

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Sobrevivencia y Crecimiento de una Plantación de Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en Mazapíl, Zacatecas

Por:

EFRAÍN DE JESÚS MONTALVO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Sobrevivencia y Crecimiento de una Plantación de Candelilla (*Euphorbia
antisyphilitica* Zucc.) en Mazapil, Zacatecas

Por:

EFRAÍN DE JESÚS MONTALVO


TESIS

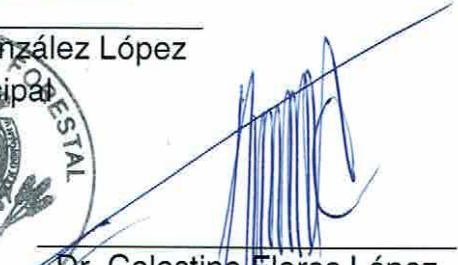
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Héctor Darío González López
Asesor Principal


Dr. Jorge Méndez González
Coasesor


Dr. Celestino Flores López
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2019



Este trabajo de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38111-425103001-2268, titulado “Modelos biométricos para determinar el rendimiento de los productos forestales no maderables en el Norte de México”, a cargo del profesor investigador M.C. Héctor Darío González López.

DEDICATORIA

A Dios

Por darme la oportunidad de vivir y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante la carrera.

A mis padres:

Julio De Jesús Montalvo y Marcelina Montalvo Cortes

¡Con todo mi amor!

Por darme la vida, y no conformes con ello, su apoyo incondicional, sus consejos, los valores que me inculcaron y sobre todo por los sacrificios y esfuerzos que han hecho por mí, por todo esto y mucho más, soy lo que ahora soy.

A mis hermanos:

Mariano, Santa, Epifania, Francisco y Tomás, (a Filiberto y Maribel), por la amistad que hemos formado y el apoyo incondicional que cada uno me brindó, ¡siempre tendrán a un hermano y sobre todo, un amigo!

A mis sobrinos:

Freddy, Kevin, Edith, Flor, Imelda, Cristian, Eduardo, Kelvin, Sofía, Uriel, Karen y Miriam, por la alegría que me han brindado, ustedes son “la alegría de la casa”, los quiero.

AGRADECIMIENTOS

A mi "ALMA MATER" la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) por permitirme asistir a sus instalaciones, ser la fuente de mis conocimientos y formarme profesionalmente.

A todos los maestros que conforman el Programa Docente de la Carrera de Ingeniero Forestal, por aportar de sus conocimientos para la formación de excelentes profesionistas.

Al M.C. Héctor Darío González López, a quien le agradezco infinitamente por otorgarme la oportunidad de realizar este trabajo y por asesorarme en la elaboración del mismo. Por sus enseñanzas impartidas dentro y fuera de las aulas.

Al Dr. Jorge Méndez González, por sus conocimientos, paciencia y asesoramiento en la realización de este trabajo, que fueron aportaciones relevantes con sus observaciones y sugerencias.

Al Dr. Celestino Flores López, por la revisión de este trabajo y por sus enseñanzas impartidas dentro de los salones de clase.

Al Dr. Mario Alberto García Aranda, por sus valiosas aportaciones en este trabajo.

Al Ing. Gilberto Rodríguez Vázquez, por darme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales en la asociación que está a su representación (SAFOREPA S.C.).

A Soé Jacinto Morales Pérez por el apoyo brindado durante la medición de variables (muestreos).

A Bernabé Alba, Urbano Gómez, Ernesto Gayosso, Oseyner Ruiz, Otoniel Cortes, Emmanuel De la Cruz, Soé Jacinto Morales, Claudia Arizpe, Liliana Sánchez, Judith Reyes, Wendi Sánchez, compañeros de clase con los que compartí momentos gratos en las aulas, así como en las prácticas de campo.

A la Rondalla Universitaria, por haberme permitido estar entre sus filas y por las innumerables convivencias con los integrantes de dicha agrupación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CONTENIDO	I
ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Productos forestales no maderables.....	4
2.2. Descripción de la familia Euphorbiaceae	4
2.3. Generalidades de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.....	5
2.3.1. Descripción de <i>Euphorbia antisyphilitica</i>	5
2.3.2. Clasificación taxonómica	5
2.3.3. Raíz	6
2.3.4. Tallo.....	6
2.3.5. Hojas.....	7
2.3.6. Flores.....	7
2.3.7. Fruto	8
2.3.8. Semilla	8
2.3.9. Nudos	9
2.3.10. Plagas y amenazas.....	9
2.4. Condiciones edafoclimáticas que requiere la candelilla	10
2.4.1. Precipitación	10
2.4.2. Temperatura	10
2.4.3. Suelo.....	10
2.4.4. Altitud.....	11
2.5. Distribución geográfica.....	11
2.6. Sistemas de producción de candelilla	12
2.7. Madurez de cosecha.....	12
2.8. Plantación y reforestación.....	13

2.9. Importancia de la planta de candelilla	13
2.10. Importancia ecológica	14
2.11. Importancia económica	14
2.12. Sobrevivencia.....	15
2.13. Modelos de crecimiento	16
2.13.1. Método DUD y PROC NLIN	18
2.14. Curvas de crecimiento.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Descripción del área de estudio	20
3.1.1. Hidrología	20
3.1.2. Geología	21
3.1.3. Suelo.....	21
3.1.4. Clima.....	21
3.1.5. Vegetación.....	21
3.2. Condiciones de establecimiento de candelilla.....	22
3.3. Sistema de muestreo	22
3.4. Medición de variables	22
3.4.1. Sobrevivencia	23
3.4.2. Altura y diámetro.....	23
3.5. Procesamiento de datos.....	24
3.6. Porcentaje de sobrevivencia	24
3.7. Análisis estadístico de sobrevivencia	24
3.8. Modelos de crecimiento	25
3.9. Elección del modelo de crecimiento.....	26
3.10. Análisis de curvas de crecimiento	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1. Sobrevivencia de la plantación de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.	27
4.2. Crecimiento en altura	32
4.2.1. Estadística descriptiva de la variable altura	32
4.2.2. Análisis de crecimiento en altura	33
4.2.3. Madurez de cosecha en altura.....	36
4.3. Crecimiento en diámetro del macollo	37

4.3.1. Estadística descriptiva de la variable diámetro	37
4.3.2. Crecimiento en diámetro	37
4.3.3. Madurez de cosecha en diámetro	37
V. CONCLUSIONES	38
VI. RECOMENDACIONES	39
VII. LITERATURA CITADA	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.)	5
Cuadro 2. Categorías para la evaluación de sobrevivencia de plantaciones.....	16
Cuadro 3. Modelos de crecimiento reportados por Clutter <i>et al.</i> (1993).	17
Cuadro 4. Modelos de crecimiento reportados por Zeide (1993).....	18
Cuadro 5. Categorías para la evaluación de sobrevivencia de candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.).....	24
Cuadro 6. Ecuaciones utilizadas para predecir el crecimiento de la plantación de candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i>).	25
Cuadro 7. Porcentajes de sobrevivencia total de candelilla de 40 sitios evaluados en los años 2014 y 2018.	27
Cuadro 8. Sobrevivencia de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. en el año 2014.....	28
Cuadro 9. Sobrevivencia de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. en el año 2018.....	29
Cuadro 10. Estadística descriptiva en altura de las plantas muestreadas de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. en el ejido El Rodeo, Mazapíl, Zacatecas.	33
Cuadro 11. Resultados estadísticos de los modelos evaluados para estimar crecimiento de candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i>).	33
Cuadro 12. Estadística descriptiva en diámetro de las plantas muestreadas de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. en el ejido El Rodeo, Mazapíl, Zacatecas.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio de la plantación de candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.) ejido El Rodeo, Mazapíl, Zacatecas.....	20
Figura 2. Datos de la sobrevivencia de <i>Euphorbia antisyphilitica</i> en dos bloques de altitud en la plantación en Mazapíl, zacatecas.	30
Figura 3. Sobrevivencia de la plantación de candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.) en dos tipos el tipo de suelo en Mazapíl, Zacatecas.	31
Figura 4. Sobrevivencia de la plantación de candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.) en dos tipos de vegetación, en Mazapíl, Zacatecas.	32
Figura 5. Comportamiento de los datos, entre valores observados (cm) y estimados (cm) con el modelo Schumacher.....	34
Figura 6. Comportamiento de los residuales a partir de los datos observados y estimados por el modelo Schumacher.	35
Figura 7. Proyección de la altura de candelilla a 10 periodos de crecimiento de la plantación de candelilla por el modelo Schumacher.	36

RESUMEN

La planta de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) es considerada como uno de los 10 productos forestales no maderables de mayor importancia económica y cumple funciones importantes en los ecosistemas desérticos en donde habita. El objetivo del presente estudio fue evaluar la sobrevivencia y analizar el crecimiento en altura y diámetro del macollo de una plantación de candelilla en el ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas. Se consideraron 40 sitios distribuidos sistemáticamente; las variables medidas fueron altura y diámetro de 107 plantas. Se ajustaron los modelos Schumacher, Hossfeld IV, exponencial y parábola a la variable altura. Sobresaliendo el modelo Schumacher, por presentar mejores valores estadísticos (R^2_{aj} , 0.934; S_{xy} , 9.342 y CV, 26.825).

De acuerdo al modelo seleccionado, la plantación de candelilla presentó la madurez de cosecha en altura a los dos años de ser establecida; mientras que para el diámetro del macollo, no se ha identificado el diámetro mínimo para la madurez de cosecha al quinto periodo evaluado.

Para la sobrevivencia se hicieron pruebas estadísticas de Kruskal-Wallis comparando dos bloques de la variable altitud (1560-1590 y 1590-1630 msnm.), dos bloques de tipo de suelo (litosol y solonchak) y dos bloques de tipo de vegetación (matorral micrófilo y matorral rosetófilo). La sobrevivencia fue mayor en altitudes de 1560-1590 msnm. y en matorral micrófilo.

Palabras clave: macollo, madurez de cosecha, modelos de crecimiento, plantación, periodos de crecimiento.

I. INTRODUCCIÓN

En las zonas áridas se encuentran productos forestales no maderables (PFNM) (Zamora-Martínez *et al.*, 2001), estos son la parte no leñosa de la vegetación y son susceptibles de manejo, uso y/o aprovechamiento; se incluyen hongos, resinas, semillas, fibras, ceras, rizomas, pencas, tallos y hasta suelos de terrenos forestales (SEMARNAT, 1999; Zamora-Martínez *et al.*, 2001; LGDFS, 2003).

En el norte de México los productos forestales no maderables aprovechables se concentran en especies como candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), nopal (*Opuntia spp.*), palmilla (*Nolina spp.*), cactáceas (*Pareskiopsis spp.*, *Hylocereus spp.*, *Mammillaria spp.*, *Lophophora spp.*), magueyes (*Agave spp.*), gobernadora (*Larrea tridentata* Cov.), jojoba (*Simmondsia chinensis* Link), palo fierro (*Olneya tesota* A. Gray), yucca (*Yucca carnerosana* Trel.), mezquite (*Prosopis spp.*), cortadillo (*Nolina cespitífera* Trel.), así mismo como el pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) (FAO, 2000).

Las especies más explotadas son la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) y la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) que representan una importante fuente de ingresos económicos ya que la agricultura temporal no es suficiente para obtener ganancias, por lo que solo favorece para autoconsumo, debido a la escasa precipitación (Cano *et al.*, 2005).

De la candelilla se obtiene la cera de candelilla la cual tiene gran importancia en el país y a nivel internacional por su innumerable aplicación en la industria y para uso doméstico, este producto se ha destacado por sus aplicaciones como la fabricación de velas, manufactura de cosméticos, pinturas, recubrimiento para frutos de exportación, aisladores, gomas de mascar, ceras para calzado, jabones, envases desechables y productos para dar brillo a automóviles, muebles y pisos (Canales *et al.*, 2006) y actualmente comienza su uso en la farmacéutica.

Los candelilleros explotan la planta de candelilla como recurso silvestre arrancándola con la mano, lo que ocasiona la destrucción de las raíces provocando la regeneración pobre, esto implica el desplazamiento de los recolectores de candelilla (De la Garza y

Berlanga, 1993), por esto, desde los años 1999 se requieren permisos de aprovechamientos sustentados bajo un estudio técnico donde se evalúan las posibilidades de cosecha y se plantean estrategias para un manejo sustentable del recurso (Cabello *et al.*, 2013).

