

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISION DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL**



**MODELOS DE PREDICCIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE CERA DE  
CANDELILLA (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) EN POBLACIONES NATURALES  
DE CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA.**

**Por:**

**EDDY FLORIBERTO ROBLERO PÉREZ**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para  
obtener el Título de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**Saltillo, Coahuila, México**

**ABRIL DE 2012**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISION DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL**

**MODELOS DE PREDICCIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE CERA DE  
CANDELILLA (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) EN POBLACIONES NATURALES  
DE CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA.**

Por:


**EDDY FLORIBERTO ROBLERO PÉREZ**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**


Aprobada

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. José Armando Nájera Castro**  
**Asesor Principal**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Jorge Méndez González**  
**Coasesor**

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. Jorge David Flores Flores**  
**Coasesor**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Leobardo Bañuelos Herrera**  
**Coordinador de la División de Agronomía**

  
Coordinación  
División de Agronomía

**Saltillo, Coahuila, México, Abril de 2012.**

## DEDICATORIA

### A DIOS:

En primer lugar por darme la oportunidad de vivir en este mundo y ser mi guía durante el trayecto de mi carrera y a lo largo de mi vida.

### A MIS PADRES:

Ariel Roblero Pérez y Débora Pérez Pérez

Por creer en mí, darme su cariño, apoyo moral incondicional y sus consejos. Muchas gracias.

### A MIS HERMANOS:

Adrian Omar, Ignacio Kevin e Hilda Mirel.

Por ser mis amigos en todo momento y por haberme demostrado su cariño, comprensión y confianza.

### A MIS TIOS:

Luis, Susi, Flor Ángel, Rosi, Rosenda, Ana María, Angelina, Yolanda y Clara, entre otros.

Por su cariño, confianza y motivación que de alguna manera influyeron en la culminación de mis estudios.

“A todos ustedes muchas gracias”

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A MIS PADRES

A MI *ALMA MATER*: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por cobijarme durante los años de mi carrera y permitirme ser parte de ella.

A MIS ASESORES:

M.C. José Armando Nájera Castro, Dr. Jorge Méndez González y M.C. Jorge David Flores Flores. Por brindarme su apoyo en la realización del presente trabajo.

A LOS INGENIEROS:

Marco Antonio Granillo Chapa por darme la idea del presente proyecto y José Luis Sámano Díaz por apoyarme durante la realización del mismo. A ambos por brindarme su amistad invaluable.

AL EQUIPO INTERNACIONAL DE IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS DE PASTIZALES (EIIPP): Por permitirme ser parte de él y brindarme nuevas aportaciones personales.

A las personas de ambos ejidos donde se realizó el trabajo y que me apoyaron en la toma de datos de campo, en particular al Sr. Magdaleno Reyna, Rodrigo y Cundo, del ejido N.C.P.A. San Lorenzo.

A mis amigos y compañeros de generación con quienes compartí momentos felices de mi vida.

“A todos aquellos que de forma voluntaria hicieron alguna aportación durante la realización del presente trabajo, me brindaron su amistad y fueron cómplices del éxito”. Mis más sinceros agradecimientos.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Importancia del estudio.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 La familia Euphorbiaceae.....	4
2.2 Descripción del género <i>Euphorbia</i> L.....	4
2.3 Generalidades de la Candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.).....	5
2.4 Clasificación Taxonómica.....	6
2.5 Distribución.....	7
2.6 Propiedades.....	7
2.7 Método de propagación y algunas aportaciones.....	9
2.8 Aportaciones sobre candelilla.....	10
2.9 Método de extracción de la cera.....	13
2.10 Exportación de productos forestales.....	14
2.11 Norma y Leyes que rigen el aprovechamiento de candelilla.....	15
2.12 Parámetros para elegir el mejor modelo predictor.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Descripción de los predios de estudio.....	17
3.1.1 Localización.....	17
3.1.2 Fisiografía.....	19
3.1.3 Topografía.....	19

3.1.4 Geología .....	19
3.1.5 Edafología.....	20
3.1.6 Hidrología .....	21
3.1.7 Clima.....	21
3.1.8 Vegetación.....	22
3.1.9 Fauna.....	23
3.2 Metodología para obtener las variables evaluadas.....	23
3.2.1 Procesamiento de los datos.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	30
4.1 Valores de cera obtenidos en el proceso de extracción.....	30
4.2 Elección del modelo predictor de biomasa de candelilla.....	31
4.3 Construcción de tablas de rendimiento de biomasa y cera de candelilla.....	35
V. CONCLUSIONES .....	38
VI. RECOMENDACIONES.....	39
VII. LITERATURA CITADA .....	40
VIII. APÉNDICE .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de los predios del estudio .....	18
Figura 2. Tipos de suelo presente en los predios del estudio .....	20
Figura 3. Cuenca a la que pertenecen los predios del estudio .....	21
Figura 4. Tipos de clima en los predios del estudio .....	22
Figura 5. Medición de altura media de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ), tomada en forma vertical en el centro de la planta .....	25
Figura 6. Medición del diámetro mayor de cobertura de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) .....	25
Figura 7. Medición del diámetro menor de cobertura de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) .....	26
Figura 8. Pesado de la planta de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) en verde incluyendo raíz .....	27
Figura 9. Acomodo de la candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) dentro de la paila .....	28
Figura 10. Extracción de la cera de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) que flota en forma de espuma.....	28
Figura 11. Pesado del cerote de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) resultante del proceso de extracción.....	29
Figura 12. Tendencia de valores observados (kg) y los estimados (kg) de biomasa de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) .....	34

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de la cera de candelilla.....	8
Cuadro 2. Propiedades físico-químicas de la cera de candelilla.....	8
Cuadro 3. Coordenadas UTM de los vértices de los predios del presente estudio ...	18
Cuadro 4. Coordenadas UTM (Datum WGS84) de las poblaciones de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) donde se colectaron las muestras evaluadas.....	24
Cuadro 5. Modelos utilizados para predecir biomasa de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) incluyendo raíz.....	30
Cuadro 6. Valores de biomasa de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) incluyendo raíz, rendimiento y porcentaje de cera en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coah .....	31
Cuadro 7. Estadísticos de los modelos evaluados para estimar biomasa de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) incluyendo raíz en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coah .....	32
Cuadro 8. Estimadores de los modelos utilizados para predecir biomasa de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) incluyendo raíz en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coah .....	33
Cuadro 10. Valores de coeficientes de correlación de Pearson con biomasa de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coah.....	34
Cuadro 11. Tabla de biomasa (kg) de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) elaborada a partir del modelo predictor elegido, para los ejidos N.C.P.A. San Lorenzo y La Reforma, Cuatro Ciénegas, Coah .....	35
Cuadro 12. Tabla de rendimiento de cera (kg) de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) generado a partir del modelo predictor elegido, correspondiente al porcentaje de cera resultante en el ejido N.C.P.A. San Lorenzo, Cuatro Ciénegas, Coah.....	36
Cuadro 13. Tabla de rendimiento de cera (kg) de candelilla ( <i>Euphorbia antisyphilitica</i> ) generado a partir del modelo predictor elegido, correspondiente al porcentaje de cera resultante en el ejido La Reforma, Cuatro Ciénegas, Coah .....	37



## RESUMEN

En el presente estudio realizado durante el mes de junio del 2011, se determinó el rendimiento de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coahuila, a partir de la biomasa estimada individualmente de ejemplares colectados. Los predios del estudio se ubican al oeste y sureste de la cabecera municipal Cuatro Ciénegas, en los cuales se colectaron 219 plantas, obteniéndose tres ejemplares como mínimo, resultantes de la intersección en altura media y diámetro medio de cobertura en centímetros y promediados entre sí. El porcentaje de rendimiento de cerote resultante en los ejidos N.C.P.A. San Lorenzo fue 3.551 % y en La Reforma fue 4.067 %.

Se compararon ocho modelos para estimar la biomasa de la hierba de candelilla, incluyendo raíz, utilizando las variables dimensionales obtenidas en campo. Los resultados indican que el mejor modelo para predecir la biomasa de candelilla es  $Y = a * (D*H)^b$ , el cual presenta un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  aj.) de 0.9414; cuadrado medio del error (C.M.E.) de 0.701 kg; error estándar (E.E.) de 0.8370 kg; coeficiente de variación (C.V.) de 17.54 %; error de predicción de la suma de cuadrados (PRESS) de 47.637 kg y significancia ( $Pr > F$ ) de 0.0001. Con base a los anteriores resultados, este modelo fue el elegido para construir la tabla de rendimiento de biomasa y cera para los ejidos los cuales presentaron rendimientos diferentes.

El modelo  $Y = a + b H*D + c H$ , con valores en  $R^2$  aj de 0.9458, C.M.E. de 0.658 kg, E.E. de 0.8109 kg, C.V. de 16.99 %, PRESS de 44.053 kg y el modelo  $Y = a + b H*D + c H + d H^2$ , presenta valores en  $R^2$  aj de 0.9497, C.M.E. de 0.610 kg, E.E. de 0.7812 kg, C.V. de 16.37 %, PRESS de 40.275 kg; ambos modelos con una significancia ( $Pr > F$ ) de 0.0001. Presentaron muy buenos ajustes, por lo que también pueden ser aplicables en la estimación de la biomasa de la hierba de candelilla.

**Palabras clave:** *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., biomasa, cera de candelilla, variables dimensionales, modelo predictor.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Importancia del estudio

Los recursos forestales no maderables son la parte no leñosa de la vegetación de un ecosistema forestal, y son susceptibles de aprovechamiento forestal o uso, incluyendo líquenes, musgos, hongos, resinas, semillas, fibras, gomas, ceras, rizomas, hojas, pencas, y tallos; así como el suelo de terrenos forestales (LGDFS, 2003). Los recursos no maderables se encuentran en todas las regiones forestales del país, en los ecosistemas de clima templado se presenta hasta ahora la mayor producción de estos bienes representando 54 % del total nacional (CONAFOR, 2001). En Las zonas áridas y semiáridas de México se encuentran productos forestales no maderables (PFNM) con un total de 2, 200 especies de las cuales útiles actualmente 450, de uso comercial 25, doméstico y regional 425, concentrando 32 % de la producción nacional de recursos forestales no maderables (Tapia *et al.*, 2008). Los principales productos, en términos económicos son: la candelilla, la lechuguilla, la yuca o palmilla y el orégano (CONAFOR, 2001). La candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) constituye una fuente de ingreso para los campesinos (SARH, 1982); es un recurso forestal no maderable que tiene una gran diversidad de aplicaciones en la cosmetología, tintas, adhesivos, recubrimientos, abrillantadores y pulimentos, siendo actualmente utilizada en más de 20 industrias distintas de todo el mundo, principalmente en los Estados Unidos, la Unión Europea y Japón (SEMARNAT, 1999), además, es uno de los recursos naturales más importantes del norte de México, tanto para los pobladores de la región como para diversas industrias nacionales e internacionales (Canales *et al.*, 2006). La candelilla es una fuente natural de cera, ocupa aproximadamente una superficie de 14 millones de ha (Maldonado, 1979 a). El estado de Coahuila es el principal productor de cera de candelilla y aporta cerca del 80 % de la producción total, correspondiendo el resto a los demás estados (Padilla, 1959).

## 1.2 Planteamiento del problema

Para el aprovechamiento de este recurso se requiere contar con permiso de aprovechamiento sustentado en un estudio técnico justificativo. Por lo que se requiere contar con instrumentos técnicos que permitan estimar el rendimiento de cera de candelilla a partir de la determinación de biomasa; sin embargo, sólo se han elaborado tablas de rendimiento para la región del Campo Experimental La Sauceda, Ramos Arizpe, Coahuila (Camacho, 1990), las cuales tienen una antigüedad superior a dos décadas. La zona candelillera de Cuatro Ciénegas no cuenta con instrumentos técnicos confiables que permitan predecir la biomasa de la especie en función a las dimensiones que alcanzan los individuos a la madurez de cosecha, situación que puede inducir a caer en errores al proponer volúmenes de aprovechamiento, debido a que se determina de forma empírica o basados en material técnico diseñado para otra región, lo que puede ocasionar la sobreexplotación del recurso forestal.

## 1.3 Objetivos

Los objetivos establecidos en el presente estudio son:

- a) Determinar el rendimiento en cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) a partir de la biomasa evaluada en campo en dos poblaciones naturales.
- b) Comparar modelos matemáticos para predecir biomasa de candelilla a partir de altura media y diámetro medio.
- c) Construir tablas de biomasa y cera de candelilla a partir del modelo elegido a través de las variables dimensionales, que generen información aplicable en trabajos futuros de evaluación del recurso.

