

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Rendimiento de Aceite de *Lippia graveolens* Kunth, en Melchor Ocampo, Zacatecas

Por:

ADRIÁN RODRÍGUEZ MOCTEZUMA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Rendimiento de Aceite de *Lippia graveolens* Kunth, en Melchor Ocampo, Zacatecas

Por:

ADRIÁN RODRÍGUEZ MOCTEZUMA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría

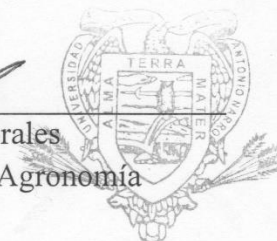


M.C. Héctor Darío González López
Asesor Principal

Dr. Jorge Méndez González
Coasesor

M.C. Haydeé Yajaira López De la Peña
Coasesor

Dr. Gabriel Callegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2018

Este trabajo de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38111-425103001-2268, titulado “Modelos biométricos para determinar el rendimiento de los productos forestales no maderables en el Norte de México”.

DEDICATORIAS

A MI ESPOSA:

Beatriz Anahí Bernal Moncivaiz, gracias por la confianza que desde el primer momento depositaste en mí, por tu apoyo incondicional, por siempre alentarme a seguir adelante, y sobre todo gracias por comprenderme y apoyarme en los momentos que menos lo merecía, pero que más lo necesitaba...Gracias totales.

A MIS PADRES:

Salud Moctezuma Romero y Miguel Angel Rodríguez Tovar, por todos los sacrificios que hicieron para brindarme una educación, por nunca bajar los brazos y estar siempre pendiente de sus hijos, porque a pesar de la distancia aun me siguen cuidando, porque gracias a las enseñanzas y a los valores que me inculcaron he logrado superarme día a día. Espero se sientan orgullosos.

A MIS HERMANOS:

Verónica, Miguel Ángel y José de Jesús porque sé que siempre estarán conmigo, que siempre puedo contar con ustedes y por que cada uno me ha brindado palabras de aliento cuando lo he necesitado.

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater*, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta institución y vivir numerosas experiencias que me han formado como persona, estudiante y futuro profesionista.

A todo el personal que integra el Departamento Forestal, por el apoyo recibido durante mi estancia en la universidad, en especial al Ing. José Jil Cabrera Hernández, por brindarme su amistad y confianza.

Al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, por permitir el uso de sus instalaciones para llevar a cabo la destilación del aceite esencial de orégano, en especial a la Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez y al M.P. Francisco Hernández Centeno por su amabilidad y disposición a colaborar en este trabajo.

Al M.C. Héctor Darío González López por su apoyo en la realización y revisión de este trabajo de tesis y por las enseñanzas brindadas durante la carrera.

A mis coasesores el Dr. Jorge Méndez González y la M.C Haydeé Yajaira López De la Peña por el tiempo dedicado a la revisión de esta tesis.

Al C. Samuel García Galván y a su hermano por su colaboración técnica durante la toma de datos en campo, a su apreciable familia por darnos hospedaje y por todas las atenciones brindadas.

En general a todos mis compañeros de la carrera con los que compartí grandes experiencias, y en especial a mis amigos que me acompañaron a lo largo esta bonita aventura.

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	III
INDICE DE CUADROS	IV
RESUMEN	V
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Descripción de la especie.	3
2.2 Distribución.	3
2.3 Aprovechamiento del orégano.....	5
2.4 Importancia de la especie.	6
2.5 Principales usos del orégano.	6
2.6 Aceites esenciales.....	8
2.7 Aceite esencial de orégano (Lippia graveolens Kunth).....	9
2.8 Métodos de obtención de aceites esenciales.....	10
2.9 Tablas de producción.....	12
2.10 Trabajos afines.	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15

3.1	Descripción del área de estudio.....	15
3.2	Sistema de Muestreo.	16
3.3	Medición de variables.	16
3.4	Preparación de las muestras.	17
3.5	Extracción de aceite esencial.....	18
3.6	Rendimiento de aceite.	20
3.7	Construcción de los modelos de predicción.	20
3.8	Selección del modelo de predicción.	21
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1	Rendimiento de aceite esencial.	23
4.2	Análisis de las variables dasométricas	24
4.3	Construcción de los modelos de predicción.	26
4.4	Selección del modelo de predicción.	28
4.5	Tabla de rendimiento de aceite esencial de <i>L. graveolens</i>	29
V.	CONCLUSIONES	37
VI.	RECOMENDACIONES	38
VII.	BIBLIOGRAFÍA	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estados productores de orégano (<i>Lippia graveolens</i> Kunth) en México.....	4
Figura 2. Hidrodestilación o destilación con agua (tomado de Contreras, 2010).....	10
Figura 3. Destilación con agua-vapor (tomado de Contreras, 2010)	11
Figura 4. Destilación por arrastre de vapor (tomado de Contreras, 2010).....	11
Figura 5. Ubicación geográfica del Ejido San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas..	15
Figura 6. Equipo de destilación de aceite esencial.....	19
Figura 7. Histograma de la Altura de <i>Lippia graveolens</i> Kunth, obtenido del procesamiento de los datos medidos en San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas.	25
Figura 8. Histograma del diámetro de copa promedio de <i>Lippia graveolens</i> Kunth, obtenido del procesamiento de los datos medidos en San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas.....	25
Figura 9. Producción de aceite esencial de orégano (<i>Lippia graveolens</i> Kunth) observados comparados con los calculados por los modelos (a y c); análisis del comportamiento de los residuales (b y d).	30
Figura 10. Producción de aceite esencial de <i>Lippia graveolens</i> Kunth (ml) calculado por modelo $Y = -0.5515 + 0.0469*PSH$ comparado con el porcentaje de rendimiento reportado por Hernández et al. (2016) y el porcentaje de rendimiento obtenido en el presente trabajo.	36

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 .Concentrado de trabajos afines en los que se realizó la destilación de aceite esencial de algunas especies de orégano por diferentes métodos de extracción.	13
Cuadro 2. Estadística descriptiva de <i>Lippia graveolens</i> Kunth, en San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas.	22
Cuadro 3. Análisis de correlación de Pearson (Coeficientes\probabilidades) de las variables propuestas para construir los modelos de predicción de aceite esencial...	26
Cuadro 4. Ecuaciones para predecir la producción de aceite esencial de <i>Lippia graveolens</i> Kunth en San Jerónimo, Melchor Ocampo Zacatecas.	27
Cuadro 5. Calificaciones parciales y final para determinar cuál será el mejor modelo de predicción.....	28

RESUMEN

Usando el método de destilación por arrastre de vapor, se realizó la extracción de aceite esencial a 50 plantas de *Lippia graveolens* Kunth, colectadas en el ejido San Jerónimo municipio de Melchor Ocampo, Zacatecas. Con los resultados obtenidos, se determinó un rendimiento de aceite del 2.785 %, en relación a la cantidad de hoja seca usada para la destilación.

Se construyeron cinco modelos de predicción utilizando las variables PV = peso verde de la planta (g), PS = peso seco de la planta (g) y PSH = peso seco de las hojas (g), que fueron las variables que presentaron mayor grado de asociación con la cantidad de aceite esencial destilado. Para seleccionar el mejor modelo de predicción, se utilizaron los criterios de mayor R^2 ajustada (R^2 aj), menor cuadrado medio del error (CME), menor coeficiente de variación (CV) y menor significancia del modelo (P valor).

Se consideró el modelo $Y = -0.6020 + 0.0530*PSH - 8.10E-06*PV*PS$ como el más apropiado para predecir la producción de aceite esencial de orégano. Sin embargo, se descartó la aplicación de este modelo por la dificultad que representa la construcción e interpretación de una tabla de rendimiento que relacione más de dos variables independientes. Por este motivo se emplearon los modelos $Y = -0.7037 + 0.0584*PSH - 5.96E-05*PS*PSH$ y $Y = -0.5515 + 0.0469*PS$ para construir las dos tablas de rendimiento propuestas, una por cada modelo.

Palabras clave: destilación por arrastre de vapor, aceite esencial, rendimiento, *Lippia graveolens* Kunth, modelos de predicción, tablas de rendimiento.

ABSTRACT

Using the steam distillation method, the extraction of essential oil was carried out in 50 plants of *Lippia graveolens* Kunth, collected in the ejido San Jerónimo municipality of Melchor Ocampo, Zacatecas. With the results obtained, an oil yield of 2.785% was determined, in relation to the amount of dry leaf used for the distillation.

Five prediction models were constructed using the variables PV = green weight of the plant (g), PS = dry weight of the plant (g) and PSH = dry weight of the leaves (g), that the variables that are placed of association with the amount of essential oil distilled. To select the best prediction model, the criteria of higher adjusted R2 (R2 aj), lower mean error (CME), lower coefficient of variation (CV) and lower significance of the model (P value) are used.

The model $Y = -0.6020 + 0.0530 * PSH - 8.10E-06 * PV * PS$ was considered as the most appropriate to predict the production of oregano essential oil. However, the application of this model was discarded due to the difficulty of representing the construction and interpretation of a performance table that relates more than two independent variables. For this reason the models $Y = -0.7037 + 0.0584 * PSH - 5.96E-05 * PS * PSH$ and $Y = -0.5515 + 0.0469 * PS$ were used to build the yield tables, one for each model.

Key words: steam distillation, essential oil, yield, *Lippia graveolens* Kunth, prediction models, yield tables.

I. INTRODUCCIÓN

Se conoce como recursos forestales no maderables (RFNM) a la parte no leñosa de la vegetación de un ecosistema forestal que es susceptible de aprovechamiento o uso, incluyendo líquenes, musgos, hongos y resinas, así como los suelos de terrenos forestales y preferentemente forestales (LGDFS, 2017).

La SEMARNAT (2007), en su Manual de criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de los RFNM de clima árido y semiárido, describe a siete especies con gran importancia socioeconómica y ecológica, entre las cuales se encuentra el orégano (*Lippia spp*).