Las posibilidades de cosecha de la candelilla son el conjunto de características específicas que la planta tiene que cumplir para realizar su aprovechamiento en forma sostenible y se identifica por su etapa de desarrollo y dimensiones en diámetro (25 cm) y altura (30 cm) (DOF, 2003).

El área de estudio se encuentra en el ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas; la plantación se ubica en las inmediaciones del poblado Santa Elena de la Cruz. El ejido no cuenta con elementos confiables para decidir en qué tiempo de establecida una plantación de candelilla puede aprovecharse la planta, tampoco cuenta con elementos confiables para estimar posibilidades de cosecha, situación que puede inducir a errores al proponer aprovechamientos, lo que puede ocasionar la sobreexplotación del recurso forestal. Por esta razón, surge la necesidad de realizar este estudio con la finalidad de estimar la sobrevivencia y determinar el crecimiento en altura y diámetro de una plantación de candelilla.

1.1. Objetivos

Objetivo general

Analizar el crecimiento en altura y diámetro del macollo de una plantación de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en Mazapil, Zacatecas.

Objetivos específicos

- Estimar el porcentaje de sobrevivencia de una plantación de candelilla.
- Ajustar modelos de crecimiento en diámetro y altura del macollo de una plantación de candelilla.
- Seleccionar el modelo de mejor ajuste para el crecimiento en altura y diámetro del macollo de una plantación de candelilla.
- Estimar el tiempo de madurez de cosecha de una plantación de candelilla.

1.2. Hipótesis

- Ho: Ningún modelo se ajusta para analizar el crecimiento en altura y diámetro del macollo.
- Ho: La madurez de cosecha para el crecimiento en altura mínima de 30 cm no se ha alcanzado a los 5 periodos de evaluación.
- Ho: La madurez de cosecha para el crecimiento en diámetro del macollo a 25 cm no se ha alcanzado al quinto periodo evaluado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Productos forestales no maderables

En México se aprovechan aproximadamente 1,000 productos forestales no maderables que son obtenidos de diversas especies distribuidas en los diferentes ecosistemas presentes en el territorio mexicano (Zamora-Martínez *et al.*, 2001). En cuanto a las zonas áridas y semiáridas beneficia a los estados de Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango, Chihuahua, Nuevo León, Coahuila, Sonora y la península de Baja California, destacando también a los estados de Oaxaca, Puebla, Hidalgo, Edo. de México y Tamaulipas, estos últimos con una producción a escala menor (Tejeda *et al.*, 1998).

Martínez (2013) enlista los productos forestales no maderables aprovechables en las zonas áridas, en la cual se destaca la candelilla como un recurso de mayor aprovechamiento.

2.2. Descripción de la familia Euphorbiaceae

La *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. conocida comúnmente como “candelilla” pertenece a la familia de las Euphorbeaceas (Beltran, 1964; Rzedowski, 1980; Villareal, 2006). Esta familia es caracterizada por secretar una sustancia lechosa de los tallos al hacerles algún corte o alguna lesión, entre estas se encuentra la “flor de nochebuena” (*Euphorbia pulcherima* Will.), la higuera (*Risinus communis* L.), la yuca de tierra caliente (*Manihot dulcis* Pax., *M. esculenta* Crantz), el árbol de hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), entre otras más (Flores, 1941).

Villareal (2006) y CONAZA (2014) mencionan que esta familia contiene árboles, arbustos y hierbas que presentan hojas alternas simples o compuestas (ausentes o reducidas a espinas en algunas especies) y flores unisexuales con cáliz de cinco sépalos, su corola de cinco pétalos, estambres no mayor a doce, ovario supero tricarpelar y tres cavidades, el fruto es una capsula. Dicha familia es originaria del suroeste de Texas y del norte de México (CONAZA, 2014).

2.3. Generalidades de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc.

2.3.1. Descripción de *Euphorbia antisyphilitica*

La planta de candelilla es un arbusto de porte bajo e intrincadamente ramificado, perene cespitoso, con rizomas carnosos, los tallos son aéreos simples y ramificados, alcanzan una altura de un metro o más, los cuales se encuentran cubiertos por una capa de cera (Rzedowski, 1980).

La Candelilla tiene una alta capacidad de producción de cera, esto debido a que se encuentran vasos laticíferos en la región del periciclo, en la endodermis, en la corteza media y en los haces liberianos (De la Garza y Berlanga, 1993).

2.3.2. Clasificación taxonómica

En el Cuadro 1 se presenta la clasificación taxonómica de la planta de candelilla.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.)

Clasificación taxonómica	
Reino	Plantae
Phyllum	Magnoliophyta
Clase	Magnoliópsida
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	<i>Euphorbia</i>
Especie	<i>Antisyphilitica</i> Zucc.
Sinónimos científicos	<i>Euphorbia cerifera</i> , <i>Tirucallia antisyphilitica</i> , <i>Trichosterigma antisyphiliticum</i> .
Nombres comunes:	Candelilla, cordobán.

Fuente: CITES, 2009.

La planta de candelilla fue descubierta por primera vez en 1832 por el botánico alemán Joseph Gerhard Zuccarini, quien le asignó el nombre científico como *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., haciendo referencia a las propiedades medicinales del jugo de la planta, utilizado por los indígenas como un medio de tratamiento de la enfermedad de la sífilis; en México, en el año 1909 fue presentada una nueva clasificación de la candelilla por parte de Gabriel Alcocer, nombrándola como *Euphorbia cerifera* Alc., cuyo epíteto específico destaca las propiedades de la planta para la generación de cera (Instituto de la Candelilla, 2013).

Marroquín *et al.*, (1981) describen dos variedades de candelilla: *Euphorbia antisyphilitica* var. *typica* y *E. antisyphilitica* var. *luxurians*. La primera variedad es distribuida en San Luis Potosí y norte del país, mientras que la otra habita en estados de Puebla (en Izúcar de Matamoros y Tehuacán) y Oaxaca.

2.3.3. Raíz

La raíz de la candelilla es relativamente pequeña, está constituida por una capa semi-leñosa, la cual tiene una raíz central pivotante, dicha raíz en su nudo vital se encuentran yemas adventicias que dan lugar a la formación de nuevos tallos aéreos así como a rizomas, este último al crecer horizontalmente emergen a la superficie dando como resultado una cepa hija la cual solo cuenta con raíces adventicias en la base del primer tallo, teniendo ya varios de estos y con buen crecimiento se nota la formación de una raíz normal la cual indica la independencia de la planta madre (Flores, 1941; Instituto de la Candelilla, 2013).

Las raicillas son delgadas y muy largas, estas se encuentran agrupadas y nacen en diferentes partes del rizoma, y se ramifican poco tiempo después de su nacimiento (Nieto, 1987).

2.3.4. Tallo

La planta presenta tallos erectos agrupados en números variados que van de los 15 a 50 tallos, hablando de macollos adultos. La altura de estos es de 45 a 65 centímetros pero se han encontrado ejemplares de hasta 1.5 metros (Flores, 1941). Mientras que Beltrán (1964) menciona que la candelilla tiene una altura de 80 a 90 cm. La altura

varía según sea la localidad y las condiciones climáticas presentes (temperatura, humedad, tipo de suelo, etc.) (Nieto, 1987).

Los tallos presentan ligeras estrangulaciones de color oscuro, las cuales delimitan el periodo de su crecimiento en altura, dichas marcas alcanzan una longitud anual de 8 a 13 centímetros, las cuales pueden servir para determinar la edad aproximada de la planta (Flores, 1941).

El color de los tallos nuevos es verde, mientras que los adultos adquieren el color verde plomizo o verde olivo, pero por la cera que los cubre aparentan el color blanco cenizo (Flores, 1941; Beltrán, 1964). Los tallos jóvenes solo presentan puntos de cera, a medida que crecen obtienen una capa cerosa que los protege y así evitar la pérdida de agua (Flores, 1941; Cervantes, 2005).

2.3.5. Hojas

Las hojas son pequeñas y sésiles, en su mayoría tienen una longitud de 1 mm y 1 a 2 mm de ancho. Por lo normal se encuentran hojas agrupadas de dos o tres (Nieto, 1987), el color es verde cuando nacen y comienzan a tomar la coloración rojiza en su ápice a unos días de nacidas, coloración que se generaliza conforme envejecen hasta finalmente desprenderse del tallo, son caducas, pues solo duran de 15 a 20 días, solo se presentan en brotes jóvenes; destacar que las hojas van acompañadas de dos pequeñas estipulas colocadas una a cada lado de su base (Flores, 1941).

2.3.6. Flores

Flores (1941) indica que la floración se presenta en las yemas axilares, así también en las yemas terminales, en las axilares por lo regular son tres o cuatro flores de las cuales solamente uno o dos son fecundadas, mientras que en las yemas terminales son flores abundantes que dan una vista en forma de cabezuela. Nieto (1987) y Cervantes (2005) mencionan que las flores de ambos sexos se encuentran en una estructura especie de copa, cuya estructura se le conoce como “ciato” en la cual se hallan de 45 a 47 flores masculinas aproximadamente y una femenina centrada.

La floración inicia después de la latencia de la planta, las fechas varían de acuerdo a las condiciones de humedad presentes y de la intensidad invernal que precedió, sin

embargo se encuentran plantas con su inicio de floración desde el mes de febrero hasta julio (Flores, 1941).

La floración es de color pálido a rojizo, esto depende de la humedad con la que cuenta la planta, la flor en estado adulto es de tonalidad rosa pálido cuando los tallos están nutridos de humedad, en cambio, cuando padecen de sequias son de color rojiza subida y se quedan sin desplegar sus verticilos trayendo consigo la no fecundación, por lo tanto no producen semillas (Flores, 1941).

Las flores son pequeñas de 5 mm de diámetro con pedúnculo corto, en su base se encuentran dos brácteas agudas de color más subida que los pétalos y en posición opuesta, en la corola se encuentran cinco pétalos libres (dialipétala) y en la base de una de estas se hayan unos abultamientos de color subida (Flores, 1941).

2.3.7. Fruto

Flores (1941) exploró detenidamente los frutos de la candelilla, teniendo como resultado que los frutos son capsulas dehiscentes con tres semillas, el fruto es de 3 a 4 mm de diámetro de color café claro con algunas tonalidades rojizo-morado. Las semillas además de no todas ser fecundas, padecen de una plaga (insecto) que penetra en el fruto antes de que esté seca, inutilizando así las semillas. Nieto (1987) afirma que el fruto al madurar toma la coloración café de tonalidades variables; la capsula al madurar estalla dispersando las semillas alrededor de la planta.

2.3.8. Semilla

Las semillas son de coloración café claro, estas tienen una parte más delgada en la cual se presenta una estructura de color blanquecino en donde se concentra la mayor parte del endospermo (Nieto, 1987).

El mismo autor argumenta que un kilogramo contiene aproximadamente 272,000 semillas entre buenas y vanas, ocupando el 90% de semillas buenas. Cervantes (2005) indica que la recolección de las semillas es un tanto difícil debido a su tamaño y fenología.

2.3.9. Nudos

Flores (1941) encontró que para determinar la edad aproximada de la planta, es por medio de los crecimientos anuales, medidos como la altura de los tallos, estos crecimientos están representados por ligeras estrangulaciones de color moreno que anualmente alcanzan una longitud media que varía de 8 a 13 cm. Además, Flores (2013) cita que en cada cierto espacio se presentan estrangulaciones de color más oscuro y por lo normal en las estrangulaciones se presenta un ligero encorvamiento del tallo los cuales representan los periodos de crecimiento.

2.3.10. Plagas y amenazas

La planta de candelilla es muy resistente al ataque de plagas y enfermedades y se consume de forma muy limitada por algunas especies de la fauna silvestre que existe en la región (Instituto de la Candelilla, 2013).

La planta cuenta con una plaga de insectos que le atacan en los tallos formando abultamientos en el ápice (lo que los candelilleros piensan que son agrupaciones de semillas), el abultamiento consiste en que el insecto adulto deposita un huevecillo en la medula de la parte terminal del tallo, la larva al nacer tiene el color igual al del abultamiento de la planta lo que causa la confusión con semillas; el tallo atacado por el insecto no se seca, sino que se queda despuntado y por lo general una de sus yemas adventicias toma la dominancia (Flores, 1941).

En una investigación realizada por Villa *et al.* (2010) encontraron que las larvas se ubican en las partes terminales de los tallos maduros, estos presentaban nudosidades de color rosado, al abrirlas se encontraron larvas alimentándose de las partes tiernas de los tallos.

