

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Modelo de Predicción de Volumen de Cera de Candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.)
Extraída en Tres Ejidos del Estado de Coahuila.

Por:

ESAÚ RAMÍREZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Modelo de Predicción de Volumen de Cera de Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.)
Extraída en Tres Ejidos del Estado de Coahuila.

Por:

ESAÚ RAMÍREZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Jorge Méndez González

Asesor Principal



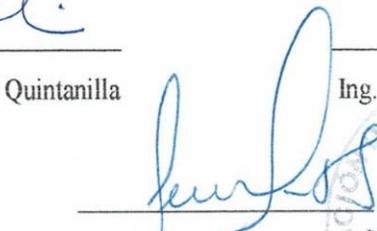
Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla

Coasesor



Ing. Marco Antonio Granillo Chapa

Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2022

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

- Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Esaú Ramírez López

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitirme ser parte de ella y por todo el apoyo que recibí durante mi formación académica.

Mis más grandes y sinceros agradecimientos a mis asesores:

Dr. Jorge Méndez Gonzáles por todas las enseñanzas, por brindarme su apoyo durante la realización del presente trabajo. Un gran profesor del Departamento Forestal. Muchas gracias.

Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla, por la aceptación y revisión del presente trabajo contribuyendo a mejorar la versión final de la misma.

Al Ing. Marco Antonio Granillo Chapa por brindarme la idea, el apoyo incondicional durante la obtención de la información para la realización del presente trabajo y por su amistad. un gran amigo.

A mis profesores del Departamento Forestal por todo el conocimiento que pude adquirir durante mi formación académica en mi estancia en la UAAAN.

A mis amigos:

M.C. Jesús, Imelda, Carlos y Diego por el apoyo y la motivación que me brindaron durante mi carrera.

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de vivir en este mundo, por guiar mi camino siempre y por permitirme tener una buena experiencia dentro de mi universidad.

A mis padres, Simón Ramírez Santiago y Francisca López Ruíz por haberme dado más que la vida, su cariño, amor incondicional y por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para lograr mis metas. Gracias.

A mis hermanos, Alicia, Rubén, Anahí y Omar por el apoyo que me dieron durante mi carrera en la UAAAN.

A mi familia en general que siempre me motivaron para seguir adelante y poder culminar mi carrera.

ÍNDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| DECLARACIÓN DE NO PLAGIO | i |
| AGRADECIMIENTOS..... | ii |
| DEDICATORIA..... | iii |
| ÍNDICE..... | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vii |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | viii |
| RESUMEN | ix |
| ABSTRACT..... | x |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Justificación..... | 3 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 1.2.1. Objetivo general..... | 4 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 4 |
| 1.3. Hipótesis..... | 5 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 6 |
| 2.1. La familia Euphorbiaceae | 6 |
| 2.2. Descripción del género <i>Euphorbia</i> L..... | 7 |
| 2.3. Características generales de la Candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.)..... | 7 |
| 2.4. Clasificación Taxonómica de la candelilla | 9 |
| 2.5. Reproducción | 10 |
| 2.6. Ecología de la especie..... | 10 |
| 2.7. Suelo | 10 |
| 2.8. Clima | 10 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.9. Topografía | 11 |
| 2.10. Tipos de vegetación..... | 11 |
| 2.11. Distribución..... | 11 |
| 2.12. Importancia de la candelilla..... | 12 |
| 2.13. Propiedades de la cera de candelilla | 12 |
| 2.14. Aprovechamiento de candelilla..... | 14 |
| 2.15. Proceso de extracción del cerote..... | 15 |
| 2.16. Comercialización de cera de candelilla..... | 15 |
| 2.17. Cadena productiva de la candelilla | 16 |
| 2.18. Marco legal para el aprovechamiento de candelilla | 16 |
| 2.18.1. Marco legal nacional..... | 16 |
| 2.18.2. Marco legal internacional | 17 |
| 2.19. El uso de modelos alométricos | 18 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 20 |
| 3.1. Actividades económicas principales de los ejidos del área de estudio | 21 |
| 3.2. Materiales empleados para la elaboración de este trabajo | 22 |
| 3.2.1. Materiales de uso técnico | 22 |
| 3.2.2. En la paila..... | 22 |
| 3.3. Metodología utilizada en campo para obtener las variables evaluadas..... | 23 |
| 3.4. Inicio..... | 23 |
| 3.5. Cargado de la paila..... | 23 |
| 3.6. Adición del volumen de ácido | 24 |
| 3.7. Cerrado de la paila | 24 |
| 3.8. Espumado | 24 |
| 3.9. Sacado de la hierba..... | 24 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.10. Procesamiento de los datos..... | 25 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 26 |
| 4.1. Resultados..... | 26 |
| 4.2. Discusión | 38 |
| 4.2.1. Aprovechamiento de la planta de candelilla..... | 38 |
| 4.2.2. Proceso de extracción de la cera de <i>E. antisyphilitica</i> Zucc | 39 |
| 4.2.3. Experimento | 42 |
| V. CONCLUSIONES | 45 |
| VI. RECOMENDACIONES | 46 |
| VII. LITERATURA CITADA..... | 47 |
| VIII. APÉNDICE..... | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Localización geográfica del área estudio. | 20 |
| Figura 2. Número de pailadas procesadas por ejido. | 26 |
| Figura 3. Rendimiento en kg de cera extraída por ejido. | 30 |
| Figura 4. Distribución del rendimiento en kg de cera extraída por ejido. | 31 |
| Figura 5. Relaciones de las variables independiente con los datos observados y estimados de cera de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. | 33 |
| Figura 6. Análisis de residuos del modelo para predecir la producción de cera de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. Homogeneidad de varianza (a), normalidad (b) | 34 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc., según (ITIS, 2022). | 9 |
| Cuadro 2. Composición química de la cera de candelilla. | 13 |
| Cuadro 3. Propiedades fisicoquímicas de la cera de candelilla. | 14 |
| Cuadro 4. Comparativo de la pailada con mayor rendimiento y la de menor rendimiento. | 27 |
| Cuadro 5. Variables consideradas para la generación del modelo de regresión. | 28 |
| Cuadro 6. Estadísticos descriptivos de las variables utilizadas para predecir cera de <i>E. antisyphilitica</i> Zucc. | 29 |
| Cuadro 7. Estadísticos de ajuste y verificación de supuestos de un modelo de regresión lineal (Cera = β_1 * volumen + β_2 * peso) de predictores de extracción de cera de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. | 33 |
| Cuadro 8. Estadísticos de ajuste del modelo dummy para la estimación de extracción de Cera de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. | 36 |

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en el mes de mayo del 2021, en tres ejidos 1) La Fe, 2) Mala Noche y Arracadas y 3) Las Coloradas, pertenecientes a los municipios de Viesca, San Pedro y Ramos Arizpe todos del estado de Coahuila, México. El objetivo fue generar un modelo de regresión para predecir volumen de cera de candelilla, *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. Las variables consideradas fueron del tipo climático, como temperatura y precipitación, y del proceso, como volumen de ácido y peso de la hierba. La cera de *E. antisyphilitica* se obtuvo con el método tradicional, consistente en la cocción de la planta de candelilla en pailas utilizando una solución de agua-ácido sulfúrico. Para generar el modelo, se utilizó el método stepwise usando el programa estadístico de RStudio versión 2022.07. Se realizó regresión dummy para determinar si había diferencias en el promedio de cera producida entre ejidos y para determinar la existencia de una o más ecuaciones para predecir volumen de cera. Los resultados indican que las variables climáticas no determinan la producción de cera de *E. antisyphilitica*. El modelo dummy indica que el promedio de volumen de cera es igual entre ejidos y, por ende, un solo modelo puede usarse para predecir el volumen de cera (kg) en esta especie, la cual puede estimarse adecuadamente con el volumen (ml) de ácido sulfúrico utilizado en el proceso y con el peso del volumen de hierba (kg). El modelo predice adecuadamente el volumen de cera en esta especie, al registrar un coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj.) de 0.9811 y un error estándar de 0.7346 kg. Aunque existe colinealidad entre volumen y peso, no son de la misma unidad muestral. La temperatura utilizada en el proceso tampoco está relacionada con la cantidad de cera extraída.

Palabras clave: *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., cera, método tradicional, variables, modelo de regresión, RStudio, stepwise, dummy.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the month of May 2021, in three ejidos 1) La Fe, 2) Mala Noche y Arracadas and 3) Las Coloradas, belonging to the municipalities of Viesca, San Pedro and Ramos Arizpe all within the state of Coahuila, Mexico. The objective was to generate a regression model to predict the volume of candelilla wax, *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. The variables used included climatic type such as temperature and precipitation, and those included in the process, such as acid volume and weight of the plant load. The *E. antisyphilitica* wax was obtained with the traditional method, consisting of cooking the candelilla plant in “pailas” using a water-sulfuric acid solution. To generate the model, the stepwise method was used in the RStudio version 2022.07 statistical program. Dummy regression was performed to determine if there were differences in the average wax produced between “ejidos” and to determine the existence of one or more equations to predict wax by volume. The results indicate that climatic variables do not determine wax production of *E. antisyphilitica*. The dummy model indicates the average wax volume extracted is the same between “ejidos”, and therefore a single model can be used to predict the wax by volume (kg) for this species, which can be adequately estimated with the volume (ml) of sulfuric acid used in the process. and with the weight of the plant load (kg). The model adequately predicts wax in this species, registering an adjusted coefficient of determination (R^2 aj.) of 0.9811 and a standard error of 0.7346 kg. Although there is collinearity between volume and weight, they are not from the same sample unit. Nor is the temperature used in the process related to the amount of wax produced.

Key words: *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., wax, traditional method, variables, regression model, RStudio, stepwise, dummy.

I. INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales son esenciales para satisfacer los requerimientos de sustento y bienestar del ser humano; sin embargo, dichos recursos se agotan o degradan como consecuencia del uso insostenible que se hace y a los efectos del cambio climático que recae sobre los ecosistemas en todo el mundo (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2015). Dentro de estos ecosistemas existen los recursos forestales no maderables; que son la parte no leñosa de la vegetación de un ecosistema forestal, y susceptibles de aprovechamiento o uso, incluyendo líquenes, musgos, hongos y resinas, así como los suelos de terrenos forestales y preferentemente forestales (LGDFS, 2022).

En los ecosistemas áridos y semiáridos de México sobresale *Euphorbia antisiphilitica* Zucc, una especie forestal no maderable, endémica del desierto Chihuahuense en el norte de México y del sureste de Estados Unidos de América (Hernández *et al.*, 2020). Pudiéndose encontrar también en algunos estados del centro y sur de la república mexicana como los estados de Oaxaca, Puebla, Guanajuato, Querétaro, San Luís Potosí, e Hidalgo (Zamora *et al.*, 2013).

La candelilla es una planta que va de entre 20 y 110 centímetros de altura compuesto por tallos rectos de color verde pálido, tiene hojas muy pequeñas y una capa cerosa que la protege de la desecación (Taller Nacional de la Candelilla, 2008).

La planta de candelilla era conocida por los nativos del norte de México por la cera que desprende de los tallos; la extraían por cocción en agua caliente, empleándola para recubrir las cuerdas de sus arcos y protegerlas de los cambios climáticos. Al llegar los españoles, adquieren importancia en los residuos de la cocción, pues eran ingeridos como “remedio” para curar enfermedades veneras (Campos y Chávez, 1981).

Euphorbia antisiphilitica Zucc. Es un recurso natural que da sustento a familias enteras en las zonas áridas del norte de México. El uso de la cera se basa en el conocimiento indígena, mientras que el uso comercial comenzó alrededor de 1910. El mayor volumen de exportación fue > 8000 t/año durante la Segunda Guerra Mundial para uso militar (Woda, 2016).

La cera de candelilla es una materia prima muy apreciada por sus propiedades; utilizada en más de 20 industrias distintas de todo el mundo (SEMARNAT, 1999). La producción de la

cera de candelilla tuvo su auge durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se utilizaba para impermeabilizar y proteger de los mosquitos las telas de las tiendas de campaña, así como para cubrir y prevenir el deterioro de algunas partes de los aviones y para la fabricación de explosivos (Canales *et al.*, 2006).

México es el único país en el mundo que produce cera de candelilla; y la gran mayoría de ésta se exporta como materia prima (cerote), para su transformación principalmente a Estados Unidos, Japón y la Unión Europea; y sólo 2% de dicha producción es utilizada por la industria nacional (CONABIO, 2022).

Las características fisicoquímicas de la cera que se obtiene de *E. antisiphilitica*, le han permitido conquistar el mercado tanto nacional como internacional. Es utilizada para la elaboración y acabado de una infinidad de productos entre los que destacan: adhesivos, anticorrosivos, cosméticos, fármacos, lubricantes, plásticos, textiles, tintas, pinturas, abrillantadores, entre otros (Taller Nacional de la Candelilla, 2008). La producción de cera de candelilla se lleva a cabo en el norte del país. Coahuila es el estado más importante en superficie y producción, participa con alrededor del 80% de la producción nacional, siendo los municipios de Cuatro Ciénegas, Ocampo y Sierra Mojada los principales productores (Govea, 2018).

La extracción de cera de candelilla es una de las principales actividades que se realizan en las comunidades ejidales del estado de Coahuila, esta actividad contribuye a la generación de empleos y recursos económicos para dichas poblaciones, representando en muchos casos la principal actividad productiva. Por lo tanto, la permanencia de candelilla es un asunto de vital importancia partiendo de la necesidad de usar de manera sustentable y con la debida planeación este recurso natural de las zonas áridas de nuestro país.

Actualmente el proceso tradicional de extracción de cerote de candelilla se ha mantenido sin cambios o mejoras en 120 años. Existe la necesidad de mejorar el proceso de extracción para disminuir la cantidad de hierba utilizada, el método usado actualmente ha probado ser el más económico, más fácil de transferir y utilizar por mano de obra poco calificada (candelilleros), por esta razón el presente trabajo está encaminado a generar un modelo para hacer predicciones de este producto; los resultados serán expuestos a los productores como recomendaciones de mejora en su método de extracción.

1.1. Justificación

Existe la necesidad de mejorar el proceso de extracción para disminuir la cantidad de hierba utilizada, el método usado actualmente ha probado ser el más económico, más fácil de transferir y utilizar por mano de obra poco calificada (candelilleros), por esta razón el presente trabajo está encaminado a generar un modelo para hacer predicciones de este producto; los resultados serán expuestos a los productores como recomendaciones de mejora en su método de extracción.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Generar un modelo de regresión lineal, para predecir el volumen de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en tres ejidos del estado de Coahuila.

1.2.2. Objetivos específicos

Evaluar algunas localidades, para determinar diferencias en la extracción de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.).

Determinar si los factores ambientales cómo precipitación y temperatura, influyen en la cantidad de cerote de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.).

Utilizar variables ambientales, de localidades (como variable dummy) y de la planta *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. para generar un modelo predictivo de cera de esta especie.

1.3. Hipótesis

H₀: Ninguno de los factores que influyen en el proceso de extracción tradicional: temperatura de la paila, pH del agua, tiempo de cocción, peso de la hierba y volumen de ácido sulfúrico; además de cuatro variables bioclimáticas: temperatura media anual, temperatura máxima del mes más cálido, temperatura mínima del mes más frío y precipitación media anual, así como una variable Dummy, denominada localidad; permiten predecir el volumen de cera de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc.

H₁: Al menos uno de los factores que influyen en el proceso de extracción tradicional: temperatura de la paila, pH del agua, tiempo de cocción, peso de la hierba y volumen de ácido sulfúrico; además de cuatro variables bioclimáticas: temperatura media anual, temperatura máxima del mes más cálido, temperatura mínima del mes más frío y precipitación media anual, así como una variable Dummy, denominada localidad; permiten predecir el volumen de cera de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La familia Euphorbiaceae

La familia Euphorbiaceae es una de las más grandes a nivel mundial y ocupa el sexto lugar en diversidad después de Orchidaceae, Asteraceae, Fabaceae, Poaceae y Rubiaceae. Las euforbiáceas son dicotiledóneas, y pertenecen al orden Euphorbiales. Existe una enorme variación morfológica en la familia. Sin embargo, la mayoría de las especies se reconocen por sus flores unisexuales, frecuentemente pequeñas, la presencia de un disco floral, un ovario súpero con 3 lóculos, los lóculos con 1 o 2 óvulos, y frutos típicamente esquizocárpicos capsulares con mericarpos elásticamente dehiscentes. Además, muchas especies tienen látex, hojas con estípulas y varias formas de glándulas; es una de las más grandes en México, pues cuenta con 782 especies conocidas, ubicadas en 43 géneros. La mayoría de las especies son endémicas y el país representa un centro de diversidad para muchos géneros (Steinmann, 2002).

Martínez *et al.* (2002) mencionan que esta familia contiene árboles, arbustos, hierbas o enredaderas, dioicos o monoicos; tallos ocasionalmente suculentos, exudado lechoso, coloreado o ausente; indumento de pelos simples, ramificados o lepidotos, a veces ausente.

Hojas alternas, opuestas o verticiladas, a veces en espiral; lámina de hoja simple, lobulada o compuesta; nervadura pinnada o palmada. Inflorescencias en cimas, modificadas en espigas, cabezas, pseudantos o flores solitarias.

Flores unisexuales, básicamente actinomorfas; perianto conspicuo, inconspicuo o ausente; por lo general cáliz lobado o partido, en ocasiones reducido o ausente; corola con 3 hasta 6 pétalos, rara vez más numerosos; filamentos libres o connatos; anteras generalmente biloculares, estilos libres, estigmas enteros, ovario súpero por lo general de 3 a 4 cavidades, óvulos 1-2 por lóculo.

Fruto generalmente un esquizocarpo, a veces una drupa, baya o samaroide, dehiscente, rara vez indehiscente. Semillas 1-2 por lóculo o reducida a 1; endospermo presente; embrión recto; cotiledones usualmente más amplios que la radícula, plano o rara vez doblado.

2.2. Descripción del género *Euphorbia* L

El género *Euphorbia* presenta una gran amplitud morfológica, aunque la mayoría de los géneros pueden ser reconocidos por las flores unisexuales, la presencia de un disco, el gineceo trímero, el fruto dehiscente con 3 a 6 semillas; vegetativamente se reconocen por sus hojas generalmente alternas, estipuladas y frecuentemente con glándulas o apéndices, además de la presencia de algún exudado lechoso en muchos de los géneros (Martínez *et al.*, 2002).

