⁻¹) (Sánchez-Ramos, Quezada, Lara-Villalón, Medina-Martínez, & Pérez-Quilantán, 2011). Osorno-Sánchez *et al.*, (2012) encontró que a medida que aumentan la extracción de plantas de *L. graveolens*, la densidad disminuye como consecuencia de la alteración de la tasa de mortalidad y reclutamiento (Osorno-Sánchez *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Densidad promedio de *Lippia graveolens* en cinco condiciones topográficas (CT1, CT2, ..., CT5) por categorías de altura (1 = 1-50 cm, 2 = 51-100 cm, 3 = 101-150 cm, 4 = 151-200, 5 = 201-250 cm, 6 > 251 cm) en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

Categoría de altura	Densidad (plantas ha ⁻¹)				
	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5
1	760	120	40	80	20
2	1340	460	380	460	300
3	1080	680	1000	1700	800
4	1840	480	2320	2200	980
5	1120	40	720	340	660
6	100	40	60	20	80
Total	6240	1820	4520	4800	2840

El mayor número de plantas de orégano se presentó en la categoría de altura 4 en la mayoría de las condiciones topográficas con excepción de la condición topográfica 2. La menor densidad de plantas se encontró en la categoría 1 en la condición topográfica 5 y en la categoría 6 en la condición topográfica 4 (Cuadro 3). A pesar de que la condición topográfica 1 tiene baja regeneración de plantas de orégano, esta es mayor en comparación a las demás condiciones topográficas, debido a que esta tiene terreno plano el cual presenta mayor concentración de nutrientes del suelo que las partes altas del terreno (López-Acevedo *et al.*, 2004; Poblete, 2014) por lo que las semillas tendrán mayores posibilidades de germinación y las plántulas de desarrollarse. Los resultados mostraron un número bajo de renuevos y pocos individuos seniles.

Esto puede reflejar que se reclutan nuevas plantas de orégano en sólo años favorables con condiciones topográficas favorables (Hernández & Arias, 1991; Osorno-Sánchez, et al. 2012).

Las estructuras poblacionales de *L. graveolens* fueron diferentes ($P < 0.05$) entre las cinco condiciones topográficas. La curva tipo IV (*sensu* Velasco-García *et al.*, 2017) se presentó en la condición topográfica 1 (Figura 2). Este tipo de curva se caracteriza por tener baja frecuencia en plantas en las categorías de altura 1, 3, 5 y 6, y alta frecuencia en las categorías de altura 2 y 4. Lo que muestra que no hay una reproducción óptima y existe un reclutamiento discontinuo en categorías de altura de mayor tamaño. Lo anterior puede deberse a que la producción de frutos de *L. graveolens* depende de los polinizadores del género *Melipona* y al presentarse una ausencia temporal de estos puede interrumpir la regeneración por semillas (Ocampo-Velázquez *et al.*, 2009). Además, la producción de frutos de *L. graveolens* solo ocurre en el 11.4 % del total de las flores (Ocampo-Velázquez *et al.*, 2009).

Para las condiciones topográficas 2, 3, 4 y 5, se definió la curva tipo V (Figura 2) por no parecerse a las curvas típicas de Bogers *et al.* (1988), Peters (1994) y Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla (1995). Este tipo de curva se caracterizó por frecuencia baja en la categoría de altura 1 y 6, con incremento gradual en las categorías de altura 2, 3 y 4, y un decremento drástico en la categoría de altura 5. La regeneración de *L. graveolens* se ve limitada por diversos factores, tal es el caso del bajo porcentaje de germinación de las semillas debido a las condiciones topográficas extremas (temperatura, humedad) de las zonas áridas que pueden influir en reclutamiento de nuevos individuos de orégano (Martínez *et al.*, 2013; Martínez-Hernández, Villa-Castorena, Catalán-Valencia, & Inzunza-Ibarra, 2017). Asimismo, este tipo de curva se presentó en las cuatro condiciones topográficas (2, 3, 4 y 5) con mayor pendiente.

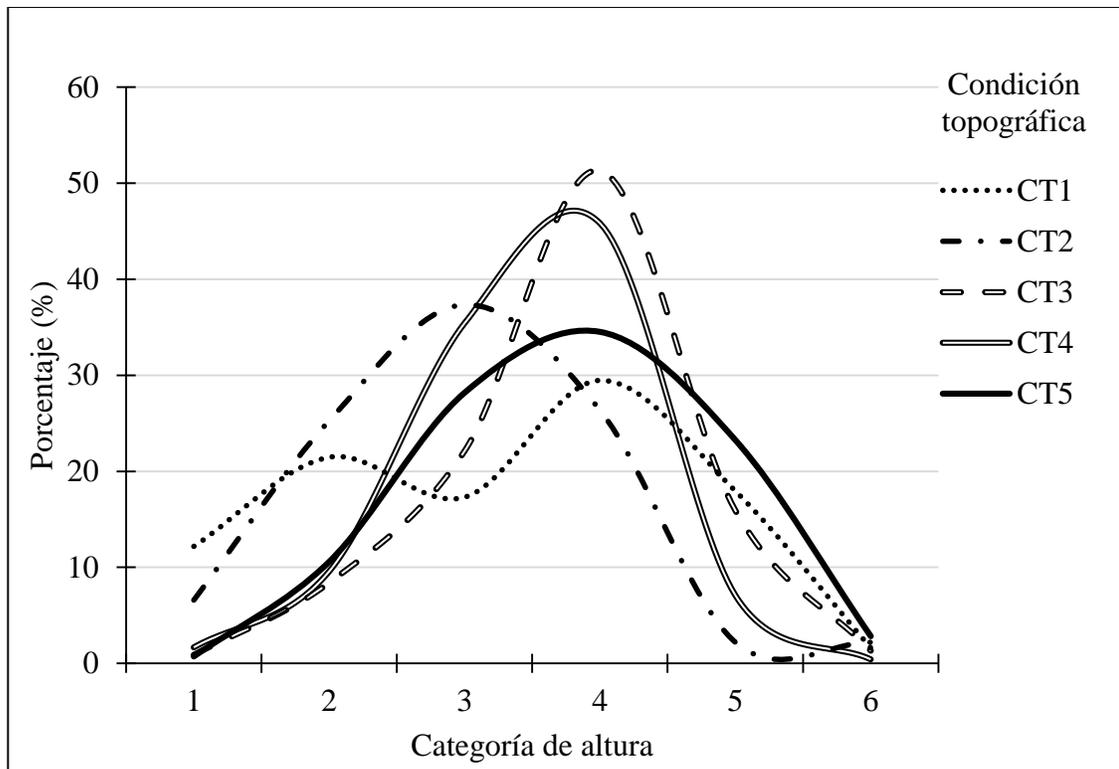


Figura 2. Curvas de estructura poblacional por categorías de altura (1 = 1-50 cm, 2 = 51-100 cm, 3 = 101-150 cm, 4 = 151-200, 5 = 201-250 cm, 6 > 251 cm) de *Lippia graveolens* en las cinco condiciones topográficas en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

El Índice de Valor de Importancia (IVI) fue diferente ($P < 0.05$) entre categorías de altura en cada una de las condiciones topográficas. El IVI mayor se encontró en la categoría de altura 4 en todas las condiciones topográficas, mientras que el IVI menor se registró en la categoría de altura 1 en las condiciones topográficas 3 y 5 (Cuadro 4). El IVI de la categoría de altura 4 puede favorecer la regeneración natural de *L. graveolens*, debido a que las plantas de orégano pueden estar en su ciclo de reproductivo más óptimo, lo cual ayudará a mantener su población.

Cuadro 4. Índice de Valor de Importancia (IVI) por categoría de altura de *Lippia graveolens* en cinco condiciones topográficas en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

Categorías de altura	Condiciones topográficas				
	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5
1	27.4 b [†]	12.7 b	9.7 c	11.5 b	8.9 c
2	40.5 b	56.1 ab	31.7 bc	33.2 b	31.6 bc
3	42.3 b	100.7 ab	53.4 bc	85.8 a	60.3 ab
4	92.8 a	103.7 a	126.1 a	118.2 a	95.9 a
5	71.4 ab	15.3 ab	65.7 b	40.0 b	73.5 ab
6	25.6 b	11.5 b	13.5 c	11.3 b	29.8 bc
Total	300	300	300	300	300

[†] Medias con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$) con la prueba de Tukey.