Las principales amenazas a la candelilla, se encuentra la sobre explotación del recurso, la ganadería extensiva y el sobre pastoreo. La ganadería de bovinos y caprinos en forma extensiva y sin control, es una práctica común en las zonas candelilleras, que compacta el suelo, por consecuencia se reduce su capacidad de infiltración (CITES, 2009).

A partir de la década de los años cuarenta, se realizaron grandes aprovechamientos del recurso, que se conocen por ser muy intensivos, sin considerar medidas para la recuperación de las poblaciones naturales (CITES, 2009).

2.4. Condiciones edafoclimáticas que requiere la candelilla

2.4.1. Precipitación

La candelilla no se distribuye en todos los sitios ecológicos desérticos, ya que su mejor hábitat es sobre declives donde el desagüe es bueno, por esta razón se establece en valles o en suelos arcillosos en el desierto (Dávila, 1981). Beltrán (1964) menciona que la planta de candelilla es localizada en áreas con precipitación media anual de 200 a 400 mm. y su producto es óptimo en los meses secos de invierno, esto da una clara explicación de que la cera producida por la planta no es más que un medio de defensa para evitar la pérdida de agua por los tallos. Flores (1941) afirma que la zona candelillera está situada dentro de las isoyetas 200 a 300 mm anuales.

2.4.2. Temperatura

La *Euphorbia antisiphilitica* es una especie propia de las zonas cálidas de México donde se presentan temperaturas muy elevadas, por encima de los 30 °C, por esto ha desarrollado formas y características que le permiten sobrevivir en condiciones limitantes de agua y humedad ambiental (Zamora-Martínez *et al.*, 2013).

La especie mencionada crece en territorios áridos, los tipos de clima que predominan son los áridos (Bs) y los muy áridos (Bw), temperatura media anual de 18 a 22 °C con máximas de 47 °C y mínimas de 14 °C bajo cero (Zamora-Martínez *et al.*, 2001).

2.4.3. Suelo

La hierba de candelilla generalmente se localiza en suelos calcáreos, de origen coluvial, profundidad somera, textura franco arenosa, estructura granular, consistencia friable, con presencia de grava y piedras y un pH que fluctúa entre 7.0 y 7.4 (De la Cruz y Medina, 1991; Instituto de la Candelilla, 2013). Cervantes (2005) enfatiza que el desarrollo de la candelilla es en suelos someros, calizos, sobre lomeríos, abanicos

aluviales, llanuras con alto contenido de arcillas y arenosos, pero sobre todo en laderas de difícil acceso.

Además, se ha observado que las plantas de candelilla desarrolladas en rocas agrietadas donde se acumula suelo rico en materia orgánica, producen mayor cantidad de cera, a comparación con las que crecen en terrenos profundos producen menor cantidad de exudado (Marroquín *et al.*, 1981; Cervantes, 2005).

2.4.4. Altitud

Flores (1941) establece que las mejores localidades productoras de cera cuentan con una altitud media de 700 a 800 msnm, mientras que Marroquín *et al.* (1981) citan que la planta de candelilla se localiza en alturas que varían de 460 a 2,400 msnm. Por otro lado Cervantes (2005) menciona que el rango altitudinal del hábitat de la candelilla oscila entre los 1 000 y 2 800 msnm.

2.5. Distribución geográfica

La candelilla se distribuye en varios estados de la república mexicana, principalmente en el desierto Chihuahuense abarcando a los estados de Durango, Chihuahua, Nuevo León, Zacatecas, Tamaulipas y Coahuila (Beltrán *et al.*, 1964; CONABIO, 2008; CITES, 2009); y en el centro del país en los estados de Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí (CONABIO, 2008). En los Estados Unidos de América, se distribuye en los estados de Nuevo México y Texas; las mayores concentraciones de candelilla se encuentran en una faja que se extiende entre los meridianos 102° y 103° N, desde el Río Bravo hasta el paralelo 24° (CITES, 2009).

La candelilla se desarrolla asociándose con múltiples especies, la mayoría de estas son de porte bajo y en forma de rosetas y espinosas, agrupadas en manchones que pueden ocupar desde pequeñas superficies hasta hectáreas, alcanza un mejor desarrollo cuando se encuentra asociada con otras especies como son: la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), maguey cenizo (*Agave scabra* Salm-Dyck), albarda (*Fouquieria splendens* Engelm.), guapilla (*Hechtia glomerata* Zucc.), sangre de drago (*Jatropha dioica* Sessé), gobernadora (*Larrea tridentata* Cov.), orégano (*Lippia berlandieri* Schauer, *L. graveolens* Kunth), viejito (*Opuntia bradtiana* Coult.), tasajillo

(*Opuntia leptocaulis* Kunth), y nopal cegador (*Opuntia microdasys* Lehm) (Flores, 2013).

Las formaciones de candelilla comúnmente se asocia con el crecimiento de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), sotol (*Dasyilirion spp.*), pasto chino, ocotillo (*Fouquieria splendens* Engelm.) y diversos cactus (Instituto de la Candelilla, 2013). Raras veces se encuentra aislada, por lo normal se encuentra asociada con especies comunes de zonas áridas (Cervantes, 2005).

2.6. Sistemas de producción de candelilla

La propagación de la candelilla puede ser por medio de semillas y por rizomas, la reproducción sexual (por semillas) de la planta requiere indispensablemente de humedad que debe haber almacenado antes de la floración (Flores, 1941).

Cervantes (2005) menciona que la planta de candelilla puede reproducirse asexualmente (por medio de los tallos), fragmentos de macollos o por tallos subterráneos (rizomas); este método da un buen potencial regenerativo.

La propagación por semillas es un tanto complicado por la dificultad de recolecta de estas, pues el fruto al madurar revienta dejando dispersas dichas semillas alrededor de la planta y por sus tamaños mínimos es difícil localizarlas; la propagación por medio de estacas parece ser más fácil, la recolección de tallos se puede hacer en cualquier época del año mientras presenten un aspecto de vigorosidad escogiendo los tallos de longitud de 20 a 25 cm y tres a cuatro nudos; mientras que la reproducción por medio de hijuelos se lleva a cabo después de un periodo de lluvias (Villa *et al.*, 2010).

2.7. Madurez de cosecha

Las posibilidades de cosecha son el conjunto de características específicas que la planta tiene que cumplir para realizar su aprovechamiento en forma sostenible y se identifica por su etapa de desarrollo y dimensiones; a esto se le conoce técnicamente como madurez de cosecha, se identifica cuando los macollos alcanzan un diámetro mayor a los 25 cm y la altura de 30 cm como mínimo (DOF, 2003).

Así mismo, el DOF (2003) indica que se tiene que dejar distribuido en el área de aprovechamiento, sin intervenir como mínimo el 20% de la población en la etapa de madurez reproductiva para propiciar su regeneración, la cual se refiere a la etapa de periodo en que la planta alcanza las condiciones óptimas para su reproducción sexual o asexual, que asegure la regeneración de las poblaciones.

2.8. Plantación y reforestación

Una plantación forestal es el establecimiento y manejo de especies forestales en terrenos de uso agropecuario o terrenos que han perdido su vegetación forestal natural (Ramírez, 2015; CONAFOR, 2017), cuyo objetivo es producir materias primas maderables y no maderables para su industrialización y/o comercialización (CONAFOR, 2015; Ramírez, 2015).

Las plantaciones forestales son cultivos de especies forestales de rápido crecimiento o de alto valor comercial, con el fin de comercializar sus productos; forman parte de la estrategia para incrementar la producción y productividad forestal de México, además de que contribuye a generar servicios ambientales, a reducir la deforestación y a incrementar la superficie con cubierta arbórea al reincorporar terrenos agropecuarios de baja productividad al uso forestal (CONAFOR, 2018).

Del 2000 al 2015, en el estado de Zacatecas se establecieron 7 873 ha de plantaciones forestales, en las que se incluyeron la candelilla, la lechuguilla, yuca y pino; la candelilla se destacó fuertemente con una plantación de 7,424 ha, 254 de lechuguilla, 87 de yuca y 107 de pino (CONAFOR, 2016).

2.9. Importancia de la planta de candelilla

Lo que se comercializa de la candelilla es el cerote que se extrae de la planta, este, se refina para volverlo cera de alta calidad (Rzedowski, 1980). Existen diferentes presentaciones de la cera en la comercialización: trozos, marquetas, pastillas, escamas, polvo asreado y polvo micronizado (CITES, 2009).

La cera de candelilla tiene un gran número de aplicaciones industriales y de uso doméstico en el país y en el extranjero, se usa en la fabricación de velas, manufactura de cosméticos, pinturas, recubrimientos para frutos de exportación, goma de mascar,

ceras para calzado, jabones, envases desechables y productos para pulir y abrillantar automóviles, muebles y pisos (Canales *et al.*, 2006). Así mismo para la elaboración de moldes, modelos dentales, materiales eléctricos y aislantes, cableado de computadoras, y fabricación de papel térmico (Villa-Castorena *et al.*, 2010; Zamora-Martínez *et al.*, 2013).

El mercado es impulsado por la preferencia del consumidor por un cosmético "natural"; de esta manera, hay un aumento en la demanda de ceras naturales, sobre algunos productos como son: el rímel, uno de los productos cosméticos más utilizados, seguido por el lápiz labial y lápiz cosmético (Cabello *et al.*, 2013).

Desde el punto de vista químico tiene una alta concentración de hidrocarburos (aproximadamente el 50%) y una cantidad baja de ésteres volátiles; además, su contenido de resina puede ser equivalente a 40% de su peso, lo cual contribuye a que su consistencia sea pegajosa (Rojas-Molina *et al.*, 2013).

2.10. Importancia ecológica

La candelilla cumple funciones importantes en los ecosistemas desérticos en donde habita, a través del crecimiento de sus macollos retiene la humedad y partículas del suelo, lo cual favorece el establecimiento de otras especies, además, protege el suelo de la radiación solar y del efecto del viento, evitando la erosión, particularmente en sitios con pendiente (CITES, 2009).

2.11. Importancia económica

En las zonas desérticas de México, los habitantes dependen de la producción de la candelilla y de otros productos no maderables, la presencia de la mencionada especie representa una contribución muy importante en la economía de muchos habitantes de zonas áridas de México, y en la mayoría de los casos es su único fuente de subsistencia (CONAFOR, 2001; Canales *et al.*, 2006).

La explotación de la candelilla en estado silvestre para la producción de cera se ha convertido en una de las actividades económicas más importantes en todas aquellas zonas rurales donde crece la planta (Instituto de la candelilla, 2013).

En las zonas áridas y semiáridas de México, la importancia socio-económica de la candelilla es indiscutible, ya que cubre una extensión aproximada de 350 000 km², en los cuales se producen anualmente tres millones de toneladas de cerote (Castro *et al.*, 1983).

Durante los años ochenta aproximadamente 10 000 familias pertenecientes de 300 ejidos distribuidos en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas y Coahuila explotaban la planta de candelilla con una producción media anual que rebasaba los 4 000 toneladas de cera en ese periodo (Maldonado, 1983).

Cervantes (2005) reporta datos aproximados de la producción de cera de candelilla: el estado de Coahuila produce 1 494 toneladas de cerote, Durango con una producción de 2 100, Chihuahua, 215 000 y en Zacatecas, 108 000 toneladas.

En la actualidad se estima la existencia de aproximadamente 3 500 pequeños productores, que se distribuyen en 230 ejidos de 33 municipios ubicados en el noreste de México (Rojas *et al.*, 2011).

MULTICERAS (2010) indica que en el año 2009 se exportaron 1, 777 toneladas de cera de candelilla, de los cuales, el 39.2% se exportó a Japón, 35.2 % a Estados Unidos de América, 14.3 % a Alemania, 7.9 % a Francia y 3.5 % a otros países.

2.12. Supervivencia

La evaluación de la supervivencia permite obtener una medida aproximada del éxito de la plantación bajo la influencia de los factores del sitio, el valor que se desea conocer es la proporción de plantas que están vivas respecto a las plantas efectivamente plantados o la densidad mínima establecida (CONAFOR, 2012).

Dávila (1981) indica que para establecer plantaciones de candelilla, es aconsejable utilizar 5 tallos para la producción, ya que al utilizar 10, la emergencia de hijuelos trae una saturación en la población y muchos tallos tienden a secarse, en cambio se ve más homogénea la plantación con 5 tallos y como resultado hay menor mortalidad en los mismos.

