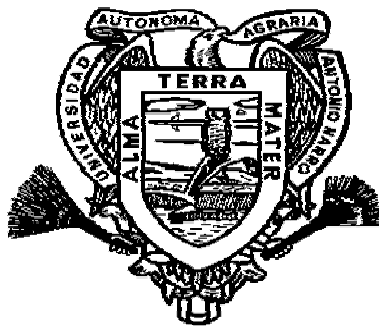


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA DE CANDELILLA (*Euphorbia
antisyphilitica* Zucc.) POR HIJUELOS: DOSIS DE
FERTILIZACIÓN Y APLICACIÓN DE RIEGOS**

POR:

BENJAMÍN LÓPEZ CORTÉS

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2007

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA DE CANDELILLA (*Euphorbia
antisyphilitica* Zucc.) POR HIJUELOS: DOSIS DE
FERTILIZACIÓN Y APLICACIÓN DE RIEGOS**

**POR
BENJAMÍN LÓPEZ CORTÉS**

**TESIS, que se somete a consideración del comité asesor, como requisito
parcial para obtener el título de
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

ASESOR PRINCIPAL:

M. C. ABEL ROMÁN LÓPEZ

ASESOR:

Ph D. ERNESTO ALONSO CATALÁN VALENCIA

ASESOR:

Ph D. MA. MAGDALENA VILLA CASTORENA

ASESOR:

M. C. FEDERICO VEGA SOTELO

**M. E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2007

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**TESIS QUE PRESENTA EL C. BENJAMÍN LÓPEZ CORTÉS Y QUE SE
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR

**PRESIDENTE DEL JURADO: _____
M. C. ABEL ROMÁN LÓPEZ**

**VOCAL: _____
Ph D. ERNESTO A. CATALÁN VALENCIA**

**VOCAL: _____
M. C. FEDERICO VEGA SOTELO**

**VOCAL SUPLENTE: _____
Ph D. MA. MAGDALENA VILLA CASTORENA**

**_____
M. E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2007

DEDICATORIAS

A DIOS: por permitirme vivir y llegar en este momento, por ser mi refugio y mi fuerza ante todos los problemas, sobre todo por darme las fuerzas necesarias para terminar mi carrera que hoy se convierte en realidad.

A MIS PADRES: Miguel López Gómez y Josefa Cortés Febronio, por el gran apoyo y confianza que han depositado en mí, ya que estoy finalizando una etapa más de mi vida y muchas gracias por el esfuerzo que han realizado durante toda mi vida.

A MIS HERMANOS: Felipa, Rafael y en especial a Rosa por el gran apoyo que me ha brindado durante toda mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

A mi ALMA TERRA MATER:

Por abrirme las puertas, porque en ella me fue posible la terminación de mi carrera, ya que en ella aprendí muchas cosas para poder demostrar afuera.

AL CENID-RASPA:

Por haberme permitido usar sus instalaciones, equipos y materiales, con la ayuda del personal que ahí labora, especialmente a la Biol. María de Lourdes González López y al Lic. Jaime Valdez Amaya.

A mi asesor principal:

Ph D. Ernesto Alonso Catalán Valencia, por haber sido mi principal guía durante la realización de la tesis y por el tiempo e interés que le dedicó a este trabajo para que terminara satisfactoriamente.

Al Ph D. Ma. Magdalena Villa Castorena, por su apoyo e importante ayuda que recibí de ella en la realización del presente trabajo.

Al M. C. Abel Román López, por el gran apoyo que recibí de él, durante la realización de este trabajo, y por haber sido mi maestro.

Al M. C. Federico Vega Sotelo, por haber sido mi maestro y por el gran apoyo que recibí de él durante mi carrera profesional.

A mis profesores:

M. C. Carlos Efrén Ramírez Contreras, Ph D. Vicente de Paúl Álvarez Reyna, M. C. Jorge Luís Villalobos Romero, M. C. Ernesto Luna Dávila, por los conocimientos y consejos que me brindaron durante mi estancia en esta universidad y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en mi formación personal.

Al departamento de Riego y Drenaje:

Porque fue una parte muy importante durante mi etapa de estudiante y gracias a todas las personas que forman parte de este departamento.

A mis compañeros universitarios:

Rosibel, Orlando, Pedro, Guillermo, Abraham, Martín, Ramiro, Paola, Ildelfonso, Argeo Noe, Marco Antonio y Amín Oscar, por el compañerismo y la amistad que recibí de ellos incondicionalmente, y por sus consejos para enfrentar los retos.