El orégano es un recurso forestal no maderable que se desarrolla en las zonas áridas y semiáridas de México. Estas zonas representan aproximadamente el 40 % de la superficie en nuestro país (Aranda *et al.*, 2009).

México es el principal exportador de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) a escala mundial con 35 – 40 % del mercado internacional. Produce cerca de 4,000 toneladas anuales, de las que 85 % se comercializa a Estados Unidos de América y 5 % a la Unión Europea y solo el 10 % se consume en interior del país (CONABIO, 2005).

Su alta demanda se debe al contenido y calidad de aceite esencial en la hoja, al que se le han dado numerosos usos en la industria alimentaria y farmacéutica, así como en la elaboración de cosméticos, licores, etc. (Flores, 2008).

La importancia del presente trabajo reside en que la generación de un modelo alométrico que sirva para estimar la producción de aceite esencial de *L. graveolens* en el municipio

de Melchor Ocampo, Zacatecas, será de gran importancia para los productores de orégano y para los profesionistas forestales de la región.

1.1 Objetivo general

Generar una ecuación que permita estimar la producción de aceite de *Lippia graveolens* Kunth, en Melchor Ocampo, Zacatecas.

1.2 Objetivos específicos

Determinar el coeficiente de rendimiento de aceite de *Lippia graveolens* Kunth, en Melchor Ocampo, Zacatecas.

Obtener un modelo alométrico que permita estimar el rendimiento de aceite de *Lippia graveolens* Kunth, en Melchor Ocampo, Zacatecas.

1.3 Hipótesis

Ho: Ningún modelo alométrico permite estimar rendimiento de aceite de *Lippia graveolens* Kunth.

Ha: Al menos un modelo alométrico permite estimar el rendimiento de aceite de *Lippia graveolens* Kunth.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción de la especie.

Lippia graveolens Kunth es una planta aromática que forma pequeños arbustos, mide de 0.45 m a 1.80 m, llegando a alcanzar hasta los 2 metros de altura y hasta 1.20 m de diámetro; hojas opuestas de 1.5 cm a 3.5 cm, ovales, dentadas y aromáticas al estrujarse; flores blancas en cabezuelas; el fruto es una capsula seca y dehiscente (Salvador *et al.*, 2013).

Crece en el matorral desértico, chaparrales, matorrales espinosos y de cactáceas, bosques de enebro y encino y en selvas secas, se encuentra en lugares poco accesibles como cerros, lomeríos, laderas, arroyos y cañadas de suelos alcalinos, generalmente pedregosos, de textura franco-arenosa, dentro de un rango de altitud de 400 a 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm) y, con mayor abundancia entre 1400 y 1800 msnm (Villavicencio *et al.*, 2007).

2.2 Distribución.

En México cerca de 40 especies pertenecientes a cuatro distintas familias (*Asteraceae*, *Fabaceae*, *Lebiatae*, *Verbenaceae*) conocidas con el nombre de orégano se distribuyen en 24 estados de la república, principalmente en las regiones áridas y semiáridas del país; sin embargo, la mayor producción, para fines comerciales, corresponde al género *Lippia*, siendo *Lippia berlandieri* Schauer y *L. graveolens* las especies más abundantes en nuestro país (Huerta, 1997).

El orégano mexicano, *L. graveolens*, es una planta resistente a la sequía y se presenta extensamente en los climas áridos y semiáridos de México y de América Central (Mata-Gonzalez y Melendez-Gonzalez, 2005).

Rzendowki y Calderon (2002) señalan que *L. graveolens* se distribuye ampliamente por todo el país, más concretamente en los estados de Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Baja California Sur, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Nayarit, Jalisco, Michoacán, México, Morelia, Puebla, Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Los estados que destacan como los principales productores son Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Coahuila, donde se localizan las áreas productoras de orégano comercial, lo que representa el 50 % de los permisos de aprovechamiento; le siguen en orden de importancia Jalisco, Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y Baja California Sur (Villavicencio *et al.*, 2007).

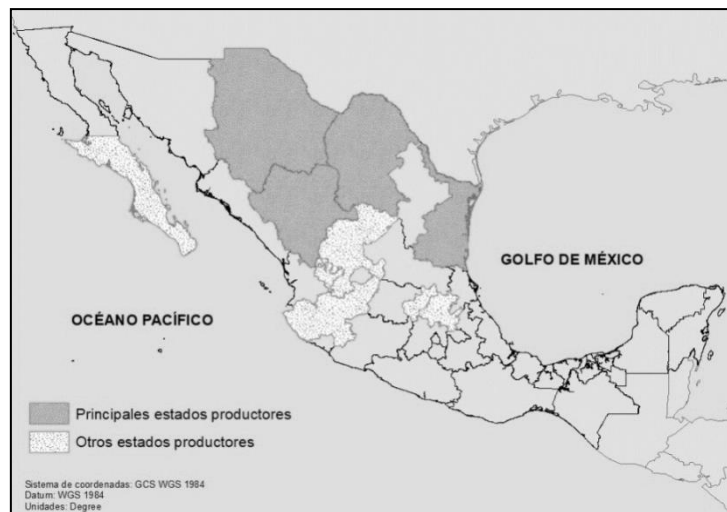


Figura 1. Estados productores de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) en México

2.3 Aprovechamiento del orégano.

En México, el aprovechamiento del orégano se encuentra regulado por la NOM-007-SEMARNAT-1997 que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de ramas, hojas o pencas, flores, frutos y semillas. Esta norma señala que solo podrán aprovecharse plantas en la etapa de madurez de cosecha, y para propiciar la regeneración por semilla, en el área aprovechamiento deben dejarse sin intervenir como mínimo el 20 % de las plantas en etapa de madurez de cosecha, además la intensidad de poda o corte no debe rebasar las dos terceras partes de la altura de la planta.

La etapa de madurez de cosecha se alcanza cuando la planta cumple con las siguientes características: que se haya concluido la floración, la semilla esté madura y que la hoja alcance su estado de madurez y un tamaño importante, por lo que la recolección debe hacerse en plantas sin hojas amarillas ni presencia de plagas o enfermedades y dependiendo del tamaño de la planta, el corte puede ser del 50 al 80 % del total de su altura (CONAFOR, 2011). Sin embargo, la realidad es que, en poblaciones naturales de orégano, la cosecha se realiza en la misma época en que el orégano florea, por lo que al cortar la planta se eliminan fruto y semilla, propiciando una baja regeneración natural de la especie; además al llevarse la planta al lugar de secado, la semilla se separa de la mata en los "asoleaderos" y no en los campos originales donde ésta podría germinar por sí misma (Casillas, 1992).

2.4 Importancia de la especie.

El orégano mexicano (*L.graveolens*) es uno de los productos forestales no maderables de mayor importancia para nuestro país, a nivel nacional la cosecha anual de orégano alcanza las 4000 toneladas (Huerta, 1997).

Existen diferentes características que hacen del orégano un recurso forestal no maderable muy atractivo, desde el punto de vista ecológico encontramos que el orégano tiene una alta recuperación postcosecha, además de ser una especie de rápido crecimiento y reproducción por lo que tiene un alto potencial para la restauración de zonas degradadas. En el ámbito cultural, su uso en la preparación de diferentes platillos en la cocina mexicana se da desde la época prehispánica, además de ser usado como remedio casero para diferentes padecimientos (Silva, 1999; Gómez *et al.* 2013). En el ámbito económico porque es un recurso con una demanda creciente, ubicado en las zonas semiáridas más pobres del país, donde prevalece la economía de sobrevivencia (Casillas, 1992).

2.5 Principales usos del orégano.

En México *L. graveolens* ha sido usada desde hace muchos años, Villavicencio (2010) señala que su uso como planta medicinal y como condimento para potencializar el sabor de los alimentos, además de facilitar su digestión, comenzó desde las antiguas culturas prehispánicas.

Flores (1991), señaló que la mayoría de la gente cree que el único uso del orégano es como condimento en pozole, menudo, birria, etc.; sin embargo, Cabrera (1980), comenta que otro uso poco conocido, a pesar de ser a nivel casero, es como té, o agua de uso para

combatir la tos, padecimientos del riñón, cólicos, elaboración de infusiones para el control de la fiebre y enfermedades de las vías respiratorias.

Gracias a los avances científicos y tecnológicos, actualmente se ha descubierto que el orégano posee múltiples propiedades útiles para el ser humano. De las hojas se extrae aceite esencial, cuyos componentes químicos principales son carvacrol y timol, estas sustancias le confieren al orégano sus características antisépticas, tónicas, diuréticas, entre otras (Aranda, 2009), por lo que esta especie tiene una amplia gama de usos en sus diferentes formas aprovechables. A continuación, se describen algunos usos que incluyen diferentes industrias:

Comestible: Conservador natural y potenciador del sabor en muchos alimentos preparados en fresco.

Industria alimenticia: En alimentos procesados se emplea como antioxidante para la elaboración de embutidos y en conservas como: salmón, atún y sardinas. La actividad antimicrobiana del orégano ha sido atribuida a los terpenos carvacrol y timol contenidos en sus aceites esenciales (Silva, 1999). En la industria refresquera y licorera se utiliza como fijador y saborizante.

Medicinal: Tiene propiedades antiasmáticas, antiespasmódicas, expectorantes, antiinflamatorias, antisépticas, analgésicas, cicatrizantes, diurético (la infusión de hojas) y como regulador de la menstruación. Como uso externo para las várices y para la gota, el reumatismo y las articulaciones rígidas. También ha demostrado ser útil en el tratamiento de infecciones cutáneas, desórdenes hepáticos, sífilis y gonorrea. Su consumo

durante el embarazo no debe ser excesivo, pues se le han atribuido propiedades abortivas (Ávila-Sosa Sánchez, 2001).

Industria farmacéutica: Como componente de medicamentos para el control de enfermedades de las vías respiratorias y del aparato digestivo en humanos y animales. El aceite de orégano tiene actividad microbiológica como: antibacterial, antiviral, larvicida, moluscida y fungicida.

Cosmético: El extracto de aceite de orégano se usa como esencia y fijador de olor en perfumes de marcas comerciales reconocidas; así como, en la manufactura de jabones y productos de aromaterapia (Agro Diario, 2005).