Bartolomé (2017) realizó un estudio de sobrevivencia en tres plantaciones de candelilla, contabilizó las plantas vivas y muertas, a cada planta le contabilizó los tallos muertos, tallos con crecimiento apical, tallos sin crecimiento apical, tallos con rebrotes laterales, tallos con rebrotes subterráneos y observó si las plantas presentaban afectaciones por ramoneo.

Linares (2005) propuso una expresión matemática para determinar el porcentaje de sobrevivencia de las plantaciones con solo disponer del número de plantas totales (vivas y muertas) y el número de plantas vivas, la expresión queda de la siguiente manera:

$$\text{Sobrevivencia (\%)} = \frac{PV}{PV+PM} * 100$$

Dónde:

PV= plantas vivas

PM= plantas muertas.

Centeno (1993) presentó las categorías para calificar las sobrevivencias de las plantaciones, las categorías las clasificó en: malo, regular, bueno y muy bueno con sus respectivos porcentajes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías para la evaluación de sobrevivencia de plantaciones.

Categoría	Sobrevivencia (%)
Muy Bueno	80-100
Bueno	60-79
Regular	40-59
Malo	<40

2.13. Modelos de crecimiento

Existen los modelos matemáticos que son herramientas analíticas más utilizadas en la actualidad para la generación de conocimientos en el crecimiento y producción de

rodales, que a través de fórmulas matemáticas, se presentan los procesos biológicos que ocurren a nivel de árbol individual y del rodal (Aleman, 2001).

Los modelos de crecimiento forestal son ecuaciones que gracias a ellas es posible predecir el desarrollo de un bosque empleando características del sitio y constituyen una herramienta importante para la toma de decisiones en el manejo forestal (Vargas-Larreta *et al.*, 2010).

Los modelos se clasifican en tres tipos: modelos a nivel de rodal, modelos de clases de tamaños (diamétrica) y modelos de árbol individual, de tal manera que se puede desarrollar cualquier tipo de modelo, depende tanto de los propósitos de su aplicación como de los recursos disponibles (Vanclay, 1995; Peng, 2000).

Clutter *et al.* (1993) reportan seis modelos de crecimiento para altura y diámetro, los cuales se observan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Modelos de crecimiento reportados por Clutter *et al.* (1993).

	Nombre	Modelo
1	Schumacher	$Y=B_0 \exp(-B_1 E^{-1})$
2	Chapman-Richards	$Y=B_0 [1 - \exp(-B_1 E)]^{B_2}$
3	Weibull	$Y=B_0 \exp(-B_1 E^{B_2})$
4	Hossfeld IV	$Y=B_0 (1 + \exp(B_1) E^{-B_2})^{-1}$
5	Logístico	$Y=B_0 [1 + B_1 * \exp(-B_2 * E)]$
6	Korf	$Y=\exp(B_0 + \frac{B_1}{E})$

Y= variable dasométrica del árbol, B₀...B_n= parámetros estadísticos, E= edad (años).

Mientras que Zeide (1993) reporta 11 modelos de crecimiento, 6 de estos se mencionan en el Cuadro 3 y los otros cinco se observan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Modelos de crecimiento reportados por Zeide (1993).

	Nombre	Modelo
7	Gompertz	$Y = \exp(-B_1 - B_2 \exp(-B_3 E))$
8	Monomolecular	$Y = B_0(1 - \exp(-B_1 - B_2 E))$
9	Bertalanffy	$Y = B_0(1 - \exp(-B_1 - B_2 E))^{B_3}$
10	Sloboda	$Y = \exp(-B_0 - B_1 \exp(-B_2 E^{B_3}))$
11	Levakovic III	$Y = B_0 \left(\frac{E^2}{B_1 + E^2} \right)^{B_2}$

Y= variable dasométrica del árbol, B₀...B_n= parámetros estadísticos, E= edad (años).

2.13.1. Método DUD y PROC NLIN

Se ha demostrado que los modelos matemáticos no-lineales (modelos de crecimiento), son adecuados para relacionar variables, en la descripción de la curva de crecimiento en diferentes especies (Imaña y Encinas, 2008).

Los métodos que dispone el SAS son: Gauss, Marquardt, Newton, Gradient y Dud. Si el método no es especificado, el SAS aplica el método DUD lo que permite ajustar modelos de regresión no lineal. Con el NLIN se debe indicar el modelo completo que se va a ajustar, es decir, no solo las variables del modelo, sino también los parámetros, además se deben indicar los valores iniciales de los parámetros (López *et al.*, 2001).

2.14. Curvas de crecimiento

La curva de crecimiento es definida como la curva acumulativa del incremento de la producción, esta curva indica la cantidad de producto total obtenido a lo largo de la vida de un árbol o un rodal coetáneo (Corral, 2004).

Se entiende que una curva de crecimiento es una gráfica que muestra el crecimiento anual actual o incremento anual actual, la cual aumenta hasta el punto de inflexión de la curva de rendimiento y disminuye después (Avery y Burkhart, 2002).

Cuando el tamaño de algún individuo o una dimensión (altura, diámetro, peso, volumen, etc.) es graficado contra su edad, se obtiene la curva de crecimiento, dicha gráfica se parece a una forma sigmoidea o forma de "S" alargada (empezando desde

el origen (0, 0) excepto la curva del diámetro normal contra la edad, ya que transcurren varios años para que la planta presente un diámetro normal mínimo), en la cual se encuentra la etapa juvenil, la edad madura y la edad senil, cada una de estas etapas mantiene un ritmo de crecimiento característico en la vida total del árbol y en conjunto forman la curva (Imaña y Encinas, 2008).

El nombre asignado a estas curvas no es la adecuada porque solo se muestran las relaciones que hay entre parámetros (altura, área basal, volumen, biomasa, etc.) a una edad determinada, la verdadera curva de crecimiento es el incremento corriente anual (Corral, 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el ejido El Rodeo, Mazapíl, Zacatecas, ubicado en las coordenadas 102° 02' longitud Oeste y 24° 52' latitud Norte, se encuentra a una altitud promedio de 1590 m.s.n.m. (CETENAL, 1972a). Así mismo el ejido El Rodeo se encuentra ubicado en el municipio de Mazapíl y Melchor Ocampo, municipios del estado de Zacatecas.

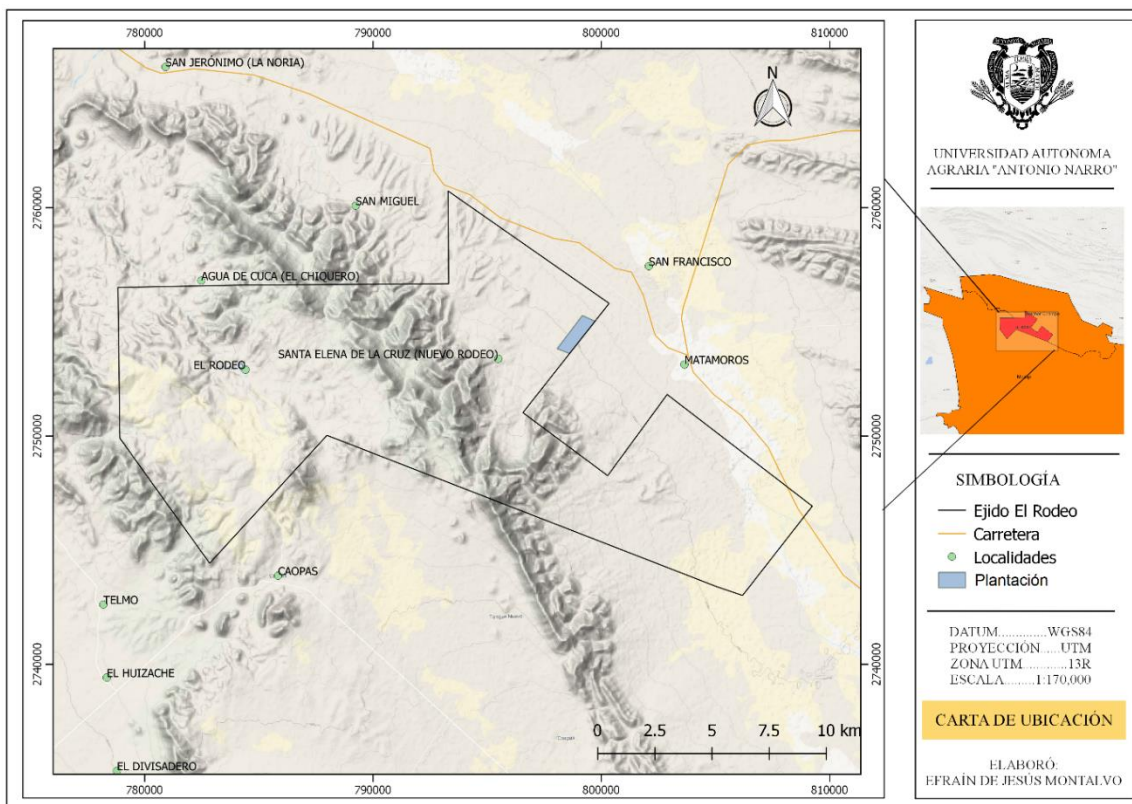


Figura 1. Localización del área de estudio de la plantación de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) ejido El Rodeo, Mazapíl, Zacatecas.

3.1.1. Hidrología

El ejido forma parte de las regiones hidrológicas Nazas Aguanaval (RH36) y El Salado (RH37), ambas regiones por su extensión corresponden una de las vertientes

interiores más importantes del país, la primera región comprende la parte nororiental y la segunda región la porción noroccidental del estado de Zacatecas (INEGI, 2010).

3.1.2. Geología

El material geológico predominante en el ejido son rocas metamórficas pertenecientes a la era paleozoica, seguido por la era cenozoica cuaternaria de clase sedimentaria. Las rocas sedimentarias que se encuentran presentes en el área de estudio son materiales formados como consecuencia de la actividad química por los agentes que actúan sobre las rocas existentes (INEGI, 2011).

3.1.3. Suelo

En el área de estudios se encuentran dos tipos de suelo, los cuales son: Litosol y solonchak, los dos con textura media, la topografía se encuentra distribuida en su mayor parte por terrenos ligeramente ondulados, en algunas partes se encuentran terrenos con pendiente severa (CETENAL, 1972b).

3.1.4. Clima

El ejido El Rodeo se encuentra dentro del área climática denominada Desierto Chihuahuense, con climas de tipo muy seco semicálido (BW_{hw}), semiseco templado (BS1_{kw}) y semicálido (BS_{ohw}), la mayor parte de la superficie cuenta con el clima semiseco templado con temperatura media anual de 16 °C y precipitación medio anual de 510 mm (SGM, 2017).

3.1.5. Vegetación

El área de estudio se encuentra cubierto mayormente por el matorral desértico rosetófilo, las especies asociadas con este tipo de vegetación son: la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr), el maguey cenizo (*Agave aspérrima* Jacobi) y la gobernadora (*Larrea tridentata* Cov.) de los más comunes y en ocasiones se asocia el sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) (INEGI, 2005).

3.2. Condiciones de establecimiento de candelilla

La plantación de candelilla se estableció en los meses mayo-junio del año 2014. Los macollos fueron seleccionados para ser plantados, tenían que presentar al menos 10 tallos vivos.

La plantación se realizó en suelo litosol y solonchak con una pendiente menor del 10%, con vegetación matorral rosetófilo y micrófilo. La preparación del terreno se realizó haciendo cajete de forma de media luna para contribuir a la captación de agua de lluvia en la planta. El distanciamiento de la distribución de las plantas se utilizó el método lineal conservando una distancia de 2.20 m. entre plantas y 3.00 m. entre líneas.

3.3. Sistema de muestreo

El método de muestreo se hizo colocando el primer punto de manera aleatoria y los demás de manera sistemática. Berlanga *et al.* (1992) sugieren que se debe mantener una equidistancia entre puntos, por lo que los sitios se establecieron manteniendo una distancia de 160 m dentro del área de plantación.

Se evaluaron 40 sitios de muestreo, los cuales fueron parcelas de 100 m² (10x10 m) en el que se contabilizaron las plantas vivas y muertas para estimar sobrevivencia; los mismos sitios divididos en cuatro cuadrantes iguales orientados al norte (submuestras de punto cuadrante central) para determinar el crecimiento de la plantación, en las submuestras se seleccionó la planta viva más cercana al centro del sitio y se midió la distancia (m) de la planta al punto central, tal como indican Cox (1972); De la Garza y Berlanga (1993); Mostacedo y Frederickson (2000).