## **1.4 Hipótesis**

Ho: Ningún modelo presenta relación estadística con las variables dimensionales de altura media y diámetro medio para predecir biomasa de candelilla.

Ha: Al menos un modelo de predicción presenta relación estadística entre las variables dimensionales evaluadas y el rendimiento de la biomasa.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 La familia Euphorbiaceae

La familia Euphorbiaceae ocupa el cuarto lugar en diversidad de géneros (Villarreal, 2001). Ésta familia contiene árboles, arbustos, hierbas o enredaderas. Tallos ocasionalmente suculentos, lechosos y ramificados. Hojas alternas, opuestas, lobuladas y compuestas. Inflorescencia modificada en espigas, cabezas y flores solitarias. Flores unisexuales, perianto marcado; por lo general cáliz lobulado, en ocasiones ausente; hasta 6 pétalos, rara vez más numeroso; filamentos libres; anteras generalmente dos cavidades, dehiscentes; estilos libres, estigmas enteros y bifidos; ovario súpero, hasta cuatro cavidades; óvulos hasta 2 por cavidades. Fruto generalmente un esquizocarpo, a veces una drupa, dehiscente, rara vez indehiscente. Semillas 1 a 2 por cavidad; endospermo presente; embrión recto (Martínez *et al.*, 2002).

En la Republica Mexicana se encuentran 826 especies de la familia Euphorbiaceae, dentro de 50 géneros, incluyendo introducidas y/o cultivadas, lo que representa el 10.19 % de las especies y el 15.77 % de los géneros existentes para la familia; en México, el 55.52 % son endémicas (Martínez *et al.*, 2002).

### 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 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).

Sus flores son monoicas agrupadas en una estructura cupuliforme con los lóbulos unidos. Las flores estaminadas, pocas; el filamento se asemeja a una pedúnculo, unido en la base y terminado por una sola antera redondeada. La única

flor es pedicelada, desnuda o con un cáliz rudimentario con tres cavidades; ovario sésil con tres cavidades y sobresaliendo tres estilos. El grupo de flores está rodeado por un involucre de cinco hojas modificadas, en el ápice 4 ó 5 glándulas de néctar; la quinta glándula muy modificada. Inflorescencia cerrada en forma de umbela y con una flor solitaria en el ápice del eje principal. Plantas de jugo lechoso. Semilla a menudo carnosas. (De la Cruz, 1958).

Dentro de la familia Euphorbiaceae el género *Euphorbia* ocupa el primer lugar con mayor diversidad de especies (Villarreal, 2001). La riqueza de especies puede dividirse en cinco grupos. El primero comprende a los géneros *Croton*, *Acalypha*, *Euphorbia* y *Chamaesyce*, con más de 100 especies cada uno y que representan el 59.68 % de las 826 especies de Euphorbiaceae; el género *Euphorbia* presenta un alto porcentaje de endemismo (Martínez *et al.*, 2002).

### **2.3 Generalidades de la Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.)**

La candelilla fue descrita por primera vez por Zuccarini, quien dio a la planta mexicana el nombre de *Euphorbia antisyphilitica*. Dicho autor también hace referencia a su látex y al uso medicinal contra las enfermedades venéreas. En México fue clasificada por el botánico Gabriel Alcocer, con el nombre de *Euphorbia cerifera* (De la Cruz, 1958; Marroquín *et al.*, 1964).

Es un arbusto perenne que mide de 20 a 110 cm de altura, compuesto por tallos rectos de color verde pálido (Canales *et al.*, 2005); los tallos subterráneos o rizomas producen una gran cantidad de raicillas adventicias, delgadas y bastante largas, con gran capacidad de absorción (Maldonado, 1979 b), nacen por grupos en diferentes partes del rizoma; ocasionalmente nacen aisladas y se ramifican poco después de su nacimiento. Las raicillas están cubiertas por una capa de sustancia de color ámbar, más clara mientras más joven, formándole a ésta como funda muy frágil, sobre todo poco después de extraída la planta (Chapa, 1959).

El tallo aéreo presenta a simple vista el aspecto de una vara de color verde glauco debido a que está cubierto de una capa de cera, y de tramo en tramo se aprecian nudosidades. Su ramificación es simpódica. Los renuevos de color verde

pálido aunque en algunos tramos presentan tintes rojizos, presentan un aspecto rugoso con una gran cantidad de puntos cubiertos de cera. El tallo adulto es color verde glauco, la cera cubre todo el tallo como una secreción en toda la epidermis, en estos la cera se desprende en forma de laminillas (Chapa, 1959).

Las hojas son espaciadas, sésiles y pequeñas, en su mayoría de 1 cm de longitud y 1 a 2 mm de ancho, de color totalmente verde en el extremo distal del tallo, por lo general dos o tres, las jóvenes de coloración rojiza en el ápice, oblongo-lanceoladas y lineales (Flores, 1938).

La inflorescencia de la candelilla es comúnmente una espiga de cabezuelas. Las flores de ambos sexos se encuentran dentro de una estructura de forma de copa, llamada ciato, conteniendo cada uno aproximadamente de 45 a 47 flores masculinas y una femenina en el centro, el cual no siempre se desarrolla. Generalmente, cada espiga consta de tres cabezuelas, unas de las cuales frecuentemente no alcanza su total desarrollo, en algunos casos la inflorescencia no adopta la disposición de espiga sino que sobre un mismo punto nacen dos o tres ciatos (Chapa, 1959). El periodo de floración es de febrero a julio (Flores, 1938).

El fruto es una capsula dehiscente; tamaño de 3 a 4 mm de diámetro, de color café claro con algunas tonalidades de color rojizo-morado en las suturas (Flores, 1938); tricarpelar, cuando los frutos han madurado, la capsula estalla arrojando las semillas en torno de la planta (Chapa, 1959; Maldonado, 1979 b). La semilla está colocada dentro del lóculo, con la carúncula hacia abajo, en forma de umbela; de color café claro.

## 2.4 Clasificación Taxonómica

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	<i>Euphorbia</i>
Especie	<i>E. antisyphilitica</i>

Fuente: Sistema integrado de información taxonómica de la CONABIO (Internet).

Sinonimia: *Euphorbia cerífera* Alcocer, *Euphorbia oculata* Klotz (Villarreal, 2001) y *Euphorbia rossiana* Pax (Internet).

Nombre común: Candelilla.

## 2.5 Distribución

Abarca zonas áridas de América del Norte, nativa del desierto Chihuahuense. Distribuyéndose en los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Nuevo León, Guanajuato, Hidalgo, Aguascalientes, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, sur de Texas (Martínez *et al.*, 2002), Puebla y Oaxaca, siendo aprovechada comercialmente en los primeros 5 estados solamente (De la Cruz, 1958; De la Garza y Berlanga, 1993).

Las mayores concentraciones de candelilla se encuentran entre los meridianos 102° y 104°, desde el Rio Bravo hasta el paralelo 24° y es el Estado de Coahuila el que tiene las mejores concentraciones; la planta se localiza en alturas que van desde 460 a 2, 400 m.s.n.m., predominando en alturas medias comprendidas entre 700 a 800 m.s.n.m. (De la Garza y Berlanga, 1993).

## 2.6 Propiedades

La cera de candelilla es sólida, amorfa, de color café amarillento; es soluble en los disolventes orgánicos como acetona, cloroformo, dekalín, éter caliente de petróleo, gasolina y tetralina. La solubilidad de la cera es reducida en alcohol absoluto; en cambio, una mezcla de alcohol-bencina (2-3) es un disolvente excelente. Los componentes de resina de la cera de candelilla, permiten que el alcohol sea un valioso solvente para la purificación (De la Cruz, 1958).

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 (Instituto de la Candelilla, 2004) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Composición química de la cera de candelilla.

<b>Componente</b>	<b>Cruda (% peso)</b>	<b>Refinada (% peso)</b>
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 (Internet).

La cera de candelilla es muy adhesiva y encuentra aplicaciones en la formulación de cosméticos, pulidores y abrillantadores para muebles, piel, automóviles y pisos. Mezclada con otras ceras se utiliza en acabados para la piel, textiles y cordones, para lubricantes, grasas, adhesivos, recubrimiento de papel y cartón, sus propiedades físico-químicas se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Propiedades físico-químicas de la cera de candelilla.

<b>Propiedades</b>	<b>Cruda</b>	<b>Refinada</b>
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	0.982 %	0.885 %
Punto de flama	241 °C	----

Fuente: Instituto de la candelilla (Internet).

## 2.7 Método de propagación y algunas aportaciones

Maldonado (1979 b) reporta que la reproducción de candelilla se presenta de las dos formas, sexual y asexual, aunque se reportan mejores resultados plantando tallos con rizomas.

Flores (1938) añade que la reproducción sexual de candelilla está sujeta indispensablemente a la humedad precedente a la época de floración, correspondiente a los meses de febrero a julio.

La CONAFOR (Internet) señala que la propagación es a través de estructuras vegetativas, en macollos formados por al menos 10 tallos unidos a sus raíces, de 10 a 40 cm de longitud; no se recomienda el uso de semillas por la dificultad de su recolección y lento crecimiento.

De la Cruz y Zapién (1974) refieren que la planta de candelilla puede reproducirse por tallos y por rizomas. La regeneración en el campo, bajo corte normal tarda hasta 3 años; en plantaciones que se ensayaron con individuos de 5 a 10 tallos por cepa transcurrieron de 4 a 5 años para su corte.

Flores (1995) reporta que la viabilidad de las semillas de candelilla de testa color café pálido tiene mayor porcentaje de germinación que el grupo de testa de color gris claro y testa de color blanco. Ésta diferencia nos indica que el color de la testa está asociado con la viabilidad y la germinación de la semilla. La prueba de tetrazolio es una de las más confiables para determinar la viabilidad de éstas semillas, seguido del color de la testa de la semilla de candelilla como indicador. En el almacenamiento de la semilla durante un año y en condiciones ambientales puede presentarse una pérdida de su viabilidad. El sustrato de arena y tierra de monte (1:1) resulta el más adecuado para desarrollar plántulas de candelilla en almacigo, en comparación con aquellos donde se adiciona nitrato de potasio. Las plantas propagadas usando una porción de la planta (tallos con raíces) presentan mayor sobrevivencia que usando los tallos solos y porción de raíz de plantas.

Villa *et al.* (2010) en un estudio de reproducción asexual de plantas de candelilla de cuatro ecotipos diferentes, concluyeron que la localidad de Cuatro

Ciénegas tiene mayor capacidad para promover mayor enraizamiento de estacas, así como mayor longitud.

López (2007) al indagar sobre la producción de plántula de candelilla por hijuelos, dosis de fertilización y aplicación de riegos, refiere se logró incrementar el crecimiento de plántulas de candelilla; es importante la aplicación de fertilización complementaria con macro y micro elementos. El sustrato preparado con mezcla de arena de río y turba 1:1.5 resultó favorable para el desarrollo y crecimiento de la plántula de candelilla.

## **2.8 Aportaciones sobre candelilla**

Flores (1938) señala que la época más desfavorable para el aprovechamiento de candelilla coincide con la máxima actividad de la savia.

Maldonado (1979 b) encontró que el mes de abril es el más apropiado para cosechar la planta de candelilla, ya que se han obtenido rendimientos más altos en comparación a otros meses, efectuando el método tradicional de extracción de cera.

Tovar (1991) al experimentar sobre el efecto de almacenamiento y época de aprovechamiento de la candelilla en la producción de cera, concluyó que almacenarla de 20 a 30 días en la temporada de invierno, se incrementa la producción de cera hasta un 4.7 %, además reportó que el contenido de humedad está directamente relacionado con la producción de cera. Los rendimientos en las localidades de Cuatro Ciénegas y Ramos Arizpe muestran altos porcentajes de producción de cera de 4.7 y 3.3 % respectivamente; la localidad de Viesca resultó tener una producción de 2.5 %. La época de invierno resulta ser la óptima para aprovechar la candelilla, por restringirse en ella los más altos porcentajes de rendimiento, al igual que los meses de sequía.

Vélez (1988) al evaluar el comportamiento de la candelilla bajo diferentes métodos de poda estacional en la localidad de la Sierra de la Paila, Coahuila, encontró que el sistema de poda es altamente significativo en el desarrollo de la planta; siendo el corte al 50 % de la altura, el mejor durante otoño, siguiéndole primavera, verano e invierno, mientras que el corte al 50 % de cobertura presenta

mayor recuperación efectuado en verano. El sistema tradicional de aprovechamiento arrancando la planta demostró que las épocas de verano e invierno propician mayor mortandad; el corte al ras, en otoño e invierno propicia mucha mortandad de candelilla; el porcentaje de cera es mayor en invierno y primavera.