A mis amigos:

Orlando, Rosibel, Pedro, Humberto, Esteban Oviedo y Oscar Isai, que me brindaron apoyo incondicional y con quienes pase muchos ratos de alegría y tristeza.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

El presente trabajo de investigación se realizó en su totalidad en las instalaciones del Centro de Investigación Disciplinaria en Relación Agua – Suelo – Planta – Atmósfera (CENID – RASPA), del Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), de Gómez Palacio, Durango, bajo la dirección y asesoría del Ph. D. Ernesto Alonso Catalán Valencia. Forma parte del proyecto “Técnicas para la producción de plántula de candelilla para reforestar áreas naturales y su establecimiento en campo para cultivo” financiado por el fondo sectorial CONAFOR-CONACYT (Clave:14764).

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO.....	3
III. META.....	3
IV. HIPÓTESIS.....	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
5.1. Características de la Comarca Lagunera.....	4
5.1.1. Hidrología.....	4
5.1.2. Geomorfología.....	4
5.2. Actividad forestal.....	5
5.3. Importancia de la candelilla en la Comarca Lagunera.....	5
5.4. Descripción de la planta.....	5
5.5. Clasificación y descripción botánica.....	6
5.5.1. Raíz.....	7
5.5.2. Tallo.....	7
5.5.3. Hojas.....	7
5.5.4. Flor.....	8
5.5.5. Fruto.....	8
5.5.6. Semilla.....	8
5.5.7. Lacticíferos.....	9
5.6. Condiciones edafoclimáticas que requiere la candelilla.....	9
5.6.1. Hábitat.....	9
5.6.2. Precipitación.....	9
5.6.3. Temperatura.....	10

	Página
5.6.4. Suelos.....	10
5.6.5. Flora.....	11
5.6.6. Altitud.....	11
5.7. Propagación.....	11
5.7.1. Forma asexual.....	12
5.7.2. Forma sexual.....	12
5.8. Plagas y enfermedades.....	13
5.9. Riego.....	14
5.10. Fertilización.....	14
5.11. Usos de la cera de candelilla.....	15
5.12. Industrialización.....	17
5.13. Comercialización.....	19
VI. MATERIALES Y METÓDOS.....	22
6.1. Ubicación del sitio experimental	22
6.2. Material y equipo utilizado.....	22
6.3. Obtención del material vegetativo.....	23
6.4. Selección de hijuelos.....	23
6.5. Preparación del sustrato.....	23
6.6. Características físico-químicas del sustrato.....	23
6.7. Características químicas del agua de riego.....	26
6.8. Llenado de macetas y plantación de hijuelos.....	26
6.9. Factores de estudio.....	27
6.10. Diseño experimental.....	28
6.11. Variables evaluadas.....	29
6.12. Aplicación de los riegos.....	29
6.13. Análisis de resultados.....	29
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
7.1. Número de brotes.....	30
7.2. Longitud de brotes.....	31
7.3. Longitud de raíces.....	33

	Página
VIII. CONCLUSIONES.....	35
IX. LITERATURA CITADA.....	36

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 5.1	Superficies ocupadas por plantas de candelilla en la Comarca Lagunera.....	6
Cuadro 5.2	Especies asociadas con la candelilla.....	11
Cuadro 6.1	Principales características físico químicas del sustrato.....	24
Cuadro 6.2	Análisis químico del agua de riego.....	26
Cuadro 6.3	Tratamientos de riego.....	27
Cuadro 6.4	Tratamientos de fertilización ensayados.....	28
Cuadro 7.1	Análisis de varianza del número de brotes por muestreo.....	30
Cuadro 7.2	Análisis de varianza de la longitud de brotes por muestreo.....	31
Cuadro 7.3	Longitud de brotes promedio en centímetros por tratamiento y muestreo.....	32
Cuadro 7.4	Comparación de medias por tratamiento para la variable longitud de brotes en el cuarto muestreo (110 ddp [†]).....	33
Cuadro 7.5	Análisis de varianza de la longitud de raíces por muestreo.....	34
Cuadro 7.6	Longitud de raíces promedio por tratamiento de riego en el tercer muestreo (57 ddp [†]).....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 6.1 Función de retención de humedad del sustrato.....	25
Figura 6.2 Distribución de los tratamientos en el invernadero.....	28