Industrial: Utilizado en la fabricación de aceite para aeronáutica y limpieza de piezas automotrices y en la elaboración de veladoras.

Además, el aceite de orégano posee actividad anti-parasítica contra insectos, ácaros, hongos, bacterias, nemátodos y plagas que atacan granos almacenados, por lo que se le considera como de uso potencial en la agricultura (Silva, 1999).

2.6 Aceites esenciales.

Los aceites esenciales, conocidos también con el nombre de aceite volátil, aceite etéreo o simplemente esencia, son una mezcla biosintetizada por las plantas que puede contener de 50 hasta 300 compuestos químicos; esta mezcla se compone por hidrocarburos terpenicos, sus derivados oxigenados, alcoholes, aldehidos y cetonas así como éteres, ésteres y otros derivados (Stashenko, 2009).

Se trata de productos químicos líquidos, intensamente aromáticos, no grasos, altamente volátiles, generalmente de color amarillo-claro, poco densos, insolubles en agua pero medianamente solubles en vinagre y altamente solubles en alcohol (Contreras, 2010).

Los aceites esenciales pueden obtenerse de distintas partes de las plantas, por ejemplo en las flores como es el caso de la rosa y el azahar, entre otros; semillas como el anís y cilantro; hojas y tallos en el caso de la menta, la albahaca, el tomillo, el orégano, etc; la corteza en el caso de la canela; en los canales resiníferos como en los pinos; raíces como la valeriana; en rizomas como el jengibre y en la cascara de frutos como la naranja y el limón (Stashenko, 2009).

Generalmente, las plantas contienen de 0.01 a 10 % de aceite esencial, la cantidad media se encuentra alrededor de 1 a 2 %. Regularmente el contenido de aceites esenciales aumenta después de la lluvia y alrededor del mediodía, cuando se ha eliminado el agua de rocío depositada sobre la planta, y ha comenzado una deshidratación antes de la humedad relativa alta de la noche (Stashenko, 2009).

2.7 Aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens* Kunth).

El aceite de orégano contiene cuatro grupos principales de químicos que contribuyen a su potente poder curativo: los fenoles, como carvacrol y timol, actúan como antisépticos y antioxidantes, mientras que los terpenos, pineno y terpineno, tienen propiedades antisépticas, antivirales, anti-inflamatorias y anestésicas (Ruiz *et al.*, 2017).

El Timol y Carvacrol son compuestos químicos empleados en la industria alimenticia como inhibidor de crecimiento de hongos contaminantes y bacterias patógenas

relacionadas con los alimentos (*Escherichia coli* Escherich, *Staphylococcus aureus* Rosenbach, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Salmonella spp.*).

2.8 Métodos de obtención de aceites esenciales.

A nivel industrial, la destilación es el proceso más empleado para obtener el aceite esencial del material vegetal. Los aceites esenciales se obtienen principalmente por los siguientes métodos:

Hidrodestilación o destilación con agua: El principio de este método es sumergir el material vegetal en agua que será llevada a estado de ebullición, de tal manera que los vapores generados arrastren los aceites esenciales a otro recipiente donde se condensa y separa del hidrolato, para posteriormente ser colectado. Si el calentamiento es con fuego directo, es de suma importancia que el agua en el extractor sea la suficiente para llevar a cabo toda la destilación a fin de evitar sobrecalentamiento o carbonización de la muestra, ya que esto disminuirá la calidad del aceite; además se recomienda que el material vegetal en el extractor esté en constante agitación para evitar la formación de sedimentos (Bardoni, 2000).

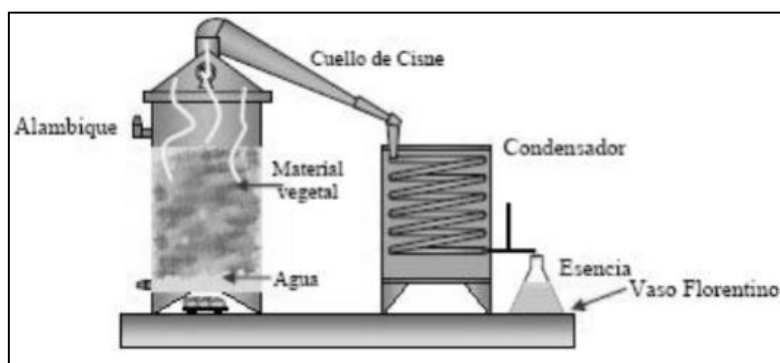


Figura 2. Hidrodestilación o destilación con agua (tomado de Contreras, 2010)

Destilación con agua-vapor: Al igual que en la hidodestilación el material vegetal y el agua están en el mismo recipiente, solo que en este sistema de extracción la planta se encuentra sobre una malla para que el vapor proveniente del agua en ebullición extraiga los aceites esenciales (Stashenko, 2009).

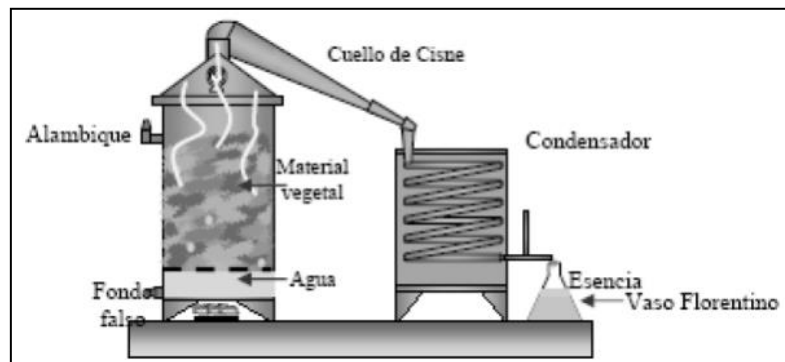


Figura 3. Destilación con agua-vapor (tomado de Contreras, 2010)

Destilación por arrastre de vapor: En este método se tienen en recipientes separados el agua en ebullición y el material vegetal. El vapor de agua se inyecta directamente al recipiente que contiene la muestra y vaporiza cada uno de los componentes volátiles a una temperatura menor a su punto de ebullición; los vapores que salen se enfrían en un condensador donde regresan a la fase líquida, finalmente por diferencia de densidades hidrolato y aceite esencial se separan en un embudo de separación (Bardoni, 2000).

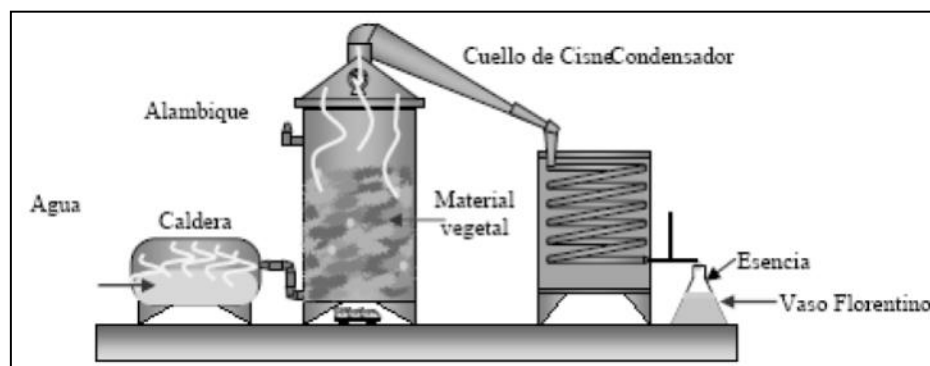


Figura 4. Destilación por arrastre de vapor (tomado de Contreras, 2010)

Además de los métodos descritos anteriormente, existen algunos otros que se denominan métodos alternativos, dentro de ellos podemos encontrar la destilación mediante el uso de solventes; la hidrodestilación asistida por la radiación de microondas; extracción por fluidos en estado supercrítico y la destilación mediante el uso de ultrasonidos en la hidrodestilación. Estos métodos son utilizados a nivel laboratorio, pues a nivel industrial resultan costosos por la inversión requerida para el material y los químicos utilizados en estos procesos (Bardoni, 2000; Rosales, 2015).

2.9 Tablas de producción.

Los métodos de regresión para realizar predicciones o estimaciones pueden emplearse cuando se posee información sobre dos o más variables relacionadas, ya que no solo se busca encontrar un modelo matemático que exprese la relación entre las variables, sino que se pretende saber con qué precisión se puede predecir la variable dependiente con base a la variable independiente con la que se encuentra relacionada (Romahn *et al.*, 1994).

Las tablas de producción son una expresión tabulada de dimensiones difíciles de medir, tales como el volumen, expresadas en función de variables fáciles de medir, generadas a partir del uso de modelos de regresión (Romahn *et al.*, 1994).

2.10 Trabajos afines.

Se consultaron algunos trabajos en los que se obtuvo aceite esencial de algunas especies de orégano (*L. graveolens*, *Lippia origanoides* H.B.K, *Origanum vulgare* L. y *Poliomintha longiflora* Gray) por diferentes métodos de extracción (destilación por arrastre de vapor, destilación con solventes e hidrodestilación), el concentrado de trabajos afines se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1 .Concentrado de trabajos afines en los que se realizó la destilación de aceite esencial de algunas especies de orégano por diferentes métodos de extracción.

Lugar	PV	PS	MSU*	Origen	Especie	Método de extracción	Rend (%)	Autor y año
Lima, Perú	-----	-----	-----	Silvestre	<i>O. vulgare</i>	Arrastre de vapor	1.30	Albado P., E. (2001)
Higueras, Nuevo León	-----	-----	15	Silvestre	<i>P. longiflora</i>	Arrastre de vapor	3.35	Aranda R., J. et al. (2009)
Taminango, Colombia	-----	-----	-----	Silvestre	<i>L. origanoides</i>	Arrastre de vapor	3.27	Arrango B., O. et al. (2012)
Torreón, Coahuila	-----	-----	2000	Silvestre	<i>L. graveolens</i>	Arrastre de vapor	4.00	Cueto W. M. & Rivas M. C. (2008)
						Arrastre de vapor	2.60	
Torreón, Coahuila y	2221	1353	150	Cultivado		Hidrodestilación	1.20	
Mapimí, Durango					<i>L. graveolens</i>	Arrastre de vapor	2.00	Flores H. A., et al. (2011)
	272	185	150	Silvestre		Hidrodestilación	1.46	

PV = peso verde de la planta (g); PS = peso seco de la planta (g); MSU = Materia seca utilizada (g); Rend (%) = Porcentaje de rendimiento. *MSU se refiere al peso seco de las hojas (PSH), utilizada como variable para este trabajo.