1.5.2. Distribución espacial

El patrón de distribución de las plantas de *L. graveolens* fue agregado ($P \leq 0.01$) para la condición topográfica 1, 2, 3 y 4 (Figura 3). La máxima agrupación se presentó en distancias t de 4.8 m ($L_{(t)} = 0.93$) en la condición topográfica 1, de 4.4 m ($L_{(t)} = 1.74$) en la condición topográfica 2, a los 3.6 m ($L_{(t)} = 0.84$) en la condición topográfica 3 y a los 8.8 m ($L_{(t)} = 1.35$) en la condición topográfica 4. En la condición topográfica 5, en general, la distribución espacial de las plantas fue aleatoria ($P \leq 0.01$), solamente distancias t menores a 3.6 m se presentó un patrón de distribución agregado, siendo la máxima agrupación a los 2 m ($L_{(t)} = 0.46$) de distancia; por su parte, en la condición topográfica 2, en distancias t de 9.2 a 10 m el patrón de distribución es al azar. El patrón de distribución agregada de las plantas se puede deber a la topografía y heterogeneidad en del

terreno (Condes, & Martínez, 1998; Linzaga-Román, Ángeles-Pérez, Catalán-Heverástico, & Hernández de la Rosa, 2011). La distribución espacial agregada de *L. graveolens* está influenciada por la pendiente; las condiciones topográficas 1, 2, 3 y 4 presentaron menores porcentajes de pendiente en comparación con la condición topográfica 5. También, el patrón de distribución agregado se presenta en sitios donde existe alta variación en la distribución de la luz y nutrientes en el suelo (Linzaga-Román *et al.*, 2011; Ruiz-Aquino, Valdez-Hernández, Romero-Manzanares, A., Manzano-Méndez, & Fuentes-López, 2015). Además, una densidad alta de semillas bajo las plantas conduce a un patrón de distribución agregado (Hubbell, 1979). Cuando los frutos de *L. graveolens*, maduran las semillas son expulsadas y caen al suelo cerca de la planta (Martínez *et al.*, 2013; Martínez-Hernández *et al.*, 2017).

La distribución espacial aleatoria en la condición topográfica 5 (Figura 3) se debe a que la pendiente fue mayor, lo que pudo influir en la distribución y germinación de semillas en el suelo, las cuáles comúnmente son dispersadas por el viento (Martínez *et al.*, 2013). Vallejo y Galeano (2009) señalan que en algunas especies de plantas es probable que la mortalidad de las semillas o de las plántulas provoque un distanciamiento que se reflejó en un patrón menos agrupado. En la distribución espacial aleatoria no existe ningún tipo de interacción entre las plantas, por lo que una planta en cierto punto no afecta a la ubicación de otra planta (Condes, & Martínez, 1998).

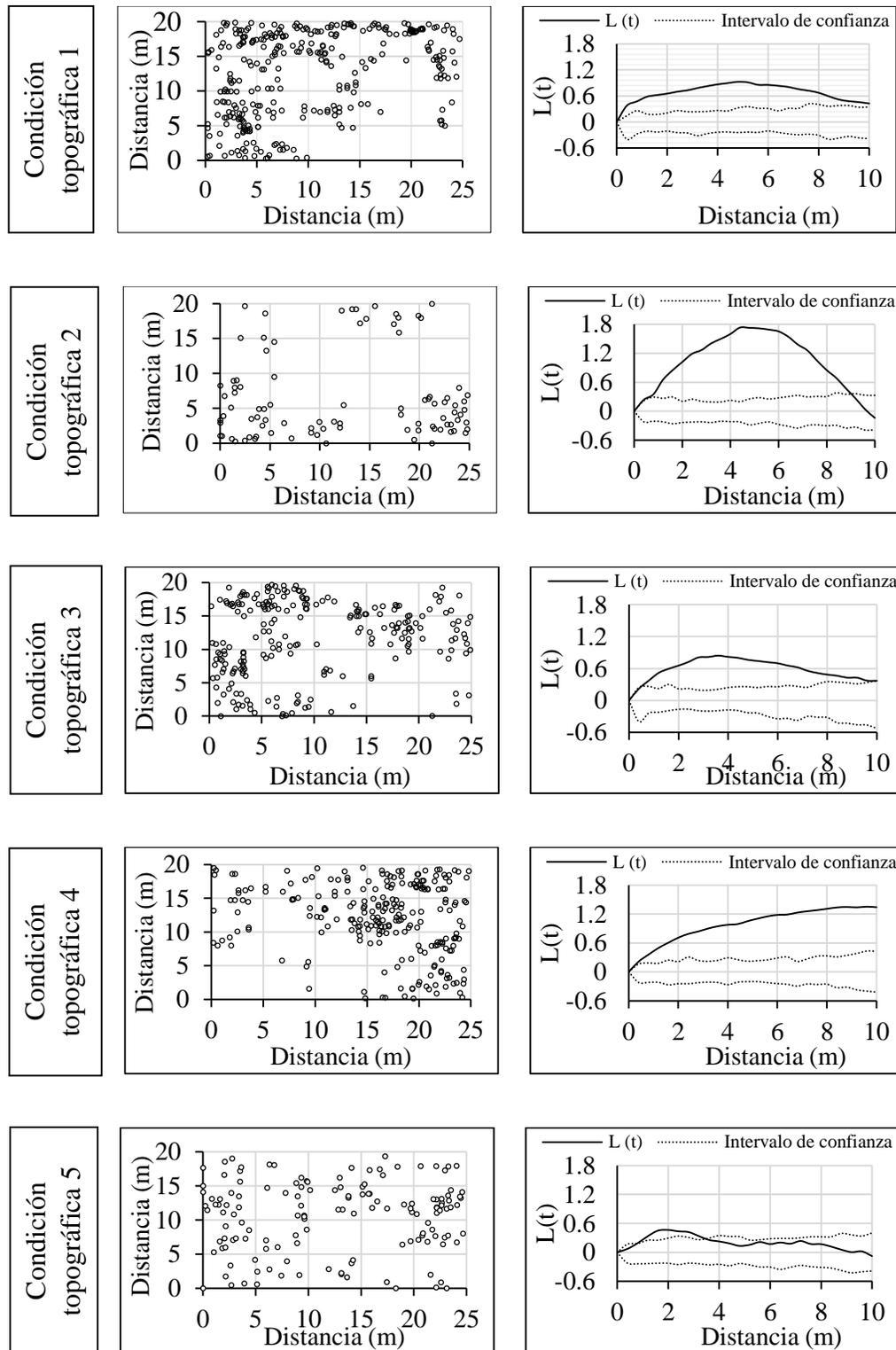


Figura 3. Distribución espacial de *Lippia graveolens* (puntos) y el índice $L(t)$ de Ripley (líneas) en cinco condiciones topográficas en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

1.6. CONCLUSIONES

Las condiciones topográficas del terreno influyen en la estructura vertical y distribución espacial de *L. graveolens*. La condición de ladera influye positivamente en el diámetro y altura de la planta. La exposición sureste y pendientes pronunciadas afectan positivamente en número de ramas, área basal y área de copa. Asimismo, se encontró un número bajo de renuevos y pocos individuos seniles, lo que indica que hay poca regeneración y la especie puede decrecer. La curva de estructura poblacional tipo V es más común en poblaciones de orégano; sin embargo, la condición de planicie y exposición cenital no favorecen el reclutamiento de *L. graveolens*, generando la curva de estructura poblacional tipo IV. La distribución espacial del orégano es comúnmente agrupada, pero la pendiente alta del terreno modifica la distribución espacial a aleatoria.

1.7. LITERATURA CITADA

- Ayerde-Lozada, D., & López-Mata, L. (2006). Estructura poblacional y parámetros demográficos de *Juniperus flaccida* Schlttdl. *Madera y Bosques*, 12(2), 65-76. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=617/61712206>
- Besag J. 1977. Contribution to the discussion on Dr Ripley's paper. *Journal of the Royal Society B (Methodological)*, 39(2), 193-195. doi: 10.1111/j.2517-6161.1977.tb01616.x
- Bongers, F., Popma, J., Meave-del Castillo, J., & Carabias J. (1988). Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetation*, 74(1), 55-80. doi: 10.1007/BF00045614
- Carrasco-Ríos, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas. *IDESIA (Chile)*, 27(3), 59-76. doi: 10.4067/S0718-34292009000300009
- Casillas-Alcalá, C. (1992). *El orégano en México: panorama del primer exportador mundial*. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO.
- Castillo, Q. D. & Sáenz, R. J. T. (1991). Distribución y ecología del orégano en el municipio de General Cepeda, Coahuila. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre el orégano en México* (1ª ed., pp. 77-80). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.