El número de sitios se determinó basándose en el teorema del límite central, el cual indica que una muestra es representativa cuando el tamaño muestral es grande ($n \geq 30$), lo que tiende a tener una distribución normal o de Gauss (Canal, 2008).

3.4. Medición de variables

Se contaba con una base de datos con 40 sitios de muestreo que sirvió de referencia para la presente investigación; que contaba con la evaluación de la sobrevivencia para

el periodo 2014, diámetro del macollo del periodo 2014 y alturas máximas y mínimas para los periodos de crecimiento 2014, 2015 y 2016.

Las variables evaluadas para complementar la base de datos fueron sobrevivencia y diámetro del macollo del periodo 2018 y alturas máximas y mínimas de los periodos de crecimiento 2017 y 2018.

La base de datos contenía la longitud (m) de las plantas medidas al centro del sitio, esto permitió identificar las plantas para medirlas en los periodos 2017 y 2018.

3.4.1. Supervivencia

Durante las evaluaciones se contaron las plantas vivas y muertas en los sitios de 100 m², se tomaron como plantas muertas los macollos que presentan más del 50 % de tallos muertos, ya que la mayoría de los macollos presentan menos de 20 tallos totales (entre vivos y muertos).

Así mismo, se tomaron como plantas muertas las cepas vacías, al momento de la evaluación se identificó la microcuencua formada durante la plantación para captar agua.

3.4.2. Altura y diámetro

Las mediciones fueron realizadas a la planta seleccionada en cada cuadrante (la más cercana al centro del sitio). Las variables de interés fueron longitud de los internodos y diámetro del macollo de la candelilla.

La altura (cm) de la planta fue medida en altura mayor y menor. La mayor se midió desde la base hasta el ápice del tallo más alto, mientras que la altura menor fue medida desde la base de la planta hasta la punta del tallo de menor altura (de los tallos adultos). La altura media se obtuvo promediando la altura máxima y mínima.

De igual manera para la medición del diámetro del macollo, se midieron los diámetros mayor y menor. El diámetro mayor se midió sobreponiendo el flexómetro en la parte más ancha de la cobertura de la planta y el menor, sobreponiendo el flexómetro en la parte más angosta de la cobertura del ejemplar, se procedió en obtener el diámetro medio a través del promedio de los diámetros mayor y menor.

3.5. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos en campo fueron capturados en una hoja de cálculo Excel (Office Excel 2010) para mayor facilidad de manejo de la información al momento de la ordenación y procesamiento de los mismos.

3.6. Porcentaje de sobrevivencia

Para el cálculo del porcentaje de sobrevivencia, se dividió el número de plantas vivas entre las plantas totales (contadas entre vivas y muertas). Se utilizó la expresión matemática propuesta por Linares (2005).

$$\text{Sobrevivencia (\%)} = \frac{PV}{PV+PM} * 100$$

Dónde: PV= plantas vivas, PM= plantas muertas.

Para saber la categoría en la que se encuentra la sobrevivencia de la plantación, se usó la tabla propuesta por Centeno (1993) (Cuadro 5), en la que se describe si la sobrevivencia es malo, regular, bueno o muy bueno, de acuerdo a los porcentajes obtenidos mediante la ecuación de Linares (2005).

Cuadro 5. Categorías para la evaluación de sobrevivencia de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.).

Categoría	Sobrevivencia (%)
Muy Bueno	80-100
Bueno	60-79
Regular	40-59
Malo	<40

3.7. Análisis estadístico de sobrevivencia

Dada la distribución o acomodo de sitios se hicieron pruebas estadísticas de normalidad de datos de sobrevivencia (número de plantas vivas) con la prueba *W* de Shapiro-Wilk. Si la variable no mostrara normalidad, se aplica la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Posteriormente se agruparon los 40 sitios en dos bloques para comparar la sobrevivencia de la candelilla en dos zonas de altitud, dos tipos de suelo y dos tipos de vegetación; y así determinar la variable que mejor le favorece a la candelilla.

Para la agrupación de los bloques de acuerdo a la altitud se tomó en cuenta la curva de nivel 1590 msnm. Lo cual quedó como el primer bloque de 1560-1590 msnm (19 sitios) y el segundo bloque de 1590-1630 msnm (21 sitios). Así mismo, para los bloques de sobrevivencia de acuerdo al tipo de suelo, se tomaron los sitios ubicados en el suelo solonchak órtico como el bloque uno (15 sitios) y los que se ubican en el suelo litosol como el bloque dos (25 sitios), mientras que para el tipo de vegetación, los sitios ubicados en el matorral micrófilo fueron del bloque uno con seis sitios y en el bloque dos con 34 sitios del matorral rosetófilo.

3.8. Modelos de crecimiento

Se consideraron como variables dependientes (Y) la altura y diámetro en centímetros y como variable independiente el periodo de crecimiento (X), para generar diagramas de crecimiento; con la finalidad de conocer si existe alguna tendencia que muestre el crecimiento de la candelilla en cuanto a la altura media y diámetro medio en función del periodo de establecimiento de plantación.

El análisis de los datos se hizo mediante el programa SAS (Statistical Analysis System 9.0) con la herramienta PROC NLIN con el método DUD. En el cual se probaron ecuaciones de crecimiento del Cuadro 6.

Cuadro 6. Ecuaciones utilizadas para predecir el crecimiento de la plantación de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*).

Núm.	Nombre	Modelo
1	Schumacher	$Y=B_0 \exp(-B_1 E^{-1})$
2	Hossfeld IV	$Y=B_0(1+\exp(B_1)E^{-B_2})^{-1}$
3	Exponencial	$Y=B_0 \exp^{(B_1 E)}$
4	Parábola	$Y=B_0+B_1 E+B_2 E^2$

Y= Altura (cm), E= periodos de crecimiento de la plantación, exp= Función exponencial, B₀, B₁, B₂= Coeficientes de regresión.

Se calcularon los estadísticos: R^2_{Aj} , S_{xy} y CV. Para el cálculo de estos, se utilizaron las siguientes expresiones:

$$R^2_{Aj} = 1 - \left(\frac{CME}{CMT} \right)$$

$$S_{xy} = \sqrt{CME}$$

$$CV = \left(\frac{S_{xy}}{Y_{med}} \right) * 100$$

Dónde: R^2_{Aj} = coeficiente de determinación ajustado, S_{xy} = error estándar, CV= coeficiente de variación, CME= cuadrado medio del error, CMT= cuadrado medio del total y Y_{med} = media de los datos observados.

3.9. Elección del modelo de crecimiento

Con los resultados obtenidos en el análisis estadístico, las ecuaciones se ordenaron y se les asignó una calificación numérica.

Los criterios estadísticos que se consideraron para la elección del mejor modelo fueron: el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{Aj}) de mayor valor, el menor valor del error estándar (S_{xy}), el coeficiente de variación (C.V.) de menor valor y la significancia de predicción del modelo ($p < 0.05$).

3.10. Análisis de curvas de crecimiento

Una vez elegido el modelo de crecimiento que mejor ajustó en altura (cm) de la candelilla, se prosiguió a realizar un diagrama que representa el crecimiento de la plantación de candelilla, así mismo se generó el diagrama de dispersión de los residuales. De igual manera con el modelo elegido se hizo la proyección de crecimiento de la plantación a 10 periodos con la finalidad de ver el comportamiento del crecimiento en altura a otros cinco años.

Para el análisis del crecimiento en diámetro del macollo solamente se consideró analizar la estadística descriptiva, por contar solamente con datos de dos periodos evaluados, 2014 y 2018.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Supervivencia de la plantación de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc.

De acuerdo a la clasificación de Centeno (1993), el resultado obtenido en la primera evaluación (2014) se encuentra en la categoría *muy bueno* por presentar el 92.72 % de supervivencia, sin embargo, se observa la disminución de esta en el año 2018, posicionándose en la categoría *bueno* con un valor de 75.95 % de supervivencia (Cuadro 7).

Cuadro 7. Porcentajes de supervivencia total de candelilla de 40 sitios evaluados en los años 2014 y 2018.

Categoría	Rango (%)	Supervivencia (%)	
		2014	2018
Muy Bueno	80-100	92.72	
Bueno	60-79		75.95

Los 40 sitios evaluados en el 2014 presentan porcentajes de supervivencia alto, de acuerdo a la clasificación de Centeno (1993), 36 sitios se consideran con muy buena supervivencia con porcentajes de 80 a 100 % y solo cuatro de la categoría *bueno* (sitios 12, 22, 25 y 38 que van de 60 a 79 %), seguido por los sitios 38, 25 y 12 cuyos porcentajes de supervivencia son de 72.22, 76.92 y 78.95 %, siendo el sitio 22 el de más bajo porcentaje de supervivencia con 66.67 % (Cuadro 8).

Cuadro 8. Supervivencia de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. en el año 2014.

Supervivencia (%) 2014							
Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8
92.86	80	90.91	93.75	100	93.75	100	95.45
Sitio 9	Sitio 10	Sitio 11	Sitio 12	Sitio 13	Sitio 14	Sitio 15	Sitio 16
88.24	90.91	94.44	78.95	94.12	100	84.62	84.62
Sitio 17	Sitio 18	Sitio 19	Sitio 20	Sitio 21	Sitio 22	Sitio 23	Sitio 24
100	100	93.75	92.31	92.86	66.67	91.67	100
Sitio 25	Sitio 26	Sitio 27	Sitio 28	Sitio 29	Sitio 30	Sitio 31	Sitio 32
76.92	100	100	91.67	91.67	84.62	100	100
Sitio 33	Sitio 34	Sitio 35	Sitio 36	Sitio 37	Sitio 38	Sitio 39	Sitio 40
100	100	100	100	100	72.22	100	100

Sin embargo, en la evaluación 2018 se nota una disminución de supervivencia muy marcada en la mayoría de los sitios, en pocos se mantuvo el porcentaje de la evaluación del año 2014 (Cuadro 9).

En el Cuadro 9 se observan las supervivencias por sitio, de los 40 sitios muestreados en el 2018, 3 mostraron una supervivencia menor del 40 %, estos se posicionan en la categoría *malo* (sitios 5, 12 y 16) y cuatro sitios de supervivencia *regular* (sitios 1, 6, 9 y 15) los cuales presentan porcentajes de 40 a 59 % de supervivencia, 12 sitios de categoría *bueno* (3, 7, 8, 17, 18, 20, 21, 22, 24, 25, 35 y 38); el resto (21 sitios) presentaron muy buena supervivencia que se concentran en valores porcentuales del 80 al 100 %.

Cuadro 9. Supervivencia de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. en el año 2018.

Supervivencia (%) 2018							
Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8
92.31	41.18	62.50	92.31	20	54.55	73.91	77.78
Sitio 9	Sitio 10	Sitio 11	Sitio 12	Sitio 13	Sitio 14	Sitio 15	Sitio 16
56.25	90	84.62	22.22	84.62	80	53.85	20
Sitio 17	Sitio 18	Sitio 19	Sitio 20	Sitio 21	Sitio 22	Sitio 23	Sitio 24
62.5	78.57	85.71	66.67	60	60	91.67	78.57
Sitio 25	Sitio 26	Sitio 27	Sitio 28	Sitio 29	Sitio 30	Sitio 31	Sitio 32
66.67	100	88.89	84.62	83.33	84.62	100	83.33
Sitio 33	Sitio 34	Sitio 35	Sitio 36	Sitio 37	Sitio 38	Sitio 39	Sitio 40
100	84.62	76.92	100	100	72.22	90	100

La prueba de normalidad de datos w de Shapiro-Wilk indicó que los datos de supervivencia de candelilla no presentan distribución normal ($w = 0.97$, $p = 0.28$, $n = 40$), por lo que se prosiguió a realizar pruebas de Kruskal-Wallis.

Dado que la variable altitud originalmente no mostró una distribución normal en cuanto a los valores de supervivencia, aplicando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se reportan rangos medios de 16.7 (sitios de 1560-1590 msnm.) y 25.2 (sitios de 1590-1630 msnm.), ($F = 5.96$, $p = 0.0194$), indicando diferencias significativas en los bloques, con mayor supervivencia en los sitios de altitud 1590-1630 msnm. (media = 11.72 plantas) que en los sitios de 1560-1590 msnm (media = 8.50 plantas) (Figura 2). Estos resultados son parecidos a los de Bartolomé (2017), quien realizó un estudio de supervivencia de tres plantaciones de candelilla, obtuvo como resultado que las plantas que fueron establecidas en mayor altitud, presentaron mayor número de tallos con crecimiento apical, mayor número de rebrotes laterales y subterráneos, mientras que las plantas que fueron establecidas en altitudes bajas y en cuencas cerradas presentaron menor supervivencia.