Treviño (1989) al estudiar la respuesta vegetativa de candelilla bajo diferentes sistemas de cosecha y poda estacional en la localidad de San Pedro, Ocampo, Coahuila, concluyó que en el incremento de cobertura, el corte al 50 % de cobertura en primavera y otoño resultó el mejor tratamiento, los menores incrementos de cobertura es arrancando la planta en invierno y verano. La recuperación en altura es mejor aplicando corte al ras y al 50 %, en verano y otoño respectivamente. Los mayores porcentajes de mortandad es arrancando la planta de candelilla en invierno y verano; propicia menor mortandad aplicando corte de 50 % de altura y de 50 % de cobertura.

Peña (1998) refirió que en el factor época, el incremento en altura es mejor en primavera aplicando corte al ras del suelo, mientras que para cobertura fue otoño aplicando corte al 50 %. Para factor de podas, el incremento en altura y cobertura fue mejor el testigo (sin poda).

Cárdenas (1988) al indagar sobre la influencia de algunas características agroclimáticas en la producción de cera en candelilla, reporta para otoño una mayor precipitación, por lo tanto alto contenido de humedad, teniendo como resultado la época de verano con mayor porcentaje de producción de cera.

Flores (1938) infiere que la recolección de la candelilla de forma tradicional es irracional, la cual se hace arrancando la planta con todo y raíz; dicho sistema se justifica por la facilidad con la que se efectúa la operación, ya que al arrancar los tallos se encuentran unidos a una raíz en común; los candelilleros van arrancando y acomodándolos en tercios.

Vélez (1988) reitera que el sistema de cosecha tradicional que consiste en arrancar la planta, el cual es arrasante y propicia la extinción de las poblaciones naturales, ocasionando que los recolectores tengan que recorrer mayores distancias para completar la carga necesaria.

Padilla (1959) al evaluar el contenido de cera en plantas de candelilla en las seis zonas productoras del norte de México, encontró que en la zona de Cuatro Ciénegas se obtiene un mayor porcentaje de cera, las zonas de Ocampo, Saltillo Coahuila y Ojinaga Chihuahua, son muy semejantes en producción de cera por peso de planta. Así mismo, las zonas de Torreón Coah., y Concepción del Oro Zac., presentan los más bajos porcentajes de rendimiento de cera. En relación al diámetro de los tallos y su contenido de cera, la tendencia principal es que a menor diámetro de los tallos se puede esperar un mayor contenido de cera.

Degollado (1989) al investigar sobre la domesticación de la candelilla, banco de germoplasma, métodos de extracción de cera, publicó que la mejor sustancia para la extracción de cera es el ácido sulfúrico, con valores de extracción de cera por arriba del 3 %. Existe 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. Existe mayor significancia para la característica cobertura con el peso de la planta (biomasa).

Camacho (1990) realizó un estudio sobre el análisis dimensional en candelilla, encontrando que existe un modelo idóneo para estimar la biomasa de esta especie, el cual relaciona 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 del mismo, obteniendo valores de cuadrado medio del error de 0.1922 kg, coeficiente de variación de 59.39 %, coeficiente de correlación de 0.9303 y coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.8655. El modelo seleccionado resultante fue el potencial  $Y = a + X^b$ , la ecuación resultante fue:

$$Y = 0.0002620 X^{0.7736}$$

Donde:

Y = Peso verde de la planta incluyendo raíz (biomasa) en kg.

X = Volumen de la planta, considerándola como un cilindro elíptico recto en  $\text{cm}^3$ .

a y b = Parámetros estadísticos.

## 2.9 Método de extracción de la cera

Maldonado (1979 b) señala que fueron los señores Borrego y Flores en 1914, quienes diseñaron el método que actualmente se emplea en extraer la cera de candelilla, el cual consiste en sumergir la hierba de candelilla en agua en ebullición, añadiéndole ácido sulfúrico.

El procedimiento se efectúa de la siguiente manera:

El proceso comienza desde la recolección de la planta de candelilla incluyendo la raíz, ésta práctica de cosecha tradicional tiene como ventaja la comodidad con la que se efectúa la recolección puesto que todos los tallos se encuentran unidos a la raíz y al tirar de la planta se tiene todo el conjunto de tallos listos para ser amontonados y amarrado en tercios, para su posterior traslado con animales y vehículos hasta las pailas (Treviño, 1989; Canales *et al.*, 2006; Ochoa *et al.*, 2010).

Se agrega agua a las pailas aproximadamente al 85 % de total de la capacidad de las mismas con la finalidad de dejar un espacio para posteriormente añadir la hierba de candelilla en cantidad que va de 240 a 260 kg; se prensa con la rejilla ubicada en la parte superior de la paila (Figura 9); las varas de hierba que quedan en las orillas o mal acomodadas se introducen utilizando una rama. Finalmente, se agrega el material combustible para iniciar el calentamiento del agua y alcanzar el punto de ebullición. El material combustible utilizado para este procedimiento es obtenido de plantas que fueron quemadas anteriormente y secadas al sol (Ochoa *et al.*, 2010).

La recolección de la cera que flota en forma de espuma se hace con una cuchara metálica con orificios llamada espumadora, ésta cera se separa cuidadosamente del agua vaciándola en un contenedor (Figura 10) y nuevamente se coloca en otro recipiente llamado cortador y se le hace otra pequeña aplicación de ácido sulfúrico y agua (limpia o de la misma paila), se somete a ebullición por unos minutos con la finalidad de separar las impurezas, como pedazos de tallos, raíces, tierra, etc., nuevamente flota en la superficie en forma de espuma, esta vez mas libre de impurezas. En seguida se deja enfriar para que se solidifique y facilite su manejo, el producto así obtenido recibe el nombre de cerote de candelilla, que es llevado

posteriormente a la planta refinadora, donde se vuelve a tratar con ácido sulfúrico en tanques especiales, en los cuales se somete el cerote a ebullición hasta eliminar casi totalmente el agua cuyo contenido varía entre 4 y 15 %, dependiendo del lugar procedente de la hierba. Después se deja reposar la cera, prácticamente deshidratada, para que sedimenten las impurezas no solubles y se descarga el producto a través de unas válvulas especiales, siendo conducida a las pailas de enfriamiento que contiene un piso de concreto y nivelado, allí se deja solidificar la cera y cuando está ya fría, se envasa en sacos reglamentarios y se envía a los almacenes para su posterior venta (Padilla, 1959).

## **2.10 Exportación de productos forestales**

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), añade que la alta dependencia que las exportaciones forestales mexicanas sostienen con un solo mercado, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), refleja una falta de conocimiento que tiene el sector forestal mexicano del resto de los mercados internacionales y de los beneficiarios de los acuerdos de libre comercio suscritos por México. Existe una gran oportunidad para colocar los productos de origen forestal mexicano en mercados con buen poder adquisitivo, debido a que México demuestra ser competitivo en el mercado más grande del mundo, desarrollando productos de valor agregado medio y medio-alto. En el mercado TLCAN se encuentra el principal socio comercial en materia forestal, los Estados Unidos con el 86.13 % del comercio forestal total (Internet).

La CONAFOR (internet) menciona que el Tratado de Libre Comercio de la Unión Europea (TLCUE), a pesar de su gran potencial en poder adquisitivo y tamaño de este mercado, no ha sido aprovechado correctamente. El 68 % de las exportaciones a la UE son dirigidas a España, Alemania y Reino Unido.

## **2.11 Norma y Leyes que rigen el aprovechamiento de candelilla**

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2003) tiene por objetivo contribuir al desarrollo social, económico, ecológico y ambiental del país, mediante el manejo integral sustentable de los recursos forestales, así como de las cuencas y ecosistemas hidrológico-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; respetar el derecho al uso y disfrute preferente de los recursos forestales en las comunidades indígenas.

Le corresponde a la SEMARNAT otorgar las autorizaciones para el aprovechamiento de los recursos forestales maderables y no maderables, únicamente requerirá de un aviso por escrito a la autoridad competente. El reglamento del LGDFS o las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) establecerán los requisitos que se requerirá para la autorización (LGDFS, 2003).

La Ley General de Vida Silvestre (LGVS, 2000) tiene por objeto la política nacional en materia de vida silvestre y su hábitat, la conservación mediante la protección y la exigencia de niveles óptimos de aprovechamiento sustentable, de modo que simultáneamente se logre mantener y promover la restauración de su diversidad e integridad, así como incrementar el bienestar de los habitantes del país.

Los propietarios y legítimos poseedores de predios tendrán derecho a realizar su aprovechamiento sustentable y la obligación de contribuir a conservar el hábitat de la vida silvestre; así mismo podrán transferir estas prerrogativas a terceros (LGVS, 2000).

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.

La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) regula el comercio internacional que incluye la



importación, exportación y reexportación de animales y plantas en peligro de extinción, ya sean vivos o muertos y las partes y derivados de los mismos mediante un sistema de permisos y certificados.

El CITES (Internet) menciona que no se necesitarán permisos para comercializar internacionalmente los productos terminados y empacados que contengan cera de candelilla, como cosméticos, pinturas, aislantes, lubricantes y dulces.

El CITES menciona que el género *Euphorbia* se encuentra en el apéndice II que proveen un grado de protección progresivo, de acuerdo con el grado de protección que requieran.

Toda la cera de candelilla que se extrae en las zonas desérticas de México, requiere para su transporte el amparo mediante remisiones forestales que sirven además para demostrar la legal procedencia de las materias primas forestales sujetas a control (LGDFS, 2003).

## **2.12 Parámetros para elegir el mejor modelo predictor**

Camacho (1990) en el análisis dimensional de candelilla en el Campo Experimental, La Sauceda, Ramos Arizpe, Coahuila, empleó criterios de elección del mejor modelo basado en el mayor coeficiente de correlación ( $R$ ), menor valor del cuadrado medio del error (C.M.E.), mínima desviación estándar ( $S$ ), menor coeficiente de variación (C.V.) y mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Ares *et al.* (2002) señalan que 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.

Espinoza y Almaguer (2007) proponen para la selección del mejor modelo el mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el coeficiente de Mallows ( $C_p$ ) más cercano

al número de variables independientes que participan en el modelo respectivo y el menor número de variables independientes.

Segura y Andrade (2008) proponen para la elección del modelo, valor alto del coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  aj.). El error estándar de la estimación se busca que tenga el menor valor posible, ya que en cuanto menor sea, el ajuste del modelo será mayor, el menor valor de predicción de la suma de cuadrados (PRESS), practicidad en el uso de los modelos (sencillez), se recomiendan los modelos que incluyen un máximo de dos variables independientes de medición fácil y precisa.

Para Montes de Oca *et al.* (2009) los criterios para determinar el mejor modelo es la  $R^2$ , el error estándar, F calculada, sesgo, coeficiente de variación, así como la probabilidad del modelo y de los parámetros de regresión, otro criterio tomado en cuenta es la sencillez del modelo y número de variables consideradas.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Descripción de los predios de estudio**

##### **3.1.1 Localización**

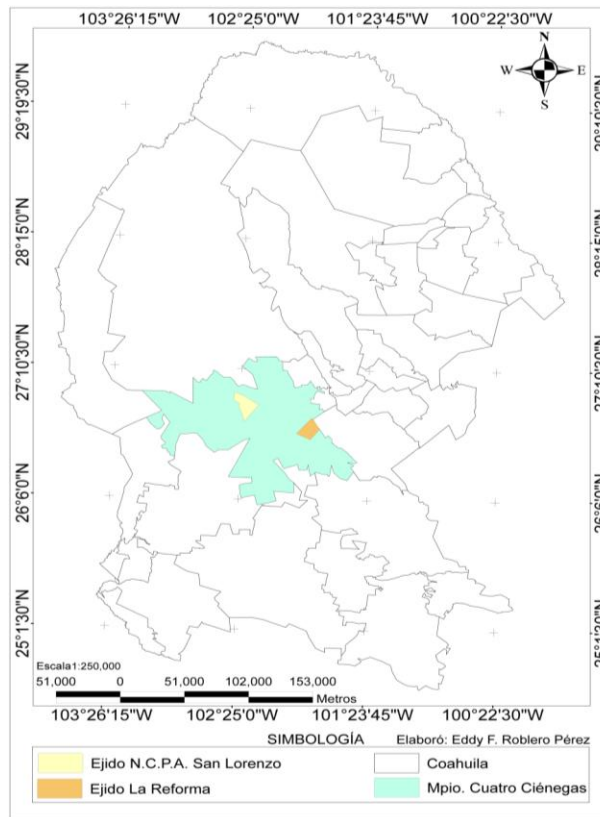
El presente trabajo se realizó en los ejidos Nuevo Centro de Población Agrícola (N.C.P.A.) San Lorenzo y La Reforma, del municipio de Cuatro Ciénegas, Coahuila. El primero se ubica aproximadamente a 27 km al oeste de la cabecera municipal Cuatro Ciénegas de Carranza partiendo de aquí se toma la carretera de terracería que conduce a la mina de Hércules a la altura de los 20 km se toma la desviación a mano izquierda; siguiendo por este desvío a 7 km se encuentra el poblado del ejido, el cual está ubicado entre las coordenadas  $26^{\circ} 53' 35.5''$  latitud Norte y  $102^{\circ} 17' 55.8''$  longitud Oeste a 824 m.s.n.m. El ejido La Reforma se ubica aproximadamente a 60 km al Sureste de la cabecera municipal Cuatro Ciénegas de Carranza partiendo de aquí se sigue la carretera Federal (Mex-30) hacia Monclova, justo en el entronque del ejido San Juan de Boquillas se toma la desviación a mano derecha hasta llegar al entronque que conduce al poblado denominado El Venado; posteriormente se continúa por la carretera en la misma dirección hasta llegar al

poblado respectivo que se localiza a las alturas de las coordenadas 26° 40' 38.5" latitud Norte y 101° 51' 06.6" longitud Oeste a una altitud de 851 m.s.n.m. La ubicación geográfica de estos predios de estudio se presenta en la Figura 1.