- Cavazos, D. J. R. (1991). Características ecológicas y producción de orégano *Lippia berlandieri* Schauer) en poblaciones naturales. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1a ed., pp. 56-73, 110-117). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Condes, S. & Martínez, M. (1998). Comparación entre los índices de distribución espacial de árboles más usados en el ámbito forestal. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 7(1/2), 173–187. Obtenido de <http://www.inia.es/IASPF/1998/vol7/12.S.CONDES.pdf>
- Cortés, S. P. (2003). Estructura de la vegetación arbórea y arbustiva en el costado oriental de la serranía de Chía (Cundinamarca, Colombia). *Caldasia*, 25(1), 119–37. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39404>
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32, 476-496. doi: [dx.doi.org/10.2307/1931725](https://doi.org/10.2307/1931725)
- De la Cruz, R. M. (2006). Introducción al análisis de datos mapeados o algunas de las (muchas) cosas que puedo hacer si tengo coordenadas. *Ecosistemas*, 15(3): 19-39.
- Del Pozo, A. H., Fuentes, E. R., Hajek, E. R., & Molina, J. D. (1989). Zonación microclimática por efecto de los manchones de arbustos en el matorral de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 62, 85-94.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada M., & Robledo, C. W. (2019). InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>
- Diggle, P. J. (1983). *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. London: Academic Press.
- Drezner, T. D. (2003). Branch direction in *Carnegiea gigantea* (Cactaceae): Regional patterns and the effect of nurse plants. *Journal of Vegetation Science*, 14(6), 907-910. doi: [10.1111/j.1654-1103.2003.tb02224.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02224.x)
- Fisher, M. 2000. *Software available for sophisticated spatial statistics*. University of the South Pacific, Suva. Fiji.
- Flores, H., Hernández, H. J. A., López, M. J. I. , Valenzuela, N. L. M., Martínez, S. M., & Madinaveitia, R. H. (2011). Producción y extracción de aceite de orégano (*Lippia graveolens* kunth) bajo cultivo en la comarca lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3), 113-120. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438956009>
- García, E. P. (1981). *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen* (3a ed.). México: Instituto de Geografía, UNAM.
- García-Pérez, E., Castro-Álvarez, F. F., Gutiérrez-Uribe, J. A., & García-Lara, S. (2012). Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 339-353. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123201010>
- Godínez-Álvarez, H. T., Valverde, T., & Ortega-Baes, P. (2008). Demographic trends in the Cactaceae. *Botanical Review*, 69(2): 173-203.

- Gómez, A. L. (2008). Spatial patterns of recruitment in Mediterranean plant species: linking the fate of seeds, seedlings and saplings in heterogeneous landscapes at different scales. *Journal of Ecology* 96(6), 1128-1140. Obtenido de 10.1111/j.1365-2745.2008.01431.x
- González, H. J. C., Bonet, A., & Echeverría, M. T. (1996). Efecto de la orientación de la ladera sobre algunas comunidades arbustivas del semiárido central de la depresión del Ebro. *Mediterránea, Serie de Estudios Biológicos*, 2(1), 21-31. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/16360216.pdf>
- González, M. F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación* (1a ed.). México: SEMARNAT.
- Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados, V. R. L., & Borja-De la Rosa, A. (2011). Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 111-130. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.10.102
- Granados-Sánchez, D., Martínez-Salvador, M., López-Ríos, G. F., Borja-De la Rosa, A., & Rodríguez-Yam, G. A. (2013). Ecología, aprovechamiento y comercialización del orégano (*Lippia graveolens* H. B. K.) en Mapimí, Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(2), 305-321. doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.05.035
- Hernández, R. A., & Arias, M. C. (1991). Aspectos ecológicos del orégano en el altiplano Potosino. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1ra ed., pp. 67-71). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Hernández, T., Canales, M., Ávila, J. G., García, A. M., Meraz, S., Caballero, J., & Lira, R. (2009). Composition and antibacterial activity of essential oil of *Lippia graveolens* H.B.K. (Verbenaceae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(4), 295-300.
- Hubbell, S. P. (1979). Tree dispersion, abundance, and diversity in a tropical dry forest. *Science*, 203(4387), 1299-1309. doi: 10.1126/science.203.4387.1299
- Huerta, C. (1997). Orégano mexicano; oro vegetal. *Biodiversitas*, 3(15), 8-13. Obtenido de <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv15art2.pdf>
- Hutchings, M. J. (1997). The structure of plant populations. In M. J. Crawley (Ed.), *Plant ecology* (pp. 325–358). Oxford, UK: Blackwell Science.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). *Modelo de elevación Digital*. Conjunto de datos ráster. Escala 1:50 000. México: Autor.
- Koksal, O., Gunes, E., Orkan, O. O., & Ozden, M. (2010). Analysis of effective factors on information sources at Turkish Oregano farms. *African Journal of Agricultural Research*, 5(2), 142-149. doi:10.5897/AJAR09.598
- Linzaga-Román, B. E., Ángeles-Pérez, G., Catalán-Heverástico, C., & Hernández-De la Rosa, P. (2011). Estructura espacial de *Pachycereus weberi* (Coulter) Backeb. en la cañada del zopilote, Guerrero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2), 189-198. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.06.039

- López-Acevedo, R. M., Poch, C. R. M., & Porta, C. J. (2004). *Edafología: Uso y protección de suelos* (3a ed.). Madrid, España: Mundi Prensa.
- López-Gómez, V., Zedillo-Avelleyra, P., Anaya-Hong, S., González-Lozada, E., & Cano-Santana, Z. (2012). Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Botanical Sciences*, 90(4), 453-457. doi: 10.17129/botsci.473
- Maldonado, A. L. (1991). Descripción botánica, distribución y usos del orégano en México. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1ra ed., pp. 41-44). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Maldonado, R. J. A. (1998). *El orégano silvestre en México*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Mandujano, S., Gallina, S., Arceo, G., & Pérez, J. L. A. Variación estacional del uso y preferencia de los tipos vegetacionales por el venado cola blanca en un bosque tropical de Jalisco. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(2), 45-67.
- Martínez, D. M. 1994. *El manejo técnico del orégano, Lippia berlandieri Schauer en Jalisco*. México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).
- Martínez, D. M. 1996. *Innovación tecnológica para eficientar el rendimiento en la cosecha de orégano Lippia berlandieri Schauer*. [Folleto]. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Martínez-Ramos, M. & Álvarez-Buylla, E. (1995). Ecología de poblaciones de plantas de una selva húmeda en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 56(1), 121-153. doi: 10.17129/botsci.1469
- Martínez-Hernández, M., Villa-Castorena, M. M., Catalán-Valencia, E. A., & Inzunza-Ibarra, M. A. (2017). Producción de plántula de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) por semilla en vivero para trasplante. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(1), 61-73. doi: 10.5154/r.rchscfa.2015.11.051
- Martínez, S. M., Blando, N. J. L., Morales, N. C. & Gómez, C. M. (2013). Caracterización ecológica y socioeconómica del orégano (*Lippia berlandieri* Schauer. In S. M. Martín (Ed.). *Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México* (1a. ed., pp. 9-41). México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Washinton, D.C.: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Nathan, R., & Muller-Landau, H. C. (2000). Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(7), 278-285.
- Neuhauser, C. (2006). *Matemáticas para ciencias* (2a ed.). Madrid, España: Pearson Prentice Hall. 485 p.
- Ocampo-Velázquez, R.V., Malda-Barrera, G. X., & Suárez-Ramos, G. (2009). Biología reproductiva del orégano mexicano (*Lippia graveolens* kunth) en tres condiciones de