2.3. Características generales de la Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.)

La planta de candelilla forma parte de los recursos forestales no maderables (RFNM). Los recursos forestales no maderables son: la parte no leñosa de la vegetación de un ecosistema forestal, y susceptibles de aprovechamiento o uso, incluyendo líquenes, musgos, hongos y resinas, así como los suelos de terrenos forestales y preferentemente forestales (LGDFS, 2022).

El uso de la candelilla para la obtención de su cera se basa en el conocimiento indígena, mientras que el uso comercial comenzó alrededor de 1910 (Woda, 2016).

La especie era conocida por los nativos en el norte de México: la extraían por cocción en agua caliente, empleándola para recubrir las cuerdas de sus arcos y protegerlas de los cambios climáticos. Al llegar los españoles, adquieren importancia en los residuos de la cocción, pues eran ingeridos como “remedio” para curar enfermedades venéreas. Dicho uso induce a Zuccarini, quien en 1829 clasifica a la candelilla como *Euphorbia antisyphilitica*. En 1907 en el instituto médico nacional, el profesor Mc-Connel Sanders reporta una serie de constantes físicas para la cera de candelilla. En 1909, trabajando en el instituto médico nacional, Alcocer modifica la clasificación de la candelilla como *Euphorbia cerífera* (Campos y Chávez, 1981).

La planta de candelilla es un arbusto perenne que tiene como medio de defensa contra el calor, toda la planta se reviste de una capa cerosa, la cual impide la desecación de sus tejidos por evaporación excesiva. La exudación es más abundante cuanto más se prolonga la sequía, por lo que la recolección de cera en esta época es mayor (Canales *et al.*, 2006).

Arbusto: Planta leñosa perenne con una altura que sobrepasa generalmente los 0.5 metros, pero no alcanza los 5 metros a su madurez y sin un solo vástago principal, ni una copa definida (LGDFS, 2022).

Ávila (2007) menciona que la planta presenta una gran cantidad de raíces adventicias, dando el aspecto de una cabellera; con un sistema de raíz pequeño con vástagos erguidos y numerosos que le ayuda a planta al anclaje y son sobre todo simples, pero se ramifican de vez en cuando.

Una planta de tamaño moderado puede producir 100 vástagos (tallos), Los vástagos son de 30-60 cm de largo y de 0.1-1.0 cm de diámetro, dando lugar a la formación de macollos de un tamaño aproximado de 90 cm de diámetro; la raíz puede ser de color verde grisáceo o café rojizo y está cubierta de una capa semi leñosa y de abundante látex.

Este tipo de planta presenta tallos aéreos y subterráneos (rizomas), los tallos aéreos son de forma cilíndrica y de color verde oscuro cuando son jóvenes y grisáceos cuando ya son adultos, debido a la capa de cera que los recubre. Los tallos adultos presentan nudos y entrenudos, ligeramente flexuosos, llegando a alcanzar una altura no más de 1.30 cm y con diámetros de 5 mm; su ramificación es simpódica.

La planta tiene hojas espaciadas, sésiles y pequeñas, de color verde oscuro, pudiendo ser alternas, opuestas o verticiladas, las que se encuentran en el extremo distal del tallo y por lo general son de dos a tres; considerándolas desde la parte superior del tallo hasta la parte inferior, presentan un tinte rojizo que comienza en el ápice y continua por los bordes, 10 avanzando hasta el centro del limbo a medida que se trata de hojas adultas hasta que finalmente se desprende la hoja.

La inflorescencia que presenta es pequeña de unos 5 mm de diámetro, pedúnculo cortó, en su base presenta dos brácteas aguadas, de tonalidad más subida que la de los pétalos y en posición opuesta; la corona es dialipétala, por otra parte, se encuentran unos abultamientos los cuales son una especie de glandulas hemisféricas de coloración subida. El androceo u órgano masculino, está compuesto de un número variable de estambres, de cuatro a ocho, libres y completos de igual longitud y arqueados hacia afuera con dos anteras cada uno; el gineceo u órgano femenino, es de estilo corto. El ovario es tricarpelar antes de la fecundación se alarga el

estilo, llevando el fruto a la punta, el cual queda separado del resto de los verticilos con una distancia de hasta 8 mm.

El fruto de la candelilla es una cápsula trilocular que prende de un largo pedúnculo, de 1 cm de longitud y de 5 a 6 mm de diámetro; cuando llega a su madurez toma una coloración café, de tonalidad variable. Cuando los óvulos han completado su desarrollo y se transforman en semilla, posteriormente la cápsula estalla cayendo a un lado de la planta.

La semilla es de color café claro presentando en su estructura más delgada un color blanquecino, posee abundante endospermo. La propagación por medio de semilla es muy laboriosa, debido a su fenología y tamaño.

2.4. Clasificación Taxonómica de la candelilla

De acuerdo al Integrated Taxonomic Information System (ITIS) en el año de 2022, la clasificación taxonómica de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., según (ITIS, 2022).

| | |
|----------|----------------------------------------------------|
| Reino | Plantae |
| División | Tracheophyta |
| Clase | Magnoliopsida |
| Orden | Malpighiales |
| Familia | Euphorbiaceae |
| Género | <i>Euphorbia</i> L |
| Especie | <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.- Candelilla |

Fuente: ITIS (2022).

2.5. Reproducción

La Candelilla se reproduce sexual y asexualmente. La manera más común de reproducción es la asexual por medio de la propagación vegetativa del rizoma (CONABIO, 2009). La regeneración bajo corte normal tarda de 2 a 3 años (Romahn, 1992).

2.6. Ecología de la especie

E. antisyphilitica es una especie propia de la vegetación de zonas áridas y semiáridas de México, en las que predominan temperaturas muy elevadas, por encima de los 30°C, por lo que ha desarrollado formas y características que le permiten sobrevivir en condiciones limitantes de agua y humedad ambiental y coexistir con especies flora y fauna local (Zamora-Martínez *et al.*, 2013).

2.7. Suelo

La candelilla se encuentra plenamente identificada con las condiciones que imperan en las zonas áridas. La planta crece en terrenos de origen calizo, en lomeríos, abanicos aluviales, riscos de difícil acceso, llanuras con alto contenido de arcilla y terrenos arenosos, encontrándosele también en terrenos de origen ígneo, tanto en los suelos someros como en los profundos, creciendo más en estos últimos (Romahn, 1992).

2.8. Clima

En los territorios en donde crece la candelilla, los tipos de clima que predominan son los áridos (Bs) y los muy áridos (Bw), con precipitación anual de 120 a 200 mm, temperatura media anual de 18 ° a 22 o C con máximas de 47 °C y mínimas de - 14 o C (Zamora-Martínez *et al.*, 2001; Zamora-Martínez *et al.*, 2009).

2.9. Topografía

Topográficamente se encuentra tanto en laderas de cerros, lomeríos y planicies, en altitudes variables, desde los 460 hasta los 2400 msnm. Sin embargo, predomina en alturas medias que van de los 700 a los 1200 msnm (CONABIO, 2009).

2.10. Tipos de vegetación

Forma parte de diversos tipos de vegetación, en donde raras veces constituye poblaciones puras. Se desarrolla en el matorral xerófilo (matorral inerme, matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo, matorral crassicule) e izotales (*Yucca* spp.), en donde se asocia con diversas especies. Las poblaciones de candelilla se distribuyen en el norte de México aun y cuando la candelilla ocurre en abundancia en todas estas regiones, no ocupa todos los tipos de sitios ecológicos en el desierto. Se desarrolla mejor en laderas de montañas con buen drenaje y raramente en valles o suelos arcillosos. Debido a su condición clonal, se puede encontrar con una distribución espacial a manera de parches (Rzedowski, 1978; CONABIO, 2022; CONABIO, 2009; Romahn, 1992)

2.11. Distribución

De acuerdo a información de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Taller Nacional de la Candelilla, 2008), la planta de candelilla se distribuye en el desierto Chihuahuense. Crece donde llueve muy poco y las temperaturas son extremas (Canales *et al.*, 2006).

La candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) es una planta arbustiva perenne que se distribuye principalmente en las zonas áridas y semiáridas del norte del país, en los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas (CONABIO, 2022).

Una especie nativa y característica del norte de México y del sureste de Estados Unidos de América. Pudiéndose encontrar también en algunos estados del centro y sur de la república

mexicana como los estados de Oaxaca, Puebla, Guanajuato, Querétaro, San Luís Potosí, e Hidalgo (Zamora *et al.*, 2013).

Govea (2018) menciona que Coahuila es el estado más importante en superficie y producción, participa con alrededor del 80% de la producción nacional, siendo los municipios de Cuatro Ciénegas, Ocampo y Sierra Mojada los principales productores.

2.12. Importancia de la candelilla

Según la CONAFOR (2021) la planta de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) es una de las pocas plantas en el mundo que contiene una alta cantidad de hidrocarburos, lo que facilita la extracción de la cera natural.

La cera de candelilla representa uno de los productos naturales más apreciados en diferentes industrias, desde la cosmética hasta la electrónica, por sus características únicas de alta calidad, como el color amarillo transparente, la mayor dureza frente otras ceras naturales, así como el brillo y la fácil digestión, además de no ser tóxica (Canales *et al.*, 2006).

La cosecha de la candelilla es una de las actividades más importantes en el norte del país, representando una crucial fuente de ingresos para las comunidades rurales que ahí habitan. Su importancia radica en la presencia de la cera que se obtiene mediante un proceso de extracción, la cual se utiliza para múltiples fines; como para la fabricación de cosméticos, para recubrir alimentos, hacer confitados, tintas, adhesivos, lubricantes, entre otros (CONABIO, 2022).

2.13. Propiedades de la cera de candelilla

La cera de Candelilla es una sustancia compleja de origen vegetal. Es dura, quebradiza y fácil de pulverizar. Sin refinar es de apariencia opaca. Su color puede variar desde café claro hasta amarillo, dependiendo del grado de refinación y blanqueo. Su superficie puede alcanzar altos niveles de brillo al ser refinada, siendo ésta una de las propiedades más apreciadas en la cera de Candelilla para diversas aplicaciones de especialidad.

Disuelve bien los colorantes básicos. Es insoluble en agua, pero altamente soluble en acetona, cloroformo, benceno y otros solventes orgánicos. La mayoría de los constituyentes de

la cera de Candelilla son componentes naturales que se encuentran en los vegetales y en las frutas.

Su composición química se caracteriza por un alto contenido de hidrocarburos (alrededor del 50%) y una cantidad relativamente baja de ésteres volátiles. Su contenido de resina puede llegar hasta 40% en peso, lo cual contribuye a su consistencia pegajosa.

La cera de Candelilla presenta una contracción muy baja, por lo cual es utilizada en fundición de precisión. Es muy adhesiva y encuentra aplicaciones en la formulación de cosméticos, pulidores y brillos para muebles, piel, automóviles y pisos.

Mezclada con otras ceras se utiliza en acabados para piel, textiles y cordones, para lubricantes y grasas, adhesivos donde la resina elimina el acabado resbaladizo y para recubrimientos de papel y cartón. Puede endurecer otras ceras sin aumentar significativamente el punto de fusión de la mezcla (Instituto de la Candelilla, 2013).

Cuadro 2. Composición química de la cera de candelilla.

| Propiedades | Cruda | Refinada |
|---------------------------|--------------|----------------------|
| Valor de acidez | 12-24 % | 12-22 % |
| Valor de yodo | 19-45 % | 14-27 % |
| Número de saponificación | 43-65 % | 35-87 % |
| Punto de fusión | 66-71 °C | 67-79 °C |
| Índice de refracción | 1.456-71 °C | 1.4545-1.462 a 85 °C |
| Material no saponificable | 65-67 % | 67-77 % |
| Gravedad específica | 0.98% | 0.89% |
| Punto de flama | 241 °C | ---- |

Fuente: Instituto de la Candelilla (2013).

Cuadro 3. Propiedades fisicoquímicas de la cera de candelilla.

| Componente | Cruda(%peso) | Refinada (%peso) |
|----------------------|--------------|------------------|
| Hidrocarburos | 46 | 57 |
| Alcoholes libres | 13 | 14 |
| Ácidos libres | 7 | 7 |
| Ésteres simples | 2 | 21 |
| Ésteres hidroxilados | 8 | 8 |
| Ésteres ácidos | 10 | 0 |
| Diésteres | 9 | 0 |

Fuente: Instituto de la Candelilla (2013).

2.14. Aprovechamiento de candelilla

La salida al monte marca el inicio de la extracción de la candelilla. En muchas ocasiones, para encontrar la planta, los candelilleros recorren grandes distancias en burros o en vehículos automotores. Si los sitios de extracción están muy alejados, acampan varios días y hasta semanas. El trabajo, tanto recolectar la candelilla como hervirla, puede realizarse en grupo, en el ámbito familiar, con la participación de mujeres y niños, o con peones bajo la supervisión de un capataz, lo cual permite coleccionar grandes cantidades de candelilla; o en forma individual, donde se invierte más tiempo para juntar la misma cantidad que en grupo, pero la ganancia es mayor. Localizados los sitios donde la densidad y las características de la planta hacen factible su aprovechamiento, los candelilleros arrancan manojos de tallos con todo y raíz, si son grandes utilizan una herramienta llamada talache. Después, sacuden la tierra de la planta para disminuir las impurezas y las acomodan en paquetes de aproximadamente 200 kilos; los amarran y los transportan al poblado más cercano, donde se extrae el cerote, nombre que recibe el producto que se obtienen en el primer paso de refinación (Canales *et al.*, 2006).

2.15. Proceso de extracción del cerote

Para realizar este proceso se utiliza un recipiente rectangular de acero llamado paila con capacidad de 300 kilos de candelilla y 400 litros de agua, la cual, en ocasiones acarrearán desde grandes distancias. Cuando el agua hierve, sumergen la planta y la prensan con una parrilla que las mantiene dentro del agua, al hervir nuevamente, agregan ácido sulfúrico al 80 por ciento, lo cual propicia la separación del cerote, que recogen en forma de espuma, con una cuchara espumadora que drena el agua, y vierten en un tambo de 100 litros llamado cortador. Allí la calientan para separar el agua y las impurezas. El producto resultante, llamado tejo, es la cera quebrada que se vende a las refinadoras. En las refinadoras, los tejos pasan por una fina malla que separa pequeñas impurezas, dejando una cera más limpia y de mayor calidad con un color uniforme. Posteriormente, se enfría en tinas, se corta en trozos y se empaqueta en costales de 25 kilos para su venta (Canales *et al.*, 2006).

2.16. Comercialización de cera de candelilla

México es el único país en el mundo que produce cera de candelilla; y la gran mayoría de ésta se exporta como materia prima (cerote), para su transformación principalmente a Estados Unidos, Japón y la Unión Europea; y sólo 2% de dicha producción es utilizada por la industria nacional. La candelilla se encuentra incluida en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), por lo que, su comercio internacional está regulado. Por ello, es necesario demostrar que el aprovechamiento y exportación de la candelilla son sustentables y se realizan en apego a la legislación nacional y las disposiciones de la Convención (CONABIO, 2022).

El mercado internacional de Candelilla es relativamente joven. El uso de uso comercial de la cera comenzó alrededor de 1910. El mayor volumen de exportación fue > 8000 t/año durante la Segunda Guerra Mundial para uso militar. Desde 1956 hasta el acuerdo del TLCAN en 1994, el procesamiento y exportación de Candelilla estuvo a cargo del gobierno mexicano en forma de fideicomiso que operaba una refinadora en Saltillo (hoy parcialmente en uso por IXCAN). Los productores fueron financiados por el Banco Nacional de Crédito Rural. Desde el TLCAN, el mercado de Candelilla es libre y un oligopolio se ha formado, caracterizado por un alto nivel de paternalismo por parte de los recolectores y refinadores, e influenciado por los

subsidios gubernamentales. A partir de los años 80, la producción anual era de unas 1.000 t/año (F. De acuerdo con los datos de CITES, el volumen de exportación promedio actual es de 1.800 t por año desde 2010 (Fig. 2). La demanda del mercado nacional se estima en 200 t por año, por lo que en general se puede suponer que el volumen comercial anual es de 2000 t, con el 90% para el mercado de exportación (Woda, 2016).

2.17. Cadena productiva de la candelilla

La cadena productiva que se ha creado, inicia en los predios con los técnicos forestales que elaboran Estudios técnicos y/o Avisos de aprovechamiento, y continúa con los recolectores y extractores de cerote, quienes venden su producción a empresarios nacionales, y estos a su vez la venden a empresarios en el mercado internacional, quienes transforman y comercializan los productos terminados. A lo largo de esta cadena productiva se encuentran involucrados diferentes actores en los procesos de manejo, gestión, recolección, producción, regulación y comercio (CONABIO, 2022).

2.18. Marco legal para el aprovechamiento de candelilla

2.18.1. Marco legal nacional

E. antisiphilitica. No se encuentra enlistada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, (Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo), lo cual define que dicha especie no se encuentra amenazada en México.

El aprovechamiento de la candelilla está regulado por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) y su Reglamento (RLGDFS), así como por la NOM-018-SEMARNAT-1999. En la Sección cuarta de la LGDFS se especifican los requisitos para el aprovechamiento de recursos forestales no maderables. Para poder aprovechar la candelilla, un ejido o predio (a través de un titular) debe presentar un documento llamado “Aviso de aprovechamiento”, mediante el cual los interesados informan y justifican (en términos de la ley, el reglamento y las normas oficiales mexicanas aplicables) cuánta hierba de candelilla extraerán de su medio natural y los métodos a utilizar (Instituto de la Candelilla, 2013).

La LGDFS tiene por objetivo contribuir al desarrollo social, económico, ecológico y ambiental del país, mediante el manejo integral sustentable de los recursos forestales, impulsar la silvicultura y el aprovechamiento de los recursos forestales; desarrollar bienes y servicios ambientales y proteger, mantener y aumentar la biodiversidad de los recursos forestales; promover la organización, capacidad operativa, integralidad y profesionalización de las instituciones públicas de la Federación, Estados, Distrito Federal y Municipios, para el desarrollo forestal sustentable; Garantizar la participación de la sociedad, incluyendo a los pueblos y comunidades indígenas, en la aplicación, evaluación y seguimiento de la política forestal (LGDFS, 2022).