**Cuadro 3.** Coordenadas UTM de los vértices de los predios del presente estudio.

Vértice	Ejido La Reforma		Ejido N.C.P.A. San Lorenzo	
	Coordenadas UTM		Coordenadas UTM	
	X	Y	X	Y
1	216521.51	2964711.00	751012.67	2986769.18
2	211581.91	2958905.51	750760.29	2979306.10
3	204644.40	2950787.31	754788.05	2976885.85
4	215514.11	2945223.32	755468.03	2976848.42
5	221755.26	2953010.89	754706.37	2975064.58
6	222985.55	2954526.43	760321.05	2960158.24
7	217771.62	2963995.63	764884.18	2967562.55
8	---	---	771055.26	2975767.23
9	---	---	759479.95	2983160.91

Fuente: Plano Interno de los ejidos La Reforma (1994) y N.C.P.A. San Lorenzo (1995).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de los predios del estudio.

### **3.1.2 Fisiografía**

Los predios del estudio se localizan dentro de la provincia de la Sierra Madre Oriental, que corre desde sus inicios en la frontera con EE.UU., y sus límites con la del Eje Neovolcánico, en sentido paralelo a las costas del Golfo de México. La Sierra Madre Oriental, en lo particular está formada por un conjunto de sierras menores de estratos plegados, el plegamiento se manifiesta de múltiples maneras, lo que produce una topografía de fuertes pendientes (SPP, 1983).

### **3.1.3 Topografía**

Los predios del estudio se encuentran entre los límites de la Subprovincia de la Sierra La Paila y la Subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses; en éstas, la mayoría de las sierras tienen altitudes entre 1, 000 y 2, 000 m.s.n.m. con pendientes fuertes y moderadas; tal es el caso de los predios del estudio que se encuentran algunas que sobrepasan los 1, 500 m.s.n.m. con pendientes fuertes, con llanuras intermontanas y lomeríos de menos de 1, 000 m.s.n.m. con pendiente casi plana (CETENAL, 1975; SPP, 1983).

### **3.1.4 Geología**

Los predios del estudio pertenecen a la provincia de la Sierra Madre Oriental, formada por estratos de antiguas rocas sedimentarias marinas (Cretácicas y Jurásico Superior), entre las que predominan en forma destacada las calizas, yeso y rocas sedimentarias por conglomerados, quedando en segundo plano las rocas arcillosas (lutitas), dichos predios están situados entre los límites de la Subprovincia de la Sierra La Paila y la Subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, en las cuales dominan las rocas calizas en las sierras, mientras que en los valles afloran rocas volcánicas basálticas (CETENAL, 1975; SPP, 1983).

En la sierra Menchaca y La Fragua que predominan rocas mesozoicas de origen sedimentario marino, compuestos de rocas calizas. Los lomeríos están constituidos por lutitas asociados con calizas y areniscas (SPP, 1983).

### 3.1.5 Edafología

Los tipos de suelo que se presentan en los predios del estudio son Litosoles (suelos someros, de origen residual y textura media) que se encuentran en todas las sierras, estos suelos se presentan asociados a otros un poco más profundos y oscuros Rendzinas; o bien, a suelos claros de textura media (Regosoles calcáricos), éstos suelos están limitados por alguna fase física, ya sea gravosa, pedregosa o petrocálcica suave, cubren mayor superficie de terreno en ambos pedios del estudio y abundan en las bajadas; también se encuentran suelos pardos amarillentos en los llanos o suelos más profundos (Xerosoles háplicos gypsicos) (Figura 2) (SPP, 1983; INIFAP y CONABIO, 1995).

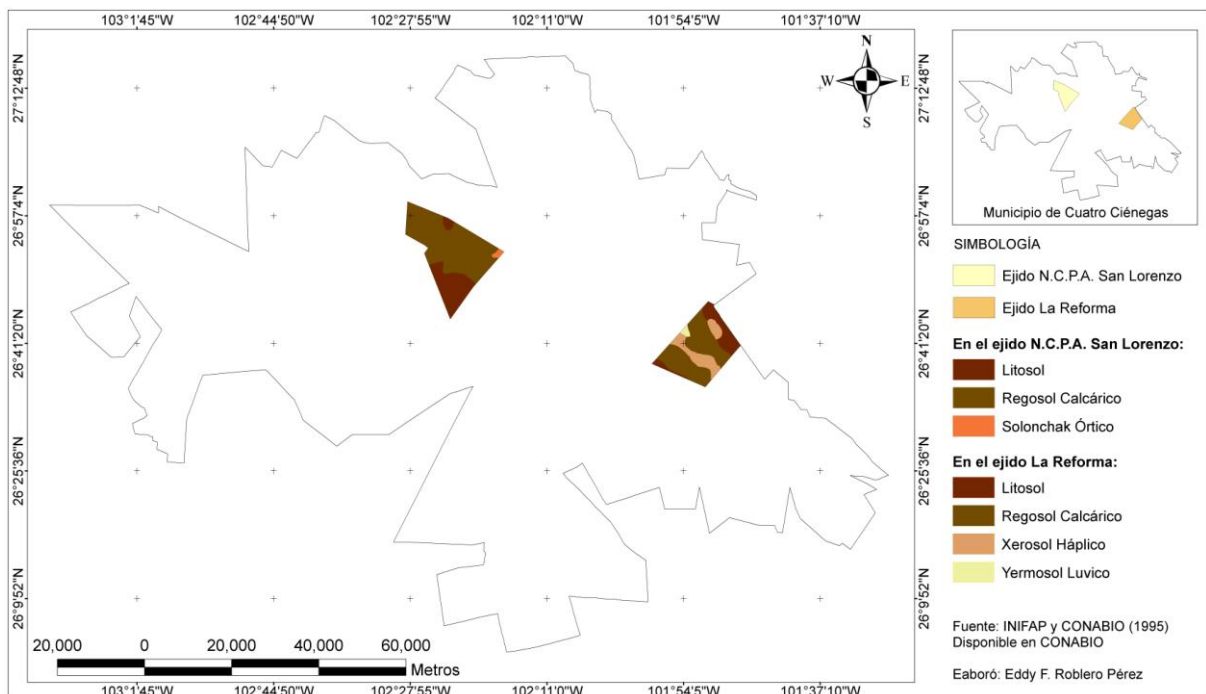
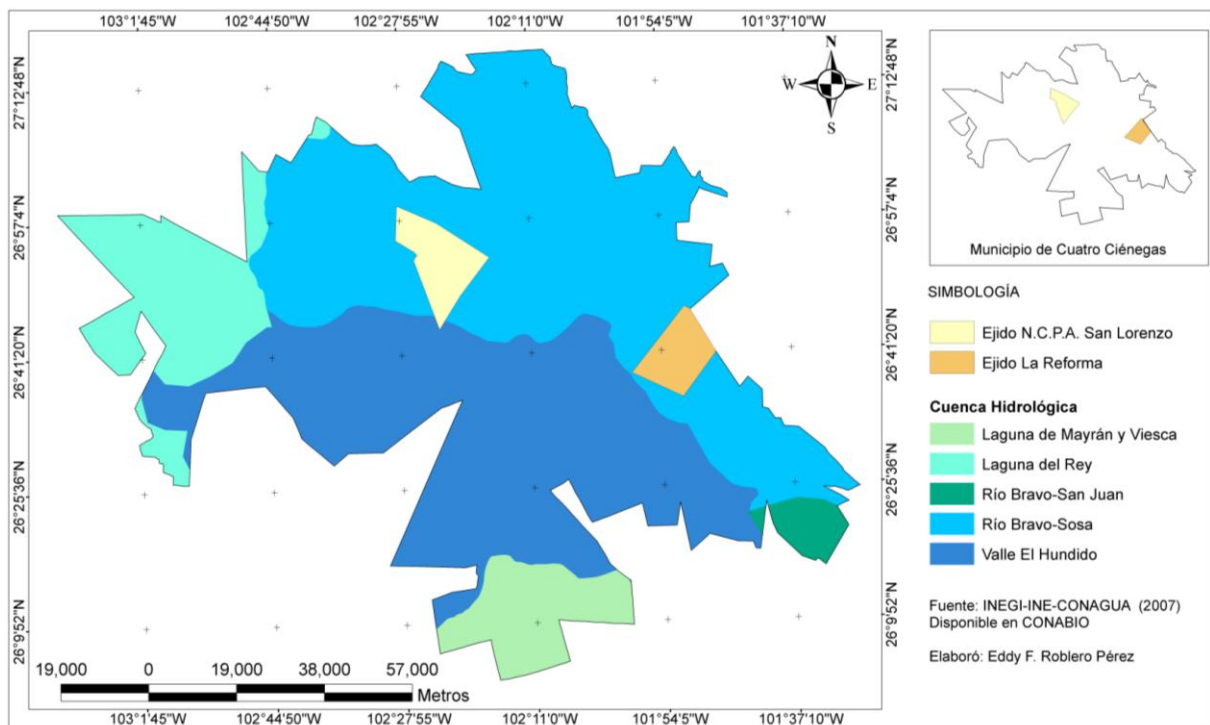


Figura 2. Tipos de suelo presente en los predios del estudio.

### 3.1.6 Hidrología

Los predios del presente trabajo se ubican dentro de la Región Hidrológica “Bravo-Conchos” (RH24), dentro de la cuenca Río Bravo-Sosa (24D) que tiene como corriente principal de alimentación al Río Salado (Figura 3). Los escurrimientos superficiales de esta cuenca son de 10 a 20 mm anuales (SPP, 1983; INEGI-INE-CONAGUA, 2007).



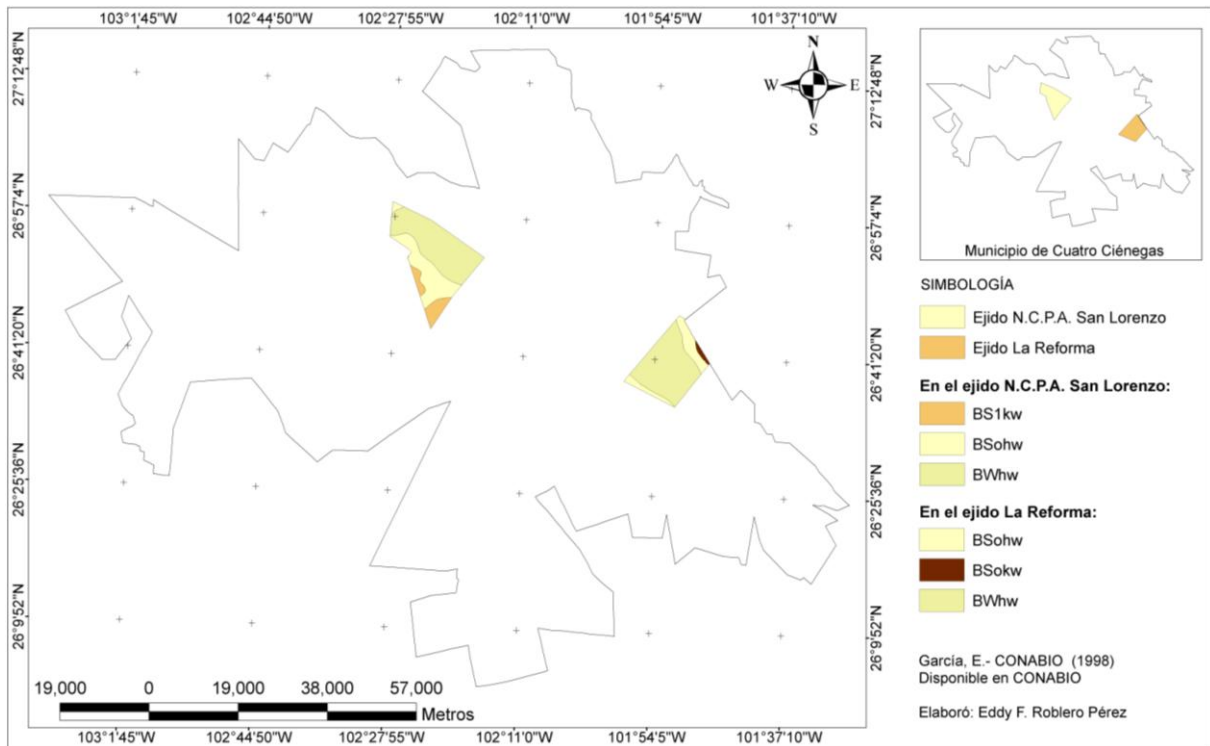
**Figura 3.** Cuenca a la que pertenecen los predios del estudio.