- aprovechamiento. *Agrociencia*, 43(5), 475-482. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-
- Orona, C. I., Salvador, A. A. J., Espinoza, A. J. De J., & Vázquez, V. C. (2017). Recolección y comercialización del orégano (*Lippia spp*) en el semi-desierto mexicano, un caso de estudio: Reserva ecológica municipal sierra y cañón de Jimulco, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 41(1), 684-695. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=141/14153918003>
- Osorno-Sánchez, T., Flores-Jaramillo, D., Hernández-Sandoval, L., & Lindig-Cisneros, R. (2009). Manejo y extracción de *Lippia graveolens* en las tierras áridas de Querétaro, México. *Economic Botany*, 63(3), 314–318. doi: 10.1007/s12231-009-9087-2
- Osorno-Sánchez, T., Torres, R. A., & Lindig-Cisneros, R. (2012). Effects of harvesting intensity on population structure of *Lippia graveolens* (Verbenaceae, Lamiales) in the Semidesert of Queretaro, Mexico. *African Journal of Agricultural Research*, 7(1), 100-108. doi: 10.5897/AJAR11.1797
- Peters, C. M. (1994). *Sustainable Harvest of Non-timber Plant Resources in Tropical Moist Forest: An Ecological Primer*. Washington, D.C.: Biodiversity Support Program.
- Pielou E. C. (1977). *Mathematical Ecology*. New York: John Wiley & Sons. 385 p.
- Poblete, F. H. L. (2004). *Efecto de la exposición y de la pendiente en algunas propiedades del suelo, flora y vegetación de la quebrada de la plata, región metropolitana*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Raffo, D. (2014). La radiación solar y las plantas: un delicado equilibrio. *Fruticultura*, 1(74), 40-44.
- Ripley, B. D. (1977). Modelling spatial patterns (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 39(2), 172–212. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2984796>
- Ruiz-Aquino, F., Valdez-Hernández, J. I., Romero-Manzanares, A., Manzano-Méndez, F., & Fuentes-López, M. E. (2015). Spatial distribution of two oak species and ecological attributes of pine-oak woodlands from Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 21(1), 67–80. doi: 10.5154 / r.rchscfa.2014.05.023
- Sánchez-Ramos, G., Quezada, F. H., Lara-Villalón, M., Medina-Martínez, T., & Pérez-Quilantán, L. M. (2011). Parámetros ambientales y abundancia del orégano mexicano (*Lippia graveolens*) en el estado de Tamaulipas. *CienciaUAT*, 6(1), 24-31. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441942925008>
- Salomón-Montijo, B., Reyes-Olivas, A., & Sánchez-Soto, B. (2016). Fenología reproductiva de *Stenocereus thurberi* (Cactaceae) en una región de transición del norte de Sinaloa, México. *Gayana Botánica*, 73(2), 381-390. doi: 10.4067/S0717-66432016000200381
- Soto, M. A., González, M. F., & Sánchez, O. (2007). Evaluación del riesgo de extinción de *Lippia graveolens* de acuerdo al numeral 5.7 de la NOM-059-SEMARNAT-2001. In O. Sánchez, R. Medellín, A. Aldama, B. Goettsch, J. Soberón, & M. Tambutti (Eds.), *Método de*

- evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER)* (pp. 93-96). D.F., México: SEMARNAT, INE, Instituto de Ecología de la UNAM, CONABIO.
- Stiling, P. 1999. *Ecology: Theories and Applications* (3a ed.). New Jersey, USA: Prentice Hall.. 840 p.
- Vallejo, M. I. & Galeano, G. (2009). Cambios a corto plazo en los patrones de distribución espacial de nueve especies de plantas comunes en un bosque nublado al sur-occidente de Colombia. *Caldasia*, 31(1), 77-98. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36073>
- Velasco-García, M. V., Valdez-Hernández, J. I., Ramírez-Herrera, C., Hernández-Hernández, M. L., López-Upton, J., López-Mata, L., & López-Sánchez, H. (2016). Estructura, heterogeneidad de estadios y patrón de dispersión espacial de *Dioon holmgrenii* (Zamiaceae). *Botanical Sciences*, 94(1), 75-87. doi:10.17129/botsci.258
- Velasco-García, M. V., Valdez-Hernández, J. I., Ramírez-Herrera, C., & Hernández-Hernández, M. L. (2017). Atributos dendrométricos, estructura poblacional y diversidad de estadios de *Dioon holmgrenii* (Cycadales: Zamiaceae). *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 1-16. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v65n4/0034-7744-rbt-65-04-01609.pdf>
- Villavicencio-Enríquez, L., & Valdez-Hernández, J. I. (2003). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37(4), 413-423.
- Wang, B.C. & Smith, T. B. (2002). Closing the seed dispersal loop. *Trends in Ecology and Evolution*, 17(8), 379-385.
- Willmann, D., Schmidt, E. M., & Rimpler, H. (2000). Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán Fascículo 27. Verbenacea J. St.-Hil. (1a ed.). D.F., México: UNAM. 73 p.
- Zarco-Espinosa, V. M., Valdez-Hernández, J. I., Ángeles-Pérez, G., & Castillo-Acosta O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 26(1), 1-17. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a1.pdf>

CAPÍTULO II. RENDIMIENTO DE LA BIOMASA FOLIAR SECA DEL ORÉGANO

(*Lippia graveolens* H. B. K) EN EL EJIDO SANTA MARÍA COAPAN, TEHUACÁN,

PUEBLA

2.1. RESUMEN

El aprovechamiento de *Lippia graveolens* H. B. K es una alternativa para generar ingresos a los propietarios de terrenos que poseen este recurso forestal no maderable. Una manera confiable de estimar la biomasa foliar seca de las plantas de orégano es a través de los modelos de regresión. El objetivo de la investigación fue ajustar modelos de predicción para estimar el rendimiento promedio por planta de biomasa foliar seca de *L. graveolens* y generar una tabla de producción. Se establecieron cinco unidades de muestreo de 20 x 25 m (500 m²) cada una y en cada unidad se seleccionó al azar el 8.4 % (85) del total de las plantas de *L. graveolens*, para las cuales se registró la altura, diámetro basal, número de tallos, diámetro mayor y menor de la copa, diámetro promedio de copa. Además, se recolectó el follaje de cada una de las plantas y se obtuvo la biomasa foliar húmeda, y al deshidratar las hojas se determinó el peso de las hojas (biomasa foliar seca). Se realizó una matriz de correlación de Pearson, la cual indicó las variables más relacionadas con la biomasa foliar seca, con las cuales se ajustaron 12 modelos de regresión. El modelo de Takata $BFS = (DPC^2 * ALT)/(22270.36 + 487.3658 * DPC)$ fue el que mejor se ajustó a los datos con R^2_{ajus} de 0.84, raíz cuadrada medio del error (RCME) de 6.67 y sus parámetros significativos ($P < 0.05$). Se verificaron los supuestos de regresión, los datos fueron normales, no existió autocorrelación y las varianzas fueron homogéneas. Con el modelo seleccionado se realizó una tabla de doble entrada para obtener la biomasa foliar seca de las plantas. Las variables altura y diámetro promedio de copa son las que tienen mayor relación para estimar la biomasa foliar seca del orégano.

Palabras clave: follaje, Pearson, modelos de regresión, Takata, tabla de producción.

2.2. ABSTRACT

The use of *Lippia graveolens* H. B. K is an alternative to generate income for the owners of land that have this non-timber forest resource. A reliable way to estimate the dry leaf biomass of oregano plants is through regression models. The objective of the research was to adjust prediction models to estimate the average yield per plant of dry leaf biomass of *Lippia graveolens* and to generate a production table. Five sampling units of 20 x 25 m (500 m²) were established. In each sampling unit, 8.4 % (85) of the total plants of *L. graveolens* were randomly selected, for which height, basal diameter, number of stems, major and minor crown diameter, and average diameter of the crown were recorded. In addition, the foliage of each of the plants was collected and the wet leaf biomass was obtained, and when the leaves were dehydrated, the weight of the leaves was determined (dry leaf biomass). A Pearson correlation matrix, which indicated the variables most related to dry leaf biomass, was made adjusting 12 regression models. Takata's model $BFS = (DPC^2 * ALT)/(22270.36 + 487.3658 * DPC)$ was the one that best fit the data with R^2_{ajus} of 0.84, mean square root of error (MRS) of 6.67 and its significant parameters ($P < 0.05$). Regression assumptions were checked indicating that data was normal, there was no autocorrelation and variances were homogeneous. With the selected model, a double entry table was made to obtain the dry leaf biomass of plants. The variables height and average crown diameter are those that have the greatest relationship to estimate the dry leaf biomass of oregano.