La NOM-018 (SEMARNAT, 1999) establece los procedimientos, criterios, especificaciones técnicas y administrativas para realizar el aprovechamiento sostenible de la hierba de candelilla, transporte y almacenamiento de cerote.

2.18.2. Marco legal internacional

La candelilla se encuentra incluida en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), por lo que, su comercio internacional está regulado. Por ello, es necesario demostrar que el aprovechamiento y exportación de la candelilla son sustentables y se realizan en apego a la legislación nacional y las disposiciones de la Convención. Fue en el año 2001 en que comenzó la regularización de la emisión de permisos CITES para la exportación de cera de candelilla. A partir del 2010, cada embarque de cera de candelilla lleva un permiso CITES y se exporta desde México de manera legal un promedio 1,795.5 toneladas de cera anual. Uno de los requisitos para expedir permisos CITES de exportación de especies listadas en la CITES, es la emisión de dictámenes de extracción no perjudicial (DEnP), de conformidad con el Artículo III y IV de la Convención. La CONABIO, en su carácter de Autoridad Científica de la CITES en México, emite dichos dictámenes bajo solicitud de la Autoridad Administrativa (SEMARNAT). Estos se realizan con base en el análisis de la información de los Estudios Técnicos para el aprovechamiento sustentable de candelilla de distintos predios en el norte del país. Para poder emitir un dictamen de extracción no perjudicial (DEnP) para una solicitud, se tuvo que haber realizado un análisis a través del cual se concluya que el aprovechamiento del que fue objeto la especie fue

sustentable, y por lo tanto su exportación no afectará a sus poblaciones silvestres. La única forma de poder efectuar este análisis es mediante la revisión de los Estudios Técnicos (ET) que presentan los prestadores de servicios técnicos forestales a la Representación SEMARNAT correspondiente, junto con el Aviso de Aprovechamiento para candelilla (CONABIO, 2022).

2.19. El uso de modelos alométricos

Es fundamental cuantificar los recursos naturales, y los modelos matemáticos son herramientas confiables debido a que son validadas estadísticamente. Existen ecuaciones matemáticas para predecir biomasa de especies vegetales; estas ecuaciones son validadas por medio del porcentaje de la varianza.

A continuación, se presentan algunos autores que muestran la importancia de los modelos matemáticos, así como algunas investigaciones raizadas, con base a su información se sabe que obtuvieron datos positivos, lo cual permite hacer un buen manejo para la planta de candelilla:

El ajuste de los valores de biomasa calculados por las ecuaciones (estimados) con los valores observados (reales), se evalúa por medio del porcentaje de la varianza explicada, sesgo y precisión. El porcentaje de la variación explicada (R^2) indica la fracción de la variabilidad de la biomasa, también llamado coeficiente de determinación. Cuanto más alto es el porcentaje de la variación explicada, mejor es el modelo de regresión (Ares *et al.*, 2002)

Espinoza y Almaguer (2007) propusieron para la selección del mejor modelo el mayor coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de Mallow (C_p) más cercano al número de variables independientes que participan en el modelo respectivo y el menor número de variables independientes.

Para *E. antisiphilitica* existe información sobre la extracción de su cera y para predecir la biomasa de la misma, por ejemplo:

Camacho (1990) realizó un estudio sobre el análisis dimensional en candelilla, encontrando que existe un modelo idóneo para estimar la biomasa de la especie, relacionando el peso verde de la planta con el volumen de un cilindro elíptico recto con diámetro mayor y

menor de cobertura de la planta por la altura media de la misma, obteniendo como resultado valores de cuadrado medio del error= 0.1922 , coeficiente de variación= 59%, coeficiente de correlación=0.9303 y coeficiente de determinación (R^2)=0.8655. Seleccionando el modelo potencial $Y=a+Xb$, donde la ecuación resultante fue $Y=0.0002620 X^{0.7736}$ (Y = Peso de la hierba incluyendo raíz, biomasa en kg, X =Volumen de la planta, considerándola como un cilindro elíptico recto en cm^3 , a y b = parámetros estadísticos).

Roblero (2012) realizó un estudio para determinar el rendimiento en cera de candelilla a partir de la biomasa evaluada en campo en dos poblaciones naturales, comparó modelos matemáticos para predecir biomasa de la planta a partir de altura media y diámetro medio; en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coahuila, eligiendo el modelo $Y = a*(D*H)^b$ obteniendo valores de $R^2_{aj} = 0.9414$, C.M.E. = 0.71, E.E. = 0.8370 kg, C.V. = 17.54%, PRESS de 47.637 kg y con una significancia = 0.0001. rendimiento en kg de cera extraída por ejido.

Con base a diversas publicaciones se sabe que existe información generada durante los últimos 60 años sobre la extracción, caracterización y aplicación de la cera de candelilla, la cual, aunque insuficiente, documenta la existencia e importancia de esta actividad económica y social en el estado de Coahuila. Además, evidencia la permanencia de una extracción implementada hace más de un siglo; cuyos beneficios del sector industrial asociado no impactan de forma positiva a las comunidades dedicadas a la recolecta de plantas y a la extracción de cerote, aun cuando las aplicaciones de la cera de candelilla abarcan a diversos sectores industriales (Rojas *et al.*, 2011)

Los modelos alométricos son una herramienta factible de usar para predecir la biomasa de la planta de candelilla y el volumen de cera extraída usando diversas variables independientes. El uso de herramientas estadísticas como los modelos de regresión es indispensable debido a que existe la necesidad de hacer una evaluación del presente y el futuro de los recursos naturales como lo es el caso de *E. antisiphilitica*.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ejidos propuestos para la ejecución de este trabajo se encuentran al suroeste y noroeste, con relación a la ciudad de Saltillo, Coahuila. México. El ejido La Fe pertenece al municipio de Viesca y se encuentra a una distancia de 253 km con respecto a la capital del estado. El ejido Las Coloradas, municipio de Ramos Arizpe, se encuentra a una distancia de 132 kilómetros en relación a dicha ciudad. El ejido Mala Noche y Arracadas, municipio de San Pedro, se encuentra a 180 kilómetros de Saltillo (Figura 1).

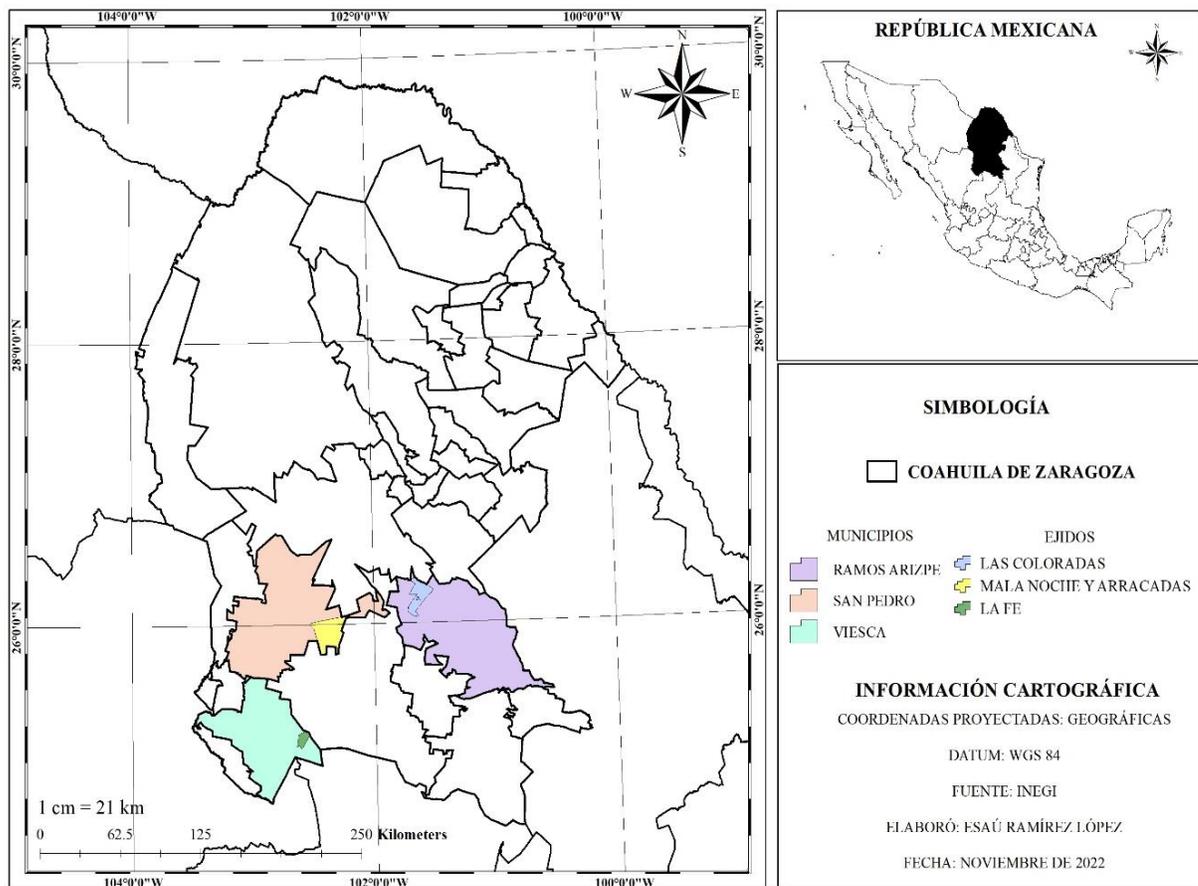


Figura 1. Localización geográfica del área estudio.

3.1. Actividades económicas principales de los ejidos del área de estudio

Las principales actividades de los habitantes de los ejidos La Fe, Las Coloradas y Mala Noche y Arracadas son: forestal, ganadería extensiva (de Vacunos y caprinos) y agricultura de temporal, las cuales son realizadas principalmente por los hombres. En su mayoría, las mujeres se dedican al cuidado del hogar y los hijos.

En los ejidos propuestos la actividad forestal, específicamente el aprovechamiento de candelilla para producción de cerote representa la principal fuente de ingresos, siendo complementada por la venta de ganado. La producción agrícola que se puede obtener es normalmente para autoconsumo.

En la actualidad, en los tres ejidos, la mayor cantidad de cera es adquirida por Multiceras, S. A. de C. V.

Es importante mencionar que los tres ejidos cuentan con autorización vigente de aprovechamiento de hierba de candelilla expedida por la SEMARNAT.

En cada ejido se georreferenciaron las pailas funcionales existentes. Estas y el volumen de cera que se produce anualmente se mencionan a continuación.

Ejido Las Coloradas. 9 pailas. Con 30 candelilleros. Para 2022 se tiene una producción aproximada de 26.5 toneladas.

Ejido Mala Noche y Arracadas. 11 pailas. Con 30 candelilleros. Para 2022 se tiene una producción aproximada de 8 toneladas.

Ejido La Fe. 2 pailas. Con 12 candelilleros. Para 2022 se tiene una producción aproximada de 40 toneladas.

3.2. Materiales empleados para la elaboración de este trabajo

3.2.1. Materiales de uso técnico

- Báscula de gancho de 300 kg con precisión de 1 gr.
- Probeta de vidrio de 1 l.
- Tiras reactivas para pH.
- Ácido sulfúrico al 99 % de pureza.
- Termómetro digital con rango de - 50 a 1,000°C.
- Cronómetro digital.
- Cámara fotográfica.
- Guantes de carnaza.
- Formatos de toma de datos.
- Probeta graduada.

3.2.2. En la paila

- Atice de candelilla.
- Candelilla.
- Paila.
- Agua.
- Ácido sulfúrico.
- Frasco para el manejo del ácido sulfúrico.
- Cortador.
- Espumador.
- Horquilla artesanal.
- Carretilla.
- Costal.

3.3. Metodología utilizada en campo para obtener las variables evaluadas

A fin de obtener un buen rendimiento en el aprovechamiento de cera de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) en campo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Se colaboró en el mes de mayo del 2021 previo a la época de verano, en los ejidos la Fe, Mala Noche y Arracadas y Las Coloradas, el proceso de extracción de cera mediante el método tradicional, que consiste en la quema de candelilla en pailas;

en este método se pesaron los tercios de hierba en el área de quema mediante una báscula de gancho de 300 kg con precisión de 1 gr, esto con la finalidad de obtener el peso de la planta en kilogramos que posteriormente se colocaron en la paila.

Con un termómetro digital se tomaron los datos de temperatura de la paila en diferentes tiempos de cocción. Se registró el volumen de ácido sulfúrico usado en cada pailada, esto con la finalidad de obtener un pH (en diferentes etapas del proceso) también se revisó la acidez del agua en diferentes tiempos. Se tomó en cuenta el factor tiempo, usando un cronómetro digital el cual se inicia en el momento que encienden la paila y se detiene cuando se termina de quemar. y la cantidad de cera extraída por pailada.

Para la toma de datos se contemplaron las siguientes etapas del proceso.

3.4. Inicio

Al comienzo de la toma de datos se tomó en cuenta tener la paila limpia y se llenó de agua de la que se dispone en el lugar. En cada etapa se registraron los datos de tiempo de cocción, temperatura de la paila y pH del agua.

En esta etapa se enciende el horno de la paila con atice de hierba de candelilla, este es el producto de hierba que se sometió al proceso de cocción previamente y se expuso al sol para su deshidratación.

3.5. Cargado de la paila

Al alcanzar el punto de ebullición del agua se introduce la hierba de candelilla y además de los datos de temperatura y pH, se determinó el peso de la hierba que el productor considera que es la cantidad optima a procesar.

A consideración del productor, cuando el agua está lo suficientemente caliente, se introduce la hierba de candelilla para comenzar el proceso.

3.6. Adición del volumen de ácido

En esta etapa el candelillero le agrega más atice de candelilla para recuperar la ebullición del agua debido a que al agregar la planta esta disminuye la temperatura de la misma, al recuperar la temperatura que el productor considera adecuada procede a agregar la carga de ácido destinado para una pailada de hierba.

En este instante se registraron los datos del volumen de ácido sulfúrico que el candelillero utiliza según su criterio.

3.7. Cerrado de la paila

El productor cuando considera que la hierba ha bajado su volumen lo suficiente como para poder cerrar la paila, procede a esta práctica para terminar de comprimir la materia prima y ponerla toda en contacto con el agua y el ácido.

3.8. Espumado

Minutos después de cerrar la paila, el candelillero con el uso de un espumador comienza a retirar la espuma resultante del proceso de extracción que flota en la superficie de la solución y la deposita en un contenedor cilíndrico metálico denominado “cortador” la cual al solidificarse se convertirá en cerote de candelilla. Al finalizar esta etapa se registró la cantidad de cerote extraído por pailada en kilogramos.

3.9. Sacado de la hierba

Una vez terminada la recolección de la espuma el candelillero procede a agregar agua fría para sacar la hierba que ya fue sometida al proceso de extracción del cerote.

3.10. Procesamiento de los datos

Para analizar los datos de campo se utilizó la herramienta de análisis de regresión lineal múltiple, mediante el programa estadístico RStudio Versión: 2022.07, en el que se incluyeron los datos de: nombre del ejido en donde se realizó la extracción de cera, número de pailadas realizadas, el peso de la planta en kilogramos, cuatro lecturas de temperatura de la paila en diferentes tiempos de cocción, el volumen de ácido sulfúrico usado en cada pailada, el tiempo de cocción, todas estas como variables independientes (x) y la cantidad de cera extraída por pailada como variable dependiente (y), las cuales fueron previamente capturadas en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (Apéndice 2).

Se obtuvo también del sitio web de WorldClim (<https://www.worldclim.org>), un formato raster a una resolución de 1 km² con información bioclimática de: temperatura media anual Bio 1 (°C), temperatura máxima del mes más cálido Bio 5 (°C), temperatura mínima del mes más frío Bio 6 (°C), y precipitación media anual Bio 12 (mm). Con la finalidad de tener información bioclimática de las áreas de aprovechamiento de donde se extrajo la planta de candelilla la cual fue usada en las quemas de extracción de cera. Estos datos también se utilizaron como variables independientes (x), en el proceso de generar un modelo para predecir la extracción de cera de candelilla.

Con el uso de ArcMap 10.3 se georreferenciaron las unidades de muestreo para cada área de aprovechamiento de la planta que se utilizó en los tres ejidos del área de trabajo y con la capa raster que se obtuvo anteriormente se pudo extraer la información de cuatro variables más: temperatura media anual, temperatura máxima del mes más cálido, temperatura mínima del mes más frío, y precipitación media anual.

Usando el software RStudio, se empleó el método Stepwise, para elegir predictores para hacer un modelo de regresión lineal con la finalidad de predecir la extracción de cera de candelilla.

Utilizando el método mencionado se probó la significancia estadística del conjunto de variables conservando las de mayor significancia obteniendo como resultado un modelo de regresión lineal múltiple con dichas variables para predecir cera de candelilla.

También se realizó una regresión Dummy para determinar si con una ecuación se puede hacer predicciones o una ecuación por ejido.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Se colaboró en los ejidos la Fe, Mala Noche y Arracadas y Las Coloradas, en el proceso de extracción empleando el método tradicional. Se observaron y registraron los factores: temperatura de la paila, pH del agua, tiempo de cocción, peso de la hierba, volumen de ácido sulfúrico, así como cuatro variables bioclimáticas: temperatura media anual, temperatura máxima del mes más cálido, temperatura mínima del mes más frío y precipitación media anual. Con estas observaciones se obtuvo una base de datos de 60 pailadas.