RESUMEN

La producción de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) es una actividad que representa una importante fuente de ingresos para los habitantes de las comunidades marginales de las zonas semidesérticas del norte de México. La explotación no planeada de candelilla ha ocasionado una disminución drástica y progresiva de la población de esta especie, especialmente en las zonas aledañas a las comunidades candelilleras. Esta situación amenaza la permanencia de la especie, la sostenibilidad y sustentabilidad del sistema de producción y promueve la migración de la población hacia zonas urbanas. El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes tratamientos de riego y fertilización para la producción de plántulas de candelilla por medio de hijuelos. El estudio se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel con cubierta de plástico y ventilación natural del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID RASPA) del INIFAP. Se usó un diseño experimental de bloques al azar con nueve repeticiones y un arreglo de tratamientos factorial 3X3. El material vegetativo se obtuvo del valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila y se utilizó una mezcla de turba y arena de río como sustrato, con el cual se llenaron bolsas de plástico color negro de 6 L de capacidad. En ellas se plantaron hijuelos previamente seleccionados, de buen aspecto y de 15 cm de longitud. Se evaluaron tres tratamientos de riego: húmedo, intermedio y seco consistentes en regar cada 4, 9 y 26 días en promedio. También se evaluaron tres tratamientos de fertilización: alto, intermedio y bajo, a partir de diferentes dosis de nitrógeno, fósforo, potasio y algunos micro elementos agregados de manera complementaria al agua de riego. Los tratamientos intermedios y altos de riego y fertilización fueron los que produjeron la mayor longitud de brotes nuevos. Ambos se diferenciaron del tratamiento de riego bajo o seco y del tratamiento control de fertilización respectivamente.

I. INTRODUCCIÓN

Gran parte de la superficie del territorio nacional es ocupada por zonas áridas y semiáridas. Éstas últimas ocupan más de la mitad de la superficie total cubriendo principalmente el área comprendida entre la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Occidental. Se localizan en los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Zacatecas y Durango.

Entre las especies de las regiones áridas y semiáridas de América que se aprovechan para la extracción de cera destacan la palma carnauba (*Copernicia cerífera*) y la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). La palma carnauba, originaria de Brasil, es la más importante desde el punto de vista económico, siguiéndole en orden de importancia la candelilla que es nativa del norte de México.

La cera de candelilla tiene en el país y en el extranjero un gran número de aplicaciones industriales y de uso doméstico que han aumentado en los últimos años. Entre estas aplicaciones se tiene la fabricación de velas, pinturas, recubrimientos para frutos de exportación, revestimientos aisladores, goma de mascar, grasas para calzado, productos para pulir y abrillantar automóviles, muebles, pisos de madera y mosaico.

El interés por la cera de candelilla ha provocado la explotación de este producto por parte de los habitantes de las zonas áridas y semiáridas de nuestro país. Esta actividad beneficia alrededor de 260 ejidos y 8,500 campesinos de los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Zacatecas, con una producción anual superior a las 3,000 toneladas de cerote, lo que significa que se destruyen aproximadamente 150,000 toneladas al año de candelilla. También produce una cantidad importante de divisas como los \$3'600,000 dólares que se obtuvieron por exportación de cera de candelilla en el año 1993 (FAO, 2007).

La explotación sin control de la planta de candelilla ha ocasionado una disminución drástica y progresiva de la población de esta especie, especialmente en las zonas aledañas a las comunidades candelilleras. En consecuencia, el productor de cera tiene que recorrer cada vez mayores distancias para encontrar planta de candelilla, lo cual disminuye la producción

de cera e incrementa los costos de producción. Esta situación amenaza la permanencia de la especie, la sostenibilidad y sustentabilidad del sistema de producción y promueve la migración de la población hacia zonas urbanas.

En respuesta a lo anterior, las instituciones encargadas de la preservación y cuidado ambiental se han interesado en apoyar proyectos encaminados a disminuir la deforestación causada por la sobreexplotación de candelilla. El presente trabajo forma parte de un proyecto financiado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el cual tiene como propósito el desarrollo de tecnología para producir planta de candelilla para reforestar zonas sobre explotadas.