Continuación...

Lugar	PV	PS	MSU*	Origen	Especie	Método de extracción	Rend (%)	Autor y año
Torreón, Coahuila	---	---	2000	Silvestre	<i>L. graveolens</i>	Arrastre de vapor	1.15	González E. L., et al. (2011)
			300			D. con solución hexanica	2.30	
El Mezquital, Durango.	---	---	1700	Silvestre	<i>L. graveolens</i>	D. con hexano	0.30	González M.C., et al. (2007)
						D. con acetato de etilo	2.13	
Valle de Santiago,	---	---	50	Silvestre		Arrastre de vapor	3.20	
Irapuato y Guanajuato,	---	---	15	Silvestre	<i>L. graveolens</i>	D. con éter de petróleo	3.00	Hernández D. L. et al. (2016)
Guanajuato	---	---	15	Silvestre		D. con metanol	1.80	
Tacna, Peru	---	---	-----	Cultivado	<i>O. vulgare</i>	Arrastre de vapor	2.02	Téllez M. L., et al. (2017)

PV = peso verde de la planta (g); PS = peso seco de la planta (g); MSU = Materia seca utilizada (g); Rend (%) = Porcentaje de rendimiento. *La variable Materia seca utilizada (MSU) se refiere al peso seco de las hojas (PSH), utilizada como variable para este trabajo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio.

El estudio se realizó en el Ejido San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas, localizado en las coordenadas 24°59'6.00" latitud N y 102°13'2.00" longitud O, a una altitud promedio de 1,446 msnm.

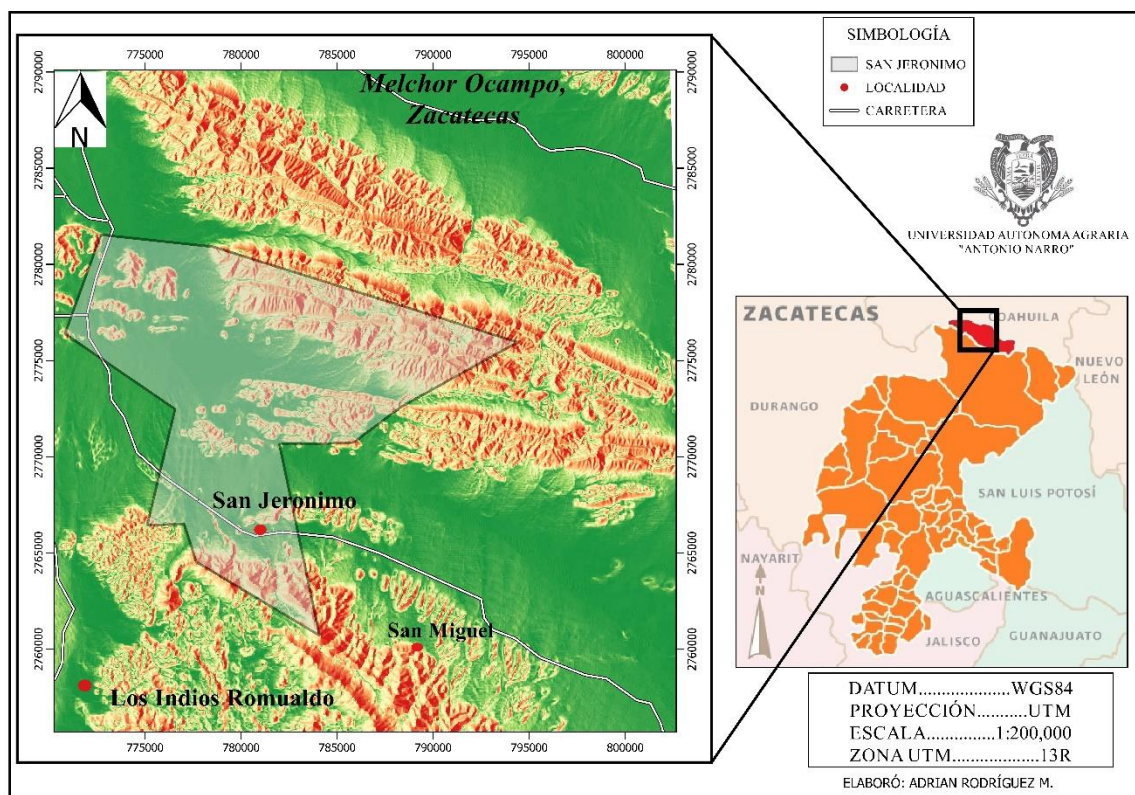


Figura 5. Ubicación geográfica del Ejido San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas.

El Ejido San Jerónimo pertenece a la subcuenca identificada con la clave RH36Ea “L. de la Viesca”, incluida en la cuenca “L. de Mayrón y Viesca” dentro de la región hidrográfica número 14 “Nazas Aguanaval” (CONABIO, 1998).

San Jerónimo, se encuentra dentro del Desierto Chihuahuense y presenta tres tipos de suelo: Litosol, Solonchak y Xerosol cálcico; siendo el Litosol el suelo más abundante en la zona (CONABIO, 1995). El clima que encontramos es (BWhw) muy árido, semicálido, temperatura entre 18 y 22 °C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor de 22 °C. La precipitación media anual de San Jerónimo es de 200 - 400 mm (CONABIO, 2015). Al tener estas condiciones climatológicas hacen que la vegetación domínate este dada de matorral desértico micrófila y matorral desértico rosetófilo (CONABIO, 1997).

3.2 Sistema de Muestreo.

Para este trabajo el método de muestreo se hizo tomando un punto de manera aleatoria y los demás de forma sistemática con una distancia lineal entre cada sitio de al menos 100 metros, esto dentro del área de aprovechamiento. Se levantaron 40 sitios de muestreo, los cuales fueron parcelas de 25 m² divididos en cuatro cuadrantes. En cada cuadrante se seleccionó la planta más cercana al centro del sitio.

El número de sitios se determinó basándonos en que el teorema del límite central establece que con una muestra lo suficientemente grande (generalmente mayor a 30 muestras), sea cual sea la distribución de la media muestral, esta seguirá aproximadamente una distribución normal (Canal, 2008).

3.3 Medición de variables.

La altura de la planta (H, cm) se midió verticalmente desde la base del suelo hasta la punta de las ramas con follaje verde. Para obtener el diámetro se tomaron dos mediciones perpendiculares en la copa de la planta, registrando el diámetro mayor (D, cm) y el

diámetro menor (d , cm) que presenta una planta de orégano; el diámetro de copa promedio (DC , cm) se obtiene con la fórmula $DC = (D + d) / 2$ (Villavicencio *et al.*, 2010). Estas mediciones fueron tomadas en la planta que fue seleccionada en cada uno de los cuadrantes de los sitios.

Después de que se hicieron las mediciones se procedió al corte de planta, el cual se llevó a cabo atendiendo lo indicado por la NOM-007-SEMARNAT-1997. Las muestras fueron guardadas en bolsas de papel para su traslado y etiquetadas e identificadas con una clave, la cual corresponde al número de sitio y cuadrante.

Las muestras fueron llevadas al centro de almacenamiento del ejido y pesadas en una báscula digital, marca AND modelo HL-400 con capacidad máxima para 400 g y exactitud a 0.1g, para registrar la variable peso verde (g), el cual se refiere al peso total de la planta recién cosechada; para obtener las variables peso seco de la planta y peso seco de las hojas es necesario someter las muestras al proceso de secado.

3.4 Preparación de las muestras.

La preparación de las muestras comenzó con la aireación del material, colocando este sobre una lona para evitar el contacto directo de las muestras con el suelo, esto con la finalidad de favorecer la pérdida de humedad para evitar la fermentación y el enmohecimiento. El proceso de secado se hizo a la intemperie durante una semana, se consideró terminado hasta mantener un peso constante, al tacto las hojas estaban secas y semi quebradizas.

Una vez que las muestras completaron el proceso de secado fueron pesadas en la misma báscula con la que se obtuvo el peso verde y se registró la variable peso seco de la planta.

Posteriormente se realizó la limpieza del material, retirando ramas y ramillas para pesar las hojas y obtener la variable peso seco de las hojas, las muestras fueron depositadas en bolsas de papel y etiquetadas con su clave correspondiente, así como con el peso registrado.

3.5 Extracción de aceite esencial.

La extracción de aceite esencial se llevó a cabo en el laboratorio 2 del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la cual se realizó por el método de arrastre con vapor de agua. Este método consiste en hacer pasar vapor a través de las hojas de orégano provocando que se vaporicen los aceites de la muestra.

El método elegido presenta algunas ventajas en comparación con otros métodos de destilación, algunas de estas ventajas son: se descartan pérdidas de aceite, pues la temperatura alcanzada es menor al punto de ebullición del aceite; el vapor generado no causa alteraciones en la composición química del aceite; se evita el uso de solventes; es un método barato y usa tecnología sencilla (Peredo *et al.*, 2009).