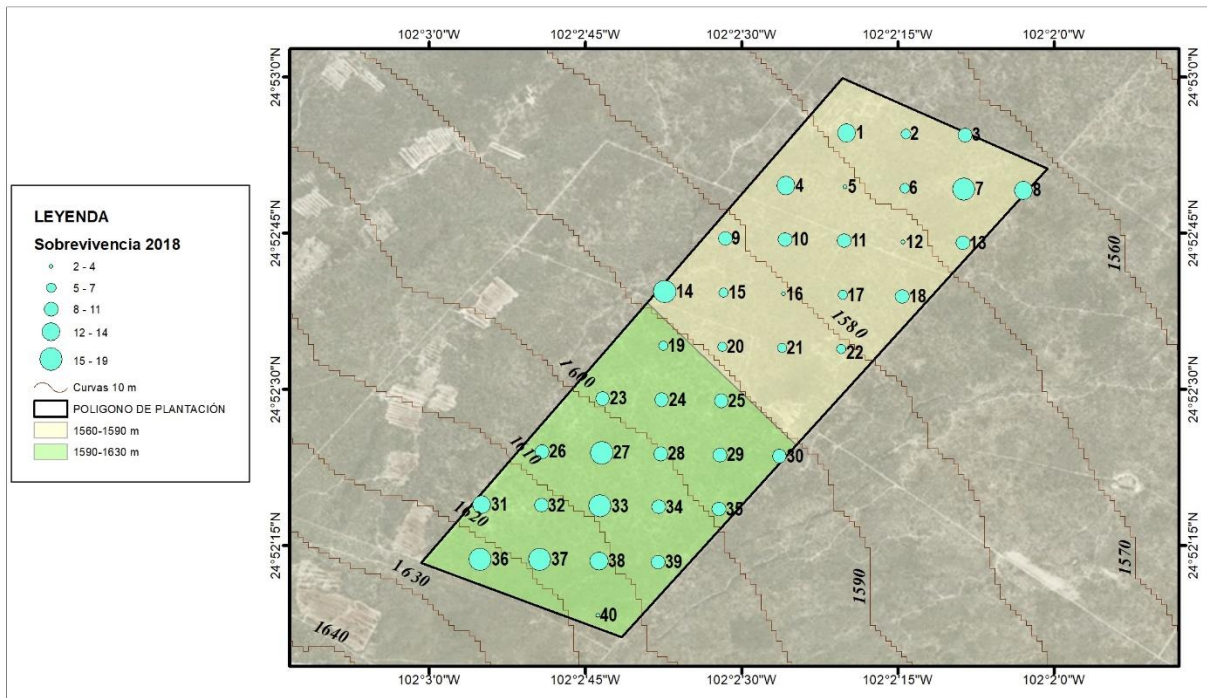


Figura 2. Datos de la sobrevivencia de *Euphorbia antisiphilitica* en dos bloques de altitud en la plantación en Mazapil, zacatecas.

No se encontraron diferencias significativas de sobrevivencia en los dos tipos de suelo ($F = 0.64$, $p = 0.43$) (Figura 3). El tipo de suelo solonchak en la parte norte de la parcela tiene la característica que contiene grandes cantidades de sales, mientras que en el sur de la plantación, es el suelo litosol (suelo muy somero, sobre roca continua y extremadamente gravillosos o pedregosos), las características descriptivas de los tipos de suelo encontrados favorecen el establecimiento de la planta de manera indistinta.

Cervantes (2005) realizó una investigación de la importancia económica de las plantas de zonas áridas, en la que indica que la candelilla se desarrolla mejor en suelos calizos y arenosos. De la Cruz y Medina (1991) afirman que la planta de candelilla se localiza en suelos calcáreos, de origen coluvial, profundidad somera, textura franco arenosa y estructura granular.

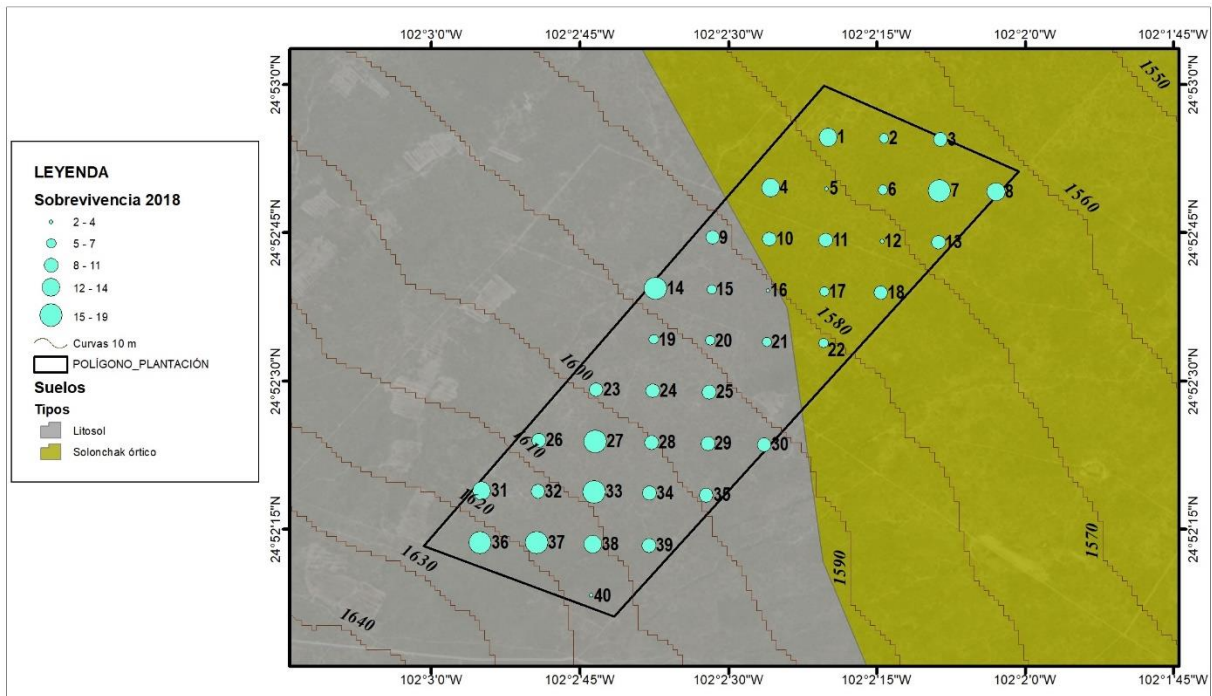


Figura 3. Sobrevivencia de la plantación de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en dos tipos el tipo de suelo en Mazapil, Zacatecas.

Mientras que en la prueba Kruskal-Wallis para la sobrevivencia en dos tipos de vegetación ($F = 1.88$, $p = 0.18$), se encontró diferencia significativa de los dos bloques con rangos medios de 26.4 del matorral micrófilo y 19.5 del matorral rosetófilo. Siendo mayor sobrevivencia de candelilla en el matorral micrófilo (media = 11.83) que en el matorral rosetófilo (media = 9.62) (Figura 4).

Flores *et al.* (2010) al realizar un inventario de poblaciones naturales de candelilla, encontraron que la especie mencionada se desarrolla en matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo, matorral crassicaule e izotales (*Yucca* spp.). De igual manera la CITES (2009) menciona que la candelilla forma parte del matorral micrófilo donde la especie más frecuente es la gobernadora (*Larrea tridentata* Cov.), así también se encuentra formando parte del matorral rosetófilo.

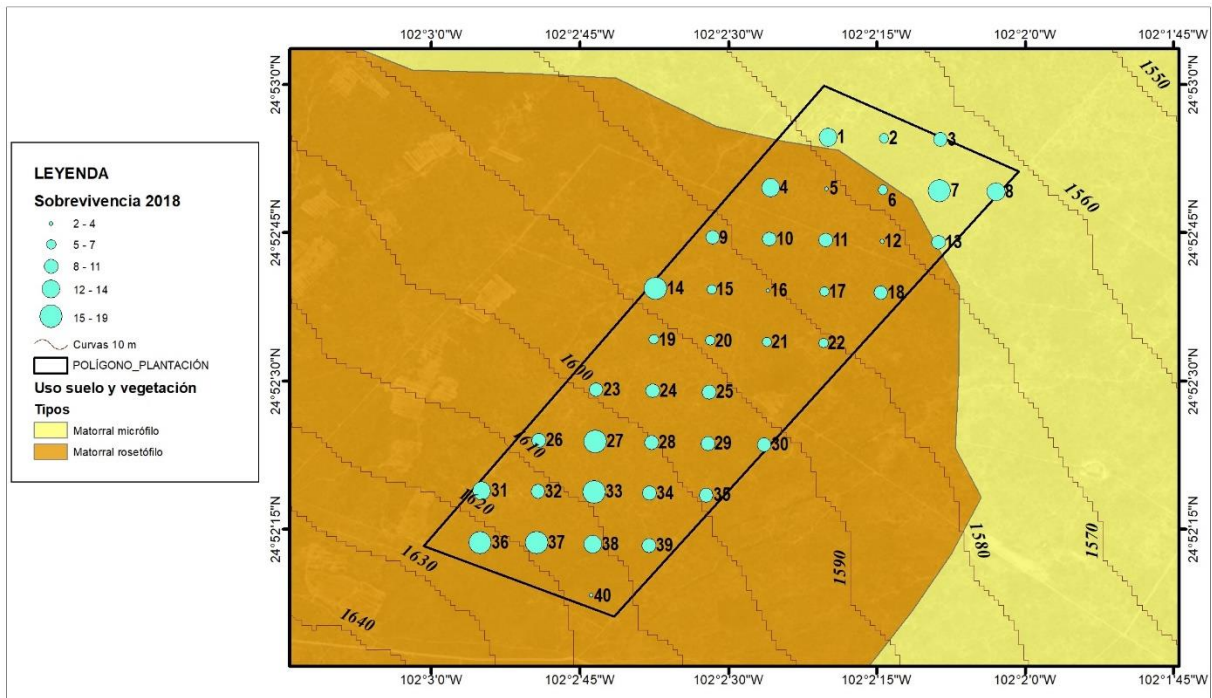


Figura 4. Sobrevivencia de la plantación de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en dos tipos de vegetación, en Mazapil, Zacatecas.

4.2. Crecimiento en altura

4.2.1. Estadística descriptiva de la variable altura

En los 40 sitios, las 107 plantas de *Euphorbia antisyphilitica* medidas en la plantación de candelilla en el ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas, presentan una altura máxima de 52 cm y una mínima de 8.50 cm, estos datos son obtenidos a partir de la evaluación en el año 2014, mientras que en el año 2018, la altura va de 22.20 a 85.45 cm. Los valores máximos, mínimos, promedios, desviación estándar, error estándar e intervalo de confianza de las variables evaluadas correspondientes a las dos evaluaciones se presentan en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Estadística descriptiva en altura de las plantas muestreadas de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en el ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. (n=107)					
Variable Altura (cm)					
Evaluación	Max	Med	Min	DE	EE
2014	52.00	26.55	8.50	7.80	0.75
2018	85.45	42.03	22.20	10.19	0.99

Max= máximo, Med= promedio, Min= mínimo, DE= desviación estándar, EE= error estándar.

4.2.2. Análisis de crecimiento en altura

Los cuatro modelos propuestos para la estimación de la altura de la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) presentan estadísticos muy similares, el modelo 3 (exponencial) es el que destacó por presentar un coeficiente de determinación más alto (0.938), y mínimos valores en cuanto al error estándar (9.048) y bajo valor del coeficiente de variación (25.981), sin embargo, este modelo fue descartado ya que al momento de proyectar la altura estimada a varios años, la curva seguía en aumento sin mostrar signos de límites de crecimiento. Por lo que se prosiguió a la selección del segundo mejor modelo basándose en las calificaciones asignadas, lo cual fue el modelo 1 (Schumacher) con una R^2_{Aj} de 0.934, el error estándar de 9.342 y el coeficiente de variación de 26.825 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Resultados estadísticos de los modelos evaluados para estimar crecimiento de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*).