El presente estudio se centra en el manejo de la nutrición y el riego durante la reproducción asexual de plantas de candelilla debido a la poca investigación realizada y escasa información existente en relación con estas prácticas. Aún cuando las necesidades hídricas de la candelilla son pocas, el riego es importante durante las primeras etapas del desarrollo de la planta para inducir un mayor crecimiento vegetativo (Nieto, 1987). Algo similar ocurre con la aplicación de fertilizantes, pues existen evidencias de que la aplicación simultánea de nitrógeno y fósforo promueve mayor absorción del fósforo y crecimiento de raíz durante el desarrollo inicial de las plantas (Miller, 1971).

II. OBJETIVO

Evaluar diferentes tratamientos de riego y fertilización para la producción de plántulas de candelilla por medio de hijuelos.

III. META

Determinar el mejor tratamiento de riego y fertilización que produzca plántulas de candelilla vigorosas y sanas que puedan utilizarse en la reforestación de áreas degradadas.

IV. HIPÓTESIS

Con un manejo adecuado del riego y la fertilización es posible producir plántulas de candelilla de calidad.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Características de la Comarca Lagunera

5.1.1. Hidrología

La Comarca Lagunera se encuentra situada en la planicie donde convergen los ríos Nazas y Aguanaval. Incluye parte de los estados de Durango (10 municipios) y Coahuila (5 municipios), abarcando una extensión de 4.8 Millones de ha, comprendidas entre los meridianos 101° 41' y 104° Longitud Oeste y los paralelos 24° 59' y 26 ° 53' de latitud Norte (Monasterio,1992).

El río Nazas está formado en su parte alta por los ríos Sixtín y Ramos, éste último formado a su vez por los ríos Santiago y Tepehuanes. El río Nazas inicia en el estado de Durango, hacia su desembocadura en la laguna de Mayrán en el estado de Coahuila. Sus principales afluentes en su parte media son los arroyos San Juan, Cuencamé y Naycha. A lo largo del mismo se encuentran las presas “Lázaro Cárdenas” (con capacidad de almacenamiento de agua de 4'437,378 metros cúbicos) y Francisco Zarco (con capacidad de 438,000 metros cúbicos) (Loyer, *et al.*, 1993).

5.1.2. Geomorfología

El territorio de la Comarca Lagunera se compone de dos grandes conjuntos: uno que es su planicie central (bolsón), con altitudes de 1,050 a 1,320 metros sobre el nivel del mar (msnm), y otro montañoso que rodea la llanura como un anillo orográfico, con altitudes máximas de 3,120 msnm. Este último actúa como un aislante natural respecto a los vientos y a las lluvias provenientes de ambos litorales, lo que propicia la existencia de un clima tipo desértico con escasa humedad atmosférica, precipitación pluvial promedio de 200 a 300 mm anuales y temperaturas medias anuales en 21° C, (Esparza, 1992).

Según Cornet (1988) y Sarmiento (1992) citados por (Monasterio, 1992) la precipitación se concentra durante el verano (mayo a octubre) y, como corresponde a todas las zonas áridas, presenta grandes oscilaciones interanuales, con un año de cada 3 muy seco. El período libre de heladas se extiende en promedio entre comienzos de abril y fines de octubre, configurando

una estación cálida, sin heladas, pero muy seca en abril y mayo, antes del comienzo de la época lluviosa. Luego viene una estación cálida con lluvias, seguida por un invierno seco y frío. En síntesis es un clima árido, con las pocas lluvias concentradas en seis meses cálidos, con tormentas de relativa intensidad.

5.2. Actividad forestal

El área que se considera de vocación forestal (no maderable) y de recursos forrajeros naturales se estima en 4'429,816 ha, lo que representa el 92% de la superficie total de la Comarca (SARH, 1991). Dicha área es el hábitat de especies características del desierto chihuahuense, que son aprovechadas por un número considerable de campesinos de las comunidades con menor potencial agrícola y pecuario, los que tratan de complementar sus requerimientos e ingresos económicos con el aprovechamiento de la gran biodiversidad que el desierto contiene.

Se estima que la superficie en la cual se realizan actualmente los aprovechamientos de los recursos forestales, es de 3'186,322 ha, quedando las áreas más inaccesibles de las serranías todavía sin explotar. Las especies que se explotan por orden de importancia económica son: candelilla, orégano, mezquite, lechuguilla, sotol y la palma samandoca, de las cuales se benefician 1,943 familias (SARH, 1991).

5.3. Importancia de la candelilla en la Comarca Lagunera.

En el Cuadro 5.1 se muestran las superficies ocupadas por plantas de candelilla en los municipios de la Comarca Lagunera.