Para el proceso de destilación de aceite esencial de *L. graveolens*, en un matraz Erlenmeyer de 1000 ml se colocaron aproximadamente 900 ml de agua destilada y en otro matraz de destilación con capacidad de 500 ml se colocó una muestra de orégano, la cual no excedió los 80 g de biomasa seca, los matraces se conectaron entre sí por medio de un puente de tubo hueco de vidrio borosilicato, esto con la finalidad de que el vapor transite por el mismo, además se utilizaron tapones de goma para sellar ambos matraces y que no se escapara el vapor de agua. El matraz de destilación se conectó a un tubo refrigerante

Graham o de Serpentin, que a su vez estaba conectado por medio de dos mangueras de hule a una bomba para pecera que se encontraba sumergida en agua con hielo. A la salida del tubo refrigerante se colocó un embudo de separación de 250 ml, en él se depositaron hidrolato y aceite esencial, este por diferencia de densidades quedará arriba del hidrolato. Finalmente, el aceite esencial se colectó en un tubo de ensayo, el cual fue rotulado con la clave del sitio y número de muestra. El proceso de extracción de aceite por este método duró aproximadamente de 30 a 40 minutos. El equipo de destilación queda montado como se observa en la Figura 6.

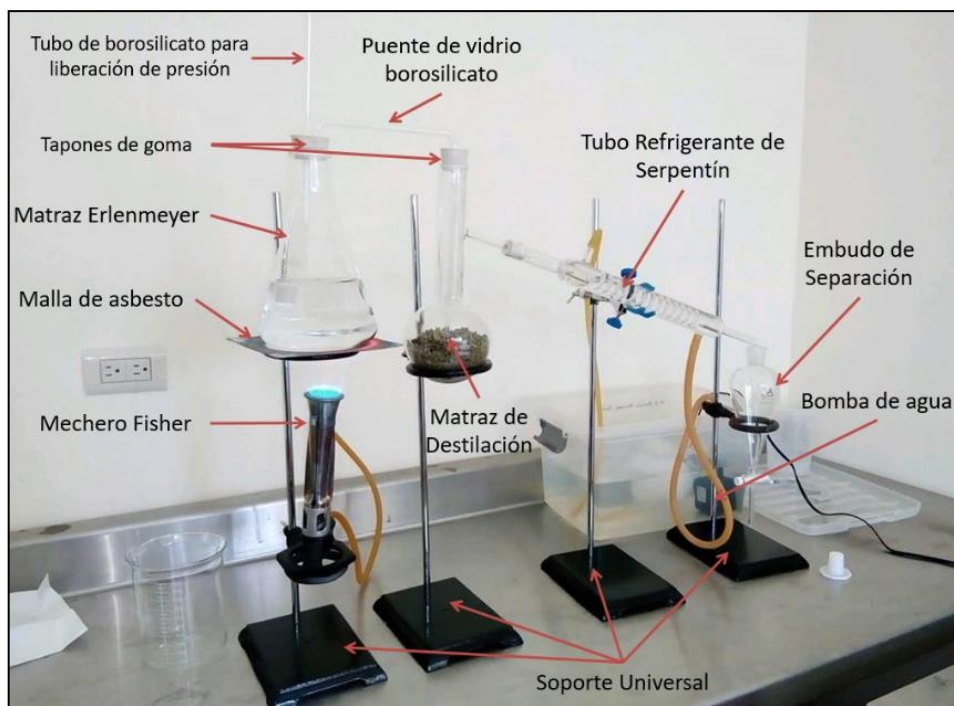


Figura 6. Equipo de destilación de aceite esencial.

Fotografía tomada por Lorenzo Montalvo Anselmo el 22 de enero del 2018.

Siguiendo la metodología descrita en el párrafo anterior se extrajo el aceite esencial de 50 plantas de orégano y se registró la cantidad de mililitros de aceite esencial obtenido.

3.6 Rendimiento de aceite.

Para obtener el rendimiento de aceite esencial por gramo de hoja seca de orégano, se dividió la cantidad de aceite destilado (ml) entre el peso (g) de la muestra que fue sometida al proceso de destilación por arrastre con vapor de agua, el resultado obtenido queda expresado en mililitros de aceite por gramos de materia seca utilizada (ml/g). Por otra parte, el porcentaje de rendimiento de aceite se obtuvo al multiplicar el volumen de aceite destilado (ml) por su densidad y el resultado se dividió entre la masa de la muestra (g), para este trabajo se tomó el valor de densidad a 20°C reportado por Hernández et al. (2016) que es de 0.917 g/ml para una muestra de *L. graveolens*.

3.7 Construcción de los modelos de predicción.

Para la construcción de las ecuaciones de predicción, primero debe realizarse un análisis de correlación para determinar que variables presentan mayor grado de asociación y con ellas construir los modelos que servirán para predecir la producción de aceite esencial (Romahn *et al.*, 1994). El análisis de correlación se realizó con el software para el análisis estadístico INFOSTAT.

Una vez que se determinaron las variables que poseen mayor grado de asociación con la producción de aceite, mediante el uso del complemento de EXCEL ESSENTIAL REGRESSION 2.215 y del software estadístico CURVE EXPERT PROFESSIONAL 2.6.5, se construyeron cinco ecuaciones de regresión para seleccionar al modelo más adecuado al predecir el rendimiento de aceite esencial.

Con base a lo señalado por Romahn et al (1994), los parámetros estadísticos considerados en este trabajo para elegir el mejor modelo para predecir el rendimiento de aceite de *L.*

graveolens fueron R^2 ajustada (R^2_{aj}), Cuadrado Medio del Error (C.M.E), Coeficiente de Variación (C.V) y la significancia del modelo (P valor).

3.8 Selección del modelo de predicción.

El criterio empleado para la selección del modelo consistió en que los parámetros Cuadrado Medio del Error (C.M.E.), Coeficiente de Variación (C.V.), la significancia del modelo (P valor) y el valor de R^2 ajustada sea lo más cercano a la unidad (Romahn et al., 1994).

Para determinar la ecuación que se utilizará para predecir el rendimiento de aceite se asignó una calificación parcial a cada parámetro estadístico, y al final se sumaron las calificaciones asignadas. Para calificar los parámetros estadísticos CV, CME y Signif. F se calificó con uno al valor más bajo y con un cinco al valor más alto, para la R^2 ajustada se calificó con uno al valor más alto y con cinco al valor más bajo; así el modelo cuyo valor en la suma de calificaciones obtuvo el valor más bajo, se consideró como el más indicado para predecir la producción de aceite.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las 50 plantas de orégano sometidas al proceso de extracción de aceite por arrastre de vapor corresponden a plantas de diversos tamaños, con alturas que van de los 40 a los 115 cm y un diámetro de copa promedio que va de los 26 a los 52 cm. Los valores máximos, mínimo, promedio y desviación estándar correspondientes a las variables evaluadas se concentran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estadística descriptiva de *Lippia graveolens* Kunth, en San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
H	40.0000	115.0000	68.3400	14.1906
DC	26.0000	52.5000	39.5900	5.5721
PV	88.0000	326.0000	171.3540	55.9142
PS	56.0000	213.0000	114.8580	33.3827
PSH	21.8000	74.4000	36.3000	12.3505
Y	0.4000	3.0000	1.1520	0.6425
Rend. (%)	1.0480	4.4951	2.7846	0.8366
Rend	0.0114	0.0490	0.0304	0.0091

H = altura (cm); DC = diámetro de copa promedio (cm); PV = peso verde de la planta (g); PS = peso seco de la planta (g); PSH = peso seco de las hojas (g); Y = aceite esencial (ml); Rend = rendimiento de aceite (ml/g); Rend. (%) = porcentaje de rendimiento.

Los valores promedio referentes a las variables de importancia económica: peso verde (171.35 g), peso seco (114.85 g) y peso seco de las hojas (36.30 g) registrados en el presente trabajo son inferiores a los valores registrados por Flores *et al.* (2011) para estas mismas variables. Es conveniente mencionar que los datos aquí presentados corresponden a un área que actualmente se encuentra sometida a aprovechamiento, mientras que los reportados por Flores *et al.* (2011) para orégano silvestre corresponden a una zona sin antecedentes de aprovechamiento, razón por la cual los valores promedio correspondientes a las dimensiones de la planta (altura y diámetro) evaluados en el presente trabajo también fueron menores a los presentados por Flores *et al.* (2011).

4.1 Rendimiento de aceite esencial.

Según los datos concentrados en el Cuadro 2, el rendimiento promedio de aceite por cada 100 gramos de hoja seca es de 3.0366 ml, mientras que el porcentaje de rendimiento promedio se encuentra en 2.785 %.

El porcentaje de rendimiento obtenido en el presente trabajo (2.785 %) difiere a lo reportado en los trabajos afines que utilizaron la misma especie y el mismo método de extracción de aceite esencial, teniendo una mayor variación con Hernández *et al.* (2016) que obtuvieron un rendimiento de 3.2 %, González *et al.* (2011) reportan un rendimiento de 1.15% y Cueto & Rivas (2008) con un rendimiento de 4 %; estas diferencias pueden ser atribuidas a la época de corte de las muestras, tipo de materia prima utilizada para la destilación de aceite, condiciones fisiográficas, factores ambientales, etc., sin embargo la diferencia más notoria a lo realizado en este trabajo la encontramos en la duración del proceso de destilación ya que Cueto & Rivas (2008) indican que el proceso duro 4 horas

y que sometieron a destilación hojas y flores de orégano, mientras que Hernández et al. (2016) reportan que la extracción de aceite tuvo una duración de 4 a 6 horas. González et al. (2011) no indica la duración del proceso de destilación, pero en base a lo descrito en su trabajo podemos suponer que fue un periodo de tiempo similar a los mencionados anteriormente, en este caso la diferencia en el porcentaje de destilación puede atribuirse a algún error relacionado con el funcionamiento del equipo de destilación.

En cuanto a los resultados indicados por Flores et al. (2011), estos reportan un rendimiento de 2.6 % para orégano cultivado y de 2.0 % para orégano silvestre. Ambos resultados son inferiores al rendimiento obtenido en el presente trabajo (2.785 %), esta diferencia puede suponerse por la pérdida de calor en el paso de un matraz a otro y la falta de presión durante el proceso de destilación señaladas por Flores (2011).

4.2 Análisis de las variables dasométricas

Las Figuras 7 y 8 muestran la distribución de frecuencias para las variables altura de la planta y diámetro de copa promedio, estos datos fueron medidos en campo durante el muestreo realizado en este estudio. Como puede observarse en la Figura 7, la altura del 62 % de las muestras se encuentra en un rango de los 50 a los 70 cm de altura y en lo que se refiere al diámetro promedio, el 66 % de las muestras se encuentra en un rango de los 35 a los 45 cm (Figura 8).