### 3.1.7 Clima

Los predios del presente estudio se encuentran dentro del área climática denominada Desierto Chihuahuense o desierto del norte de México, y los climas son los de tipo muy secos, semicálidos, con lluvias predominantemente veraniegas con temperaturas altas, e inviernos frescos, con fórmulas climáticas BWhw, BSohw, BSokw y BS1kw (Figura 4). El mes más cálido corresponde a junio, el más frío a enero. Las escasas precipitaciones pluviales promedian anualmente entre 100 a 400 mm, se presentan en su gran mayoría en verano; el porcentaje de lluvia es entre 5 y

10.2 %. La temperatura media anual es entre 18 y 22° C (SPP, 1983; CONABIO, 1998).

El Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.), reporta del periodo 1971 al 2000 para el municipio de Cuatro Ciénegas una temperatura máxima mensual superior a los 30°C durante los meses de marzo a octubre; temperatura media anual de 21.2° C; temperatura mínima mensual inferior a los 7° C en los meses de noviembre a febrero; precipitación pluvial media anual de 252.5 mm.



**Figura 4.** Tipos de clima en los predios del estudio.

### 3.1.8 Vegetación

Los tipos de vegetación dominantes son los matorrales desérticos rosetófilos que se distribuye en las sierras, bajadas y lomeríos, sobre todo en suelos someros; el matorral micrófilo en las partes llanas en suelos aluviales y profundos. El rosetófilo se distribuye ampliamente en todas las sierras como La Fragua, La Madera y Menchaca; el matorral micrófilo constituye una comunidad de transición entre los matorrales desérticos y los bosques de las partes altas (CETENAL, 1975; SPP, 1983).

Algunas de las especies que se identificaron en ambos predios son: lechuguilla (*Agave lechuguilla*), gobernadora (*Larrea tridentata*), ocotillo (*Fouquieria splendens*), sangre de drago (*Jatropha dioica*), sotol (*Dasyllirion cedrosanum*), coyonoxtle (*Opuntia imbricata*), tasajillo (*Opuntia leptocaulis*), nopal cegador (*Opuntia microdasis*), nopal rastrero (*Opuntia rastrea*), peyote (*Lophophora williamsii*), palmito (*Yucca rostrata*), palmito (*Yucca rigida*), maguey cenizo (*Agave scabra*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), huizache (*Acacia farnesiana*), guajillo (*Acacia berlandieri*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*), costilla de vaca (*Atriplex canescens*), gatuño (*Mimosa biuncifera*), hojasén (*Flourensia cernua*), mimbres (*Chilopsis linearis*), huizachillo (*Desmanthus virgatus*), cenizo (*Leucophyllum frutescens*), granjeno (*Celtis pallida*), orégano (*Lippia graveolens*), zacate buffel (*Pennisetum ciliare*), zacate chino (*Bouteloua ramosa*), zacate borreguero (*Dasyochloa pulchella*), zacate tres barbas (*Aristida adscensionis*), zacate banderita (*Bouteloua curtipendula*) y candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*).

### **3.1.9 Fauna**

Durante el levantamiento de los datos se identificaron las especies siguientes: cuervo (*Corvus corax*), liebre (*Lepus californicus*), codorniz (*Callipepla squamata*), huilota (*Zenaida macroura*), coyote (*Canis latrans*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), este último se encuentra en ambos ejidos pero solo el Ejido La Reforma cuenta con permiso de caza.

### **3.2 Metodología para obtener las variables evaluadas**

El presente estudio se realizó en el mes de junio del 2011 previo a la época de verano, se seleccionaron plantas individuales de candelilla en condiciones de distribución natural a las cuales se les midió altura media (nivel en que se ubica la mayoría de los tallos) en el rango de 20 a 90 cm en categorías de 10 en 10 cm y diámetro medio de cobertura (promedio del diámetro mayor y menor) en el rango de 20 a 105 cm en categorías de 5 en 5 cm, del cruce de éstas dimensiones se



colectaron tres ejemplares como mínimo (4 en algunos casos) y promediados entre sí, en total 219 plantas, éstos datos se registraron en un formato de campo (Apéndice 1); además, se georreferenció las poblaciones naturales de candelilla del cual se extrajeron dichos especímenes (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Coordenadas UTM (Datum WGS84) de las poblaciones de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) donde se colectaron las muestras evaluadas.

Población	Ejido La Reforma		Ejido N.C.P.A. San Lorenzo	
	Coordenadas UTM		Coordenadas UTM	
	X	Y	X	Y
1	216247.65	2949532.09	756178.89	2983888.62
2	216264.20	2949405.43	756015.75	2983903.76
3	216316.55	2949022.30	753332.59	2983739.05
4	216203.76	2949302.05	754043.54	2983956.88
5	214074.28	2959585.92	756607.18	2983324.54
6	213415.06	2960401.73	756115.49	2984019.75
7	212368.52	2959504.41	756755.03	2983383.00
8	211896.12	2958193.63	753368.30	2983529.71
9	212396.20	2951574.72	----	----
10	211664.18	2951760.74	----	----
11	210331.52	2951581.59	----	----

Empleando la metodología propuesta por Camacho (1990) De la Garza y Berlanga (1993) se midieron las variables altura media, diámetro mayor, diámetro menor de cobertura en centímetros y biomasa en kilogramos de las plantas de candelilla seleccionadas.

La altura media (cm) se obtuvo colocando el metro de forma vertical en el centro de la planta y tomando como referencia la altura media que presentaban la mayoría de los tallos (Figura 5).



**Figura 5.** Medición de altura media de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*), tomada en forma vertical en el centro de la planta.

El diámetro mayor (cm) se obtuvo sobreponiendo el flexómetro con en la parte más ancha de cobertura de la planta (Figura 6).



**Figura 6.** Medición del diámetro mayor de cobertura de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*).

El diámetro menor (cm) se midió sobreponiendo el flexómetro en la parte más angosta de cobertura de la planta (Figura 7).



**Figura 7.** Medición del diámetro menor de cobertura de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*).

El diámetro medio de cobertura (cm) es el promedio resultante del diámetro mayor y el diámetro menor de cobertura.

La biomasa se obtuvo una vez tomados los datos descritos anteriormente, se procedió a extraer en su totalidad la planta de candelilla (incluyendo la raíz), de manera tradicional y con la ayuda de un talache, se sacudió cada muestra con la finalidad de disminuir las impurezas (tierra, partículas de piedra y basura) (Canales *et al.*, 2006; Ochoa *et al.*, 2010). Se realizaron manojos de cada ejemplar colectado que fueron atados con rafia y etiquetados previo a transportarlos a las pailas donde se pesaron éstas muestras empleando una balanza electrónica de la marca Torrey con capacidad de 20 kilogramos (Figura 8).





**Figura 8.** Pesado de la planta de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en verde incluyendo raíz.

La extracción de la cera se efectuó al día siguiente del pesado de las muestras, las plantas de candelilla se agregaron y acomodaron en conjunto dentro de la paila inmersas en agua a un 85 % de la capacidad total de ésta, dichas plantas fueron prensadas con la rejilla superior de la paila (Figura 9); al mismo tiempo el agua se puso en ebullición mediante el fuego directo usando como combustible los mismos residuos secos de candelilla provenientes de quemas previas. Estando el agua en ebullición se le agregó 750 ml de ácido sulfúrico al 98 % de concentración, lo que hace que la cera se desprenda y flote en la superficie de la paila en forma de espuma, posteriormente esa espuma fue recolectada con un espumador y fue depositada en un recipiente (Figura 10). Esta cera contiene bastantes impurezas como pedazos de tallos, raíces, tierra, etc., por lo que se separó cuidadosamente del agua y demás impurezas visibles y se colocó en otro recipiente denominado cortador al cual se le añadió agua de las pailas concentrada con ácido sulfúrico y nuevamente se volvió a calentar por un periodo de 40 minutos (a fuego constante) con la finalidad de separar la mayor cantidad de impurezas, posteriormente se dejó reposar durante la noche para que ésta cera solifique (De la Cruz, 1958; Padilla, 1959; Maldonado 1979 b; Canales *et al.*, 2006; Ochoa *et al.*, 2010).



**Figura 9.** Acomodo de la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) dentro de la paila.



**Figura 10.** Extracción de la cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) que flota en forma de espuma.

El pesado del cerote de candelilla se realizó al día siguiente de la extracción de cera de éstas plantas, para lo cual se procedió a retirar la cera solida lo que se denomina cerote y manualmente se quitaron parte de las impurezas adheridas al fragmento sólido (Ochoa *et al.*, 2010), posteriormente se pesó el cerote resultante del proceso en una báscula electrónica marca Torrey con capacidad de 20 kilogramos, tal como es comercializada con los intermediarios locales (Figura 11).



**Figura 11.** Pesado del cerote de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) resultante del proceso de extracción.

El porcentaje del rendimiento de cerote de candelilla se calculó utilizando la regla de tres simple, con base al peso total de las plantas en verde (De la Garza y Berlanga, 1993).

### 3.2.1 Procesamiento de los datos

El procedimiento empleado para analizar los datos de campo fue utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) Versión 9.1, en el cual se incluyeron las variables de altura media, diámetro medio de cobertura y biomasa de de candelilla, previamente capturadas en la hoja de cálculo Microsoft Excel.

Se realizó la correlación de Pearson para biomasa de candelilla (incluyendo raíz) con la altura media y diámetro medio de cobertura.

Los modelos usados para la estimación de la biomasa de candelilla se presentan en el (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Modelos utilizados para predecir biomasa de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) incluyendo raíz.

Modelo	Ecuación
1	$Y = a + b H^*D + c H$
2	$Y = a + b H^*D + c H + d H^2$
3	$Y = a + b D + c H$
4	$\text{Ln } Y = a + b \text{ Ln } D^*H$
5	$Y = \text{Exp} (a + b H^*D)$
6	$Y = a * (D^*H)^b$
7	$Y = a + b D^2^*H$
8	$Y = \text{Exp}(a + b^*\text{Ln}D2^*H)$

Y = Biomasa de candelilla incluyendo raíz (kg); a, b, c y d = Parámetros estadísticos; Exp = Exponencial; Ln = Logaritmo natural; H = Altura media de la planta de candelilla (cm) y D = Diámetro medio de cobertura de la planta de candelilla (cm).

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1 Valores de cera obtenidos en el proceso de extracción

Se obtuvo una biomasa en verde de candelilla de 206.585 kg y 847.314 kg en los ejidos N.C.P.A. San Lorenzo y La Reforma respectivamente, en total 1, 053.899 kg de biomasa de candelilla. El total de cerote resultante fue 41.795 kg, correspondiendo al ejido N.C.P.A. San Lorenzo 7.335 kg y La Reforma 34.460 kg de cerote, por lo que se obtuvo 3.551 % y 4.067 % respectivamente (Cuadro 6).

Se obtuvo menor biomasa en el ejido N.C.P.A. San Lorenzo debido a que las plantas de candelilla son de baja altura; en el ejido La Reforma se dispuso de plantas de candelilla de mayor dimensión en altura y diámetro de cobertura por lo que se colectó mayor cantidad de ejemplares.

**Cuadro 6.** Valores de biomasa de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) incluyendo raíz, rendimiento y porcentaje de cera en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coah.