5.4. Descripción de la planta

La candelilla es una planta perenne cuyo nombre significa “pequeña vela” por la apariencia de sus tallos. Estos son múltiples, densamente agrupados, erguidos y de color verde grisáceo que miden de 30 a 60 cm de largo y 0.1 a 1.0 cm de diámetro. Una planta puede agrupar más de 100 tallos, dando lugar a arbustos de 90 cm de diámetro aproximadamente (Instituto de la candelilla, 2007).

Cuadro 5.1. Superficies ocupadas por plantas de candelilla en la Comarca Lagunera.

Municipios	Superficie (ha)
Torreón	194,770
Matamoros	100,370
San Pedro de las Colonias	994,240
Francisco I. Madero	493,390
Viesca	420,350
Municipios de Coahuila	2'203,120
Rodeo	185,490
Nazas	241,280
Gómez Palacio	99,000
Lerdo	186,880
Mapimí	712,670
Tlahualilo	370,890
San Juan de Guadalupe	234,310
Simón Bolívar	299,800
San Luis del Cordero	54,390
San Pedro del Gallo	200,830
Municipios de Durango	2'585,630

Fuente: SARH (1991)

Como el cactus desértico, la candelilla pertenece al grupo de los tallos suculentos sin follaje, cuyas hojas pequeñas se ven solamente por un corto período de tiempo durante el desarrollo nuevo de sus extremidades. La palidez del color verde de sus tallos es causada por una capa de cera que protege a la planta de la pérdida de humedad y que es el producto de interés comercial. La cubierta blanda es más grande en los meses secos de invierno (Dávila, 1981).

5.5. Clasificación y descripción botánica

La candelilla se clasifica de la siguiente manera (National Plant Data Center, 2000):

Reino: *Plantae*

Subreino: *Tracheobionta*

División: *Magnoliophyta (Angiospermae)*

Clase: *Magnoliopsida (Dicotiledoneae)*

Subclase: *Rosidae*

Orden: *Euphorbiales*

Familia: *Euphorbiaceae*

Género: *Euphorbia*

Especie: *Euphorbia antisiphilitica*

5.5.1. Raíz

Presenta gran cantidad de raicillas adventicias, dando el aspecto de una cabellera en una planta adulta. Las raicillas son muy delgadas, bastante largas y nacen por grupos en diferentes partes del rizoma; ocasionalmente nacen aisladas y se ramifican poco después de su nacimiento (Ortega, 1981).

La raíz es típicamente tuberosa, de consistencia fibrosa y de color café rojizo (García, 1988). Su tamaño varía desde unos cuantos milímetros hasta medio metro. Además presenta rizomas que varían en tamaño y cantidad, de acuerdo con la macolla y el ecotipo (De la Cruz y Medina, 1991).

5.5.2 Tallo

La planta de candelilla es un arbusto de 20 a 100 cm de altura con el tallo principal subterráneo y procumbente, cilíndrico y grueso, generalmente más oscuro que el resto de la planta, con gran cantidad de raicillas adventicias que nacen por grupos en diferentes partes; aunque poseen tallos más delgados, numerosos, solitarios y erectos que se dirigen hacia arriba y emergen, presentando el aspecto de varas de color verde glauco debido a la capa de cera que las cubre y que de tramo en tramo presentan nudosidades y ramificación simpódica. Los renuevos son de color verde pálido con tintes rojizos en algunos tramos, mientras que las varas adultas presentan un color verde más oscuro (Francisco y de la Vega, 1992).

5.5.3. Hojas

Las hojas caen muy pronto y pocas veces son vistas; son lineares, rígidas y recurvadas de 10 mm de longitud. Las hojas del extremo distal del tallo son de color verde, por lo general dos o tres hojas. El resto presentan un tinte rojizo que comienza en el ápice y continúa en los bordes avanzando hacia el centro del limbo. En renuevos se presentan coloraciones rojizas en todas las hojas, inclusive las más jóvenes (Ortega, 1981).

Las hojas son pequeñas con pubescencias de color blanco y consistencia carnosa; el limbo es de forma entre lanceolada y lineal, con nervaduras no visibles. La base axilar de la hoja presenta una prominencia color rojo, a la cual se le denomina yema floral. Las hojas son poco visibles y en plantas adultas ausentes ya que permanecen solo de 15 a 20 días en la planta (García, 1988).