Key words: foliage, Pearson, regression models, Takata, production table.

2.3. INTRODUCCIÓN

El orégano (*Lippia graveolens* H. B. K) es un producto forestal no maderable de importancia mundial (Huerta, 1997). México, después de Turquía, ocupa el segundo lugar con producción anual (especies comercializadas de orégano) superior a las seis mil 500 toneladas, de las cuales el 90 % se exporta (Cavazos, 1991; Koksall, Gunes, Orkan, & Ozden, 2010; Villavicencio, Cano, & García, 2010). La mayoría del orégano que se recolecta se exporta a Estados Unidos de América y en menor escala a Italia, Japón, Cuba, Suecia, Alemania, Colombia, Canadá, y Brasil (Cavazos, 1991; Ruiz & Hernández, 1991; Flores, 1991). Las principales zonas productoras de orégano se localizan en Chihuahua, Durango, Coahuila y Tamaulipas (Villavicencio, 2008). La alta demanda de orégano se debe al contenido y calidad del aceite en las hojas (González-López, Méndez, López, Hernández, & González-Uribe, 2019).

El orégano tiene diversos usos en la gastronomía, la industria alimentaria y farmacéutica (González-López *et al.*, 2019). La recolecta del orégano en su mayoría se realiza en las zonas áridas y semiáridas de México (Orona, Salvador, Espinoza, & Vázquez, 2017; González-López *et al.*, 2019). La venta del orégano representa más del 50 % del ingreso de los recolectores en las comunidades rurales (Orona, *et al.*, 2017). En la Región de Tehuacán-Cuicatlán, el orégano se intercambia como trueque en los mercados de Ajalpan, Tehuacán, Teotitlán de Flores Magón (Blancas *et al.*, 2017).

Un aspecto importante para el conocimiento de la vegetación es la determinación de la biomasa de las plantas a través de modelos estadísticos para estimar la biomasa foliar seca con base a la medición de las plantas (Cavazos, 1991). Este procedimiento es rápido y a menor costo que la remoción y peso de cada planta (Flores, 1991). Los modelos estadísticos son útiles para

planear el proceso de recolección y evitar conducir las poblaciones a la extinción (Quevedo, Cancino, & Barragán, 2017). En poblaciones de orégano en Jalisco y Coahuila, algunos modelos se desarrollaron para estimar la biomasa foliar seca con base en altura y diámetro promedio de copa (Flores, 1991; Villavicencio *et al.*, 2018). Estos modelos son la base para construir tablas de producción o rendimiento, útiles en el inventario forestal del recurso (Villavicencio *et al.*, 2010). En el estado de Coahuila, se elaboraron tablas de predicción de hoja seca de orégano útiles para elaborar estudios técnicos justificativos para el aprovechamiento del orégano (Villavicencio, 2008; Flores, 2009).

La cuantificación es la base para la planeación del manejo y aprovechamiento del orégano, ya que esto apoyará a la conservación de la especie (Flores, 1991), por lo que el otorgamiento o asignación de permisos de aprovechamiento se fundamenta en el inventario del recurso (Sáenz & Castillo, 1991). Los datos específicos y locales de existencias (peso de hoja seca por unidad de superficie) de *L. graveolens* son escasos (Flores, 1991; Martínez & Talavera, 2011) y en la región de Tehuacán-Cuicatlán no existe esta información. Derivado de lo anterior, el presente trabajo tiene el objetivo siguiente: ajustar modelos de predicción para estimar el rendimiento promedio por planta de biomasa foliar seca de *L. graveolens* y generar una tabla de producción. Bajo la siguiente hipótesis: Los modelos estadísticos permitirán generar una tabla de producción de biomasa foliar seca y se espera que las variables altura y diámetro promedio de copa sean las más correlacionadas con la estimación de la biomasa foliar seca.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Área de estudio y muestreo

El estudio se realizó en el Ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, entre las coordenadas geográficas: 18°23'26.85'' a 18°23'0.31''N y 97°23'14.93'' a 97°22'17.53''O localizadas dentro de la Reserva de la Biosfera “Tehuacán-Cuicatlán”. Se establecieron cinco unidades de muestreo de 20 x 25 m (500 m²) cada una. En cada unidad de muestreo se seleccionó al azar el 8.4 % del total de las plantas de *L. graveolens*, siendo un total de 85 plantas. De la muestra seleccionada se registró la altura, diámetro basal de cada tallo, número de tallos por planta, diámetro menor y mayor de la copa para cada una de las plantas de orégano. El diámetro promedio de copa se obtuvo con el diámetro menor y mayor de la copa de la planta.

Las hojas de *L. graveolens* se recolectaron de las plantas seleccionadas y se guardó el follaje en bolsas de papel para evitar la deshidratación y así obtener la biomasa foliar húmeda. Después, el follaje que se cosechó se deshidrató en un horno de secado a 75 °C en el laboratorio del Posgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados. El tiempo de secado en el horno (36 horas) se determinó en una muestra, la cual se pesó en diferentes periodos hasta que esta alcanzó un peso constante. Al finalizar el secado se obtuvo el peso seco del follaje (biomasa foliar seca) de cada planta con una báscula analítica.

2.4.2. Análisis de la información

La altura, diámetro promedio basal, número de tallos, diámetro mayor y menor de la copa, diámetro promedio de copa y biomasa foliar húmeda se consideraron como las variables independientes (X), mientras que la biomasa foliar seca fue la variable dependiente (Y). Una matriz de correlación de Pearson se realizó en InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2019), siendo la altura, diámetro

promedio de copa y la biomasa foliar húmeda las variables con los valores mayores de correlación r (0.48, 0.72 y 0.92). A pesar de que la biomasa foliar húmeda es la variable que predice mejor la biomasa foliar seca no se utilizó para ajustar los modelos debido a que se busca la simplicidad y variables sean de fácil medición (Zamora-Martínez, Velasco, González, & Hernández, 2011; Quiñonez, 2014), por lo que se utilizaron la altura y el diámetro promedio de copa.

Los datos se ajustaron a doce modelos propuestos para estimar biomasa y volumen de especies maderables y no maderables (Cuadro 5) (Tapia & Navar, 2011; Ramos-Uvilla *et al.*, 2014; Villavicencio-Gutiérrez, Hernández-Ramos, Aguilar-González, & García-Cuevas, 2018; Hernández-Ramos *et al.*, 2019). Los modelos de regresión se ajustaron con el *PROC MODEL* en SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2002). Se detectaron los valores atípicos y se empleó el método de eliminación directa mediante el análisis gráfico de la dispersión de los residuales.

El modelo Takata (Takata, 1958) fue el seleccionado, debido a que fue el que presentó los valores mayores de coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aju}), los menores valores en la Raíz del Error Cuadrático Medio (RCME) y que todos sus parámetros fueran significativos ($P < 0.05$). El análisis de los supuestos de regresión del modelo se hizo con las pruebas de Shapiro-Wilk para la normalidad de los datos; la prueba de Durbin-Watson, para la autocorrelación; y la prueba de White, para detectar heterocedasticidad. La heterocedasticidad se corrigió con una estructura de potencia de los residuales de la forma $((1/(DPC * ALT))^{0.5})^{0.5}$ (Quiñonez, 2014). Se cumplieron con los supuestos de regresión del modelo; los datos fueron normales ($P = 0.39$), la prueba de Durbin-Watson (1.61) indicó que no hubo autocorrelación, y la prueba de White ($P = 0.06$) arrojó homogeneidad de varianzas. Con el modelo seleccionado se construyó una tabla de doble entrada

para estimar la de biomasa foliar seca (g) con las variables altura (cm) y diámetro promedio de copa (cm).