<b>Predio</b>	<b>Biomasa (kg)</b>	<b>Rendimiento de cera (kg)</b>	<b>Rendimiento de cera (%)</b>
N.C.P.A. San Lorenzo	206.585	7.335	3.551
La Reforma	847.314	34.460	4.067
Total	1, 053.899	41.795	7.618

#### 4.2 Elección del modelo predictor de biomasa de candelilla

En el Cuadro 7 se muestran los estadísticos correspondientes que se evaluaron para hacer la elección del modelo. El modelo 6 fue elegido para predecir biomasa de candelilla cuya ecuación es  $Y = a * (D*H)^b$ , el valor de la función es  $Y = 0.000347 * (D*H)^{1.1769}$ , el cual tiene un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  aj.) de 0.9414, menor valor del cuadrado medio del error (C.M.E.) de 0.701 kg, error estándar (E.E.) de 0.8370 kg, coeficiente de variación (C.V.) de 17.54 %, error de predicción de la suma de cuadrados (PRESS) de 47.637 kg y con una alta significancia ( $Pr > F = 0.0001$ ). Para la elección se tomó en cuenta la sencillez del modelo, así como menor número de variables y practicidad en el uso del mismo (Segura y Andrade, 2008), cuya ecuación relaciona básicamente las variables dasométricas de plantas de candelilla obtenidas en campo, considerando la altura media (cm) y diámetro medio de cobertura (cm) como variables independientes, éstas variables presentó mejor correlación con la biomasa. El modelo 1 presenta valores de  $R^2$  aj de 0.9458, C.M.E. de 0.658 kg, E.E. de 0.8109 kg, C.V. de 16.99 %, PRESS de 44.053 y el modelo 2 presenta una  $R^2$  aj de 0.9497, C.M.E. de 0.610 kg, E.E. de 0.7812 kg, C.V. de 16.37 % y PRESS de 40.275 kg; ambos modelos con una significancia de 0.0001. Estos modelos presentan mejores ajustes que el modelo elegido, aunque con valores muy similares entre sí.

Se descartaron los modelos 1 y 2 que presentaron mejores ajustes que el modelo elegido, tomando en cuenta lo complejo en la utilidad de los mismos y la inclusión repetitiva de la variable altura, por lo que no fueron elegidos para construir



la tabla de rendimiento de biomasa y cera. No se descarta la utilidad de estos modelos ya que presentaron buenos ajustes en comparación al modelo elegido.

**Cuadro 7.** Estadísticos de los modelos evaluados para estimar biomasa de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) incluyendo raíz en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coah.

Modelo	C.M.E.	E.E.	C.V.	PRESS.	R <sup>2</sup> aj.	Pr > F
1	0.658	0.8109	16.99	44.053	0.9458	<.0001
2	0.610	0.7812	16.37	40.275	0.9497	<.0001
3	1.220	1.1044	23.14	81.721	0.8995	<.0001
4	0.729	0.8538	18.29	49.573	0.9399	<.0001
5	1.494	1.2224	25.62	101.61	0.8751	<.0001
<b>6</b>	<b>0.701</b>	<b>0.8370</b>	<b>17.54</b>	<b>47.637</b>	<b>0.9414</b>	<b>&lt;.0001</b>
7	0.995	0.9976	20.91	67.679	0.9180	<.0001
8	0.861	0.9278	19.44	58.541	0.9280	<.0001

C.M.E. = Cuadrado medio del error (kg), E.E. = Error estándar (kg), C.V. = Coeficiente de variación (%), PRESS = Error de predicción de la suma de cuadrados (kg), R<sup>2</sup> aj = Coeficiente de determinación ajustado, Pr > F = Significancia del modelo. Valores marcados en negrita corresponden al modelo elegido.

Camacho (1990) quien realizó un estudio sobre el análisis dimensional en candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en La Sauceda, Ramos Arizpe, Coahuila, determinó para la elección del mejor modelo predictor de biomasa de candelilla valores mínimos de cuadrado medio del error de 0.1922 kg, coeficiente de variación de 59.39 %, mayor coeficiente de correlación de 0.9303 y coeficiente de determinación de 0.8655.

**Cuadro 8.** Estimadores de los modelos utilizados para predecir biomasa de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) incluyendo raíz en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coah.

Modelo	Ecuación	a	b	c	d
1	$Y = a + b H^*D + c H$	0.108600	0.002010	-0.035800	-----
2	$Y = a + b H^*D + c H + d H^2$	1.447200	0.001990	-0.095900	0.000620
3	$Y = a + b D + c H$	-5.10550	0.091200	0.090100	-----
4	$\text{Ln } Y = a + b \text{Ln } D^*H$	-7.79790	1.153800	-----	-----
5	$Y = \text{Exp} (a + b H^*D)$	0.536200	0.000347	-----	-----
<b>6</b>	<b><math>Y = a * (D^*H)^b</math></b>	<b>0.000347</b>	<b>1.176900</b>	-----	-----
7	$Y = a + b D^{2^*}H$	0.839480	0.000017	-----	-----
8	$Y = \text{Exp}(a + b^*\text{Ln}D2^*H)$	-7.93010	0.774700	-----	-----

Y = Biomasa de candelilla (kg); a, b, c y d = Parámetros estadísticos; H = Altura media de la planta (cm) y D = Diámetro medio de cobertura de la planta (cm). El modelo, ecuación y valores marcados en negrita corresponde al modelo elegido en el presente trabajo.

El modelo elegido es el potencial, Camacho (1990) eligió el mismo modelo para predecir la biomasa de candelilla, con la diferencia que relaciona 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 del mismo.

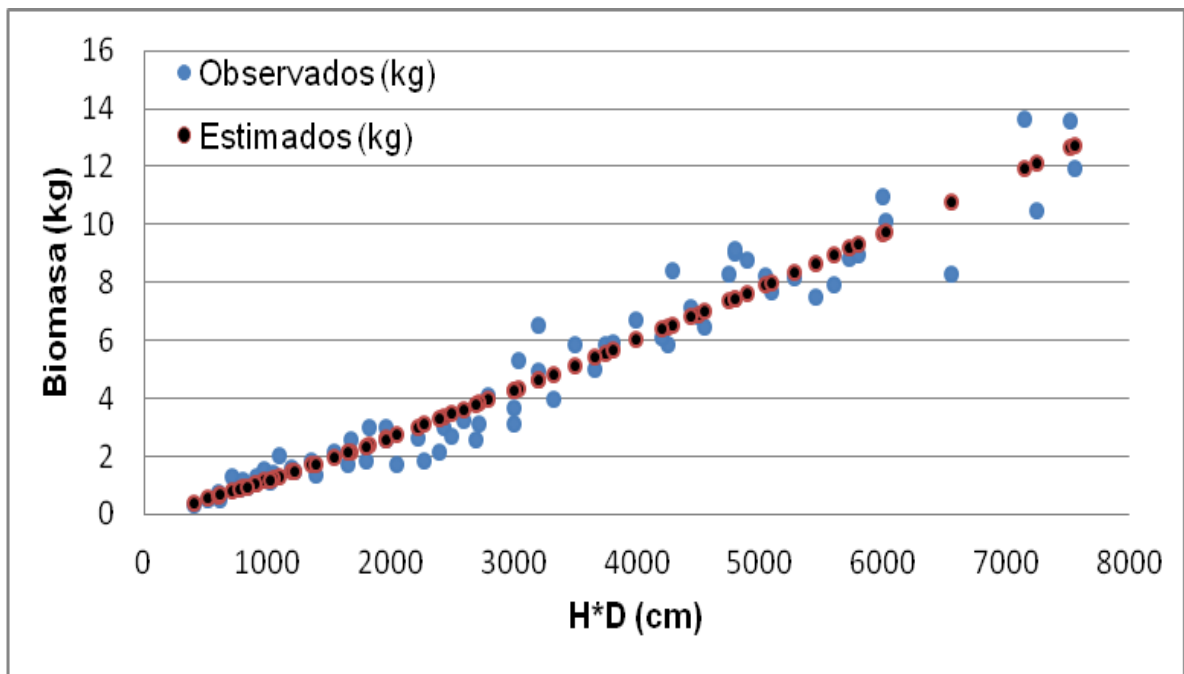
En el Cuadro 10 se muestra las correlaciones correspondientes de las variables independientes altura media y diámetro medio de cobertura con biomasa de candelilla.

**Cuadro 10.** Valores de coeficientes de correlación de Pearson con biomasa de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en poblaciones naturales de Cuatro Ciénegas, Coah.

Variable	Correlación de Pearson			
	H	D	H*D	D <sup>2</sup> *H
Biomasa	0.837 (P=0.0001)	0.875 (P=0.0001)	0.969 (P=0.0001)	0.892 (P=0.0001)
Diámetro medio	0.628 (P=0.0001)	1.000	---	---
Altura media	1.000	0.628 (P=0.0001)	0.900 (P=0.0001)	---

H = Altura media de la planta (cm), D = Diámetro medio de cobertura (cm), P = Significancia de correlación.

En la figura 12 se observa las tendencias de valores observados y los valores estimados con el modelo elegido (6) de biomasa de candelilla en condiciones naturales.



**Figura 12.** Tendencia de valores observados (kg) y los estimados (kg) de biomasa de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*).

### 4.3 Construcción de tablas de rendimiento de biomasa y cera de candelilla

Una vez elegido el mejor modelo predictor, se procedió a construir la tabla de valores de biomasa (kg) en la intersección de altura media y diámetro medio de cobertura (Cuadro 11).

Además se elaboraron las tablas de rendimiento en cera para cada área de estudio, en los ejidos N.C.P.A. San Lorenzo y La Reforma (Cuadro 12 y 13).

**Cuadro 11.** Tabla de biomasa (kg) de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) elaborada a partir del modelo predictor elegido, para los ejidos N.C.P.A. San Lorenzo y La Reforma, Cuatro Ciénegas, Coah.

Diámetro Medio (cm)	Altura media (cm)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
20	<b>0.4006</b>	<b>0.6456</b>	<b>0.9057</b>	1.1777	1.4595	1.7499	2.0477	2.3521
25	<b>0.5209</b>	<b>0.8394</b>	<b>1.1777</b>	1.5314	1.8979	2.2754	2.6626	3.0585
30	<b>0.6456</b>	<b>1.0403</b>	<b>1.4595</b>	1.8979	2.3521	2.8200	3.2999	3.7905
35	<b>0.7740</b>	<b>1.2473</b>	<b>1.7499</b>	2.2754	2.8200	3.3810	3.9563	4.5446
40	<b>0.9057</b>	<b>1.4595</b>	<b>2.0477</b>	<b>2.6626</b>	<b>3.2999</b>	3.9563	4.6296	5.3179
45	<b>1.0403</b>	<b>1.6766</b>	<b>2.3521</b>	<b>3.0585</b>	<b>3.7905</b>	4.5446	5.3179	6.1086
50	<b>1.1777</b>	<b>1.8979</b>	<b>2.6626</b>	<b>3.4623</b>	<b>4.2910</b>	5.1445	6.0200	6.9150
55	<b>1.3175</b>	<b>2.1232</b>	<b>2.9787</b>	<b>3.8733</b>	<b>4.8003</b>	5.7552	6.7346	7.7359
60	1.4595	<b>2.3521</b>	<b>3.2999</b>	<b>4.2910</b>	<b>5.3179</b>	<b>6.3758</b>	<b>7.4607</b>	8.5701
65	1.6037	<b>2.5845</b>	<b>3.6259</b>	<b>4.7148</b>	<b>5.8432</b>	<b>7.0056</b>	8.1977	9.4166
70	1.7499	2.8200	<b>3.9563</b>	<b>5.1445</b>	<b>6.3758</b>	<b>7.6440</b>	<b>8.9448</b>	10.2748
75	1.8979	3.0585	<b>4.2910</b>	<b>5.5796</b>	<b>6.9150</b>	<b>8.2906</b>	9.7014	11.1439
80	2.0477	3.2999	<b>4.6296</b>	<b>6.0200</b>	<b>7.4607</b>	<b>8.9448</b>	<b>10.4670</b>	<b>12.0233</b>
85	2.1991	3.5439	4.9720	<b>6.4652</b>	<b>8.0125</b>	<b>9.6064</b>	11.2411	<b>12.9125</b>
90	2.3521	3.7905	5.3179	<b>6.9150</b>	<b>8.5701</b>	10.2748	12.0233	13.8110
95	2.5067	4.0396	5.6673	<b>7.3694</b>	<b>9.1331</b>	10.9499	<b>12.8132</b>	14.7184
100	2.6626	4.2910	6.0200	<b>7.8279</b>	<b>9.7014</b>	11.6312	13.6106	15.6343
105	2.8200	4.5446	6.3758	8.2906	10.2748	<b>12.3186</b>	14.4150	16.5583

Los valores (kg) correspondientes a la intersección en altura media y diámetro medio, fueron obtenidos con el modelo elegido, los valores marcados en negrita fueron ejemplares evaluados en campo.