5.5.4. Flor

La inflorescencia de la candelilla es comúnmente una espiga de cabezuelas con flores unisexuales dentro de una estructura en forma de copa llamado ciato, la cual contiene aproximadamente de 45 a 47 flores masculinas con un solo estambre y una flor femenina en el centro (Francisco y de la Vega, 1992).

La inflorescencia no siempre forma una espiga, sino que en ocasiones salen los ciatos de un mismo punto. Es pequeña, de 5 mm de diámetro y pedúnculo corto. En su base presenta dos brácteas agudas de tonalidad siempre más oscura que los pétalos y en posición opuesta. En la base de su corola dialipétala se encuentran cada una de los cinco pétalos que la conforman. En el centro de la flor se encuentran unas glándulas hemisféricas de coloración oscura (De la Cruz y Medina, 1991).

5.5.5. Fruto

El fruto es una cápsula de dos a cuatro lóculos, generalmente trilocular, de 5 a 6 mm de diámetro con un pedicelo de 10 mm de longitud y dehiscencia explosiva. Al madurar se torna color café, de tonalidades variables (De la Cruz y Medina, 1991). Cuando los óvulos han completado su desarrollo y se transforman en semillas, la cápsula estalla arrojando a éstas en torno de la planta (García, 1988; Ortega, 1981).

5.5.6. Semilla

Las semillas son rugosas, de color café claro y con tres o cuatro ángulos. Se encuentran colocadas dentro de sus lóculos con la carúncula hacia abajo, la cual es una estructura de color blanquecino ubicada en el extremo más delgado de la semilla. En su cara interna, la semilla presenta profundos

surcos que dejan entre sí laminillas de una sustancia blanquecina; y en su borde, una escotadura bastante profunda (Robles, 1985). Se ha calculado que un kilogramo de semillas contiene alrededor de 272,000 semillas entre buenas y vanas, con un 90% de buenas aproximadamente, aunque su recolección es muy difícil debido a su fenología y tamaño (Ortega, 1981).

5.5.7. Lacticíferos

Se encuentran en la región del periciclo, en la endodermis y en la corteza media del tallo, así como entre los haces liberianos, siendo más abundantes en la región del periciclo y en los espacios que hay entre dichos haces. Estos lacticíferos son de los llamados articulados, anastomados y ramificados. Por su interior circula un látex pegajoso de color blanco que se coagula con el aire (Ortega, 1981).

5.6. Condiciones edafoclimáticas que requiere la candelilla

5.6.1. Hábitat

La candelilla se encuentra en el desierto chihuahuense extendiéndose desde el estado de Hidalgo hasta el norte de Coahuila y en el oeste de Chihuahua, incluyendo el área adyacente “Big Bend” en el oeste de Texas. El promedio de lluvias de esta formación desértica abarca de 20 a 500 mm por año. La candelilla no ocupa todos los sitios ecológicos en el desierto ya que se desarrolla mejor sobre declives donde el desagüe es bueno, por lo cual rara vez se establece en valles hondos o en suelos arcillosos de tierras bajas en el desierto (Dávila, 1981).

5.6.2 Precipitación

Nieto (1987) menciona que la estación lluviosa en las zonas áridas de México ocurre principalmente en los meses de mayo a octubre. Aunque se tiene también algo de precipitación en el invierno debido a la influencia de los vientos llamados “Nortes”, sin dejar de ser una estación seca (diciembre a marzo). Flores (1941) afirma que la precipitación pluvial en las regiones áridas apenas alcanza los 400 mm anuales en algunos lugares, en cambio en otros se han observado períodos secos de hasta 3 a 4 años. Las áreas candelilleras se

encuentran ubicadas dentro de las isoyetas de 200 a 300 mm anuales. Por su parte, Beltrán (1964) afirma que la candelilla crece bien en regiones con precipitación de 200 a 400 mm anuales.

5.6.3. Temperatura

La ocurrencia de temperaturas extremas es común en las zonas áridas donde se desarrolla la candelilla. Según Esquivel (1979), la temperatura varía de -10 a 48 °C en estas zonas, con una media anual de 12 a 18 °C. Se presentan un promedio de 30 a 45 heladas desde octubre hasta abril, siendo más frecuentes durante los meses de diciembre y enero.

García (1939) menciona que la candelilla se desarrolla dentro del clima tipo estepario con isotermas extremas de 8 y 44 °C , y entre las isoyetas de 250 y 500 mm. En algunas zonas se desarrolla también en clima desértico caliente tipo sahariano con temperatura más extremosa que la de tipo estepario y entre las isoyetas de 50 y 250 mm. Según Flores (1941), el clima tipo sahariano donde se desarrolla la candelilla se localiza entre las zonas de los “Bolsones”, al este de Coahuila, oeste de Chihuahua y norte de Durango y Zacatecas.