Cuadro 5. Modelos ajustados para estimar la biomasa foliar seca en poblaciones silvestres de *Lippia graveolens* en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

Nombre	Modelo	Referencia
1. Alométrico	$BFS=\beta_0(DPC*ALT)^{\beta_1}$	Villavicencio-Gutiérrez <i>et al.</i> , 2018.
2. Coeficiente de forma constante	$BFS=\beta_1(DPC^2*ALT)$	Torres y Magaña, 2011.
3. Spurr con variable combinada lineal	$BFS=\beta_0+\beta_1(DPC^2*ALT)$	Spurr, 1952; Tapia & Navar, 2011; Ramos-Uvilla <i>et al.</i> , 2014; Ramírez, 2015.
4. Spurr con variable combinada no lineal	$BFS=\beta_1(DPC^2*ALT)^{\beta_2}$	Spurr, 1952; Ramos-Uvilla <i>et al.</i> , 2014; Hernández-Ramos <i>et al.</i> , 2019.
5. Spurr en forma polinomial de segundo grado	$BFS=\beta_0+\beta_1(DPC^2*ALT)+\beta_2(DPC^2*ALT)^2$	Tapia & Navar, 2011.
6. Spurr logarítmica	$BFS=EXP(\beta_0+\beta_1*Ln(DPC^2*ALT))$	Tapia & Navar, 2011.

ALT: Altura (cm); DPC: Diámetro promedio de copa (cm); BFS: Biomasa foliar seca (g); β_n =Parámetros del modelo; EXP: Exponencial.

Continuación **Cuadro 5** Modelos ajustados para estimar la biomasa foliar seca en poblaciones silvestres de *Lippia graveolens* en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

Nombre	Modelo	Referencia
7. Potencia	$BFS = \beta_0 * (DPC)^{\beta_1}$	Villavicencio-Gutiérrez <i>et al.</i> , 2018.
8. Takata	$BFS = \frac{DPC^2 * ALT}{(\beta_0 + \beta_1 DPC)}$	Takata, 1958; Montes de Oca, Corral, & Nájera, 2008.
9. Thornber en forma no lineal	$BFS = \beta_0 * \left(\frac{ALT}{DPC}\right)^{\beta_1} * (DPC^2 * ALT)$	Ramos-Uvilla <i>et al.</i> , 2014; Villavicencio-Gutiérrez <i>et al.</i> , 2018.
10. Korsun	$BFS = \beta_0 * (DPC + 1)^{\beta_1} * ALT^{\beta_2}$	Ramos-Uvilla <i>et al.</i> , 2014.
11. Schumacher y Hall en forma no lineal	$BFS = \beta_0 * (DPC)^{\beta_1} * (ALT)^{\beta_2}$	Schumacher & Hall, 1933; Nájera, 1999.
12. Australiano	$BFS = \beta_0 + \beta_1 (DPC^2) + \beta_2 (ALT) + \beta_3 (DPC^2 * ALT)$	Tapia & Navar, 2011; Villavicencio-Gutiérrez <i>et al.</i> , 2018.

ALT: Altura (cm); DPC: Diámetro promedio de copa (cm); BFS: Biomasa foliar seca (g); β_n =Parámetros del modelo;

EXP: Exponencial.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables independientes utilizadas para el ajuste de los modelos fueron la altura y el diámetro promedio de copa. La altura de *L. graveolens* osciló entre 38 y 242 cm, con un promedio de 154.2 cm, el diámetro promedio de copa varió de 26 cm y 205.5 cm, y el promedio fue 85 cm. El modelo alométrico, Schumacher y Hall en forma no lineal, Korsun y Takata fueron los cuatro modelos que tuvieron los valores mayores del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aju}) y los valores menores de la raíz del cuadrado medio del error (RCME). A pesar de lo anterior, se eligió el modelo Takata (Takata, 1958) debido a que todos los estimadores de sus parámetros fueron significativos, caso contrario de los otros tres modelos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estadísticos de ajuste y valores de los parámetros de los modelos analizados para estimar biomasa foliar seca de *Lippia graveolens*.

Nombre	RCME	R^2_{aju}	Parámetro	Estimación	Pr> t
1. Alométrico	6.5804	0.8450	β_0	0.000134	0.1403
			β_1	1.239227	<0.0001
2. Coeficiente mórfico constante	8.9904	0.7106	β_1	0.00001	<0.0001
3. Spurr con variable combinada lineal	7.4655	0.8004	β_0	6.672766	<0.0001
			β_1	0.000008472	<0.0001
4. Spurr variable combinada no lineal	6.9266	0.8282	β_0	0.000992	0.0952
			β_1	0.702123	<0.0001
5. Spurr en forma polinomial de segundo grado	7.0647	0.8213	β_0	3.573774	0.0219
			β_1	0.000012	<0.0001
			β_2	-49E-14	0.0039

RCME = Raíz del cuadrado medio del error; R^2_{aju} = Coeficiente de determinación ajustado por el número de parámetros; Pr> | t | = Probabilidad estadísticamente significativa ($P < 0.05$).

Continuación **Cuadro 6.** Estadísticos de ajuste y valores de los parámetros de los modelos analizados para estimar biomasa foliar seca de *Lippia graveolens*.

Nombre	RCME	R ² _{aju}	Parámetro	Estimación	Pr> t
6. Spurr logarítmica	6.9266	0.8282	β_0	-6.91531	<0.0001
			β_1	0.701133	<0.0001
7. Potencia	8.1490	0.7622	β_0	0.014856	0.0634
			β_1	1.595793	<0.0001
8. Takata	6.6682	0.8408	β_0	22270.36	0.0039
			β_1	487.3658	<0.0001
9. Thornber en forma no lineal	6.8834	0.8303	β_0	0.000008561	<0.0001
			β_1	0.773651	<0.0001
10. Korsun	6.6284	0.8427	β_0	0.000114	0.3380
			β_1	1.240629	<0.0001
			β_2	1.266978	<0.0001
11. Schumacher and Hall en forma no lineal	6.6284	0.8427	β_0	0.000121	0.3384
			β_1	1.229953	<0.0001
			β_2	1.267446	<0.0001
12. Australiano	6.8820	0.8304	β_0	-4.97326	0.1999
			β_1	0.000145	0.8088
			β_2	0.085236	0.0007
			β_3	0.00000664	0.0301

RCME = Raíz del cuadrado medio del error; R²_{aju} = Coeficiente de determinación ajustado por el número de parámetros; Pr> | t | = Probabilidad estadísticamente significativa (P < 0.05).

El modelo Takata (Takata, 19858) quedó de la siguiente forma: $[BFS = DPC^2 * ALT / (22270.36 + (487.3658 * DPC))]$, el cual se utilizó para obtener los valores predichos de la biomasa foliar seca. Se observa buen ajuste de los datos predichos contra los observados (Figura 1). Este modelo se ha empleado para estimar el volumen de especies maderables (*Pinus durangensis*, *Pinus arizonica*) (Montes de Oca *et al.*, 2008; Quiñonez, 2014).