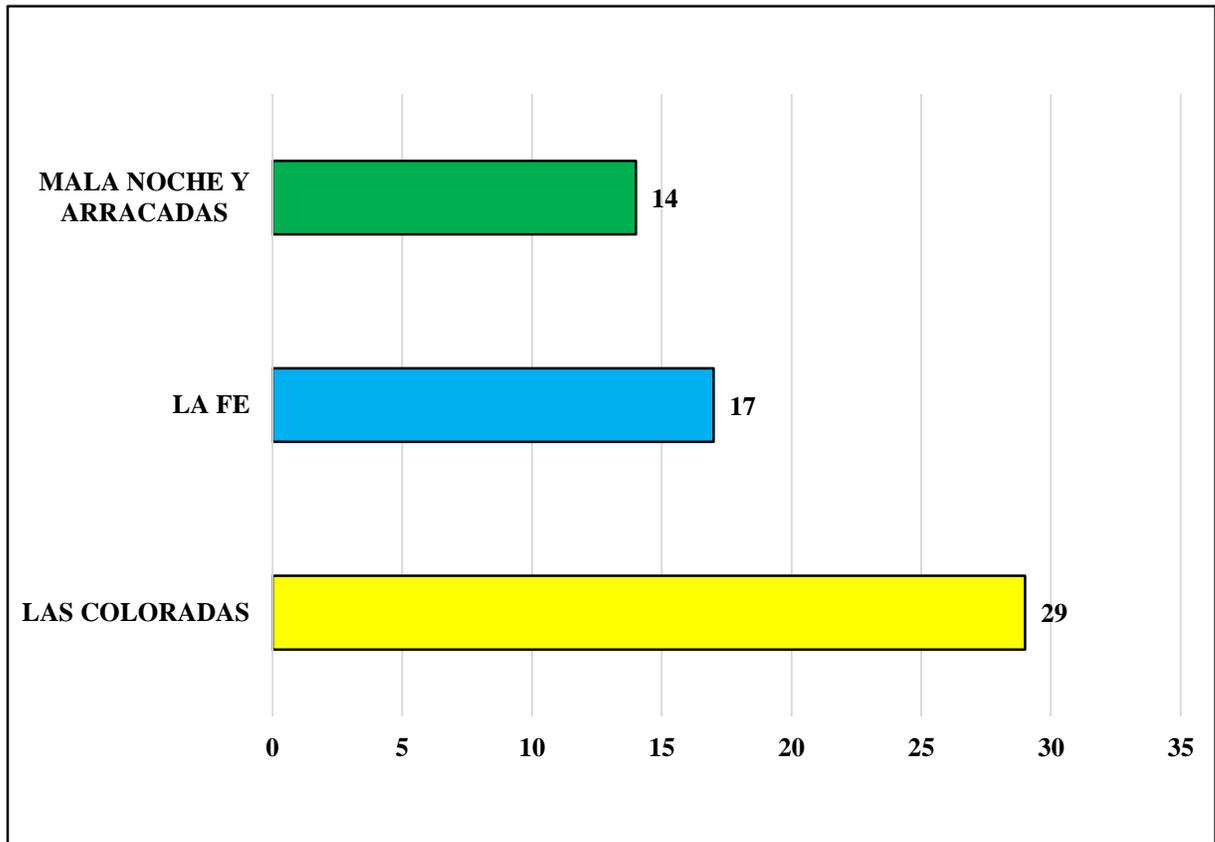


Figura 2. Número de pailadas procesadas por ejido.

Con la base de datos se determinaron las pailas con mayor y menor rendimiento, los datos se muestran en el siguiente cuadro:

De manera comparativa entre los datos de las pailadas 40 y 53 (Apéndice 5) se observó lo siguiente:

Cuadro 4. Comparativo de la pailada con mayor rendimiento y la de menor rendimiento.

| Pailada con mayor rendimiento Pailada 40 | | Pailada con menor rendimiento Pailada 53 | |
|----------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------|----------|
| Cera extraída | 7.8 kg | Cera extraída | 3.5 kg |
| Cantidad de hierba utilizada | 196.2 kg | Cantidad de hierba utilizada | 215 kg |
| Porcentaje de extracción | 3.9 % | Porcentaje de extracción | 1.6 % |
| Tiempo de extracción | 102 min | Tiempo de extracción | 51 min |
| Cantidad de ácido utilizado | 1,300 ml | Cantidad de ácido utilizado | 790 ml |
| pH del agua al tiempo de registrar la temperatura máxima | 1 | pH del agua al tiempo de registrar la temperatura máxima | 3 |
| Temperatura máxima de extracción | 98.2 ° C | Temperatura máxima de extracción | 96.2 ° C |

Respecto a la eficiencia, con 18.8 kilogramos menos de hierba de candelilla en la pailada 40, se extrajo 4.3 kilogramos más de cera que en la paila 53.

En referencia al tiempo de que existió una diferencia de 51 minutos entre las dos pailadas; en la pailada 40 se empleó el doble de tiempo que en la pailada 53.

La cantidad de ácido utilizado fue menor en la pailada 53, en la que se utilizó un volumen menor al promedio de las 60 registradas, el cual fue de 1,117 ml, El pH en la pailada 40 fue más ácido que en la pailada 53, por lo que se asume que a mayor acidez se tiene mayor porcentaje de extracción de cera.

Respecto a la temperatura máxima de extracción, existió una diferencia de 21° C entre las pailadas 40 y 53. En la pailada 40 la cera se extrajo a mayor temperatura.

Cuadro 5. Variables consideradas para la generación del modelo de regresión.

| Tipo de variable | Clave | Descripción |
|----------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dependiente (y_1) | Cera | Volumen de cera de candelilla extraída por pailada |
| Independiente (x_1) | Temp1 | Temperatura de la paila en el proceso de cocción |
| Independiente (x_2) | Temp2 | Temperatura de la paila en el proceso de cocción |
| Independiente (x_3) | Temp3 | Temperatura de la paila en el proceso de cocción |
| Independiente (x_4) | Temp4 | Temperatura de la paila en el proceso de cocción |
| Independiente (x_5) | TempMedia | Temperatura de la paila en el proceso de cocción |
| Independiente (x_6) | pH1 | pH del agua |
| Independiente (x_7) | pH2 | pH del agua |
| Independiente (x_8) | pH3 | pH del agua |
| Independiente (x_9) | pH4 | pH del agua |
| Independiente (x_{10}) | pHmedio | pH del agua |
| Independiente (x_{11}) | Tiempo | Tiempo de cocción de inicio a fin |
| Independiente (x_{12}) | Peso | Peso de la planta de candelilla utilizada en cada pailada(kg) |
| Independiente (x_{13}) | Vol | Volumen de ácido sulfúrico (ml) |
| Independiente (x_{14}) | Tmedia | Temperatura media anual (Variable bioclimática BIO 1) del área de aprovechamiento de la candelilla |
| Independiente (x_{15}) | Tmax | Temperatura máxima del mes más cálido (Variable bioclimática BIO 5) del área de aprovechamiento de la candelilla |
| Independiente (x_{16}) | Tmin | Temperatura mínima del mes más frío (Variable bioclimática BIO6) del área de aprovechamiento de la candelilla |
| Independiente (x_{17}) | PP | Precipitación Anual (Variable bioclimática BIO 12) del área de aprovechamiento de la candelilla |
| Dummy ₁ | Fe | Ejido la Fe (Variable cualitativa) |
| Dummy ₂ | Mala | Ejido Mala Noche y Arracadas (Variable cualitativa) |
| Dummy ₃ | Coloradas | Ejido las coloradas (Variable cualitativa) |

Cuadro 6. Estadísticos descriptivos de las variables utilizadas para predecir cera de *E. antisiphilitica* Zucc.

| Variables | Estadísticos | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|------|-------|----------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|------|
| | Mín | Máx | Rango | Σ | M_e | M | SE | ICM | S^2 | S | CV |
| TempMedia | 72.6 | 95.5 | 22.9 | 5210 | 89.08 | 88.31 | 0.578 | 1.156 | 19.68 | 4.437 | 0.05 |
| pHmedio | 1 | 4 | 3 | 158.5 | 2.75 | 2.686 | 0.116 | 0.232 | 0.79 | 0.889 | 0.33 |
| Tiempo | 41 | 160 | 119 | 5061 | 83 | 85.78 | 3.327 | 6.66 | 653.0 | 25.56 | 0.3 |
| Peso | 156 | 266 | 110 | 12572 | 213.4 | 213.1 | 2.526 | 5.056 | 376.3 | 19.4 | 0.09 |
| Vol | 760 | 2000 | 1240 | 65740 | 1100 | 1114 | 25.486 | 51.015 | 38321.4 | 195.8 | 0.18 |
| Tmedia | 19 | 21 | 2 | 1174 | 20.5 | 19.9 | 0.118 | 0.237 | 0.826 | 0.909 | 0.05 |
| Tmax | 27 | 29 | 2 | 1646 | 28.5 | 27.9 | 0.118 | 0.237 | 0.826 | 0.909 | 0.03 |
| Tmin | 11.5 | 23.5 | 12 | 884.5 | 12.5 | 14.99 | 0.684 | 1.368 | 27.56 | 5.25 | 0.35 |
| PP | 207.5 | 270 | 62.5 | 15007 | 267 | 254.4 | 3.436 | 6.877 | 696.4 | 26.39 | 0.1 |
| Cera | 3.5 | 7.8 | 3.5 | 309.5 | 5.4 | 5.246 | 0.096 | 0.191 | 0.54 | 0.735 | 0.14 |

Mín =mínimo, Máx=máximo, Σ =suma, M_e =mediana, M=media, SE=error estándar de la media, ICM= intervalo de confianza para la media, S^2 =varianza, S=desviación estándar, CV=coeficiente de variación.

En este trabajo se obtuvo información de 60 eventos de extracción (pailadas); uno de los registros correspondió al rendimiento en kg de cera extraída por ejido. Esos datos se presentan en la figura 3. En esta se puede observar que en el ejido la Fe se obtuvieron el mayor rendimiento con 7.8 kg y, el menor rendimiento con 3.5 kg. Las razones de esta diferencia en el rendimiento fueron: el volumen de ácido utilizado, a la cantidad de hierba procesada y el tiempo de extracción a la que fue sometida.

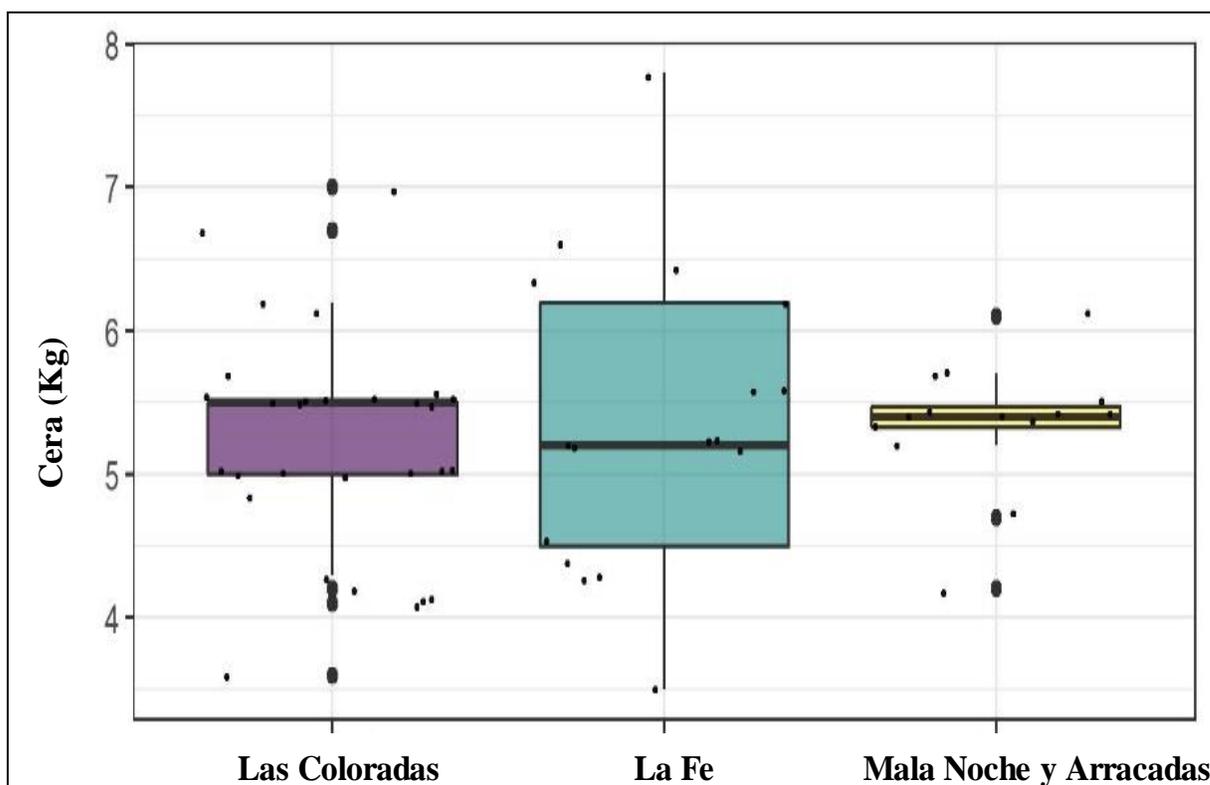


Figura 3. Rendimiento en kg de cera extraída por ejido.

Al analizar los estadísticos (Cuadro 6) de la base de datos de la información recabada en campo (Apéndice 5) se obtuvo una media en rendimiento de cera en kg igual a 5.246 kg, esta información lo complementa la figura 4. la cual presenta la distribución en kilogramos por ejido; En esta se puede observar que el rendimiento promedio para los tres ejidos estuvo entre los 5 kg y 6 kg.

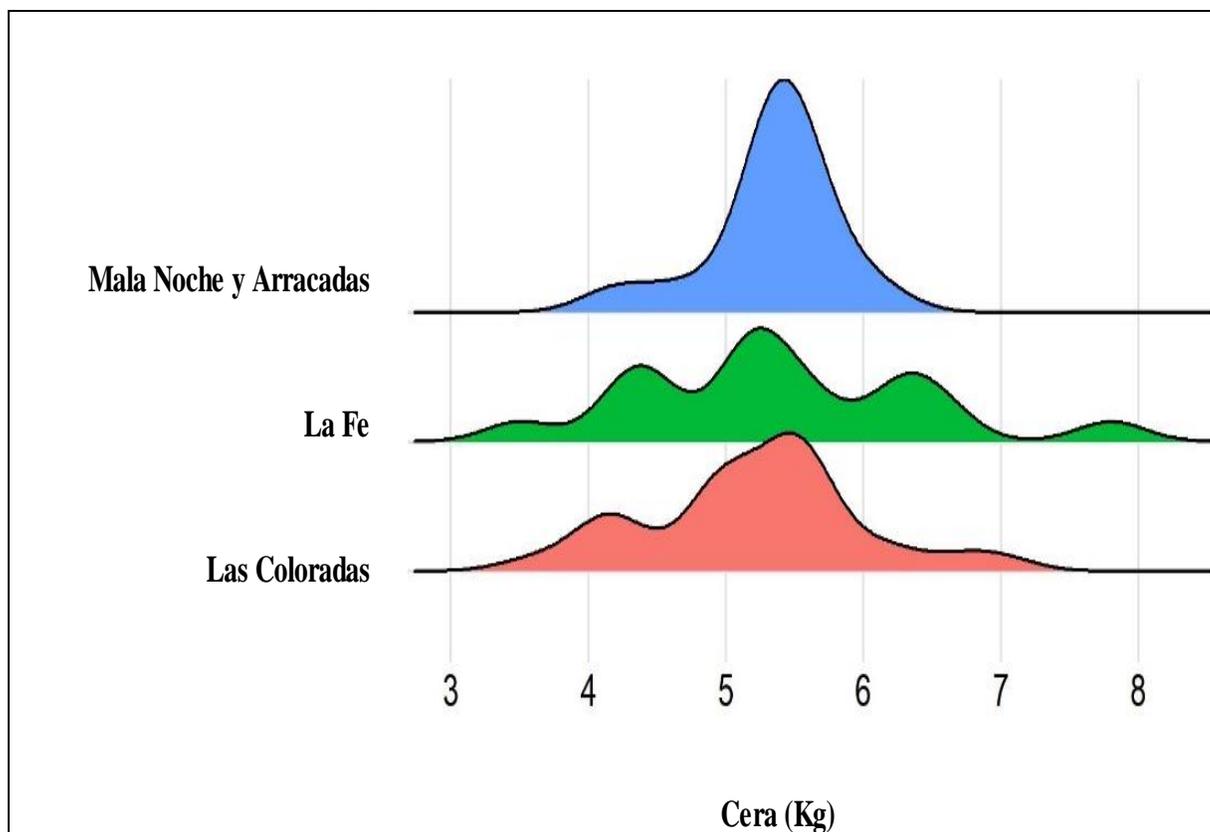


Figura 4. Distribución del rendimiento en kg de cera extraída por ejido.

Con el análisis de la información recopilada en los tres ejidos del área de estudio empleando el método Stepwise y la regresión Dummy, en el software RStudio, para elegir predictores para hacer un modelo de regresión lineal con la finalidad de predecir alguna variable de interés, se obtuvo información sobre la predicción de la extracción de cera de candelilla *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en función de peso de la hierba y volumen de ácido sulfúrico usado en el proceso de extracción con el método tradicional, que es la quema de la planta en pailas.

Se obtuvo como resultado del primer análisis de regresión la ecuación:

$$\text{Cera} = \beta_0 + \beta_1 * \text{volumen} + \beta_2 * \text{peso}$$

Obteniendo un valor de $R^2 = 0.2047$, R^2 ajustada = 0.1768 y Error estándar (E.E.) = 0.7255 kg.

En el modelo no fue significativa la intercepta (β_0), por lo que se tuvo que ajustar el modelo sin β_0 quedando de la siguiente manera:

$$\text{Cera} = \beta_1 * \text{volumen} + \beta_2 * \text{peso}$$

Se obtuvo como resultado de las variables de temperatura de la paila, pH del agua, tiempo de cocción, no determinan la cantidad de cera producida. Sin embargo, el peso de la hierba y el volumen de ácido sulfúrico empleados en el método antes mencionado, son los mejores predictores.

Si la intercepta (β_0) presentara significancia estadística en el modelo no habría sido necesario realizar un ajuste de modelo sin ella.

Con el ajuste realizado se obtuvieron valores de $R^2 = 0.9818$, R^2 aj = 0.9811, Error estándar de = 0.7346 kg; con los que se observó que el valor de R^2 tuvo una mejora con dicho ajuste.

En este reajuste se observó que la intercepta tuvo un impacto significativo en el ajuste del modelo; es decir, el ajuste mejoró significativamente y, por ende, las predicciones de volumen de cera extraída.