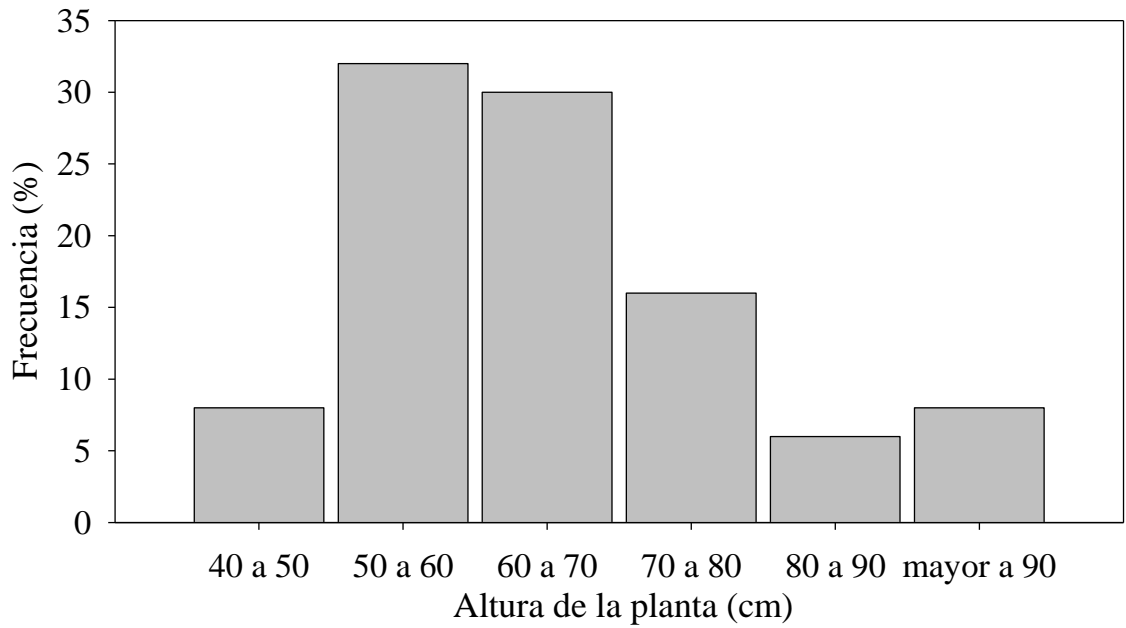


Figura 7. Histograma de la Altura de *Lippia graveolens* Kunth, obtenido del procesamiento de los datos medidos en San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas.

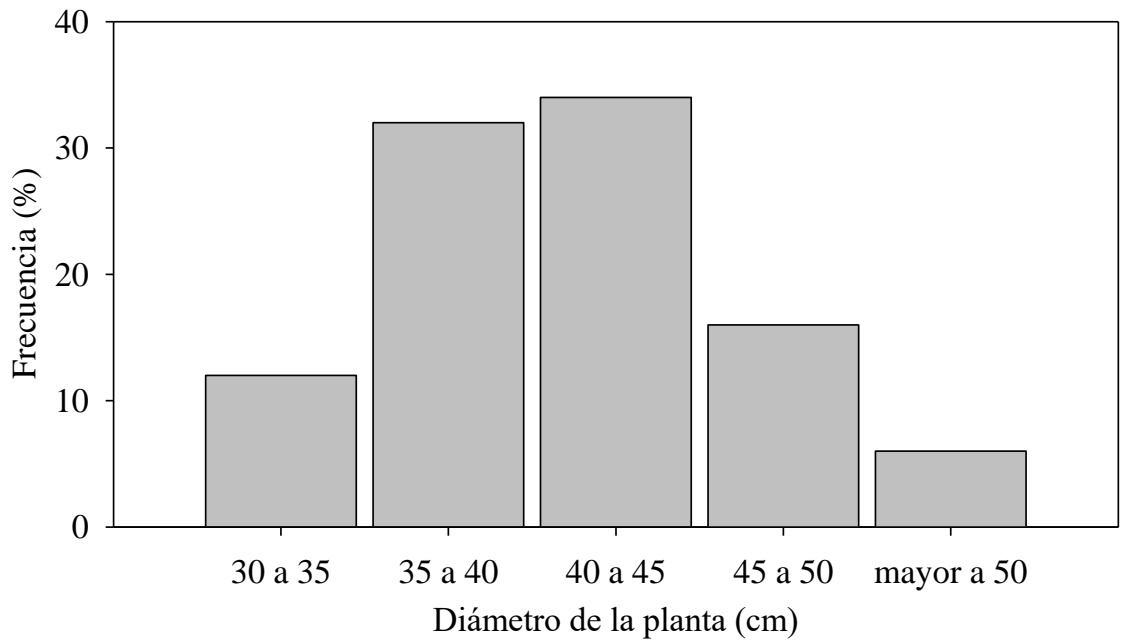


Figura 8. Histograma del diámetro de copa promedio de *Lippia graveolens* Kunth, obtenido del procesamiento de los datos medidos en San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas.

4.3 Construcción de los modelos de predicción.

El Cuadro 3 presenta los coeficientes de correlación de las variables consideradas para alimentar los modelos de predicción, como puede apreciarse las variables que tuvieron mayor grado de asociación con la producción de aceite esencial fueron: peso verde (g) con 0.6125, peso seco (g) con 0.4577 y peso seco de las hojas (g) con 0.9022, por lo que será solo con estas variables que se construirán los modelos alométricos para predecir la producción de aceite esencial.

Cuadro 3. Análisis de correlación de Pearson (Coeficientes\probabilidades) de las variables propuestas para construir los modelos de predicción de aceite esencial

Variables	H	DC	PV	PS	PSH	Y
H	1	0.12	0.14	0.06	0.96	0.61
DC	0.22	1	5.80E-06	1.40E-03	0.01	0.04
PV	0.21	0.59	1	0	2.30E-10	2.30E-06
PS	0.27	0.44	0.82	1	2.90E-06	8.30E-04
PSH	-0.01	0.37	0.76	0.61	1	0
Y	-0.07	0.3	0.61	0.46	0.9	1

H = altura (cm); DC = diámetro de copa promedio (cm); PV = peso verde de la planta (g); PS = peso seco de la planta (g); PSH = peso seco de las hojas (g); Y = aceite esencial (ml).

En Cuadro 4 se encuentran concentrados los cinco modelos alométricos construidos con las variables que presentaron mayor grado de asociación con el contenido de aceite esencial (PV, PS y PSH), además se incluyen los parámetros estadísticos empleados para determinar cuál es el mejor modelo para estimar la producción de aceite.

Cuadro 4. Ecuaciones para predecir la producción de aceite esencial de *Lippia graveolens* Kunth en San Jerónimo, Melchor Ocampo Zacatecas.

Mod	Ecuación	R ² aj	CV	CME	P valor
1	$Y = -0.1489 + 0.0110 \cdot \text{LN}(\text{PSH}) \cdot \text{PSH} - 7.52\text{E-}06 \cdot \text{PV} \cdot \text{PS}$	0.8202	23.64	0.0742	1.1551E-18
2	$Y = -0.6020 + 0.0530 \cdot \text{PSH} - 8.10\text{E-}06 \cdot \text{PV} \cdot \text{PS}$	0.8218	23.53	0.0735	9.2944E-19
3	$Y = -0.7037 + 0.0584 \cdot \text{PSH} - 5.96\text{E-}05 \cdot \text{PS} \cdot \text{PSH}$	0.8197	23.67	0.0744	1.2288E-18
4	$Y = -0.5515 + 0.0469 \cdot \text{PSH}$	0.8100	24.30	0.0784	3.7677E-19
5	$Y = -0.3995 + 0.0514 \cdot \text{PSH} - 0.0028 \cdot \text{PS}$	0.8194	23.69	0.0745	1.2774E-18

Mod = Modelo; Y = aceite esencial (ml); PV = peso verde de la planta (g); PSH = peso seco de las hojas (g); PS = peso seco de la planta (g); R²aj = R² ajustada; C.V = Coeficiente de variación; C.M.E = Cuadrado medio del error; P valor = Significancia del modelo.

4.4 Selección del modelo de predicción.

El Cuadro 5 muestra la calificación final otorgada a los modelos y a sus estadísticos, ya que en base a este valor se determinó cual será el modelo más indicado para predecir la cantidad de aceite esencial contenido en una muestra de orégano.

Cuadro 5. Calificaciones parciales y final para determinar cuál será el mejor modelo de predicción.

Modelo	R ² aj	CV	CME	P valor	Suma	CF
1	2	2	2	3	9	2
2	1	1	1	2	5	1
3	3	3	3	4	13	3
4	5	5	5	1	16	4
5	4	4	4	5	17	5

R² aj = R² ajustada; C.V = Coeficiente de variación; C.M.E = Cuadrado medio del error; P valor = Significancia del modelo; C.F = Calificación final.

En base a las calificaciones mostradas en el Cuadro 5, se determinó que el Modelo 2 es el más indicado para predecir el rendimiento de aceite esencial de orégano, pues es el modelo que destaco por tener el mayor coeficiente de determinación (0.8218) y los menores cuadrado medio del error (0.0735) y coeficiente de variación (23.5389), con una significancia del modelo de 9.2944E-19. Cabe mencionar que los coeficientes de regresión (b0, b1 y b2) mostraron ser significativos al 95 % de confiabilidad.

4.5 Tabla de rendimiento de aceite esencial de *L. graveolens*

Debido a la dificultad que representa la construcción e interpretación de una tabla de rendimiento que relacione más de dos variables independientes, se descarta la aplicación del Modelo 2 para construir la tabla de rendimiento. Por lo que será mediante el uso de los modelos que involucren como máximo dos variables independientes que se fabricaran dos tablas de rendimiento, una por cada modelo. Los modelos a emplearse son los Modelo 3 y 4, que a pesar de no ser los mejor calificados cuentan con una R^2_{aj} alta (0.8197 y 0.8100, respectivamente) según lo mencionado por Romahan et al. (1999), además el uso de estos modelos resulta muy práctico y facilita la construcción de las tablas de rendimiento.