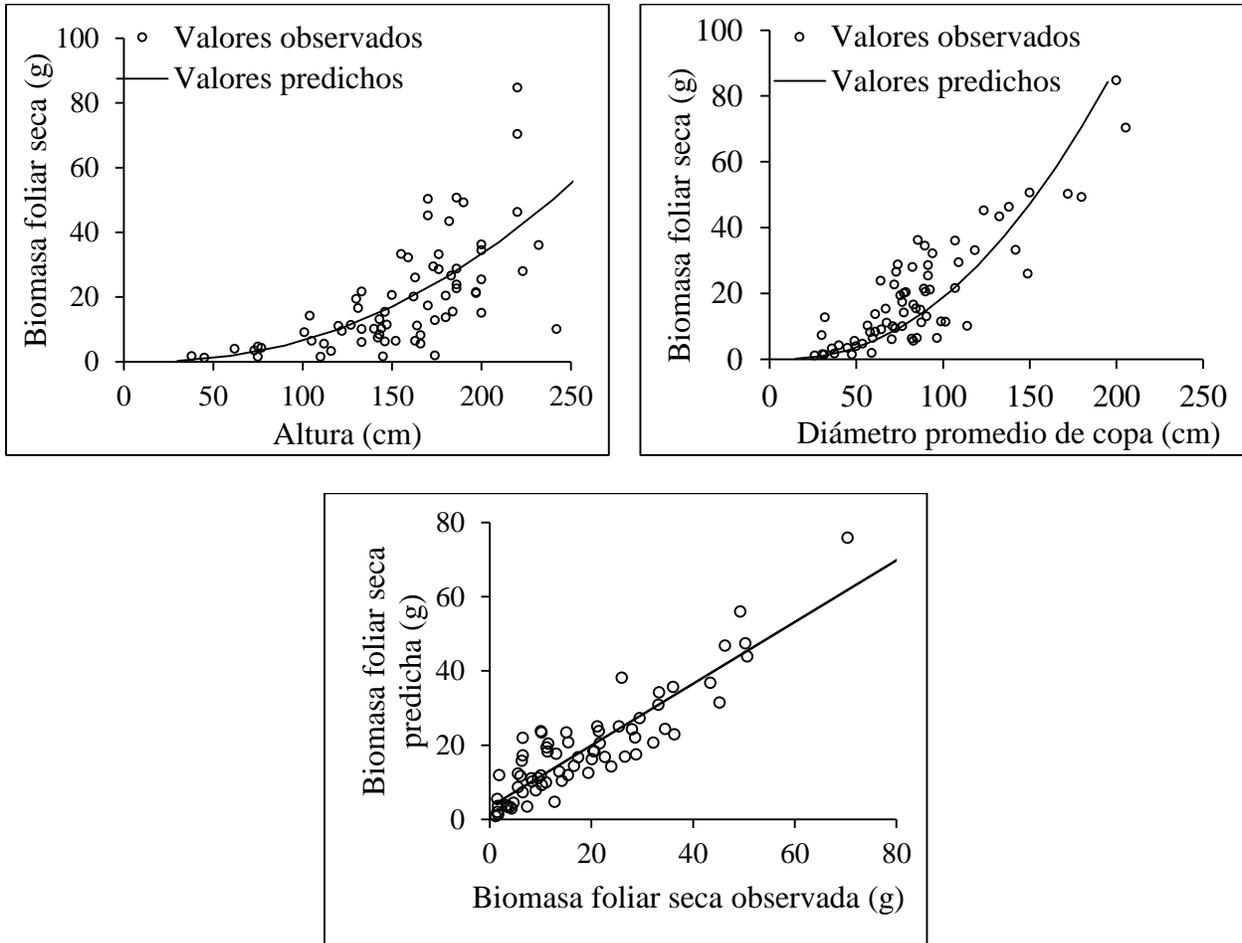


Figura 4. Valores observados y predichos para la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México con el modelo de regresión de Takata.

Las variables independientes que tuvieron mayor coeficiente de correlación con la biomasa foliar seca fueron las mismas que se analizaron para ajustar del modelo de *L. graveolens* para el sureste de Coahuila, aunque este modelo presentó un coeficiente de determinación menor ($R^2_{\text{ajus}} = 0.8101$) al de la presente investigación (Villavicencio-Gutiérrez *et al.*, 2018).

El promedio de biomasa foliar seca de *L. graveolens* por planta de la presente investigación fue 20 g. Este valor fue menor los valores que se encontraron en el norte de Jalisco, General Cepeda, Coahuila, sureste de Chihuahua y Comarca Lagunera (44.26, 50, 45.5 y 185 g, respectivamente) (Flores, 1991; Sáenz & Castillo, 1991; Bustamante, 1991; Flores *et al.*, 2011). El rendimiento promedio ha^{-1} de biomasa foliar seca de *L. graveolens* en poblaciones naturales con aprovechamiento, en Mapimí, Durango, es 32.2 kg (Granados-Sánchez, Martínez-Salvador, López-Ríos, Borja-De la Rosa, & Rodríguez-Yam, 2013) y fue menor al rendimiento (79 kg ha^{-1}) que se encontró en la presente investigación sin aprovechamiento. Sin embargo, un rendimiento mayor (200 kg ha^{-1}) de orégano con aprovechamiento se registró en el municipio de General Cepeda, Coahuila (Villavicencio, 1991). En sitios sin aprovechamiento ubicados en San Luis Potosí el rendimiento fue 30 kg ha^{-1} (Hernández & Arias, 1991).

Tabla de producción de biomasa foliar seca de *Lippia graveolens*

Con el modelo de Takata (Takata, 1958) se elaboró una tabla de doble entrada de producción de biomasa foliar seca de *L. graveolens* (Cuadro 3). Esta tabla empleará el valor de altura (cm) (columna) y de diámetro promedio de copa (cm) (hilera) de la planta de orégano, en el cruce de columnas e hileras de la tabla contiene el peso promedio en gramos de la biomasa foliar seca de la planta con las dimensiones seleccionadas. Algunos valores observados de altura (cm), diámetro promedio de copa (cm) y biomasa foliar seca (g): 73, 45 y 3.5; 120, 67.5 y 11.1; 190, 180

y 49.3, dieron como resultado 3.4, 9.9 y 55.9 g de biomasa foliar seca predicha. Lo anterior, son ejemplos de valores observados y predichos por el modelo, lo cual confirma que el modelo seleccionado es el que mejor predice la biomasa foliar seca en el ejido.

La tabla de producción de hoja seca de *L. graveolens* generada en el sureste de Coahuila (Villavicencio *et al.*, 2018), al compararla con la presente investigación con datos de altura (cm), diámetro promedio de copa (cm) y biomasa foliar seca (g); 40, 30 y 0.98; 100, 60 y 6.99, tiene una biomasa foliar seca mayor (11.17 y 54.1 g), respectivamente.

Cuadro 7. Producción de biomasa foliar seca (g) de *Lippia graveolens* en función de la altura y diámetro promedio de copa para poblaciones silvestres en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

DPC*	Altura (cm)																	
(cm)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
10	0.15	0.18	0.22	0.26														
20	0.50	0.89	0.75	0.87	1.00	1.12												
30	0.98	1.98	1.46	1.71	1.95	2.20	2.44	2.68	2.93									
40		3.48	2.30	2.68	3.06	3.45	3.83	4.21	4.60									
50		5.36	3.22	3.75	4.29	4.82	5.36	5.90	6.43	6.97	7.50	8.04						
60			4.19	4.89	5.59	6.29	6.99	7.69	8.39	9.09	9.78	10.48	11.18					
70				6.08	6.95	7.82	8.69	9.56	10.43	11.30	12.17	13.04	13.90	14.77				
80					8.36	9.40	10.45	11.49	12.54	13.58	14.63	15.67	16.72	17.76	18.81			
90						11.02	12.25	13.47	14.70	15.92	17.15	18.37	19.60	20.82	22.05	23.27		
100							14.08	15.49	16.90	18.31	19.72	21.12	22.53	23.94	25.35	26.76	28.17	
110								17.54	19.14	20.73	22.32	23.92	25.51	27.11	28.70	30.30	31.89	33.49

*DPC: Diámetro promedio de copa (cm)

Continuación **Cuadro 7.** Producción de biomasa foliar seca (g) de *Lippia graveolens* en función de la altura y diámetro promedio de copa para poblaciones silvestres en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla, México.

DPC*	Altura (cm)																	
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
120									21.40	23.18	24.96	26.75	28.53	30.31	32.10	33.88	35.66	37.45
130										25.66	27.63	29.60	31.58	33.55	35.53	37.50	39.47	41.45
140										28.15	30.32	32.49	34.65	36.82	38.98	41.15	43.31	45.48
150											33.03	35.39	37.75	40.10	42.46	44.82	47.18	49.54
160												38.30	40.86	43.41	45.97	48.52	51.07	53.63
170													43.99	46.74	49.49	52.23	54.98	57.73
180														50.07	53.02	55.97	58.91	61.86
190															56.57	59.71	62.85	66.00

*DPC: Diámetro promedio de copa (cm)

2.6. CONCLUSIONES

Las variables altura y diámetro promedio de copa son las que tienen mayor relación para estimar la biomasa foliar seca de *L. graveolens* en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla. El modelo que mejor predice la biomasa foliar seca (g) por planta en pie es el Takata. El promedio de biomasa foliar seca de *L. graveolens* por planta fue 20 g.