Se analizaron los supuestos del modelo mediante el paquete performance en R studio cumpliendo con Homocedasticidad, Autocorrelación y Normalidad siendo así nuestro modelo estadísticamente válido para predecir la extracción de cera de *E. antisyphilitica* Zucc., en función del volumen de ácido sulfúrico y del peso de la planta (Cuadro 7).

Cuadro 7. Estadísticos de ajuste y verificación de supuestos de un modelo de regresión lineal (Cera = β_1 * volumen + β_2 * peso) de predictores de extracción de cera de *E. antisiphilitica* Zucc.

| Coef. | Estimador | E.E.C. | Valor de t | Pr(> t) | R ² | E.E.M. | H | A | N |
|-----------------------|-----------|--------|------------|---------------|----------------|--------|-------|-------|-------|
| volumen (β_1) | 0.0016711 | 0.0004 | 3.517 | 0.001 *** | 0.9818 | 0.7346 | 0.400 | 0.908 | 0.245 |
| Peso (β_2) | 0.0160170 | 0.0025 | 6.351 | <3.57e-08 *** | | | | | |

E.E.C. = Error Estándar de los coeficientes, R² = Coeficiente de Determinación, E.E.M.= Error estándar del modelo, β_0 y β_1 = Coeficientes de Regresión, Valor de p de la prueba de Homocedasticidad(H), de Autocorrelación (A) y de Normalidad (N).

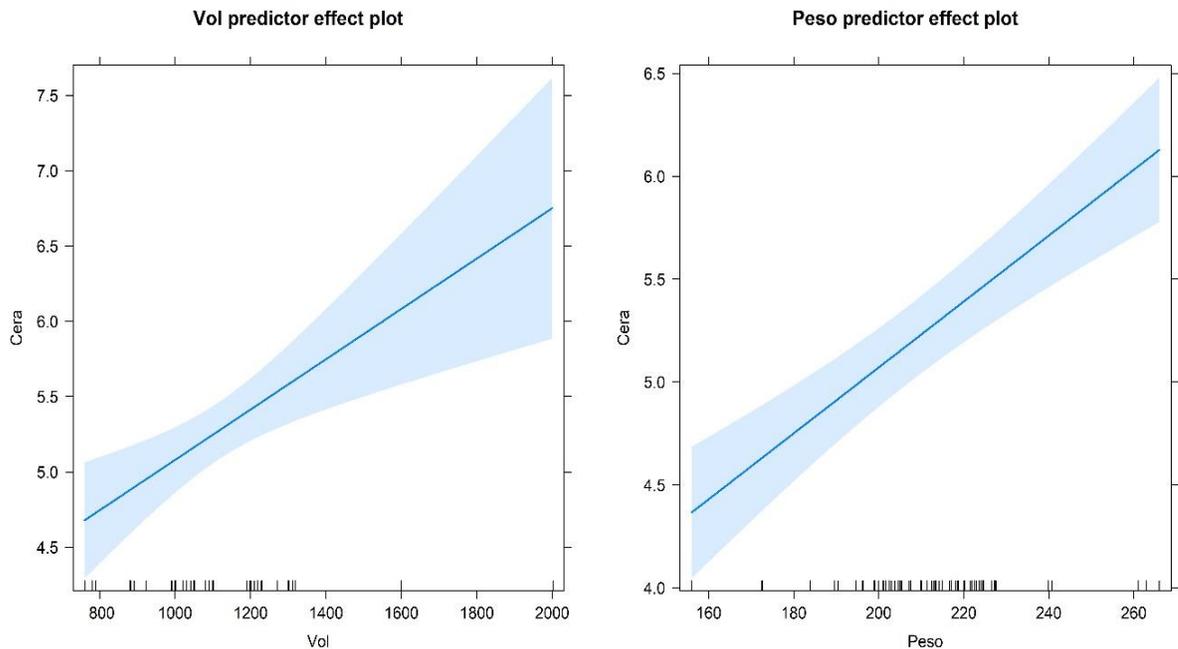


Figura 5. Relaciones de las variables independiente con los datos observados y estimados de cera de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc.

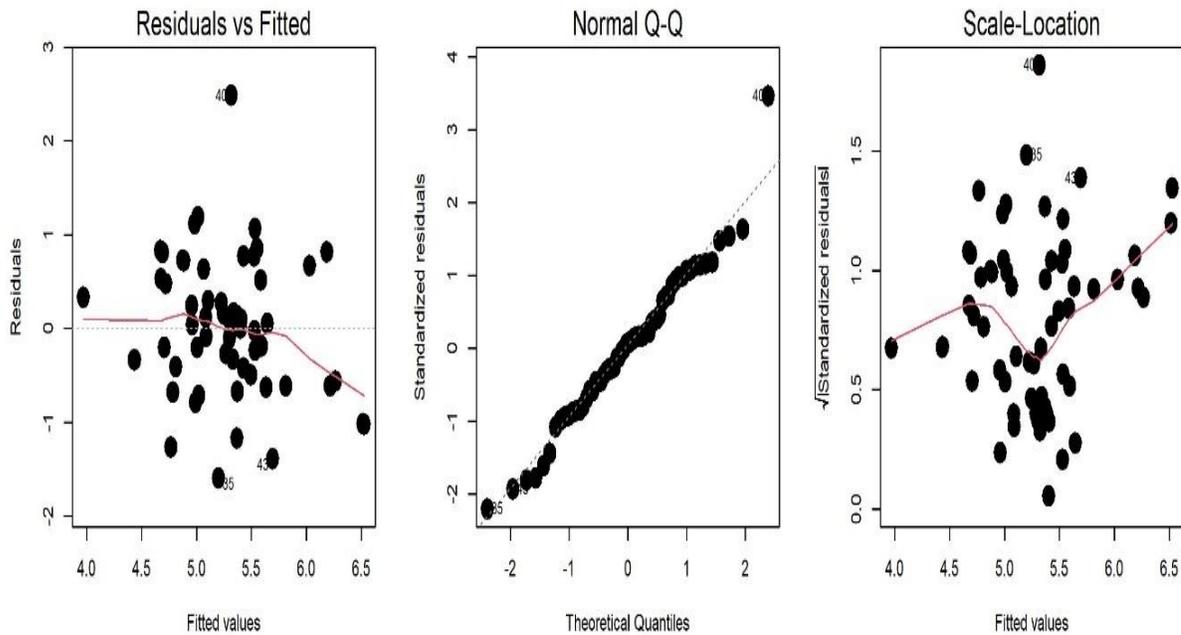


Figura 6. Análisis de residuos del modelo para predecir la producción de cera de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. Homogeneidad de varianza (a), normalidad (b)

Modelo Dummy

Se generó una variable dummy (ejido) para analizar si se requerían tres modelos de regresión para estimar cera de *E. antisyphilitica* en los ejidos La Fe, Las Coloradas y Mala Noche, o si con un solo modelo se podía hacer dicha predicción para los tres ejidos.

Al agregar la variable dummy al modelo de regresión, este quedó de la siguiente manera:

$$\text{Cera} = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2$$

De acuerdo a lo presentado en el Cuadro 8, si sustituimos los valores, la ecuación presentada arriba quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Cera} = 5.207 + 0.175 + 0.136$$

Los valores beta (β_1 y β_2) no fueron significativos, presentando un valor de $p > 0.05$, por lo que desde esta primera parte fue deducible que no existieron diferencias entre los volúmenes de extracción de cera entre ejidos (Cuadro 8). Aunado a esto se realizó todo el proceso con la finalidad de corroborar que no hubo diferencias entre ejidos.

Al crear la variable dummy dio lugar a la generación de tres modelos de regresión, uno para cada ejido; por lo que fue necesario analizar las diferencias de la intercepta con la finalidad de saber si el modelo para cada ejido presentaba la misma intercepta o esta era diferente, resultando una diferencia, ya que las betas no fueron significativas con valores de $p > 0.05$ (Cuadro 8). Para este análisis se generó el modelo de la siguiente manera:

$$\text{Cera} = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$$

De acuerdo a lo presentado en el Cuadro 8, si sustituimos los valores, la ecuación presentada arriba quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Cera} = 2.151 + 0.343 + 0.153 + 0.014$$

También fue necesario analizar si los tres modelos mostraban la misma pendiente, por lo que se creó un tercer modelo para predecir el volumen de cera extraída con las variables cualitativa (Ejido) y cuantitativa (peso), agregando dos interacciones, una entre la variable cualitativa (Ejido FE) y la variable cuantitativa (peso), y la otra con la variable cualitativa (Ejido MALA) y la variable cuantitativa (peso); quedando de la siguiente manera:

$$\text{Cera} = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5$$

De acuerdo a lo presentado en el Cuadro 8, si sustituimos los valores, la ecuación presentada arriba quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Cera} = 0.689 + 4.605 + 5.927 + 0.021 - 0.020 - 0.027$$

Resultando que ni la intercepta ni la pendiente presentaron significancia estadística con un valor de $P > 0.05$, por lo tanto, al no haber diferencias con la variable original es viable un solo modelo de regresión lineal para los tres ejidos, quedando de la siguiente manera:

$$\text{Cera} = 0.0016711* \text{volumen} + 0.0160170* \text{peso}$$

Siendo el modelo final para predecir cera en función de volumen de ácido sulfúrico y peso de la hierba (Cuadros 7 y 8).

Cuadro 8. Estadísticos de ajuste del modelo dummy para la estimación de extracción de Cera de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc.

| Coefficiente | Estimador | S.E. | Valor de t | Pr(> t) | I.C. 2.5% | I.C. 97.5% |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Variable original | | | | | | |
| Intercepta (β_0) | 5.207 | 0.150 | 34.645 | <2e-16 *** | 4.905 | 5.508 |
| Ejido FE (β_1) | 0.175 | 0.247 | 0.710 | 0.481 | -0.320 | 0.670 |
| Ejido MALA (β_2) | 0.136 | 0.263 | 0.516 | 0.608 | -0.391 | 0.663 |
| Agregamos Dummy (diferencias Intercepta) | | | | | | |
| Intercepta (β_0) | 2.151 | 1.174 | 1.832 | 0.072 . | -0.201 | 4.504 |
| Ejido FE (β_1) | 0.343 | 0.244 | 1.408 | 0.165 | -0.145 | 0.832 |
| Ejido MALA (β_2) | 0.153 | 0.251 | 0.608 | 0.545 | -0.349 | 0.655 |
| Peso (β_3) | 0.014 | 0.005 | 2.621 | 0.011* | 0.003 | 0.025 |
| Agregamos Dummy (diferencias pendiente(Interacción)) | | | | | | |
| Intercepta (β_0) | 0.689 | 1.381 | 0.499 | 0.619 | -2.080 | 3.459 |
| Ejido FE (β_1) | 4.605 | 2.721 | 1.692 | 0.096 . | -0.850 | 10.060 |
| Ejido MALA (β_2) | 5.927 | 4.092 | 1.449 | 0.153 | -2.276 | 14.130 |
| Peso (β_3) | 0.021 | 0.006 | 3.288 | 0.001 ** | 0.008 | 0.033 |
| Ejido FE: Peso (β_4) | -0.020 | 0.013 | -1.564 | 0.124 | -0.047 | 0.006 |
| Ejido MALA: Peso (β_5) | -0.027 | 0.019 | -1.413 | 0.163 | -0.065 | 0.011 |
| Modelo Final (Cera = β_1* volumen + β_2* peso) | | | | | | |
| volumen (β_1) | 0.0016711 | 0.0004752 | 3.517 | 0.000856 *** | 0.001 | 0.003 |
| peso (β_2) | 0.0160170 | 0.0025219 | 6.351 | <3.57e-08 *** | 0.011 | 0.021 |

Al no haber diferencias en los ejidos ni en la interacción de la variable dummy nuestro modelo final quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Cera} = \beta_1 * \text{volumen} + \beta_2 * \text{peso}$$

En los resultados obtenidos del análisis de regresión usando la información recabada en campo mediante el software de RStudio Versión: 2022.07, utilizando el método Stepwise y la regresión Dummy para generar un modelo para predecir volumen de cera de candelilla, se puede observar que no todas las variables registradas (Cuadro 5) tuvieron el mismo nivel de significancia estadística con respecto al volumen de cera extraída por pailada.

Al momento de generar el modelo de regresión se observó que las variables bioclimáticas temperatura media anual, temperatura máxima del mes más cálido, temperatura mínima del mes más frío, precipitación media anual, temperatura de la paila, tiempo de cocción, pH del agua y la variable dummy, para este caso no fueron estadísticamente significativos para el modelo de predicción de volumen para dicha especie. Con los ajustes realizados debido a que la variable dummy y β_0 no fueron significativos se obtuvo como resultado final la siguiente ecuación:

$$\text{Cera} = \beta_1 * \text{volumen} + \beta_2 * \text{peso}$$

Con los siguientes valores: $\beta_1 = 0.0016711$, $\beta_2 = 0.0160170$, $R^2 = 0.9818$, $R^2 \text{ aj} = 0.9811$ y un Error estándar de = 0.7346 kg.

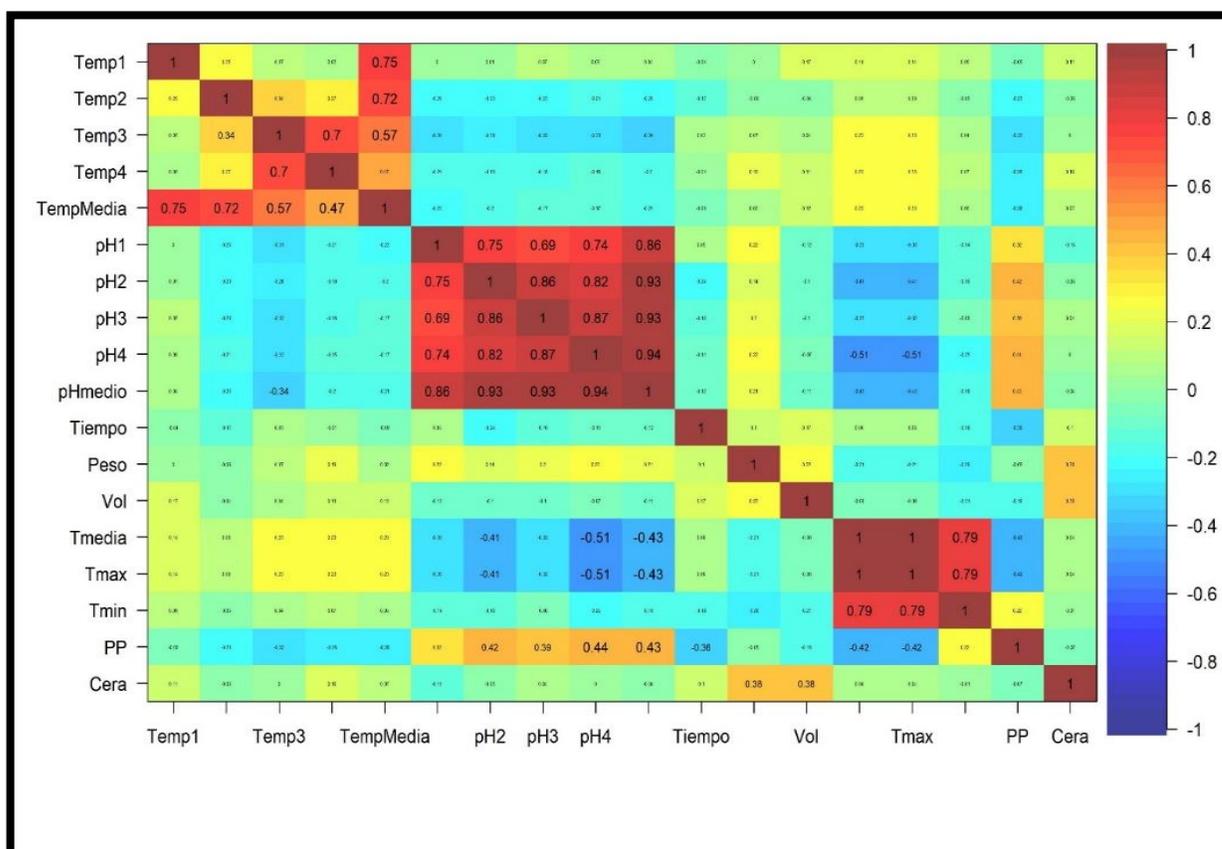


Figura 7. Grafica de correlación de las variables evaluadas.

El resultado de este trabajo refleja la realidad que los productores enfrentan en campo, porque se trabajó en condiciones reales. La planta utilizada en el experimento fue aprovechada y procesada de la manera tradicional. Por lo que el volumen de cera extraído es el normal que se puede obtener en esas condiciones en la actualidad.

Al generar el modelo de predicción los factores temperatura de la paila y el tiempo de cocción de la planta no fueron estadísticamente significativos por lo que fueron desechados en dicho modelo. Sin embargo, estos factores no pueden ser dejados de lado en la práctica.

Un ejemplo de esto es que se puede tener una paila con agua a temperatura ambiente, por tiempo indefinido, con un volumen de hierba definido y con un volumen de ácido agregado conocido, y no será extraído cantidad de cera alguna. Pues para que el proceso de separación de cera de la planta ocurra es necesario el aumento de la temperatura.

4.2. Discusión

4.2.1. Aprovechamiento de la planta de candelilla

En las zonas áridas de México la agricultura no es una actividad que se realice fácilmente, el nivel y la frecuencia de la precipitación que se registran durante el año son insuficientes para que los cultivos se desarrollen adecuadamente; por lo que los habitantes de estas regiones deben encontrar otras alternativas de ingreso para resolver sus necesidades de sustento. Una de estas actividades es la extracción y comercialización de cera de candelilla; siendo esta una de las más importante en el desierto Chihuahuense en la actualidad, debido a que permite a las familias que se dedican a ella tener un ingreso económico adicional.

En Coahuila esta actividad suele ser en muchos casos la única fuente de ingresos para el sustento de familias enteras, en otros casos la combinan con otros trabajos como la ganadería extensiva, la minería y la agricultura de temporal.

La recolección de la candelilla de forma tradicional es destructiva, la cual se hace arrancando la planta con todo y raíz; dicho sistema se justifica por su facilidad con la que se efectúa la operación (Ramírez, 2021).