Modelo	Ecuación	R^2_{aj}	S_{xy}	CV	Pr>F	Cal total
1	$Y=B_0 \exp(-B_1 E^{-1})$	0.934	9.342	26.825	< 0.0001	3
2	$Y=B_0(1+\exp(B_1) E^{-B_2})^{-1}$	0.933	9.414	27.031	< 0.0001	2
3	$Y=B_0 \exp^{(B_1 E)}$	0.938	9.048	25.981	< 0.0001	4
4	$Y=B_0+B_1 E+B_2 E^2$	0.210	9.351	25.989	< 0.0001	1

Y= altura (cm), E= Periodos de crecimiento, exp= función exponencial, B_0, B_1, B_2 = coeficientes de regresión, R^2_{Aj} = coeficiente de determinación ajustado, S_{xy} = error

estándar, CV= coeficiente de variación, Pr>F= significancia del modelo. En negritas es el modelo seleccionado.

El modelo seleccionado para la estimación de crecimiento de *Euphorbia antisiphilitica* queda de la siguiente manera:

$$Y = 42.3005 * \exp(-0.4438 * PC^{-1})$$

Dónde: $B_0 = 42.3005$, $B_1 = 0.4438$, PC = Periodos de crecimiento.

En la Figura 5 se observan de forma gráfica los valores observados y estimados por el modelo elegido.

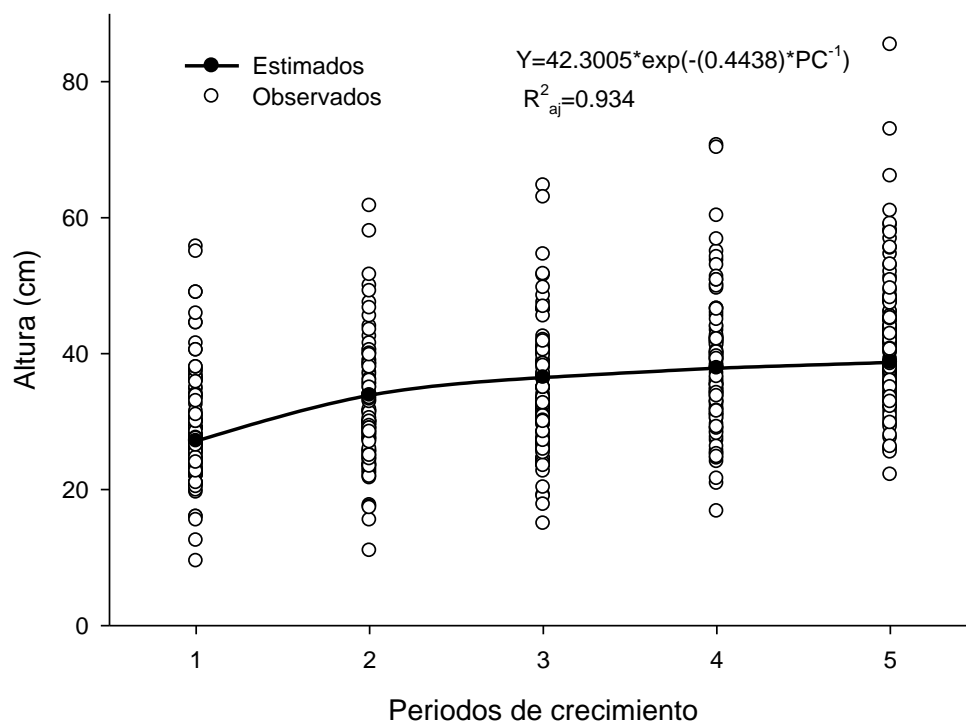


Figura 5. Comportamiento de los datos, entre valores observados (cm) y estimados (cm) con el modelo Schumacher.

Hernández *et al.* (s/f) realizaron un estudio relacionado con crecimiento de tres especies de pinos empleando modelos de ajuste y mencionan que el modelo Schumacher fue el que presentó mejor ajuste en el crecimiento de la altura de las tres especies. González (2000) realizó un trabajo de crecimiento e incremento de *Pinus*

estevezii (Mtz) Perry en el que menciona que el modelo Schumacher es uno de los modelos que presentaron mejor ajuste.

Elías (2015) enlista diversos modelos de mejor ajuste en altura, donde demuestra que varios autores consideran que el modelo Schumacher presenta mejor ajuste en los estudios de crecimiento.

Rodríguez (2018), en un estudio de rendimiento de aceite de *Lippia graveolens* Kunth encontró residuales con distribución uniforme que van de -0.4 y 0.4 ml. De igual manera, Montalvo (2018) en la elaboración de una tabla de rendimiento de biomasa y rendimiento de hoja seca de *Lippia graveolens* Kunth obtuvo residuales uniformes de -3 a 3.

La ecuación seleccionada es confiable para la estimación de crecimiento de la candelilla, ya que la distribución de los residuales presenta homocedasticidad, esto es distribución uniforme lo que significa que la sobrestimación y la subestimación están balanceadas por presentar valores de -20 a 20 (Figura 6).

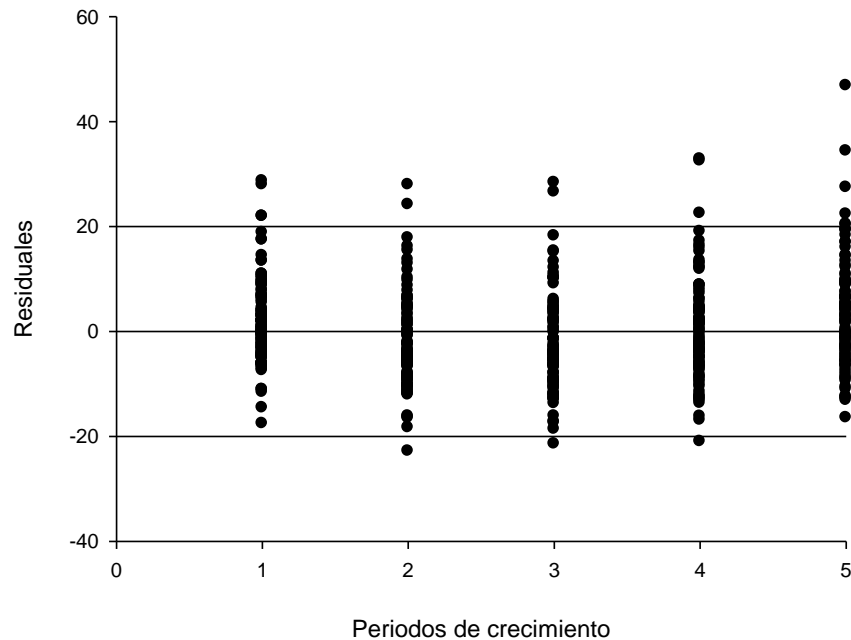


Figura 6. Comportamiento de los residuales a partir de los datos observados y estimados por el modelo Schumacher.

De acuerdo a la Figura 7, la plantación de *Euphorbia antisiphilitica* alcanzó una altura de 27.14 cm en el primer periodo y 33.88 cm acumulados hasta el segundo, la curva presenta una pendiente muy pronunciada en los primeros dos periodos, a partir del tercero, la curva comienza a tomar una pendiente gradual alcanzando una altura de 40.46 cm a los 10 periodos.

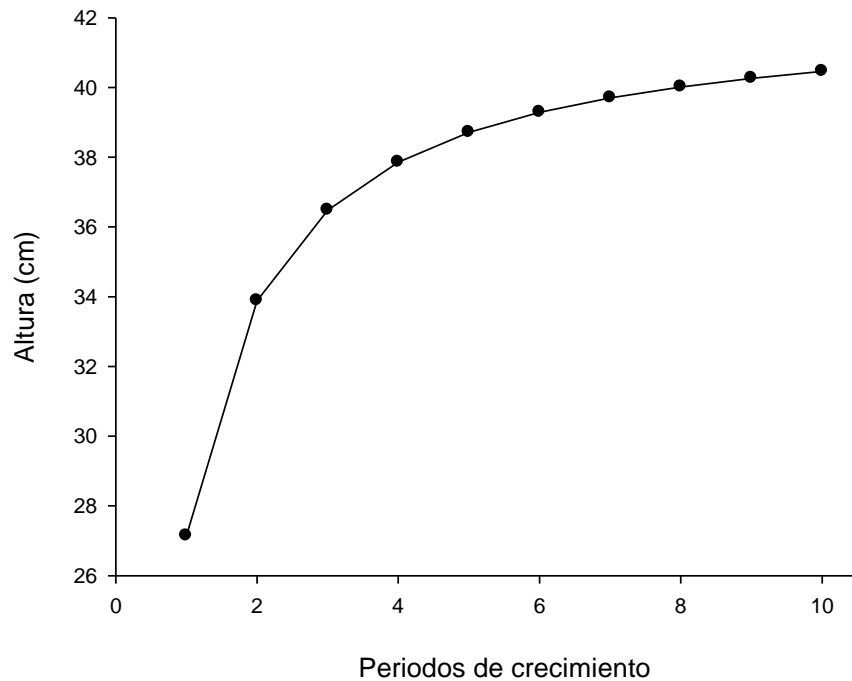


Figura 7. Proyección de la altura de candelilla a 10 periodos de crecimiento de la plantación de candelilla por el modelo Schumacher.

La curva de crecimiento obtenido no presenta la forma de “S” alargada o sigmoideal como lo mencionan Imaña y Encinas (2008). En este caso la curva de crecimiento solo presenta un punto de inflexión. López (2009) realizó un estudio de crecimiento de *Picea mexicana* Martínez y obtuvo curvas de crecimiento que tampoco llegan a adquirir la forma de “S”.

4.2.3. Madurez de cosecha en altura

De acuerdo al modelo de predicción, la plantación de candelilla, a partir del segundo periodo identifica la madurez de cosecha en altura de 33.88 cm (Figura 7), altura que rebasa el mínimo de la madurez de cosecha considerada por la NOM-018-

SEMARNAT-1999 la que establece que para el aprovechamiento de dicha especie es de 30 cm de altura como mínimo (DOF, 2003).

4.3. Crecimiento en diámetro del macollo

4.3.1. Estadística descriptiva de la variable diámetro

En cuanto al diámetro, presenta un máximo de 47 cm y un mínimo de 3.0 cm de la evaluación 2014, mientras que en el 2018 los diámetros oscilan entre los 5.50 a 46 cm. Los diámetros medios de las dos evaluaciones (2014 y 2018) presentan 17.33 y 18.50 cm. respectivamente, indican una diferencia de 1.17 cm. en estos dos periodos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Estadística descriptiva en diámetro de las plantas muestreadas de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en el ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. (n=107)					
Variable Diámetro (cm)					
Evaluación	Max	Med	Min	DE	EE
2014	47.00	17.33	3.00	7.13	0.69
2018	46.00	18.50	5.50	7.80	0.75

Max= máximo, Med= promedio, Min= mínimo, DE= desviación estándar, EE= error estándar.

4.3.2. Crecimiento en diámetro

Se considera que el bajo crecimiento en diámetro del macollo de la plantación de candelilla (1.17 cm.), es causado por las temperaturas bajas, que provocaron la muerte en las plantas de los tallos renuevos, quedando vivos solamente los tallos céntricos de los macollos. Según el reporte de Televisa (2017), en los últimos días del mes de noviembre del año 2017, el estado de Zacatecas presentó temperaturas 8 °C bajo cero.

4.3.3. Madurez de cosecha en diámetro

La plantación no ha alcanzado el diámetro mínimo requerido para ser aprovechado, diámetro de 25 cm para la madurez de cosecha, como lo especifica la NOM-018-SEMARNAT-1999 (DOF, 2003).

V. CONCLUSIONES

La sobrevivencia de la plantación de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), al periodo evaluado (2018) presentó *buena* sobrevivencia; siendo mayor la sobrevivencia en sitios con altitudes altas y en vegetación de matorral micrófilo.

Mediante el modelo Schumacher fue posible estimar el crecimiento en altura de la plantación de candelilla.

La madurez de cosecha en altura de la plantación de candelilla se identificó a partir del segundo periodo de establecimiento de la plantación, mientras que para el diámetro del macollo aún no se ha alcanzado el tamaño de 25 cm considerado por la NOM-018-SEMARNAT-1999.