En la Figura 9 se observan las gráficas que contrastan los datos observados con los estimados por los modelos elegidos para construir las tablas de producción (a y c) y la distribución de residuales de cada modelo (Figuras 9b y 9d).

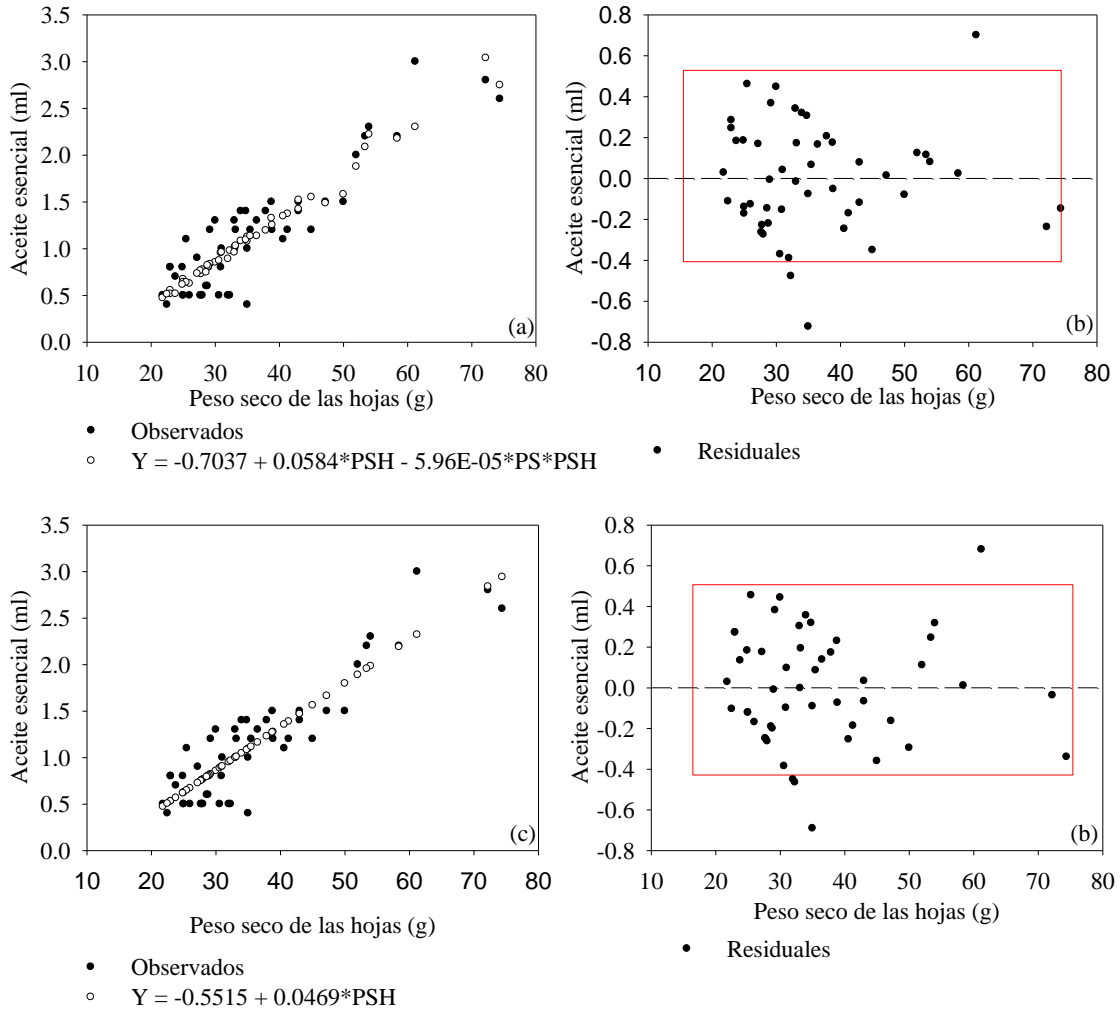


Figura 9. Producción de aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) observados comparados con los calculados por los modelos (a y c); análisis del comportamiento de los residuales (b y d).

Ambos modelos seleccionados pueden recomendarse como ecuaciones confiables para la estimación de la producción de aceite esencial, pues como se puede observar en las Figuras 9b y 9d la distribución de los puntos residuales correspondientes a estos modelos, presentan una distribución uniforme, lo que quiere decir que la sobrestimación y la subestimación se encuentran balanceadas.

Los coeficientes de regresión b_0 y b_1 del Modelo 3 mostraron ser significativos al 95 % de confiabilidad, mientras que el coeficiente b_2 es significativo al 94 %.

El Cuadro 6 muestra la tabla de rendimiento fabricada mediante la aplicación del Modelo 3, la cual es una tabla de doble entrada que considera como variables independientes el peso seco de las hojas y el peso seco de la planta, ambos expresados en gramos.

Cuadro 6. Estimación de la producción de aceite de *Lippia graveolens* Kunth, en San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas, con el

Modelo 3 $Y = -0.7037 + 0.0584*PSH - 5.96E-05*PS*PSH$

PSH	PS															
	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
20.0	0.3922	0.3803	0.3683	0.3564	0.3445	0.3326	0.3207	0.3087	0.2968	0.2849	0.2730	0.2611	0.2491	0.2372	0.2253	0.2134
22.5		0.5157	0.5023	0.4889	0.4755	0.4621	0.4487	0.4353	0.4219	0.4085	0.3951	0.3816	0.3682	0.3548	0.3414	0.3280
25.0			0.6363	0.6214	0.6065	0.5916	0.5767	0.5618	0.5469	0.5320	0.5171	0.5022	0.4873	0.4724	0.4575	0.4426
27.5			0.7703	0.7540	0.7376	0.7212	0.7048	0.6884	0.6720	0.6556	0.6392	0.6228	0.6064	0.5901	0.5737	0.5573
30.0				0.8865	0.8686	0.8507	0.8328	0.8149	0.7971	0.7792	0.7613	0.7434	0.7256	0.7077	0.6898	0.6719
32.5					0.9996	0.9802	0.9609	0.9415	0.9221	0.9028	0.8834	0.8640	0.8447	0.8253	0.8059	0.7866
35.0						1.1098	1.0889	1.0681	1.0472	1.0263	1.0055	0.9846	0.9638	0.9429	0.9220	0.9012
37.5						1.2393	1.2170	1.1946	1.1723	1.1499	1.1276	1.1052	1.0829	1.0605	1.0382	1.0158
40.0							1.3450	1.3212	1.2973	1.2735	1.2496	1.2258	1.2020	1.1781	1.1543	1.1305
42.5								1.4477	1.4224	1.3971	1.3717	1.3464	1.3211	1.2957	1.2704	1.2451
45.0								1.5743	1.5475	1.5206	1.4938	1.4670	1.4402	1.4134	1.3865	1.3597

Y= aceite esencial (ml); PSH = peso seco de las hojas (g); PS = peso seco de la planta (g).

Continuación...

PSH (g)	PS (g)															
	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
47.5									1.6725	1.6442	1.6159	1.5876	1.5593	1.5310	1.5027	1.4744
50.0										1.7678	1.7380	1.7082	1.6784	1.6486	1.6188	1.5890
52.5											1.8601	1.8288	1.7975	1.7662	1.7349	1.7036
55.0											1.9822	1.9494	1.9166	1.8838	1.8510	1.8183
57.5												2.0700	2.0357	2.0014	1.9672	1.9329
60.0													2.1548	2.1190	2.0833	2.0475
62.5													2.2739	2.2367	2.1994	2.1622
65.0														2.3543	2.3155	2.2768
67.5															2.4317	2.3914
70.0																2.5061
72.5																2.6207
75.0																2.7353

PSH = peso seco de las hojas (g); PS = peso seco de la planta (g).

El Cuadro 7 presenta la tabla de rendimiento que emplea el Modelo 4 para la estimación de aceite, cabe mencionar que los coeficientes de regresión (b0 y b1) mostraron ser significativos al 95 % de confiabilidad, mientras que la ventaja de este modelo es utilizar solo una variable, por lo que su aplicación resulta muy sencilla.

Cuadro 7. Estimación de la producción de aceite de *Lippia graveolens* Kunth, en San Jerónimo, Melchor Ocampo, Zacatecas, con el Modelo 4 $Y = -0.5515 + 0.0469*PSH$

PSH (g)	Aceite (ml)	PSH (g)	Aceite (ml)	PSH (g)	Aceite (ml)
20	0.3871	39	1.2787	58	2.1704
21	0.4340	40	1.3256	59	2.2173
22	0.4809	41	1.3726	60	2.2642
23	0.5278	42	1.4195	61	2.3111
24	0.5748	43	1.4664	62	2.3581
25	0.6217	44	1.5134	63	2.4050
26	0.6686	45	1.5603	64	2.4519
27	0.7156	46	1.6072	65	2.4989
28	0.7625	47	1.6541	66	2.5458
29	0.8094	48	1.7011	67	2.5927
30	0.8563	49	1.7480	68	2.6397
31	0.9033	50	1.7949	69	2.6866
32	0.9502	51	1.8419	70	2.7335
33	0.9971	52	1.8888	71	2.7804
34	1.0441	53	1.9357	72	2.8274

Continuación...

PSH (g)	Aceite (ml)	PSH (g)	Aceite (ml)	PSH (g)	Aceite (ml)
35	1.0910	54	1.9826	73	2.8743
36	1.1379	55	2.0296	74	2.9212
37	1.1849	56	2.0765	75	2.9682
38	1.2318	57	2.1234		

PSH = peso seco de las hojas (g).

La Figura 10 se presenta con la finalidad de poder hacer una comparación entre los resultados obtenidos en el presente trabajo y los reportados en los trabajos afines que fueron consultados, en ella se contrastan los datos observados con el 3.20 % de rendimiento reportado por Hernández et al. (2016), los estimados por el Modelo 4 y el porcentaje de rendimiento promedio determinado mediante el análisis de los datos (2.785 %).