Localizados los sitios donde la densidad y características de la planta hacen factible su aprovechamiento, el candelillero realiza el corte o arrancado de la hierba pisando cerca del macollo para no sacar toda la raíz de la planta, jalando la mata y sacudiendo la tierra que se queda adherida a la parte de la raíz (no en todos los casos se aplica) después las dispone en el suelo acomodando los tallos de manera encontrada formando tercios. El peso promedio de un tercio es igual a 30 kg (Ramírez, 2021).

Se observó que la extracción de cera de candelilla es una actividad que realizada sin cuidado afecta a las poblaciones silvestres de esta especie, esto representa un riesgo debido a que se sabe que no existen plantaciones comerciales con plantas con buenas características de producción de cera.

Algunos productores tienen cierto cuidado para reducir los efectos negativos del aprovechamiento de este recurso, los criterios de selección de la planta son el tamaño 40 a 60 cm y su coloración gris parduzco es indicador del contenido de cera.

Las prácticas de conservación son básicamente el no cortar plantas pequeñas y el tratar de no sacar toda la raíz de la planta que se corta.

La época de aprovechamiento de candelilla de acuerdo con candelilleros es prácticamente todo el año, mientras que el mayor aprovechamiento se realiza en los meses de octubre a abril, que es cuando la planta reacciona a los cambios de temperatura produciendo más cera como medio de protección a sus tallos.

4.2.2. Proceso de extracción de la cera de *E. antisiphilitica* Zucc

Se sabe a través de diversas fuentes que el aprovechamiento y uso de la planta de candelilla para la extracción de su cera data de antes de la conquista española; la usaban los nativos del norte de nuestro país para iluminarse y para impermeabilizar pieles y cueros. La cera era extraída mediante la cocción de los tallos en recipientes de barro, en este proceso empleaban únicamente agua y calor como agentes extractores.

La producción en masa con propósitos comerciales inició en la primera década del siglo XX en México, con empresarios provenientes del estado de Texas, EUA, y se considera que el

primer proceso para la producción comercial de cera de candelilla fue desarrollado por el químico Oscar Pacius, que residía en Monterrey, Nuevo León, México (Tunnel, 1981).

Algunas versiones mencionan que Pacius se asoció con diferentes empresas de Estados Unidos. Estas fábricas fueron incosteables y desaparecieron; en la actualidad no existe una fábrica que se dedique a realizar la extracción industrial de cera.

En 1914, los señores Borrego y Flores modificaron el proceso que desarrolló Oscar Pacius en 1910; Estos señores adaptaron este método dando origen a una estructura metálica rectangular denominada “paila”, que sirve como contenedor para extraer la cera de la planta mediante su inmersión en una solución de agua-ácido sulfúrico hirviendo, el método modificado por estos señores se adaptó a producción individual y no industrial, a este proceso se le conoce como “método tradicional”. Las dimensiones de una paila tradicional modificada por Borrego y Flores tiene un ancho de 60 cm, altura de 90 cm y 180 cm de largo, con una capacidad aproximada para contener 400 l de agua y 200 kg de planta lo que le permite al productor obtener actualmente un promedio de 6 kg por pailada (Ramírez, 2021).

El método tradicional consiste en la inmersión de los tercios de hierba de candelilla en la paila utilizando una solución de agua –ácido sulfúrico hirviendo, la cual funge como agente extractor de la cera; este método ha resultado ser el más práctico, eficiente y fácil de usar por los candelilleros, razones por las cuales se sigue empleando en la actualidad.

Woda, (2016) menciona que con la finalidad de aumentar el rendimiento y la calidad de la cera se han desarrollado otros prototipos de extracción. Estos tienen en común que no fueron diseñados en conjunto con los productores, y han sido financiados con subsidios gubernamentales. Durante el desarrollo de esos prototipos no se tomaron en cuenta datos sobre productividad. La misma autora menciona que es indispensable identificar y probar las mejoras junto con los candelilleros.

Uno de los prototipos creados, conocido como la **marmita**, fue desarrollado a través del Programa de Transferencia de Tecnología 2008, por parte de la CONAFOR junto con el CONACYT. Las pruebas de extracción se realizaron en el Ejido La Reforma, municipio de Cuatro Ciénegas. Hoy en día la unidad está abandonada, ya que el uso del sistema no era práctico. Según CONAFOR, los costos del proyecto fueron de \$61,600 USD (\$780,000 MX).

Dentro del mismo programa, se instaló un segundo prototipo de paila mejorada en el Ejido Lucio Blanco, municipio de Cuatro Ciénegas. Este se construyó a 1 m de altura sobre el nivel del suelo, lo que resultó en un manejo más difícil y peligroso para el productor durante la extracción de cera, por lo que fue rechazado. Hoy en día la unidad no se utiliza para la extracción de cera, sino para el almacenamiento de agua. Los costos del proyecto fueron indicados por CONAFOR con \$17,000 USD (\$215,000 MX) (Woda, 2016).

La misma autora enfatiza que el conocimiento sobre las mejores técnicas de extracción de cera y la mejora de la productividad es escasa, por lo que recomienda la necesidad de realizar investigación sobre cómo aumentar el porcentaje de extracción de cera; resalta que el acudir a campo permite identificar varias hipótesis que se podrían probar de forma participativa con los productores. Lo anterior es debido a dos factores 1) Ambiental, un mayor rendimiento por planta reduce la presión del aprovechamiento sobre la población de esta especie en su habitat natural y 2) Económico, un mayor rendimiento por unidad de procesamiento podría reducir los costos de producción y aumentar la productividad. La autora encontró en campo que las plantas de candelilla se presionan fuertemente en la paila para su procesamiento y consecuente extracción de cera. Si el volumen de planta que se introduce a la paila es menos denso, la solución se distribuirá de manera homogénea en el contenedor, por lo que la cantidad de cera extraída puede aumentar, ya que la superficie de la planta que está en contacto con el agua acidificada donde tiene lugar la reacción química también aumenta.

Degollado (1989), al investigar sobre la domesticación de la candelilla, banco de germoplasma y métodos de extracción de cera, publicó que la mejor sustancia para la extracción de cera de candelilla es el ácido sulfúrico, con valores de extracción por arriba del 3 %. Así como la existencia de un gran potencial genético dentro del germoplasma silvestre, y que el contenido relativo de cera está influenciado por las condiciones ecológicas y el potencial mismo de la planta.

En la mayoría de los casos, el ácido sulfúrico utilizado para la extracción de cera es de calidad desconocida por los productores. El ácido sulfúrico es una solución transparente. Sin embargo, el ácido que es proveído por algunos compradores a los candelilleros suele ser de color marrón claro u oscuro, lo que puede ser el resultado de un almacenamiento inadecuado, o de un uso previo en otras industrias, como la automovilística o minera, donde pudiera estar en contacto

con arsénico y plomo Los candelilleros han observado diferentes calidades del ácido, ya que “a veces quema mejor y veces quema menos”. La cantidad de ácido empleada en la extracción de cera es estimada por los productores en base a su experiencia (Woda, 2016).

Saldaña (2018), realizó un análisis de calidad de varias muestras aleatorias del ácido para verificar pureza, concentración y eventual contenido de metales pesados o arsénico. Menciona la necesidad de que todo el ácido proporcionado por los acopiadores debe ser entregado en recipientes a prueba de ácido con el etiquetado adecuado, que indique la concentración de este.

Los trabajadores deben estar capacitados para usar el ácido de acuerdo con el nivel de pH del agua en la paila, ya que reutilizan el agua acidificada del procesamiento anterior, por lo que y el nivel de pH varía entre eventos de extracción.

Woda (2016). Sugiere que deben estar disponibles recipientes graduados para manejar el ácido; y que es recomendable uso total o parcial de ácido cítrico en lugar de ácido sulfúrico, según las opciones del mercado.

4.2.3. Experimento

La presente investigación se llevó a cabo en el mes de mayo del 2021, en tres ejidos 1) La Fe, 2) Mala Noche y Arracadas y 3) Las Coloradas, pertenecientes a los municipios de Viesca, San Pedro y Ramos Arizpe, todos del estado de Coahuila, México.

El objetivo fue generar un modelo de regresión para predecir el volumen de cera de *E. antisiphilitica* Zucc; para este trabajo se intervino en 60 eventos de extracción de cera (pailadas). La cera de candelilla se obtuvo con el método tradicional, consistente en la cocción de la planta de candelilla en pailas, utilizando una solución de agua-ácido sulfúrico.

El experimento de esta investigación se basó en la necesidad de algunos productores por reducir la cantidad de hierba a utilizar en el proceso de extracción de cera, debido a que cada vez más aumentan la distancia para la cosecha de la planta; suelen realizar el aprovechamiento en las zonas más cercanas, contribuyendo de esta manera a la disminución del recurso, propiciando la extinción de la misma.

Al momento de establecer el objetivo también se definieron los parámetros a registrar; a través de pláticas con los productores y observaciones en campo se definió para el método tradicional un total de 11 pasos, los cuales empiezan con el aprovechamiento de la planta en su medio natural, hasta el embalaje de la materia prima para su comercialización.

Para cumplir el objetivo de este trabajo fue necesario conocer y entender el procedimiento que los candelilleros realizan; para esto se tuvo que colaborar en dicho proceso de extracción, esto permitió recopilar y registrar información sobre los factores que intervienen en el proceso de extracción, mismos que se utilizaron para generar un modelo de predicción.

Las variables utilizadas incluyeron las del mismo proceso como, volumen de ácido y peso de la hierba; así como del tipo climático, como temperatura y precipitación.

Para generar el modelo, se utilizó el método stepwise usando el programa estadístico de RStudio versión 2022.0 7. Se realizó regresión dummy para determinar si había diferencias en el promedio de cera extraída entre ejidos, y para determinar la existencia de una o más ecuaciones para predecir volumen de cera.

Se obtuvo el modelo de regresión lineal, resultando la siguiente ecuación:

$$\text{Cera} = \beta_1 * \text{volumen} + \beta_2 * \text{peso}$$

Con los siguientes valores: $\beta_1 = 0.0016711$, $\beta_2 = 0.0160170$, $R^2 = 0.9818$, $R^2_{aj} = 0.9811$ y un Error estándar de = 0.7346 kg.

El resultado de esta investigación muestra que es posible predecir el volumen de cera a obtener en un evento de extracción (pailada) para los ejidos del área de estudio, considerando los factores, 1) Volumen de ácido sulfúrico (ml) y 2) Volumen de la carga de hierba (kg).

El modelo predice adecuadamente el volumen de cera de candelilla extraída al registrar un coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) de 0.9811 y un error estándar de 0.7346 kg.

Aunque existe colinealidad entre volumen y peso, no son de la misma unidad muestral. Estos resultados indican que las variables climáticas no determinan la extracción de cera de *E. antisiphilitica* Zucc.

El modelo dummy indica que el promedio de volumen de cera es igual entre ejidos, y, por ende, un solo modelo puede usarse para predecir el volumen de la cera (kg) en esta especie. La temperatura utilizada en el proceso tampoco está relacionada con la cantidad de cera extraída.

El modelo: $Cera = \beta_1 * volumen + \beta_2 * peso$ con los valores: $\beta_1 = 0.0016711$, $\beta_2 = 0.0160170$, que se generó en este estudio predice adecuadamente el volumen de cera de candelilla extraída, al registrar un coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj.) de 0.9811 y un error estándar de 0.7346 kg; por lo que se recomienda su uso en las áreas de estudio, para hacer uso eficiente de este recurso natural.

V. CONCLUSIONES

Se acepta la hipótesis alternativa que establece que, al menos uno de los factores del proceso tradicional de extracción de cera contemplados para este experimento pueden predecir el volumen de cera a extraer, y se rechaza la hipótesis nula debido a que establece que las variables consideradas para el modelo no permiten predecir el volumen de cera a extraer.

Las herramientas estadísticas, como el análisis de regresión, son indispensables para la evaluación de los recursos naturales, debido a que es posible entender que existe una relación matemática entre el vínculo de una o varias variables independientes (x) y una variable dependiente (y); con el análisis de regresión es posible entender el modo en que una variable es afectada por los cambios de los demás factores.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede deducir que es factible el uso del método Stepwise y la regresión Dummy en software de RStudio como una herramienta que permite generar modelos matemáticos de una manera rápida y sencilla, capaces de realizar predicciones adecuadas sobre una variable de interés.

VI. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, se recomienda utilizar el modelo resultante: $Cera = \beta_1 * volumen + \beta_2 * peso$, para predecir la extracción de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en los predios del área de estudio, y de esta manera hacer un uso eficiente de la especie y garantizar su conservación para las generaciones futuras.

Se sugiere recopilar más información de variables independientes, tales como: tipo de suelo, exposición del terrero, fisiografía, tipo de vegetación, entre otras; variables que constituyen factores determinantes en la producción de cera en un entorno climático.

En la elaboración de un modelo de predicción de extracción de cera de candelilla se recomienda utilizar el método Stepwise aplicando los tres pasos (Forward, Backward y Both) que permitan determinar las variables con mayor significancia estadística; las cuales pueden dar origen a un modelo estadístico que incluya una gran cantidad de variables independientes que puedan contribuir a la generación de un modelo estadísticamente sólido.

Partiendo de la necesidad de usar más eficientemente el volumen de hierba de candelilla para extraer cera con el método tradicional y, debido a que en el desierto Chihuahuense el régimen de lluvias es de verano, se sugiere a la SEMARNAT que establezca una época de veda en la región candelillera para el aprovechamiento de *E. antisyphilitica* Zucc; y esperar la época de secas para realizar el aprovechamiento.

Se sugiere a los técnicos encargados de la elaboración de los avisos de aprovechamiento, y de la ejecución de estos que observen dichas épocas para que actúen en consecuencia, gestionando la ejecución de reforestaciones en la temporada de lluvia.

VII. LITERATURA CITADA

- Ares, A., J. Boniche, J. P. Quesada, R. Yost, E. Molina y T. J. Smith. 2002. Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrientes y carbono en plantaciones de palmito en Costa Rica. Vol. 26 (002). 13 p.
- Ávila, R. F. 2007. La Candelilla en el norte de Zacatecas. Tesis monográfica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 67 pp.
- Camacho O., M. 1990. Análisis dimensional en Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en el C.E.F. La Saucedá, Ramos Arizpe, Coahuila. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila., México. 84 p.
- Campos, L. E., y O. Chávez P. 1981. Candelilla, México. Centro de Investigación de Química Aplicada. México, D.F. 102 pp.
- Canales G. E., V. Canales M. y E. M. Zamarrón R. 2006. Candelilla, del desierto mexicano hacia el mundo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Biodiversitas, México, D.F. 1-5 p.
- Cano P., A., E. E. Villavicencio G., y M. Martínez S. (2013): Caracterización ecológica y socioeconómica de la Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). En Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. 1: 135 – 173.
- Cárdenas R., F. 1988. Influencia de algunas características agroclimáticas en la producción de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 62 p.
- CONABIO. 2008. Conservación, uso y comercio de la candelilla. Taller nacional. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Biodiversitas, México, D.F. 11: 1-3. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/123420/bp011_taller_candelilla_171208.pdf (11 de noviembre de 2022).

- CONABIO. 2009. Evaluación del estatus de *Euphorbia antisyphilitica* en México dentro de los apéndices de la CITES. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Decimoctava reunión del Comité de Flora. Buenos Aires. Argentina. PC18 Inf.10 CITES. 13 pp.
- CONABIO. 2022. Guía informativa para la elaboración de estudios técnicos de aprovechamiento sustentable de candelilla en el marco de las disposiciones de la CITES. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México. 46 pp.
- De la Garza, de la P. F. E., C. A. Berlenga R. y F. J. Tovar. V. 1992. Guía para el establecimiento y manejo de plantaciones de candelilla. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental “La Sauceda”. Saltillo, Coahuila, Mexico.46 p.
- De la Garza, F. E., Berlenga, C. A. 1993. Metodología para la evaluación y manejo de candelilla en condiciones naturales. Folleto Técnico Núm. 5. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental “La Sauceda”. Saltillo, Coahuila, Méx. 46 p.
- Degollado V., M. A. 1989. Estudio sobre domesticación de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), banco de germoplasma, método de extracción de cera y regresión lineal múltiple. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 140 pp.
- Espinoza-Espinoza, J. R., y G. Almaguer-Vargas. 2007. Estimación de biomasa de órganos aéreos de plantas de manzana. Revista Chapingo 13: 179-184.
- Fick, S.E. y R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: nuevas superficies climáticas de resolución espacial de 1 km para áreas terrestres globales.
- Flores C., E. 1938. La candelilla (*Euphorbia cerífera*) México. Tesis de licenciatura. Chapingo. México. 91 p.
- Govea, M. 2018. La Candelilla. La última esperanza de los pueblos del desierto. Secretaría de Medio Ambiente, México. Bordeando el Monte. 52: 1-8.

- Hernández-Herrera, J. A., Moreno-Reséndiz, A., Valenzuela-Núñez, L. M. Flores-Hernández, A. y Zamora Martínez, M. C. 2020. Potencial distribución of *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. en México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 19(2):1-14.
- IC. 2013. La planta de candelilla. Instituto de la Candelilla (IC). <https://www.candelilla.org/?lang=es>. 18 de octubre de 2022.
- ITIS. 2022. Taxonomía de la candelilla. Sitio web: Integrated Taxonomic Information System. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=28042#null
- LGDFS. 2022. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable Sección IV. Del aprovechamiento de los recursos forestales no maderables. publicada en el Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México. 83 p.
- Maldonado A., L. J. 1979 b. La investigación desarrollada sobre candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.). México. Ciencia Forestal 4:3-11.
- Martínez G., M., J. Jiménez R., R. Cruz D., E. Juárez A., R. García, A. Cervantes, y R. Mejía H. 2002. Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica 73(2):155-281.
- PNUD. 2015. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre desarrollo humano 2015. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Nueva York, Estados Unidos. 290 pp.
- Ramírez L., E. 2021. Observación en campo. Método tradicional de extracción de cera de candelilla. Coahuila, México.
- Roblero P., E. 2012. Modelos de predicción de biomasa y rendimiento de cera de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coahuila Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 38 pp.