2.7. LITERATURA CITADA

- Blancas, V. J., Caballero, N. J., & Beltrán, R. L. (2017). Los productos forestales no maderables de México Fascículo I. Panorama General (1ra ed.). México: Red Temática PFMN, CONACYT. 106 pp.
- Cavazos, D. J. R. (1991). Características ecológicas y producción de orégano *Lippia berlandieri* Schauer) en poblaciones naturales. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1a ed., pp. 56-73). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada M., Robledo, C. W. (2019). InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado 30-01-2020 en <http://www.infostat.com.ar>
- Flores, G., J. G. (1991). Elaboración de la tarifa para evaluar el rendimiento de orégano en la zona norte de Jalisco. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1a ed., pp. 172-176). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Flores, E. (2009). *Potencial productivo del orégano (Lippia graveolens H.B.K.) y calidad de su aceite esencial en dos localidades de El Mezquital, Dgo.* Tesis de Maestría, IPN-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, México.
- Flores, H., Hernández, H. J. A., , López, M. J. I. , Valenzuela, N. L. M., Martínez, S. M. & Madinaveitia, R. H. (2011). Producción y extracción de aceite de orégano (*Lippia graveolens* kunth) bajo cultivo en la comarca lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3), 113-120. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438956009>
- González-López, H. D., Méndez, G. J., López, De la P. H. Y., Hernández, C. F., & González-Uribe, D. U. (2019). Relaciones de producción en *Lippia graveolens* Kunth con variables ambientales al norte de Zacatecas. *Árido-Ciencia*, 6(1), 13-17. Obtenido de <http://aridociencia.mx/numeros/2019/VIVN1/articulo3.pdf>
- Granados-Sánchez, D., Martínez-Salvador, M., López-Ríos, G. F., Borja-De la Rosa, A., & Rodríguez-Yam, G. A. (2013). Ecología, aprovechamiento y comercialización del orégano

(*Lippia graveolens* H. B. K.) en Mapimí, Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(2), 305-321. doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.05.035

- Hernández, R. A. & Arias, M. C. G. (1991). Aspectos ecológico del orégano en el Altiplano Potosino. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1a ed., pp. 67-73). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Hernández-Ramos, A., Cano-Pineda, A., Flores-López, C., Hernández-Ramos, J., García-Cuevas, X., Martínez-Salvador, M., & Martínez, A. L. (2019). Modelos para estimar biomasa de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en seis municipios de Coahuila. *Maderas y Bosques*, 25(2), 1-13. doi: 10.21829/myb.2019.2521806
- Hernández-Ramos, J., Santos-Posadas, H. M., Valdez-Lazalde, J. R., Tamarit-Urias, J. C., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., Peduzzi, A., & Carrero, O. (2017). Biomasa aérea y factor de expansión en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia*, 51(8), 921-938. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30253817008>
- Huerta, C. (1997). Orégano mexicano; oro vegetal. *Biodiversitas*, 3(15), 8-13. Obtenido de <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv15art2.pdf>
- Koksal, O., Gunes, E., Orkan Ozer, O., & Ozden, M. (2010). Analysis of effective factors on information sources at Turkish Oregano farms. *African Journal of Agricultural Research*, 5(2), 142-149. doi:10.5897/AJAR09.598
- Martínez, D. P. M., & Talavera, Z. E. (2011). Transferencia de tecnología de orégano (*Lippia graveolens* HBK) bajo programas de manejo forestal en Jalisco. In S. G. Pérez, C. M. P. González, I. G. Alejandre, & G. M. C. González (Comp.), *El orégano mexicano: Estado actual del conocimiento* (1a ed., pp. 177-189). Durango, Durango, México: La Casa Editorial de Durango.
- Montes de Oca, C. E., Corral, R. S., & Nájera, L. J. A. (2008). Ajuste de ecuaciones de volumen en *Pinus durangensis* en la comunidad las flechas, Durango, México. *Revista de las Sedes Regionales*, 9(17), 173-180. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66615066012>
- Nájera, L. J. A. 1999. *Ecuaciones para estimar biomasa, volumen y crecimiento de biomasa y captura de carbono en diez especies típicas del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México.
- Orona, C. I., Salvador, A. A. J., Espinoza, A. J. De J., & Vázquez, V. C. (2017). Recolección y comercialización del orégano (*Lippia spp*) en el semi-desierto mexicano, un caso de estudio: Reserva ecológica municipal sierra y cañón de Jimulco, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 41, 684-695. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=141/14153918003>
- Quevedo, G. E, Cancino, E. G. O., & Barragán, T. A. R. (2017). Modelos de regresión para estimar peso seco de órganos y área del limbo del duraznero variedad jarillo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 299-310. doi: 10.31910/rudca.v20.n2.2017.388

- Quiñonez, B. G. 2014. *Sistema de crecimiento y rendimiento para las principales especies comerciales de Pinus en Durango, México*. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.
- Ramírez, L., A. G. 2015. *Tablas de predicción de biomasa y rendimiento de cera para Euphorbia antisyphilitica Zucc. en Mazapil, Zacatecas*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Ramos-Uvilla, J. A, García-Magaña, J. J., Hernández-Ramos, J., García-Cuevas, X., Velarde-Ramírez, J. C., Muñoz-Flores, H. J., & García, E. G. G. (2014). Ecuaciones y tablas de volumen para dos especies de *Pinus* de la sierra purépecha, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(23), 92-109. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000300008&lng=es&tlng=es
- Ruiz, A. M., & Hernández, O. E. A. (1991). Algunas consideraciones sobre el sistema de inventario para el orégano. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *El estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1a ed., pp. 91-109). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Sáenz, R. J. T. & Castillo, Q. D. (1991). Tarifa de predicción del rendimiento de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K.) para el municipio de General Cepeda, Coahuila. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1a ed., pp. 177-180). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Schumacher, E. X., & Hall, F. D. S. (1933). Logarithmic expression of timber-tree volumen. *Journal of Agricultural Research*, 47(9), 719-734. Obtenido de <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43968352/PDF>
- Spurr, H. S. (1952). *Forest inventario*. New York, USA: Ronald Press. 476 p.
- Statistical Analysis System Institute Inc. (SAS). (2002). *User´s Guide*. Version 9.0 for Windows. Cary, US, SAS Institute Inc.
- Tapia, J. & Nívar, J. (2011). Ajuste de modelos de volúmen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques de pino de la sierra madre oriental de Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana*, 13(2), 19-28. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49721457004>
- Takata, K. (1958). Construction of universal diameter-height-curvas. *Journal of Japanese Forest Society*, 40(1), 1-6.
- Villavicencio, G. E. E. (1991). Técnicas de producción de orégano en vivero. In G. R. Meléndez, R. S. A. Ortega, & R. R. Peña (Eds.), *Estado actual del conocimiento sobre orégano en México* (1a ed., pp. 177-180). Bermejillo, Durango, México: URUZA-UACH.
- Villavicencio, G. E. E. (2008). Tablas de predicción del rendimiento de hoja seca de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K.) para las poblaciones naturales de Coahuila. [Ficha Tecnológica]. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Villavicencio, G. E. E., Cano, P. A., & García, C. X. (2010). Metodología para determinar las existencias de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K.) en rodales naturales de Parras de la

Fuente, Coahuila. [Folleto]. Saltillo, Coahuila, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Villavicencio-Gutiérrez, E. E., Hernández-Ramos, A., Aguilar-González, C. N., & García-Cuevas, X. (2018). Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 187-207. doi: 10.29298/rmcf.v9i45.139

Zamora-Martínez, M. C., Velasco, B. E., González, H. A., y Hernández, G. G. (2011). *Modelos predictivos para la producción de productos forestales no maderables: palma camedor* (1a ed.). Manual Técnico Núm. 4. México: CENID-COMEF, INIFAP.

CONCLUSIONES GENERALES

Las condiciones topográficas del terreno influyen en la estructura vertical y distribución espacial de *L. graveolens*. La condición de ladera influye positivamente en el diámetro y altura de la planta. La exposición sureste y pendientes pronunciadas afectan positivamente en número de ramas, área basal y área de copa. Asimismo, se encontró un número bajo de renuevos y pocos individuos seniles, lo que indica que hay poca regeneración y la especie puede decrecer. La curva de estructura poblacional tipo V es más común en poblaciones de orégano; sin embargo, la condición de planicie y exposición cenital no favorecen el reclutamiento de *L. graveolens*, generando la curva de estructura poblacional tipo IV. La distribución espacial del orégano es comúnmente agrupada, pero la pendiente alta del terreno modifica la distribución espacial a aleatoria.

Las variables altura y diámetro promedio de copa son las que tienen mayor relación para estimar la biomasa foliar seca de *L. graveolens* en el ejido Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla. El modelo que mejor predice la biomasa foliar seca (g) por planta en pie es el Takata. El promedio de biomasa foliar seca de *L. graveolens* por planta fue 20 g.