Como puede observarse en la Figura 10, al multiplicar el peso seco de las hojas por cada porcentaje de rendimiento (3.20 y 2.785 %) se subestima la producción de aceite esencial, mientras que con el modelo $Y = -0.5515 + 0.0469 \cdot \text{PSH}$ la sobrestimación y la subestimación de los valores predichos se encuentran balanceadas. Por esta razón se establece que un modelo de predicción es más útil al calcular el contenido de aceite esencial de una muestra, y que el porcentaje de rendimiento debe emplearse solamente para realizar un cálculo rápido.

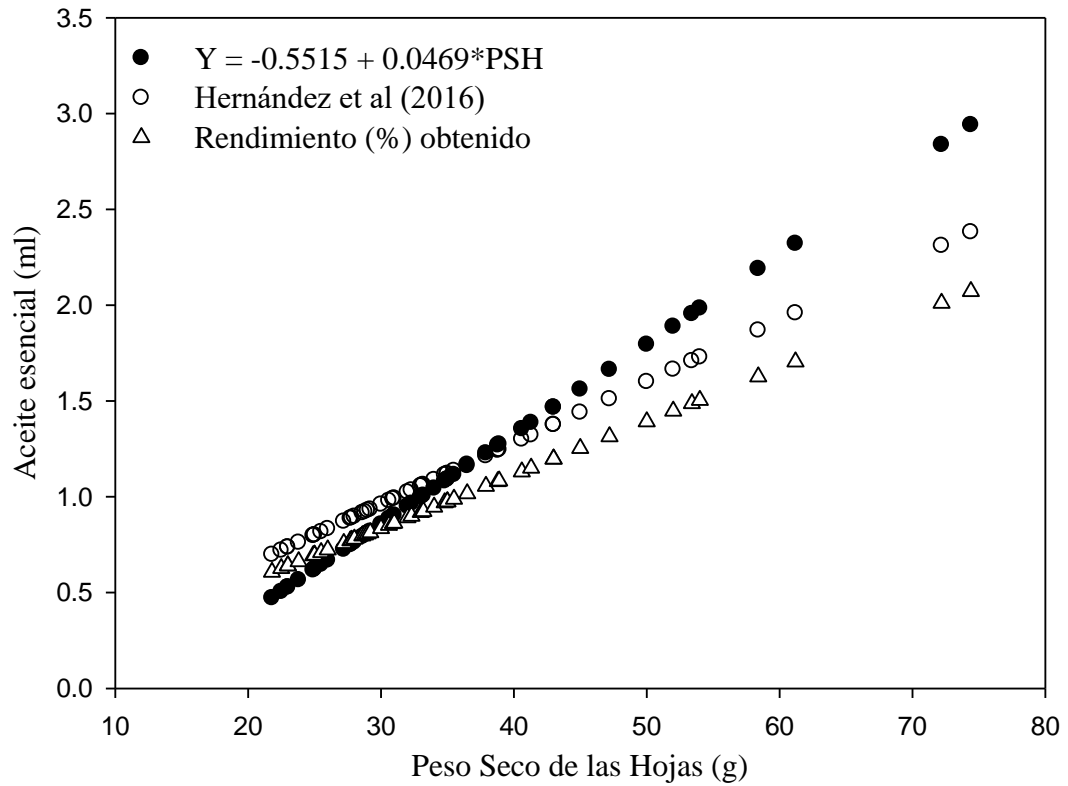


Figura 10. Producción de aceite esencial de *Lippia graveolens* Kunth (ml) calculado por modelo $Y = -0.5515 + 0.0469*PSH$ comparado con el porcentaje de rendimiento reportado por Hernández *et al.* (2016) y el porcentaje de rendimiento obtenido en el presente trabajo.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de datos, se estimó $Y = \text{aceite (ml)}$ a partir de $PV = \text{peso verde (g)}$, $PS = \text{peso seco (g)}$ y $PSH = \text{peso seco de las hojas (g)}$ utilizando el modelo $Y = -0.6020 + 0.0530*PSH - 8.10E-06*PV*PS$.

Se determinó un rendimiento de aceite esencial de *Lippia graveolens* Kunth del 2.785 % a partir de $PSH = \text{peso seco de las hojas (g)}$.

Haciendo uso de los modelos $Y = -0.5515 + 0.0469*PSH$ y $Y = -0.7037 + 0.0584*PSH - 5.96E-05*PS*PSH$, se construyeron dos tablas de rendimiento de aceite esencial de *Lippia graveolens* Kunth.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda que la extracción de aceite se realice inmediatamente después de terminar el pesado de las hojas secas, esto para evitar sesgos en la información obtenida. Si esto no es posible deberá pesarse cada muestra antes de ser sometida al proceso de extracción.

El uso del modelo $Y = -0.6020 + 0.0530*PSH - 8.10E-06*PV*PS$ generado en el presente estudio, deberá ser empleado a nivel local y en condiciones ambientales y fisiográficas similares.

Considerar variables ambientales (precipitación, tipo de suelo) y fisiográficas (pendiente, exposición, altitud) para relacionarlas con la producción de aceite de *Lippia graveolens* Kunth.

Para futuros estudios evaluar diferentes poblaciones y preferentemente que no se encuentren bajo aprovechamiento.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Albado, P. E., Saez, F. G. y Grabiell, A. S. (2001). Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial del *Origanum vulgare* (orégano). Revista Medica Herediana. 12 (1), 16-19.
- Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2016. Secretaria del Medio Ambiente.
- Aranda, R. J., Silva, V. R. y Franco, H. D. (2009). Caracterización del aceite esencial de orégano liso (*Poliomintha longiflora* Gray) de la localidad Infiernillo en el Municipio de Higuera, N.L., México. Revista Salud Publica y Nutrición, 10(1). Recuperado de <http://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/229>.
- Arango, O.B., Pantoja, D.D., Santacruz, C. L. y Hurtado, B. A. (2012). Actividad antioxidante del aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides* H.B.K) Del Alto Patia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 10 (2), 79-86.
- Canal, D. N. Distribuciones de probabilidad: El teorema central del límite. Sociedad Española de Enfermería Nefrológica, cap. 8, p 119, España, 2006.
- Casillas-Alcalá, C. (1992). El orégano en México: panorama del primer exportador mundial. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1995. Cartografía digital Edafología. Escala 1:250000. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1997. Cartografía digital Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie V (continuo nacional).

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1998. Cartografía digital Subcuencas Hidrológicas. Escala 1:1000000. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2005. El Orégano Mexicano: Oro Vegetal. Comisión Nacional de Biodiversidad.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2015. Cartografía digital Precipitación anual en México (1910-2009). Escala 1:250000. México.
- Comisión Nacional Forestal. (2009). Catálogo de recursos forestales maderables y no maderables. [Fecha de consulta: 15 de febrero de 2018] Disponible en: http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Catalogo_de_recursos_forestales_M_y_N.pdf
- Comisión Nacional Forestal. (2011). Paquete tecnológico para la producción de orégano (*Lippia* spp.). [Fecha de consulta: 20 de abril de 2018] Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/OREGANO.pdf>
- Cox, G. W., (1972). Laboratory Manual of General Ecology. Second edition USA.
- Cueto, W. M. y Rivas, M. C. (2008). Determinación del efecto antifúngico del aceite esencial y diferentes extractos de orégano (*Lippia berlandieri* Shauer) sobre el desarrollo de *Fusarium oxysporum* aislado de plantas de tomate. Tercera Reunión Nacional sobre Orégano 1: Saltillo, Coahuila. México.
- Flores, H. A., Hernández, H. J., López, M. J., Valenzuela, N.L., Martínez, S. M. y 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- 123. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2018]

Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438956009>> ISSN 2007-1132.

Gómez, L. F. Y Almeida, M. R. (2013). El orégano *lippia spp.* en la cocina indígena y popular de México.

González, E. L., Jacobo, S. M., Castro, B. F., y García, L. C. (2011). Actividad bactericida de varios extractos y del aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens* HBK) sobre una cepa fitopatógena de *Clavibacter michiganensis* subsp *michiganensis*. In: Pérez S. G., González C. M., Alejandre I. G. y González G. M. (Eds). 2011. Orégano Mexicano: estado actual del conocimiento. Primera edición.

González, G. M., Soto, H. M., Kite G. y Martínez V. M. (2007). Actividad antioxidante de flavonoides del tallo de orégano mexicano (*Lippia graveolens* HBK var. *berlandieri* Schauer). Revista Fitotecnia Mexicana [en línea] 2007, 30 (enero-marzo): [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61030106>> ISSN 0187-7380.

Hernández, D. L., Abraham, J. M., Martínez, J. O., Pérez, B. L. y Mares, M. E. (2016). Aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) como potencial nutracéutico. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 1 (2), 453-458.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Diario Oficial de la Federación 2017

Muñoz, G. M. (1999). Extracción y caracterización de aceite esencial de orégano a escala laboratorio. Tesis profesional de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional.

Norma Oficial Mexicana NOM-007- RECNAT-1997 SEMARNAT

- Peredo, L. H., Palou, G. E. y López, M. A. (2009). Aceites esenciales: Métodos de extracción. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*. 3 (1), 24-32.
- Romahn, V., C. F.; H. Ramírez M. y J. L. Treviño G. (1994). *Dendrometría*. Universidad Autónoma de Chapingo, Edo. de México. 354 p.
- Silva, V. R. (1999). El Orégano como una alternativa de producción agrícola sustentable para las zonas áridas y semiáridas. Folleto para productores No. 11. CIRENA-SEP- Fund. PRODUCE. Saltaices, Chih. México. 19 p.
- Téllez, M. L., y Nolazco, C. D. (2017). Estudio de la composición química del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* spp.) de Tacna. *Ingeniería Industrial* [en línea] 2017, (Enero-Diciembre) : [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337453922010>> ISSN 1025-9929
- Villavicencio, G. 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.