- Rojas M. R. S. Saucedo P., Saúl; M. A. De león Z., D. Jasso C. y C. N. Aguilar. 2011. Pasado, presenta y futuro de la candelilla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. México, D. F. 2:7-18.
- Romahn V., C. F. 1992. *Los Recursos Forestales no Maderables de México: una Revisión*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 131 pp.
- RStudio. 2022. RStudio: Desarrollo integrado para R. RStudio, Boston, Estados Unidos de América. <https://posit.co/>.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México. 432 p. p.
- Saldaña H., E. 2018. Análisis químico. Análisis químico de ácido sulfúrico utilizado en el proceso extracción de cera de candelilla. Coahuila, México.
- SEMARNAP. 1999. Norma Oficial Mexicana NOM-018-RECNAT-1999, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones técnicas y administrativas para realizar el aprovechamiento sostenible de la hierba de candelilla, transporte y almacenamiento de cerote. *Diario Oficial de la Federación*. Edición matutina.
- SEMARNAT. 2003. Acuerdo por el cual se reforma la nomenclatura de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como la ratificación de las mismas, previa a su revisión quinquenal. *Diario Oficial de la Federación*. Edición matutina. Única sección. 23 de abril de 2003. México, D. F.
- Steinmann, V. W. 2002. Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Acta Botánica Mexicana*, 61: 61 – 93.
- Tunnell, C. 1981. *Wax, Men, and Money: A Historical and Archeological Study of Candelilla Wax Camps along the Rio Grande Border of Texas*. Office of the State Archeologist Report 32, Texas Historical Commission, Austin. U.S.A. 97 p.
- Woda, C. 2016. Applicability of NRSC specifications in candelilla wax production. Reporte inédito. Natural Resource Stewardship Circle. Grasse, France. 43 p.

- Zamora-Martínez, M. C., C. Méndez E., R. Pérez M. y E. N. Cortés B. 2013. *Euphorbia antisyphilitica* Zucc.: recurso forestal no maderable de alto valor económico. Cenid Comef, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D.F., México. Folleto técnico No. 12. 64 pp.
- Zamora-Martínez, M. C., E. Velasco B., A. Cano P., E. E. Villavicencio G y D. Castillo Q. 2009. Criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de recursos forestales no maderables de clima árido y semiárido. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D. F. México. Libro Técnico No. 5 p. p. 57-62.
- Zamora-Martínez, M. C., J. M. Torres R., L. I. Zamora-Martínez. 2001. Análisis de la información sobre productos forestales no madereros en México. Reporte del Proyecto Información y Análisis para el Manejo Forestal Sostenible: Integrando Esfuerzos Nacionales e Internacionales en 13 Países Tropicales en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile. 120 pp.

VIII. APÉNDICE

Apéndice 1. Glosario.

| CONCEPTO | DEFINICIÓN | FUENTE |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Análisis de regresión | Es una herramienta de frecuente uso en estadística. La cual permite investigar las relaciones entre diferentes variables cuantitativas. Esto, mediante la formulación de ecuaciones matemáticas. Visto de otro modo, dicho análisis es un proceso o modelo que analiza el vínculo entre una variable dependiente y una o varias variables independientes. Así, a partir de dicho estudio, se halla una relación matemática. Gracias a los procesos de regresión, es posible entender el modo en que la variable dependiente es afectada por cambios en los demás factores. | https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-regresion.html |
| Atice de hierba | Producto de hierba que se sometió al proceso de cocción previamente y se expuso al sol para su deshidratación. | Entrevista al productor |
| Aviso de aprovechamiento | Documento emitido por los titulares del aprovechamiento de la hierba de candelilla con fines comerciales para acreditar la legal procedencia del cerote durante el transporte y/o almacenamiento. | NOM-018-SEMARNAT-1999 |
| Candelillero | Los candelilleros son sociedades contemporáneas de recolectores seminómadas que, en torno a la planta de la candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i>) han forjado prácticas, conocimientos, significados e identidades que han traspasado el tiempo. La palabra candelillero rinde tributo a la candelilla, de la cual los antiguos chichimecas aprendieron a extraer la cera que corre en su interior al hervirla con agua. | http://gransierraplegada.org/Divulgacion/Candelilleros.html |
| Carga de ácido | Cantidad de ácido que el candelillero agrega a la paila para extraer cera de candelilla | Entrevista al productor |
| Centro de almacenamiento | Lugar con ubicación permanente y definida donde se depositan temporalmente materias primas forestales para su conservación y posterior traslado y transformación. | NOM-018-SEMARNAT-1999 |
| Centro de transformación | Instalación industrial o artesanal, fija o móvil donde por procesos físicos mecánicos o químicos se elaboran productos derivados de materias forestales. | NOM-018-SEMARNAT-1999 |
| Cerote | Materia prima forestal no maderable obtenida de la hierba de candelilla. | NOM-018-SEMARNAT-1999 |

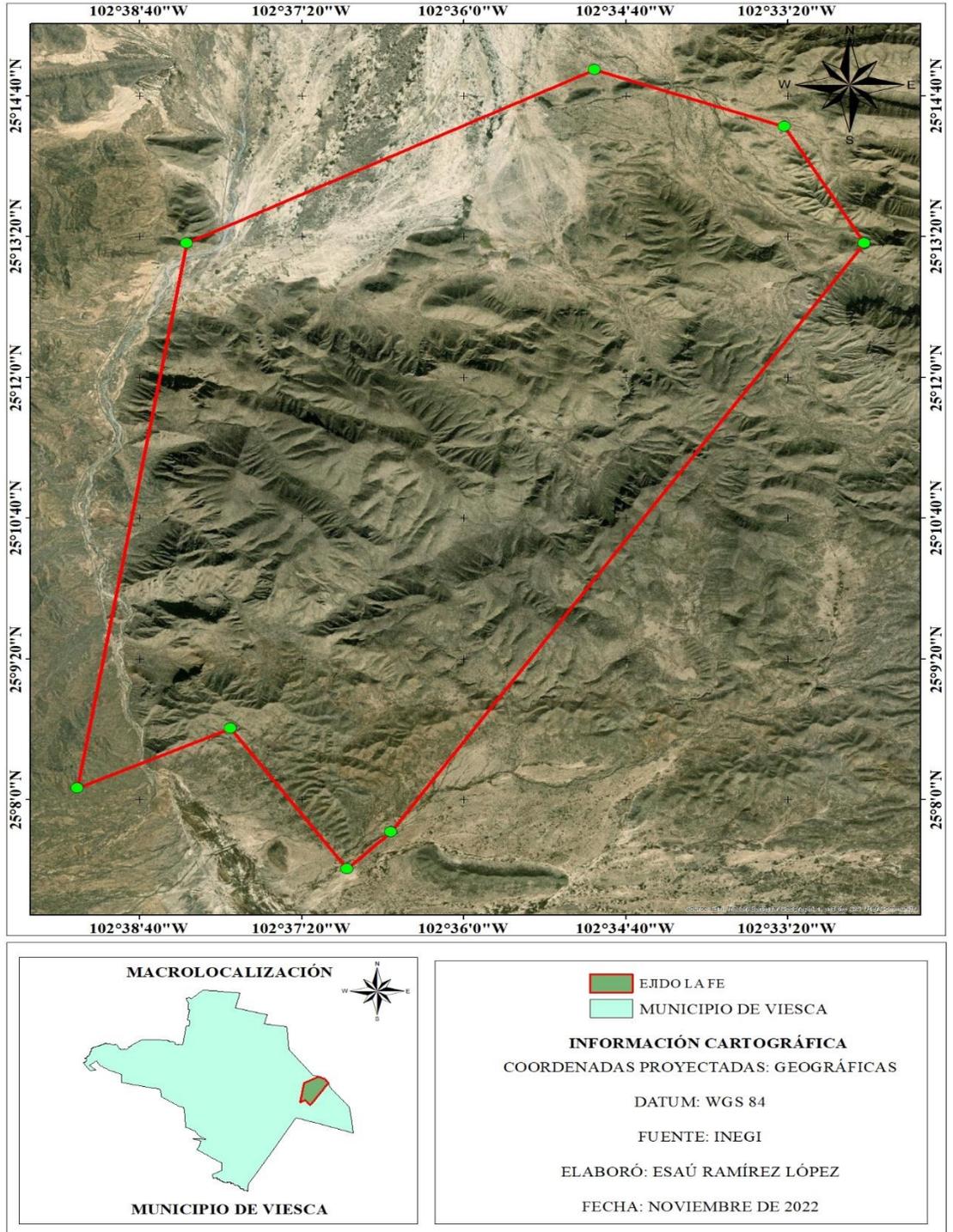
Apéndice 1. Glosario. (Continuación).

| CONCEPTO | DEFINICIÓN | FUENTE |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ciatio | Pseudanto característico del género <i>Euphorbia</i> , formando por una flor femenina central reducida a un gineceo pedunculado tricarpelar y sincárpico rodeado por cinco grupos de flores masculinas reducidas a un solo estambre, el conjunto rodeado por cinco hipsofilos con una glándula entre cada par de forma semicircular o semilunar. | https://www.plantasyhongos.es/glosario/ciatio.htm |
| CITES | La CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) es un acuerdo internacional concertado entre los gobiernos. Tiene por finalidad velar por que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no constituye una amenaza para la supervivencia de las especies. | https://cites.org/esp/disc/w hat.php |
| Cortador | Recipiente cilíndrico de hierro que sirve para el almacenamiento de la cera resultante del proceso de extracción con acido sulfúrico | https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_artt ext&pid=S2007-11322011000400003 |
| Espumador | Es una horquilla artesanal o espumadera de lámina con perforaciones que sirve para colectar el resultado de la interacción del ácido sulfúrico y la planta de candelilla que, por diferencia de densidades, flota en la superficie en forma de espuma de color grisáceo. Los orificios que tiene el espumador facilitan el escurrimiento del agua y la retención de la cera. | https://cienciauanl.uanl.mx/?p=11384 |
| Hierba de candelilla | Macollos de candelilla extraídos de su habitat natural, previo a su beneficio primario para la obtención del cerote. | NOM-018-SEMARNAT-1999 |
| Macollo | Agrupación de tallos cilíndricos, erectos, verticales, nacidos desde el suelo a partir de una misma raíz, los que en su conjunto forman la planta de candelilla. | NOM-018-SEMARNAT-1999 |
| Paila | Contenedores de acero enclavados en el suelo sobre hornos subterráneos que se denominan “paila”. Las pailas son alimentadas con la planta de candelilla en fresco, agua y ácido sulfúrico, siendo esta mezcla calentada a ebullición hasta que la cera que recubre los tallos de la candelilla se separa en forma de espuma la cual es recolectada, almacenada, enfriada, encostalada y vendida en forma de una cera no refinada llamada “cerote”. | https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12265/Hern%C3%A1ndez%20Garc%C3%ADa%20Guillermo%20-%20B110763.pdf?sequence=1&isAllowed=y |

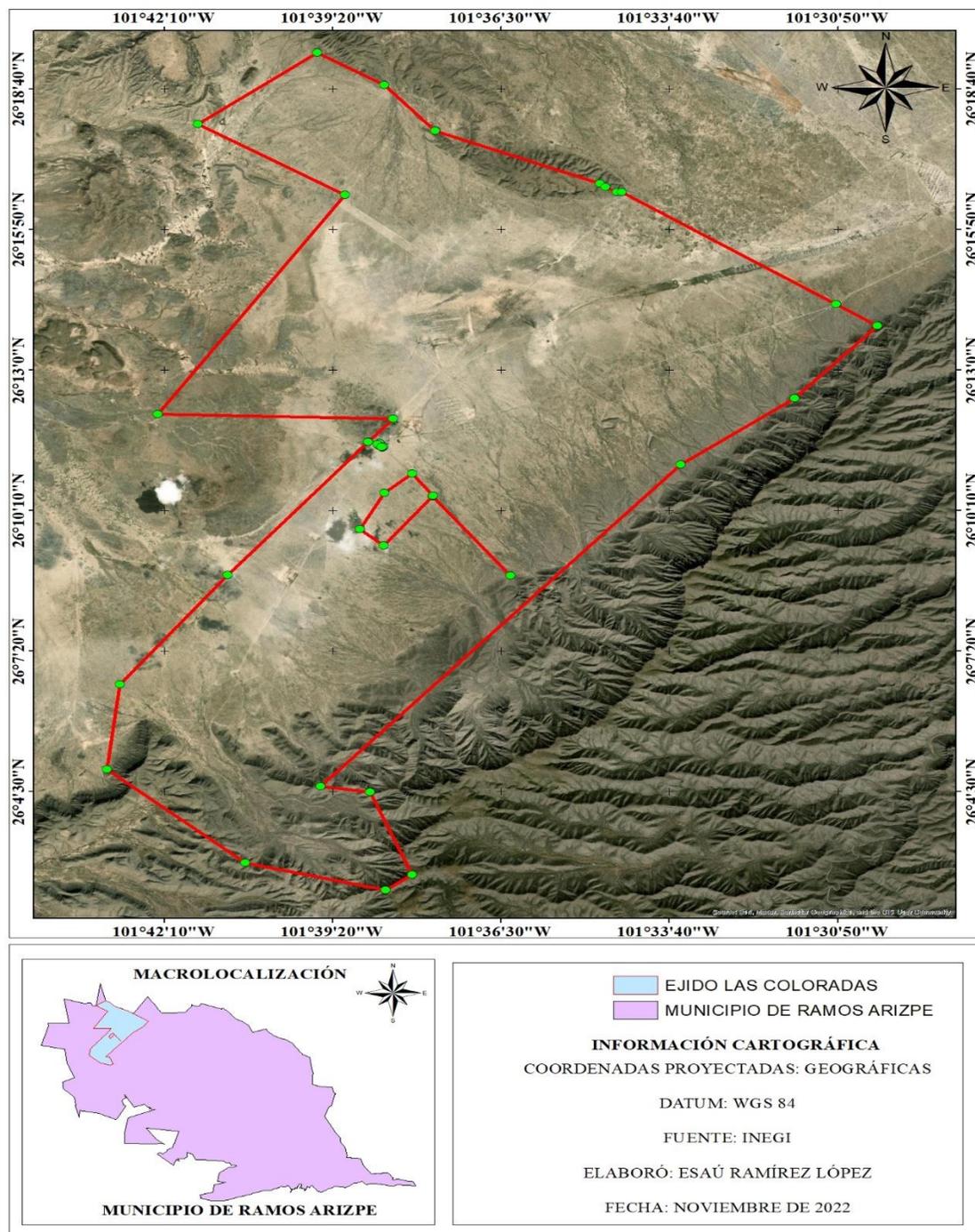
Apéndice 1. Glosario. (Continuación).

| CONCEPTO | DEFINICIÓN | FUENTE |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pailada | Evento de extracción de cera de candelilla desde de inicio a fin. Tomando como referencia el inicio desde que se calienta la paila a fuego directo hasta que este deje generar cera. | http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2670/1234_BENJAMIN%20LOPEZ%20CORTES.pdf?sequence=1&isAllowed=y |
| Recurso forestal no maderable | Las semillas, resinas, fibras, gomas, ceras, rizomas, hojas, pencas, y tallos provenientes de la vegetación forestal, así como los suelos de los terrenos forestales o de aptitud preferentemente forestal. | NOM-018-SEMARNAT-1999 |
| Regresión lineal múltiple | Un modelo de regresión lineal múltiple es un modelo estadístico versátil para evaluar las relaciones entre un destino continuo y los predictores. Los predictores pueden ser campos continuos, categóricos o derivados, de modo que las relaciones no lineales también estén soportadas. El modelo es lineal porque consiste en términos de aditivos en los que cada término es un predictor que se multiplica por un coeficiente estimado. El término de constante (intercepción) también se añade normalmente al modelo. | https://www.ibm.com/docs/es/cognos-analytics/11.1.0?topic=test-s-multiple-linear-regression |
| Responsable técnico | Persona física o moral inscrita en el registro forestal nacional, encargada de proporcionar la asistencia técnica y dirigir la ejecución del aprovechamiento de los recursos forestales. | NOM-018-SEMARNAT-1999 |
| Tercio | Es la unidad de medida equivalente a una "brazada", es decir, lo que se alcance a tomar entre los dos brazos abiertos, en kilogramos corresponde aproximadamente a 30 kg de planta de candelilla. | https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322011000400003 |
| Variables Dummy (o indicadoras) | Variables categóricas (o cualitativas) con dos o más categorías. Por ejemplo, género, estado civil, partido político. Estas se pueden representar como variables dummy o indicadoras. Estas variables toman dos valores usualmente, cero y uno. Los dos valores significan que la observación pertenece a una de dos categorías. Las variables dummy o indicadoras sirven para identificar categorías o clase a las que pertenecen las observaciones. | https://virtual.uptc.edu.co/ova/estadistica/docs/libros/2007315/lecciones_html/capitulo_7/leccion0/introduccion.html |

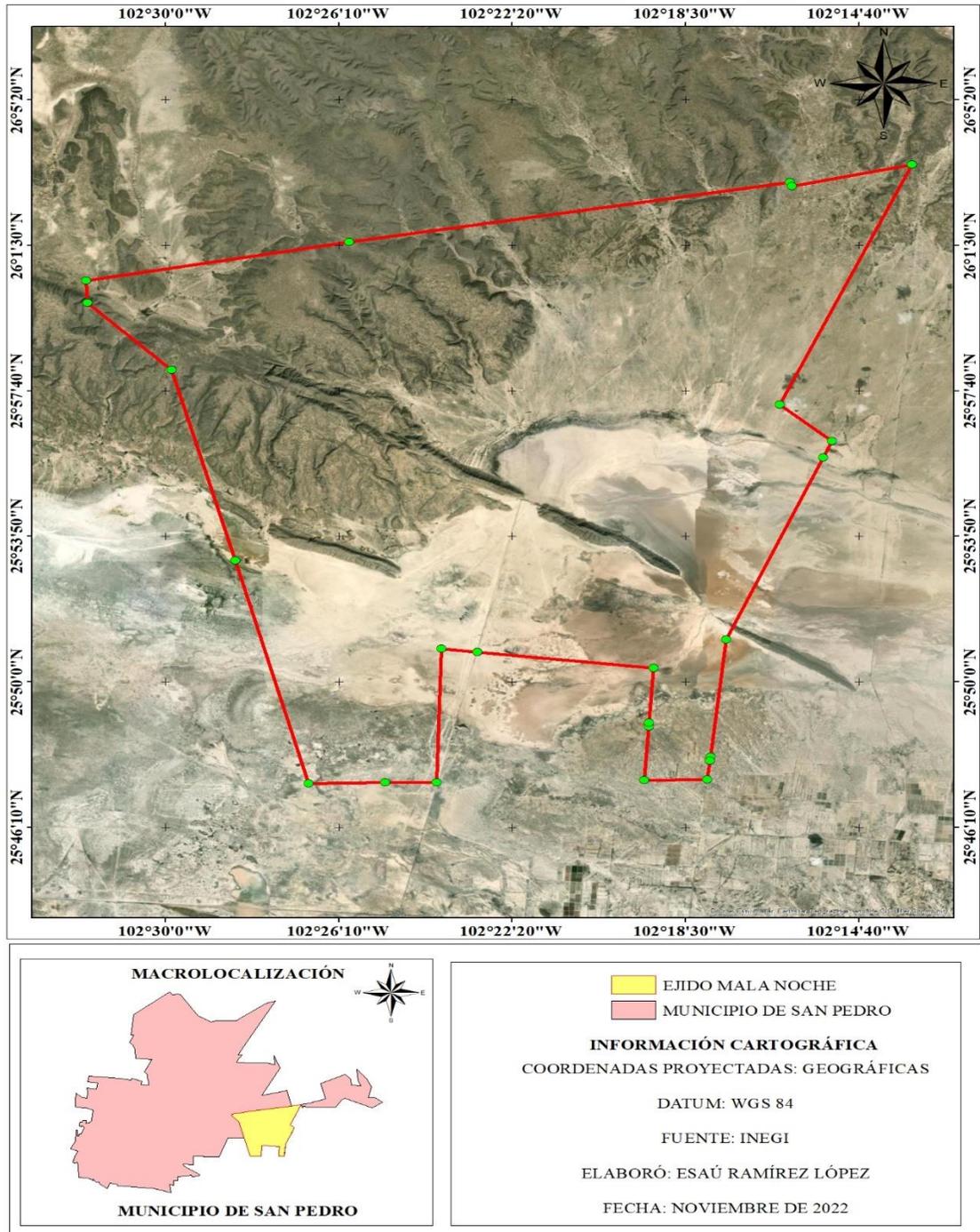
Apéndice 2. Polígono del ejido La Fe, municipio de Viesca, Coahuila.