VI. RECOMENDACIONES

Evaluar la plantación de candelilla cada año para determinar su desarrollo en altura y diámetro del macollo.

Obtener muestras de plantas con todo y raíz en trabajos afines para evaluar las técnicas y condiciones en las que se plantaron las plantas.

Establecer sitios permanentes de monitoreo para identificar madurez de cosecha mediante la estimación de crecimiento en altura y diámetro.

VII. LITERATURA CITADA

- Alemán V., R. 2001. Evaluación de la calidad de sitio para cuatro especies de pino en el P. P. Sierra del Nayar, Municipio de Durango. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Escuela de ciencias forestales. Durango, Dgo. México. 80 p.
- Avery T., E. y Burkhart, H. E. 2002. Forest Measurements. Fifth edition. Mc Graw Hill Series in Forest Resources. Mc Graw Hill. 456 p.
- Bartolomé H. H. A. 2017. Sobrevivencia en tres plantaciones de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en diferentes condiciones en el noreste de Coahuila. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 61 p.
- Beltrán E. 1964. Zonas áridas del centro y noreste de México y el aprovechamiento de sus recursos. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México. 38 p.
- Berlanga R., C. A., L. A. González L., y H. Franco L. 1992. Metodología para evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales. Folleto técnico No. 1. SARH-INIFAP-CIRNE. Campo experimental "La sauceda", Saltillo, Coahuila. 22 p.
- Cabello, A. C. J., A. Sáenz G., L. Barajas B., C. Pérez B., C. Ávila O., J. A. Valdés G. 2013. Cera de Candelilla y sus aplicaciones. Avances en Química. 8: 105-110 p.
- Canales, E., Canales V. y Zamarrón E. M. 2006. Candelilla, del desierto mexicano hacia el mundo. Biodiversitas 69: 15. 5 p.
- Canal D. N. 2008. Distribuciones de probabilidad. El teorema central del límite. Revista SEDEN. España. 8 (8): 107-120.
- Cano P., A., C. A. Berlanga R., D. Castillo Q., O. U. Martínez B., y A. Zarate L. 2005. Análisis dimensional y tablas de producción de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) para el estado de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Campo experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 18. Coahuila, México. 24 p.

- Castro G. M., G. Olivares, S. Ruelas G., A. López B., R. Espinoza Z. y R. Castro A. 1983. Uso actual y potencial de los recursos genéticos de las zonas áridas, Recursos agrícolas de zonas áridas de México. Colegio de Posgraduados, Chapingo, Estado de México. p. 130.
- Centeno, M. 1993. Inventario Nacional de Plantaciones Forestales en Nicaragua. Trabajo diploma. Ingeniería Forestal. Managua, Nicaragua. UNA. P. 79.
- Cervantes R, M. C. 2005. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. *In*. Plantas productoras de cera. pp 125-142.
- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional). 1972a. Carta topográfica. G13D59. Escala 1:50 000. México.
- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional). 1972b. Carta geológica. G13D59. CAOPAS. Escala 1:50 000. México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2008. Taller Nacional sobre “Conservación, uso y comercio de la Candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*)”. Comunicado de prensa Núm. 11. Celebrado en Saltillo Coahuila, 17 de diciembre 2008. p. 3.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, H. G. Briester and R. L. Bailey. 1983. Timber Management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, Inc. New York, N. Y. USA. 333 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2001. Plan Estratégico Forestal para México 2025. México. 142 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2012. Metodología para realizar y presentar los informes de sobrevivencia inicial (ISI) de las plantaciones forestales comerciales. 20 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2015. Le apuestan productores a las plantaciones forestales comerciales. Boletín informativo estatal 40. Rio Grande, Zacatecas. 22 de mayo de 2015. 2 p.

- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2016. Destaca Zacatecas a nivel nacional por plantaciones comerciales. Consultado el 27 de febrero de 2019. Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/prensa/destaca-zacatecas-a-nivel-nacional-por-plantaciones-comerciales?idiom=es>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2017. Plantaciones Forestales Comerciales. Consultado el 22 de febrero de 2019. Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/plantaciones-forestales-comerciales-27940>.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2018. Plantaciones Forestales Comerciales. Consultado el 22 de febrero de 2019. Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/videos/plantaciones-forestales-comerciales>.
- CONAZA (Comisión Nacional de Zonas Áridas). 2014. Programas de SAGARPA a cargo de CONAZA. 18 p.
- CITES (Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres). 2009. Evaluación del estatus de *Euphorbia antispyhilitica* en México dentro de los apéndices de la cites. Decimoctava reunión del Comité de Flora. Buenos Aires, Argentina. 17-21 de marzo de 2009. 13 p.
- Corral R., S. 2004. Epidometría. Instituto Tecnológico Forestal. No.1. DGETA. SEP. El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México. 113 p.
- Corral R. S., Návar C. J. de J. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. Artículo de investigación. Madera y Bosques 11 (1), 2005: 29-47 p.
- Cox. G. W. 1972. Laboratory Manual of General Ecology. Second edition USA.
- Dávila A., H. 1981. Métodos de reproducción de candelilla (*Euphorbia antispyhilitica*). Memoria. Primera reunión nacional sobre ecología, manejo y domesticación de las plantas útiles del desierto. Instituto Nacional de Investigación Forestal. Publicación Especial No. 31. Monterrey, N. L. México.

- De la Cruz C., J. A. y J. G. Medina T. 1991. La candelilla. Folleto informativo. Productividad Rural. Gobierno del Estado de Coahuila. Secretaria de Desarrollo Rural.
- De la Garza F. E. y Berlanga, R.C.A. 1993. Metodología para la evaluación y manejo de Candelilla en condiciones naturales. Folleto Técnico No. 5, SARH; INIFAP; CIRNE; C.E. "La Sauceda". Saltillo, Coah., Méx. 46 p.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2003. 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. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, Distrito Federal. 5 p.
- Elías R., J. L. A. 2015. Curvas de crecimiento e incremento de cuatro pináceas en el norte de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 83 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1999. Productos forestales no maderables. (Disponible en <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/005/y1997s/y1997s11.pdf>).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000. Estado de la información forestal en México. (Disponible en http://www.fao.org/docrep/006/AD398S/AD398s11.htm#P9019_400417).
- Flores, C. E. 1941. La candelilla (*Euphorbia cerifera* Alc.). Primer Congreso Forestal. México, D. F.
- Flores, del A. Ma. de la L, R. Foroughbakhch P., M. A. Alvarado V., J. L. Hernández P., M. A. Guzmán L. y M. L. Cárdenas Á. 2010. Inventario de poblaciones naturales de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) en el estado de Coahuila, México. In: Memoria del VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. Hermosillo, Son. México. pp. 528-541.

- Flores, del A, M. de la L. 2013. Situación actual de las poblaciones de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.): Inventario, su propagación sexual y asexual en el estado de Coahuila, México. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de la Garza, Nuevo León. 134 p.
- García H, E. J., S. De Jesús. Méndez G. y D. Talavera M. 2010. El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Publica y nutrición*. 5:109-129.
- González Z., M. 2000. Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry y su relación con características ambientales al sur de Nuevo León. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo Coahuila, México. 91 p.
- Hernández L., I., C. Flores L, E. H. Cornejo O. y S. Valencia M. s/f. Crecimiento de tres especies de pino en una plantación establecida en Santiago Comaltepec, Ixtlan, Oaxaca. Pp. 404-410.
- Imaña E., José y O. Encinas B. 2008. *Epidometría Forestal*. Brasilia: Universidad de Brasilia, Departamento de Ingeniería Forestal. Mérida: Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 1ª Edición. 72 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2005. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, Escala 1:250 000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Subcuencas Hidrológicas de México. Escala 1:50 000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2011. Diccionario de datos geológicos. Escala 1:50 000.
- Instituto de la Candelilla (IC). 2013. *Planta de Candelilla*. (Disponible en http://www.candelilla.org/?page_id=528&lang=es).
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS). 2003. Sección III. Del aprovechamiento de los recursos forestales no maderables. 41-43 p.

- Linares, E. 2005. Instructivo para determinar la supervivencia en plantaciones forestales (Instrucción Técnica No. 6). MINAG. 1-94 p.
- López G., J. Pérez, C. Kleinn. 2001. SAS: Aplicaciones en el campo agropecuario y de los recursos naturales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 153 p.
- López, L. D. 2009. Crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en las poblaciones naturales de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 68 p.
- Maldonado A, L. J. 1983. La investigación en candelilla. Segunda reunión nacional sobre ecología, manejo y domesticación de las plantas útiles del desierto. Subsecretaría forestal. INIF. México. pp. 11-14.
- Marroquín D., J. S., G. Borja L., R Velásquez C. y J. A. De la Cruz C. 1981. Estudio Ecológico Dasonómico de las Zonas Áridas del Norte de México. Publicación especial No. 2. INIF. México.
- Martínez S. M. 2013. Ecología y uso de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México. Instituto Nacional de Investigaciones forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D.F. Núm. 05.
- Mostacedo, B. y T. S. Frederickson. 2000. Manual de métodos básicos de muestro y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia. 92 p.
- Montalvo, A. L. 2018. Tabla de predicción de biomasa y rendimiento de hoja seca de *Lippia graveolens* Kunth, en Melchor Ocampo, Zacatecas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 50 p.
- MULTICERAS. 2010. Conservación, aprovechamiento y comercialización. Foro temático de candelilla. Junio 2010. 13 p.
- Nieto, R. R. 1987. La candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) implicaciones sobre su domesticación y mejoramiento genético. Monografía. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 106 p.

- Peng, C. 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecol. Manag.* 132:259-279.
- Ramírez, L. A. G. 2015. Tablas de predicción de biomasa y rendimiento de cera para *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en Mazapíl, Zacatecas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 69 p.
- Rodríguez, M., A. 2018. Rendimiento de aceite de *Lippia graveolens* Kunth, en Melchor Ocampo, Zacatecas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 53 p.
- Rojas, M. R., S. Saucedo P., M. A. De León Z., D. Jasso C. y C. N. Aguilar. 2011. Pasado, presente y futuro de la candelilla. *Rev. Mex. Ciencia. Forestal.* Vol. 2(6): 7-18.
- Rojas-Molina, R., M.A. De León-Zapata, S. Saucedo-Pompa, M.A. Aguilar-González and C.N. Aguilar. 2013. Chemical and structural characterization of Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), *Journal of Medicinal Plants Research* Vol. 7(12): 702-705.
- Rzedowski, J. 1980. Vegetación de México. Primera edición. LIMUSA. México, D.F. 59 p.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano). 2017. Panorama Minero del Estado de Zacatecas. (Disponible en: <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/ZACATECAS.pdf> 58 p.)
- Tejeda, G. C., M. C. Zamora-Martínez y L. Sánchez R. 1998. Recursos forestales no maderables, situación actual y perspectivas. In: Memorias Reunión de la Comisión Forestal para América del Norte, Mérida, Yuc. México. Junio, 1998. pp. 35-49.
- Televisa. 2017. Zacatecas registra el día más frío de la temporada y heladas. Consultado el 10 de mayo de 2019. Disponible en: <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/zacatecas-registra-dia-mas-frio-temporada-y-heladas/>

- Vanclay, J.K. 1995. Modelling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests. CABInternational, Reino Unido. 312 p.
- Vargas-Larreta, B., J. Corral-Rivas, O. Aguirre-Calderon y J. Nagel. 2010. Modelos de crecimiento de árbol individual: Aplicación del Simulador BWINPro7. Madera y Bosques 16 (4). 81-104.
- Villa, S. A. B. 1981. Investigación sobre candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en el área del CIFNE. Ciencia Forestal. 6 (32): 3-18.
- Villa, C. M.; Catalán V, E.; Inzunza I, M. y Rmán L, A. 2010. Foro temático de candelilla. Técnicas de producción de plantas de candelilla por semilla, estacas e hijuelos. INIFAP. 17 p.
- Villa-Castorena M., E. A. Catalán-Valencia, M. A. Inzunza-Ibarra, M. de L. González-López, J. G. Arreola-Ávila. 2010. Producción de plántulas de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) mediante estacas. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 16 (1):37-47.
- Villareal Q, J. A. 2006. Introducción a la Botánica forestal. Editorial Trillas. 3ra ed. México pp.101-102.
- 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. FAO. Santiago de Chile. 120 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. Folleto Técnico Núm. 12. CENID-COMEF, INIFAP. México, D.F. México. 64 p.
- Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. Forest. Science. 39(3): 594-616.