**Cuadro 12.** Tabla de rendimiento de cera (kg) de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) generado a partir del modelo predictor elegido, correspondiente al porcentaje de cera resultante en el ejido N.C.P.A. San Lorenzo, Cuatro Ciénegas, Coah.

Diámetro medio (cm)	Altura media (cm)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
20	<b>0.0142</b>	<b>0.0229</b>	<b>0.0322</b>	0.0418	0.0518	0.0621	0.0727	0.0835
25	<b>0.0185</b>	<b>0.0298</b>	<b>0.0418</b>	0.0544	0.0674	0.0808	0.0946	0.1086
30	<b>0.0229</b>	<b>0.0369</b>	<b>0.0518</b>	0.0674	0.0835	0.1001	0.1172	0.1346
35	<b>0.0275</b>	<b>0.0443</b>	<b>0.0621</b>	0.0808	0.1001	0.1201	0.1405	0.1614
40	<b>0.0322</b>	<b>0.0518</b>	<b>0.0727</b>	<b>0.0946</b>	<b>0.1172</b>	0.1405	0.1644	0.1888
45	<b>0.0369</b>	<b>0.0595</b>	<b>0.0835</b>	<b>0.1086</b>	<b>0.1346</b>	0.1614	0.1888	0.2169
50	<b>0.0418</b>	<b>0.0674</b>	<b>0.0946</b>	<b>0.1229</b>	<b>0.1524</b>	0.1827	0.2138	0.2456
55	<b>0.0468</b>	<b>0.0754</b>	<b>0.1058</b>	<b>0.1375</b>	<b>0.1705</b>	0.2044	0.2391	0.2747
60	0.0518	<b>0.0835</b>	<b>0.1172</b>	<b>0.1524</b>	<b>0.1888</b>	<b>0.2264</b>	<b>0.2649</b>	0.3043
65	0.0569	<b>0.0918</b>	<b>0.1288</b>	<b>0.1674</b>	<b>0.2075</b>	<b>0.2488</b>	0.2911	0.3344
70	0.0621	0.1001	<b>0.1405</b>	<b>0.1827</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.2714</b>	<b>0.3176</b>	0.3649
75	0.0674	0.1086	<b>0.1524</b>	<b>0.1981</b>	<b>0.2456</b>	<b>0.2944</b>	0.3445	0.3957
80	0.0727	0.1172	<b>0.1644</b>	<b>0.2138</b>	<b>0.2649</b>	<b>0.3176</b>	<b>0.3717</b>	<b>0.4269</b>
85	0.0781	0.1258	0.1766	<b>0.2296</b>	<b>0.2845</b>	<b>0.3411</b>	0.3992	<b>0.4585</b>
90	0.0835	0.1346	0.1888	<b>0.2456</b>	<b>0.3043</b>	0.3649	0.4269	0.4904
95	0.0890	0.1434	0.2012	<b>0.2617</b>	<b>0.3243</b>	0.3888	<b>0.4550</b>	0.5227
100	0.0946	0.1524	0.2138	<b>0.2780</b>	<b>0.3445</b>	0.4130	0.4833	0.5552
105	0.1001	0.1614	0.2264	0.2944	0.3649	<b>0.4374</b>	0.5119	0.5880

Los valores (kg) correspondientes a la intersección en altura media y diámetro media, fueron obtenidos con el modelo elegido, los valores marcados en negrita fueron ejemplares evaluados en campo.

**Cuadro 13.** Tabla de rendimiento de cera (kg) de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) generado a partir del modelo predictor elegido, correspondiente al porcentaje de cera resultante en el ejido La Reforma, Cuatro Ciénegas, Coah.

Diámetro medio (cm)	Altura media (cm)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
20	<b>0.0163</b>	<b>0.0263</b>	<b>0.0368</b>	0.0479	0.0594	0.0712	0.0833	0.0957
25	<b>0.0212</b>	<b>0.0341</b>	<b>0.0479</b>	0.0623	0.0772	0.0925	0.1083	0.1244
30	<b>0.0263</b>	<b>0.0423</b>	<b>0.0594</b>	0.0772	0.0957	0.1147	0.1342	0.1542
35	<b>0.0315</b>	<b>0.0507</b>	<b>0.0712</b>	0.0925	0.1147	0.1375	0.1609	0.1848
40	<b>0.0368</b>	<b>0.0594</b>	<b>0.0833</b>	<b>0.1083</b>	<b>0.1342</b>	0.1609	0.1883	0.2163
45	<b>0.0423</b>	<b>0.0682</b>	<b>0.0957</b>	<b>0.1244</b>	<b>0.1542</b>	0.1848	0.2163	0.2484
50	<b>0.0479</b>	<b>0.0772</b>	<b>0.1083</b>	<b>0.1408</b>	<b>0.1745</b>	0.2092	0.2448	0.2812
55	<b>0.0536</b>	<b>0.0863</b>	<b>0.1211</b>	<b>0.1575</b>	<b>0.1952</b>	0.2341	0.2739	0.3146
60	0.0594	<b>0.0957</b>	<b>0.1342</b>	<b>0.1745</b>	<b>0.2163</b>	<b>0.2593</b>	<b>0.3034</b>	0.3485
65	0.0652	<b>0.1051</b>	<b>0.1475</b>	<b>0.1918</b>	<b>0.2376</b>	<b>0.2849</b>	0.3334	0.3830
70	0.0712	0.1147	<b>0.1609</b>	<b>0.2092</b>	<b>0.2593</b>	<b>0.3109</b>	<b>0.3638</b>	0.4179
75	0.0772	0.1244	<b>0.1745</b>	<b>0.2269</b>	<b>0.2812</b>	<b>0.3372</b>	0.3946	0.4532
80	0.0833	0.1342	<b>0.1883</b>	<b>0.2448</b>	<b>0.3034</b>	<b>0.3638</b>	<b>0.4257</b>	<b>0.4890</b>
85	0.0894	0.1441	0.2022	<b>0.2629</b>	<b>0.3259</b>	<b>0.3907</b>	0.4572	<b>0.5252</b>
90	0.0957	0.1542	0.2163	<b>0.2812</b>	<b>0.3485</b>	0.4179	0.4890	0.5617
95	0.1019	0.1643	0.2305	<b>0.2997</b>	<b>0.3714</b>	0.4453	<b>0.5211</b>	0.5986
100	0.1083	0.1745	0.2448	<b>0.3184</b>	<b>0.3946</b>	0.4730	0.5535	0.6358
105	0.1147	0.1848	0.2593	0.3372	0.4179	<b>0.5010</b>	0.5863	0.6734

Los valores (kg) correspondientes a la intersección en altura media y diámetro medio, fueron obtenidos con el modelo elegido, los valores marcados en negrita fueron ejemplares evaluados en campo.

## V. CONCLUSIONES

El uso de modelos para predecir la biomasa es indispensable para la evaluación presente y futura de los recursos forestales, en particular de la especie en estudio.

De acuerdo a los resultados se puede decir que es factible predecir la biomasa a partir de variables dasométricas como altura media (cm) y diámetro medio de cobertura (cm), utilizando el modelo elegido o los modelos que presentaron buenos ajustes.

Se obtuvo una biomasa de candelilla incluyendo raíz de 206.585 kg en el ejido N.C.P.A. San Lorenzo y 847.314 kg en La Reforma, el cerote resultante fue 7.335 kg y 34.460 kg respectivamente; en el mismo orden, el porcentaje de cerote resultante fue 3.551 % y 4.067 % respectivamente, aplicando el método tradicional de extracción de cera efectuado por los candelilleros de la región, procesando la hierba al día siguiente de la recolección.

Los modelos que presentaron mejores ajustes fueron  $Y = a + b H^*D + c H$  con coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  aj.) de 0.9458, cuadrado medio del error (C.M.E.) de 0.658 kg, error estándar (E.E.) de 0.8109 kg, coeficiente de variación (C.V.) de 16.99 %, error de predicción de la suma de cuadrados (PRESS) de 44.053 kg y el modelo  $Y = a + b H^*D + c H + d H^2$  con  $R^2$  aj de 0.9497, C.M.E. de 0.610 kg, E.E. de 0.7812 kg, C.V. de 16.37 %, PRESS de 40.275 kg; ambos modelos con una significancia ( $Pr > F$ ) de 0.0001.

Se eligió el modelo  $Y = a * (D^*H)^b$ , el cual presentó una  $R^2$  aj de 0.9414, C.M.E. de 0.701 kg, E.E. de 0.8370 kg, C.V. de 17.54 %, PRESS de 47.637 kg y con una significancia de 0.0001. La importancia es que este modelo incluye un menor número de variables y estadísticos, además de la sencillez y practicidad en el uso del mismo. La ecuación relaciona básicamente las variables dasométricas altura media (cm) y diámetro medio de cobertura (cm).

## VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se recomienda utilizar el modelo elegido para estimar biomasa de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) en condiciones naturales y características ambientales semejantes a los predios del estudio.

Es recomendable utilizar las tablas de rendimiento en biomasa y cera para los predios estudiados o regiones con características ecológico-ambientales similares a estos.

Se sugiere utilizar modelos de predicción de rendimiento de biomasa y cera de candelilla para cuantificar la existencia de este recurso, ya que es un método no destructivo y amigable con el medio ambiente.

Se recomienda generar información en las diferentes áreas candelilleras, que permitan hacer una estimación precisa del recurso, debido a que los rendimientos son diferentes.



## 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, nutrimentos y carbono en plantaciones de palmito en Costa Rica. Vol. 26 (002). 13 p.
- Camacho O., M. 1990. Análisis dimensional en Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en el C.E.F. La Saucedá, Ramos Arizpe, Coahuila. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 84 p.
- Canales G., E., V. Canales M., y E. M. Zamarrón. 2005. Candelilla: gotas de cera del desierto mexicano alrededor del mundo. México, D. F. 101-107 p.
- Canales G., E., V. Canales M., y E. M. Zamarrón. 2006. Candelilla, del desierto mexicano hacia el mundo. Biodiversitas 69:1-5.
- Cárdenas R., F. 1988. Influencia de algunas características agroclimáticas en la producción de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 62 p.
- CETENAL. 1975. Carta geológica G14A61 y G13B59, escala 1:50, 000. INEGI. Coahuila, México.
- CETENAL. 1975. Cartas de uso del suelo G14A61 y G13B59 escala 1:50, 000. INEGI. Coahuila, México.
- Chapa R., M. T. 1959. Estudio morfológico de la candelilla *Euphorbia spp.* Tesis de licenciatura. ESAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 44 p.
- García, E.-CONABIO. 1998. Climas (Clasificación de Koppen modificado por García). Escala 1:1 000 000. México.
- CONABIO. 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Boletín de prensa No. 37. México, D. F. 3 p.
- CONAFOR. 2001. Programa Estratégico Forestal para México 2025. 191 p.
- De la Cruz C., J. A. 1958. Contribución al estudio de la candelilla. Tesis de licenciatura. ESAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 63 p.
- De la Cruz C., J. A., y M. Zapién B. 1974. Campo experimental forestal de zonas áridas La Saucedá, Ramos Arizpe, Coahuila, México. INIF. 36: 31-33.

- De la Garza de la P., F. E., y C. A. Berlanga R. 1993. Metodología para la evaluación y manejo de candelilla en condiciones naturales. La Saucedá, Saltillo, Coahuila. Boletín. 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. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 140 p.
- Espinoza-Espinoza, J. R., y G. Almaguer-Vargas. 2007. Estimación de biomasa de órganos aéreos de plantas de manzana. Revista Chapingo 13: 179-184.
- Flores C., E. 1938. La candelilla (*Euphorbia cerífera*) México. Tesis de licenciatura. Chapingo. México. 91 p.
- Flores L., C. 1995. Viabilidad de semillas, emergencia de plántulas y plantaciones de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en Ramos Arizpe, Coahuila. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 131 p.
- INEGI-INE-CONAGUA. 2007. Cuencas hidrográficas de México. Escala 1:250 000.
- INIFAP y CONABIO. 1995. Edafología. Escala 1:250 000 y 1:1 000 000. México.
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS). 2003. Sección III. Del aprovechamiento de los recursos forestales no maderables. 41-43 p.
- Ley General de Vida Silvestre (LGVS). 2000. Título II. Política nacional en materia de vida silvestre y su hábitat. Título V. Disposiciones comunes para la conservación y el aprovechamiento sustentable de la vida silvestre. 55 p.
- López C., B. 2007. Producción de plántulas de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) por hijuelos: dosis de fertilización y aplicación de riegos. Tesis de licenciatura. UAAAN. Torreón, Coahuila, México. 51 p.
- Maldonado A., L. J. 1979 a. Uso múltiple de los recursos naturales de las zonas áridas. México. Ciencia Forestal 4:12-20.
- Maldonado A., L. J. 1979 b. La investigación desarrollada sobre candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). México. Ciencia Forestal 4:3-11.
- Marroquín, M., G. Borja L., R. Velázquez C., y J. A. De la Cruz C. 1964. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. INIF. 166 p.