Apéndice 3. Polígono del ejido Las Coloradas, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.



Apéndice 4. Polígono del ejido Mala noche y Arracadas, municipio de San Pedro, Coahuila.



Apéndice 5. Análisis del ácido sulfúrico empleado en la extracción de cera de candelilla.



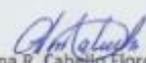
ASESORIA Y ANALISIS QUIMICO INDUSTRIAL

REPORTE DE ANÁLISIS FISICO QUIMICO

Compañía: EDER SALDAÑA
 Dirección: Calle 13 No.1125 Col.Australia Saltillo Coah
 Fecha: Diciembre-14-2018
 Punto de Muestreo: ACIDO SULFURICO CONTAMINADO - MUESTRA No.1
 Fecha de Muestreo: Diciembre-05-2018

| ANÁLISIS | Resultado | Método utilizado |
|-------------------------------|-----------|---------------------|
| Arsénico, mg/L | <0.01 | NMX-AA-016 SCFI2001 |
| Cadmio, mg/L | <0.01 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Cianuros, mg/L | 0.000 | NMX-AA-058 SCFI2001 |
| Cobre, mg/L | 3.39 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Cromo Hexa, mg/L | 0 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Hierro total, mg/L | 0.107 | |
| Níquel, mg/L | <0.0001 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Plomo, mg/L | <0.01 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Zinc, mg/L | <0.01 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Grasas y Aceites, % vol | 0.2 | NMX-AA-5 SCFI2000 |

Atentamente,

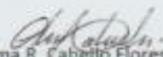

 Q.I. Alma R. Cabello Flores
 Céd. Prof. UAC 578420

BLVD. FRANCISCO COSS #980
ESQ. CON ABASOLO 2o. PISO-I
SALTILLO, COAH.
TEL./FAX: (844) 410-08-80

Apéndice 6. Análisis del ácido sulfúrico empleado en la extracción de cera de candelilla

|  ASESORIA Y ANALISIS QUIMICO INDUSTRIAL | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|
| REPORTE DE ANÁLISIS FISICO QUIMICO | | |
| Compañía: | EDER SALDAÑA | |
| Dirección: | Calle 13 No.1125 Col.Australia Saltillo Coah | |
| Fecha: | Octubre-08-2018 | |
| Punto de Muestreo: | ACIDO SULFURICO CONTAMINADO - MUESTRA No.4 | |
| Fecha de Muestreo: | Septiembre-07-2018 | |
| ANÁLISIS | Resultado | Método utilizado |
| Arsénico, mg/L | <0.01 | NMX-AA-046 SCFI2001 |
| Cadmio,mg/ L | <0.01 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Cianuros,mg/L | 0.000 | NMX-AA-058 SCFI2001 |
| Cobre,mg/L | 1.28 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Cromo Hexa,mg/L | 3 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Fierro total,mg/L | 20 | |
| Niquel,mg/L | <0.0001 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Plomo,mg/L | <0.01 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Zinc,mg/L | <0.01 | NMX-AA-051 SCFI2001 |
| Grasas y Aceites,% vol | 1 | NMX-AA-5 SCFI2000 |

Atentamente.


Q.I. Alma R. Cabello Flores
Ced. Prof. UAC 578420

BLVD. FRANCISCO COSS #980 ESQ. CON ABASOLO 2a. PISO-I SALTILLO, COAH. TEL/FAX: (844) 410-08-80

Apéndice 7. Base de datos de campo capturados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

| Ejido | Número de pailada | Temp1 | Temp2 | Temp3 | Temp4 | TempMedia | pH1 | pH2 | pH3 | pH4 | pHmedio | Tiempo | Peso | Vol | Tmedia | Tmax | Tmin | PP | Cera |
|-----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|-----|-----|---------|--------|-------|---------|--------|------|------|-------|------|
| Coloradas | Pailada 001 | 87.5 | 87.5 | 92.5 | 93.0 | 90.1 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.8 | 81.0 | 198.9 | 2,000.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.5 |
| Coloradas | Pailada 002 | 73.0 | 93.5 | 93.5 | 95.5 | 88.9 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 92.0 | 222.6 | 1,100.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.5 |
| Coloradas | Pailada 003 | 78.8 | 92.6 | 92.6 | 94.0 | 89.5 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 137.0 | 221.9 | 1,000.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.5 |
| Coloradas | Pailada 004 | 70.1 | 95.3 | 95.3 | 96.1 | 89.2 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 102.0 | 211.4 | 780.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.5 |
| Coloradas | Pailada 005 | 76.6 | 96.8 | 97.0 | 96.8 | 91.8 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 103.0 | 218.6 | 1,100.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.5 |
| Coloradas | Pailada 006 | 80.6 | 93.5 | 94.0 | 95.5 | 90.9 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 75.0 | 212.5 | 760.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.5 |
| Coloradas | Pailada 007 | 79.0 | 82.8 | 83.0 | 94.0 | 84.7 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 90.0 | 210.0 | 1,200.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.5 |
| Coloradas | Pailada 008 | 69.8 | 94.2 | 94.7 | 96.0 | 88.7 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 72.0 | 239.9 | 1,600.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.5 |
| Coloradas | Pailada 009 | 82.3 | 90.5 | 90.9 | 95.2 | 89.7 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 86.0 | 221.6 | 1,100.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.5 |
| Coloradas | Pailada 010 | 71.0 | 81.0 | 90.0 | 94.2 | 84.1 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.8 | 117.0 | 218.0 | 1,100.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.0 |
| Coloradas | Pailada 011 | 82.5 | 94.2 | 95.2 | 96.3 | 92.1 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 66.0 | 213.2 | 1,000.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.0 |
| Coloradas | Pailada 012 | 72.1 | 78.2 | 92.1 | 93.6 | 84.0 | 4.0 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 3.5 | 104.0 | 224.5 | 1,000.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.0 |
| Coloradas | Pailada 013 | 75.7 | 80.2 | 85.7 | 90.4 | 83.0 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 88.0 | 205.3 | 1,000.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.0 |
| Coloradas | Pailada 014 | 81.2 | 84.4 | 90.6 | 92.0 | 87.1 | 4.0 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 3.5 | 73.0 | 224.0 | 1,100.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.0 |
| Coloradas | Pailada 015 | 71.7 | 72.3 | 91.5 | 93.4 | 82.2 | 4.0 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 3.5 | 63.0 | 226.5 | 1,200.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.0 |

Apéndice 8. Base de datos de campo. (Continuación).

| Ejido | Número de pailada | Temp1 | Temp2 | Temp3 | Temp4 | TempMedia | pH1 | pH2 | pH3 | pH4 | pHmedio | Tiempo | Peso | Vol | Tmedia | Tmax | Tmin | PP | Cera |
|-----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|-----|-----|---------|--------|-------|---------|--------|------|------|-------|------|
| Coloradas | Pailada 016 | 72.1 | 89.7 | 90.5 | 92.3 | 86.2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 65 | 207.5 | 1,300.0 | 19 | 27 | 11.5 | 270 | 5.00 |
| Coloradas | Pailada 017 | 89.2 | 90.2 | 91.0 | 92.5 | 90.7 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 41 | 172.5 | 1,000.0 | 19 | 27 | 11.5 | 270 | 4.10 |
| Coloradas | Pailada 018 | 72.2 | 80.2 | 81.1 | 88.3 | 80.5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 72 | 172.6 | 1,000.0 | 19 | 27 | 11.5 | 270 | 4.10 |
| Coloradas | Pailada 019 | 75.3 | 80.2 | 90.1 | 92.0 | 84.4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 160 | 183.9 | 1,100.0 | 19 | 27 | 11.5 | 270 | 4.10 |
| Fe | Pailada 020 | 54.5 | 94.6 | 95.0 | 95.0 | 84.8 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 58 | 214.2 | 990.0 | 21 | 29 | 23.5 | 267 | 5.20 |
| Fe | Pailada 021 | 44.0 | 56.0 | 92.3 | 98.2 | 72.6 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 80 | 190.5 | 1,000.0 | 21 | 29 | 23.5 | 267 | 5.20 |
| Fe | Pailada 022 | 80.2 | 85.7 | 85.7 | 90.0 | 85.4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 55 | 213.4 | 920.0 | 21 | 29 | 23.5 | 267 | 5.20 |
| Fe | Pailada 023 | 80.1 | 94.0 | 94.2 | 96.2 | 91.1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 64 | 227.7 | 990.0 | 21 | 29 | 23.5 | 267 | 5.20 |
| Fe | Pailada 024 | 75.0 | 88.0 | 88.0 | 88.2 | 84.8 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 75 | 200.0 | 880.0 | 21 | 29 | 23.5 | 267 | 5.20 |
| Fe | Pailada 025 | 90.1 | 94.4 | 94.4 | 93.8 | 93.2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 62 | 196.4 | 1,040.0 | 21 | 29 | 23.5 | 267 | 5.60 |
| Fe | Pailada 026 | 83.2 | 96.4 | 96.4 | 97.3 | 93.3 | 2 | 4 | 4 | 2 | 3 | 51 | 189.6 | 1,100.0 | 21 | 29 | 23.5 | 267 | 5.60 |
| Mala | Pailada 027 | 85.0 | 94.5 | 95.2 | 95.0 | 92.4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 96 | 222.9 | 1,210.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.40 |
| Mala | Pailada 028 | 77.9 | 94.3 | 94.9 | 95.3 | 90.6 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 94 | 194.6 | 1,190.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.40 |
| Mala | Pailada 029 | 72.0 | 97.5 | 98.0 | 98.0 | 91.4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 87 | 201.6 | 1,230.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.40 |
| Mala | Pailada 030 | 83.0 | 87.7 | 97.1 | 97.1 | 91.2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 97 | 199.1 | 1,230.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.40 |

Apéndice 9. Base de datos de campo. (Continuación).

| Ejido | Número de pailada | Temp1 | Temp2 | Temp3 | Temp4 | TempMedia | pH1 | pH2 | pH3 | pH4 | pHmedio | Tiempo | Peso | Vol | Tmedia | Tmax | Tmin | PP | Cera |
|--------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|---------------|-------------|------------|---------------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| Mala | Pailada 031 | 87.1 | 96.5 | 96.5 | 96.5 | 94.2 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.8 | 91.0 | 205.0 | 1,220.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.4 |
| Coloradas | Pailada 032 | 50.1 | 95.4 | 94.1 | 95.5 | 83.8 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.8 | 62.0 | 203.0 | 1,050.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 4.8 |
| Coloradas | Pailada 033 | 44.6 | 93.0 | 93.0 | 93.6 | 81.1 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 53.0 | 203.8 | 1,050.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 4.3 |
| Coloradas | Pailada 034 | 62.2 | 90.8 | 94.9 | 94.1 | 85.5 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.3 | 80.0 | 205.5 | 1,030.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 6.2 |
| Coloradas | Pailada 035 | 68.3 | 99.4 | 98.9 | 98.7 | 91.3 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 71.0 | 217.1 | 1,030.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 3.6 |
| Coloradas | Pailada 036 | 80.6 | 97.4 | 94.5 | 94.8 | 91.8 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 63.0 | 204.6 | 1,020.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 6.1 |
| Coloradas | Pailada 037 | 77.2 | 94.2 | 91.7 | 92.1 | 88.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.8 | 55.0 | 207.2 | 1,000.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 4.2 |
| Fe | Pailada 038 | 73.0 | 73.3 | 93.2 | 93.4 | 83.2 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.8 | 136.0 | 212.9 | 1,270.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 6.6 |
| Fe | Pailada 039 | 83.2 | 87.3 | 89.5 | 91.2 | 87.8 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.3 | 96.0 | 216.7 | 1,230.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 6.3 |
| Fe | Pailada 040 | 80.9 | 86.8 | 98.9 | 98.2 | 91.2 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.8 | 102.0 | 196.2 | 1,300.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 7.8 |
| Fe | Pailada 041 | 90.6 | 91.9 | 99.5 | 100.2 | 95.6 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 92.0 | 201.1 | 1,320.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 6.2 |
| Fe | Pailada 042 | 85.0 | 96.4 | 96.4 | 96.7 | 93.6 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.5 | 83.0 | 209.9 | 1,310.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 6.4 |
| Fe | Pailada 043 | 81.6 | 89.5 | 89.5 | 95.7 | 89.1 | 4.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 111.0 | 218.8 | 1,310.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 4.3 |
| Mala | Pailada 044 | 74.2 | 91.2 | 91.2 | 93.2 | 87.5 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 80.0 | 202.5 | 1,090.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.7 |
| Mala | Pailada 045 | 65.9 | 88.2 | 89.2 | 92.3 | 83.9 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.5 | 130.0 | 224.6 | 1,080.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.4 |

Apéndice 10. Base de datos de campo. (Continuación).

| Ejido | Número de pailada | Temp1 | Temp2 | Temp3 | Temp4 | TempMedia | pH1 | pH2 | pH3 | pH4 | pHmedio | Tiempo | Peso | Vol | Tmedia | Tmax | Tmin | PP | Cera |
|-----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|-----|-----|---------|--------|-------|---------|--------|------|------|-------|------|
| Mala | Pailada 046 | 73.0 | 92.0 | 94.2 | 95.6 | 88.7 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 144.0 | 222.6 | 1,080.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 4.7 |
| Mala | Pailada 047 | 78.9 | 88.9 | 99.9 | 92.3 | 90.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 138.0 | 222.5 | 1,080.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 4.2 |
| Coloradas | Pailada 048 | 84.5 | 85.4 | 94.9 | 94.7 | 89.9 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 88.0 | 266.0 | 1,200.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.7 |
| Coloradas | Pailada 049 | 75.2 | 89.7 | 69.7 | 91.3 | 81.5 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 89.0 | 240.8 | 1,300.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 6.7 |
| Coloradas | Pailada 050 | 73.2 | 80.4 | 96.3 | 96.3 | 86.6 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 75.0 | 262.9 | 1,200.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 5.6 |
| Coloradas | Pailada 051 | 79.3 | 79.4 | 98.3 | 98.7 | 88.9 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 69.0 | 261.0 | 1,200.0 | 19.0 | 27.0 | 11.5 | 270.0 | 7.0 |
| Fe | Pailada 052 | 76.2 | 85.4 | 89.2 | 95.4 | 86.6 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 55.0 | 218.0 | 790.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 4.4 |
| Fe | Pailada 053 | 85.2 | 95.2 | 95.2 | 96.1 | 92.9 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 51.0 | 215.0 | 790.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 3.5 |
| Fe | Pailada 054 | 82.1 | 92.1 | 95.4 | 95.6 | 91.3 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 95.0 | 156.0 | 880.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 4.3 |
| Fe | Pailada 055 | 75.6 | 95.9 | 95.9 | 97.9 | 91.3 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 74.0 | 201.0 | 890.0 | 21.0 | 29.0 | 23.5 | 267.0 | 4.5 |
| Mala | Pailada 056 | 87.3 | 95.2 | 95.6 | 96.2 | 93.6 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 1.0 | 2.3 | 80.0 | 223.6 | 1,200.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 6.1 |
| Mala | Pailada 057 | 88.7 | 90.2 | 97.7 | 98.4 | 93.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.8 | 100.0 | 227.4 | 1,300.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.2 |
| Mala | Pailada 058 | 84.2 | 97.4 | 98.3 | 99.1 | 94.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.8 | 84.0 | 220.1 | 1,200.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.5 |
| Mala | Pailada 059 | 42.0 | 92.2 | 96.7 | 97.9 | 82.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 125.0 | 227.2 | 1,200.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.7 |
| Mala | Pailada 060 | 89.2 | 89.6 | 95.6 | 97.6 | 93.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 85.0 | 220.2 | 1,200.0 | 20.5 | 28.5 | 12.5 | 207.5 | 5.3 |

Apéndice 11. Proceso tradicional de extracción de cera de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc.