- 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. UNAM. Serie Botánica 73(2):155-281.
- Ochoa-Reyes, E., S. Saucedo P., H. De la Garza, D. G. Martínez, R. Rodríguez, y C. N. Aguilar-González. 2010. Extracción tradicional de cera de *Euphorbia antisiphilitica*. Acta química mexicana 2(3):1-13.
- Padilla F., G. 1959. Determinación del contenido de cera en plantas de candelilla *Euphorbia spp.* de las seis zonas productoras del norte de México. Tesis de licenciatura. ESAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 38 p.
- Peña C., A. R. 1998. Utilidad de alguna metodologías de análisis de la interacción genotipo-ambiente, en la medición de la tasa de recuperación en el crecimiento de la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) bajo diferentes condiciones ecológicas. Tesis de postgrado. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 132 p.
- Plano interno del ejido La Reforma. 1994. Polígono 1/1, aprobado en asamblea de ejidatarios, Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.
- Plano interno del ejido Nuevo Centro de Población Agrícola (N.C.P.A.) San Lorenzo. 1995. Polígono 1/1, aprobado en asamblea de ejidatarios, Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.
- SARH. 1982. Plan de desarrollo agropecuario y forestal en Coahuila. 5:198.
- Segura, M. y H. J. Andrade. 2008. ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. Agroforestería de las Américas 46: 89-96.
- SEMARNAT. 1996. NOM-005, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal. Diario Oficial de la Federación. 12 p.
- SEMARNAT. 1999. NOM-018, 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. 9 p.
- SPP. 1983. Síntesis Geográfica del Estado de Coahuila. INEGI. 163 p.
- Tapia T., E. del C., y R. Reyes C. 2008. Productos forestales no maderables en México: aspectos económicos para el desarrollo sustentable. Instituto de Ecología A. C. México. 19 p.

- Tovar V., F. J. 1991. Efecto del almacenamiento y época de aprovechamiento de la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en la producción de cera. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 60 p.
- Treviño C., L. F. 1989. Respuesta vegetativa de la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) bajo diferentes sistemas de cosecha y poda estacional en la localidad de San Pedro, Municipio de Ocampo, Coahuila. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 121 p.
- Vélez S., F. 1988. Desarrollo de la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) bajo diferentes métodos de poda estacional en la localidad Sierra de la Paila, Coahuila. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 125 p.
- Villa C., M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I., M. de L. González L., y J. G. Arreola Á. 2010. Producción de plántulas de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) mediante estacas. Revista Chapingo 16 (1): 37-47.
- Villarreal Q., J. A. 2001. Listados florísticos de México. XXIII Flora de Coahuila. UNAM. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 139 p.

Páginas electrónicas consultadas:

[www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)

[www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx)

[www.smn.cna.gob.mx](http://www.smn.cna.gob.mx)

[www.cites.org](http://www.cites.org)

[www.biodiversitylibrary.org/page/231880#page/170/mode/1up](http://www.biodiversitylibrary.org/page/231880#page/170/mode/1up)

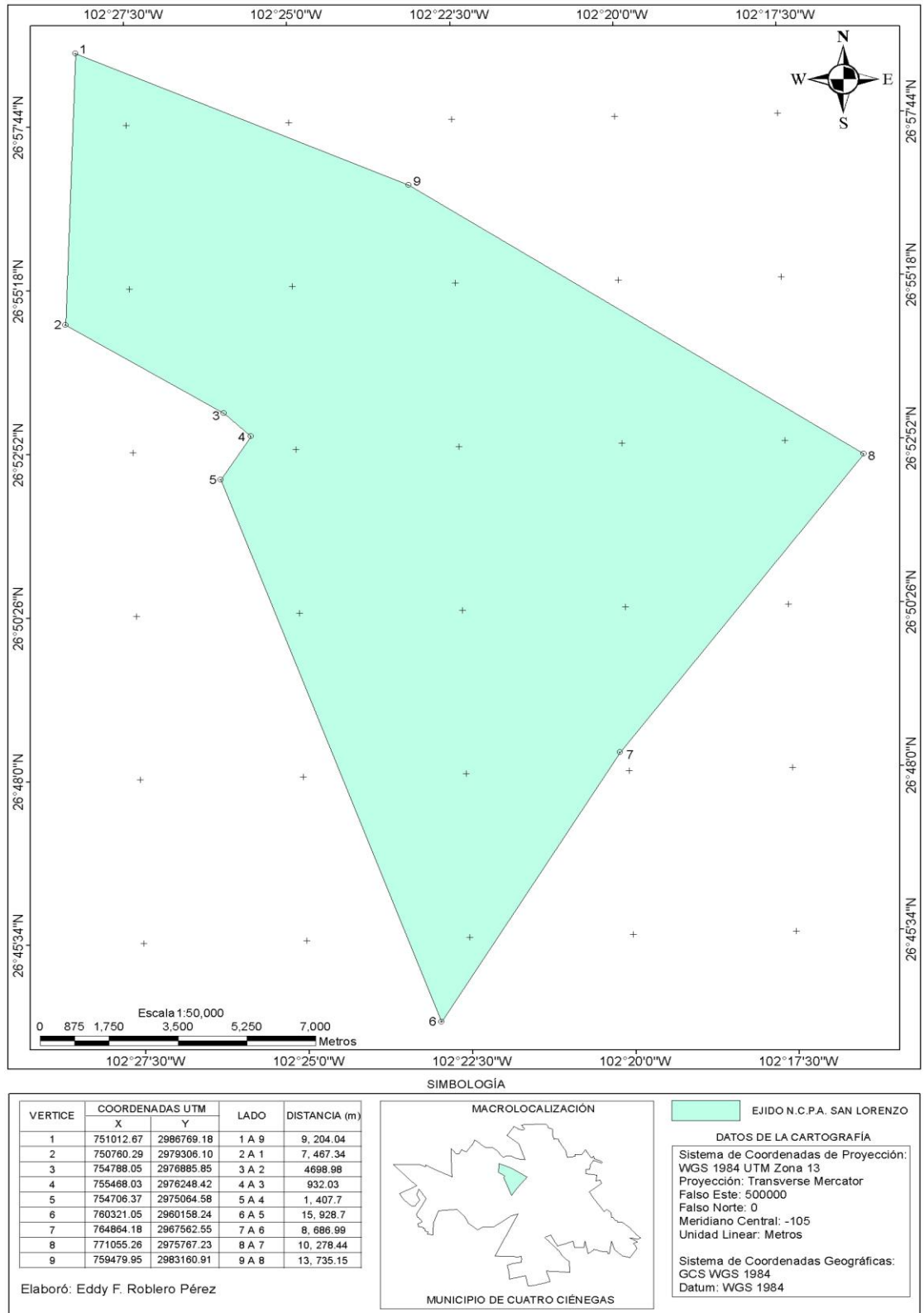
[www.biodiversitylibrary.org/page/11355552#page/310/mode/1up](http://www.biodiversitylibrary.org/page/11355552#page/310/mode/1up)

[www.candelilla.org/es/aplicaciones.htm](http://www.candelilla.org/es/aplicaciones.htm)

[www.candelilla.org/es/propiedades.htm](http://www.candelilla.org/es/propiedades.htm)

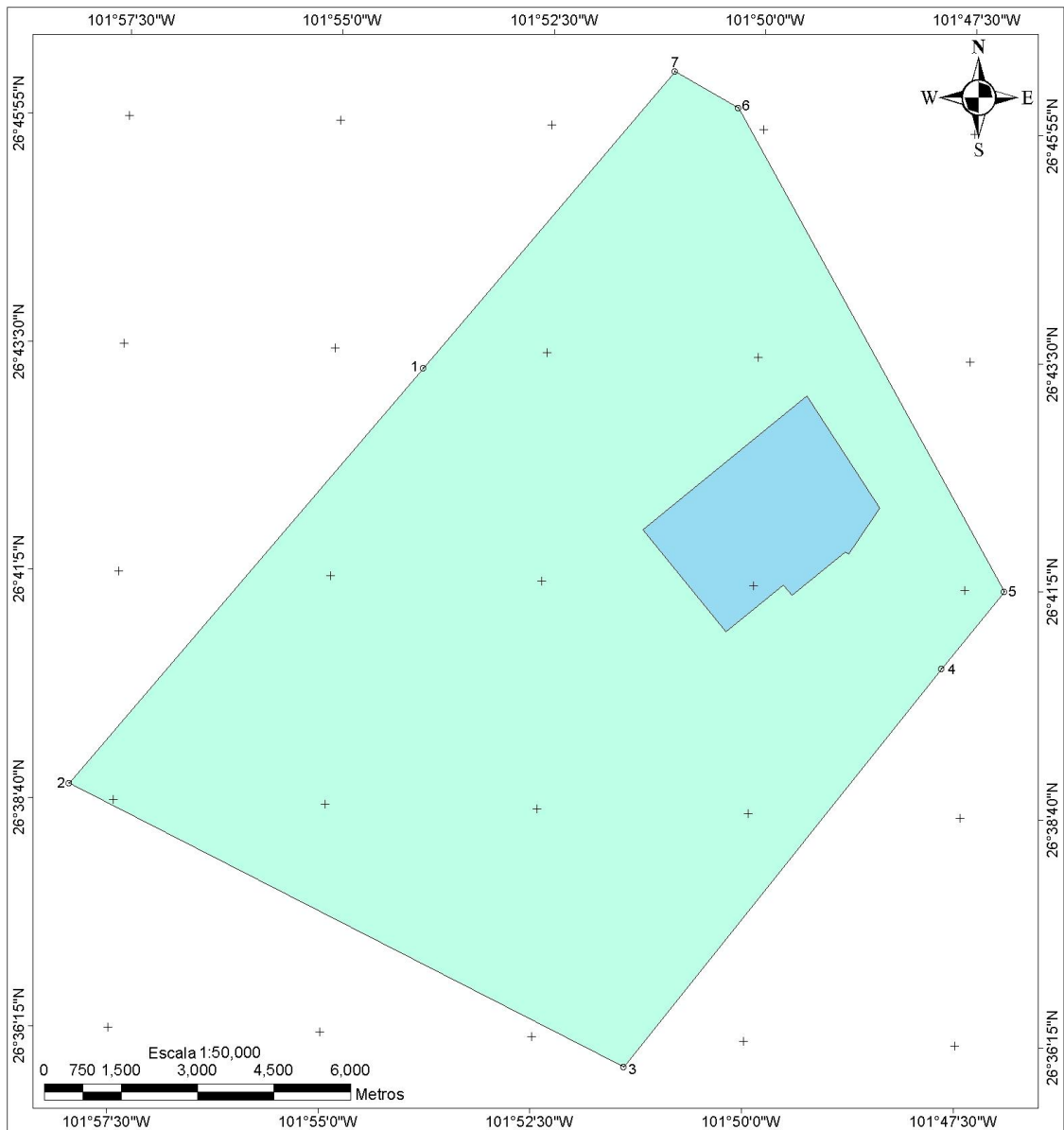


**Apéndice 2.** Polígono del ejido Nuevo Centro de Población Agrícola (N.C.P.A.) San Lorenzo, Cuatro Ciénegas, Coahuila.



Fuente: Plano interno del ejido N.C.P.A. San Lorenzo (1995).

### Apéndice 3. Polígono del ejido La Reforma, Cuatro Ciénegas, Coahuila.



VERTICE	COORDENADAS UTM		LADO	DISTANCIA (m)
	X	Y		
1	216521.51	2964711.00	1 A 7	1,440.32
2	211581.91	2958905.51	2 A 1	7,622.56
3	204644.40	2950787.31	3 A 2	10,678.67
4	215514.11	2945223.32	4 A 3	12,211.00
5	221755.26	2953010.89	5 A 4	9,979.89
6	222985.55	2954526.43	6 A 5	1,952.04
7	217771.62	2963995.63	7 A 6	10,809.75

Elaboró: Eddy F. Roblero Pérez

#### SIMBOLOGÍA



EJIDO LA REFORMA

CÑIA. MINERA REFORMA

#### DATOS DE LA CARTOGRAFÍA

Sistema de Coordenadas de Proyección:  
WGS 1984 UTM Zone 14  
Proyección: Transverse Mercator  
Falso Este: 500000  
Falso Norte: 0  
Meridian Central: -99  
Unidad Linear: Metros  
Sistema de Coordenadas Geográficas:  
GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

Fuente: Plano interno del ejido La Reforma (1994).