Andrade (1958) indica que en la zona candelillera predomina el clima tipo Bw, Bs según la clasificación de W. Kooppen. Es un clima seco desértico con vegetación xerófita o carente de vegetación. Robles (1985) afirma que el clima donde se desarrolla la candelilla es de lo más desfavorable para cualquier otro cultivo.

5.6.4. Suelos

La 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). Por su parte, Marroquín *et al.* (1981) especifica profundidades del suelo que varían de 5 a 50 cm, contenidos de arena entre 15 y 60 %, limo entre 0 y 20 %, arcilla entre 15 y 30 %, así como piedra y grava entre 15 y 60 %. Por su textura, dominan los suelos migajones arenosos, migajones arcillo-arenosos, migajones limosos, arcillosos y francos. El pH varía de 7.4 a 8.4; la materia orgánica y el nitrógeno total en los primeros 20 cm de profundidad varían de 0.9 a 11 % y de 0.1 a 0.7 % respectivamente.

Los suelos calizos y ricos en potasa favorecen el desarrollo del follaje aunque reducen la producción de cera.

5.6.5. Flora

La planta de candelilla crece generalmente con especies tipo xerófitas, propias de las zonas áridas y aparentemente no forman masas de tamaño considerable (Marroquín *et al.*, 1981). Se asocia con un sinnúmero de plantas entre las que destacan las mostradas en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.2. Especies asociadas con la candelilla.

Nombre común	Nombre científico
Lechuguilla	<i>Agave lecheguilla</i>
Guapilla	<i>Agave falcata</i>
Maguey áspero	<i>Agave aperrina</i>
Guapilla china	<i>Hechita spp.</i>
Gobernadora	<i>Larrea tridentata</i>
Maguey cenizo	<i>Opuntia ecabra</i>
Sangre de grado	<i>Jatropha spatulatha</i>
Escalerilla	<i>Viguiera stenoloba</i>

5.6.6. 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) cita que la planta de candelilla se localiza en alturas que varían de 460 a 2,400 msnm.

5.7 Propagación

La planta puede reproducirse asexualmente por brotes de sus tallos aéreos y por semillas. Otra forma de reproducción es por medio del tallo subterráneo o rizoma, el cual consta de un tallo principal, grueso y de color café oscuro del que nacen una gran cantidad de raicillas adventicias. Del tallo principal nacen también otros tallos subterráneos sobre los cuales se ven las yemas que formarán los nuevos tallos aéreos (Nieto, 1987). La regeneración bajo corte tarda de dos a tres años (Francisco y De la Vega, 1992).

5.7.1. Forma asexual

Flores (1941) opina que la reproducción vegetativa de candelilla es una gran defensa contra una posible extinción de esta especie, aunque este medio de propagación no es seguro ni absoluto. Esta facultad la pierde irremisiblemente cuando a la cepa se le arrancan todos sus tallos. Además de la acción del hombre, la candelilla tiene que enfrentar el reto de la falta de agua por períodos de tiempo de hasta varios años.

De la Cruz (1958) señala que la reproducción de candelilla posiblemente sería más eficiente con el establecimiento de plantíos de clones seleccionados reproducidos vegetativamente. Menciona que puede recurrirse a la siembra directa de candelilla, pero que este método resulta laborioso y requiere demasiado tiempo para lograr tallos ceríferos. Aunque señala que no debe descartarse totalmente la propagación por semilla dado que por este método podrían estudiarse, experimentalmente y con más detalle, las características de la planta.

De la Cruz (1958) afirma que probablemente en el aspecto de propagación y cultivo de candelilla haya aún mucho que estudiar y experimentar y esto requiere, sin duda, de experimentos bajo una metodología formal. Garza y Alder (1979) trabajaron en un proyecto de recuperación y propagación de plantas de candelilla, en el cual se aplicaron técnicas de micro propagación y se seleccionaron medios de cultivo y enraizamiento.

5.7.2 Forma sexual

García (1939) menciona que la reproducción de planta por semilla es difícil debido a la escasa cantidad de semillas que produce y a lo difícil que resulta la recolección de ésta. No obstante lo anterior, es importante mencionar que en su estado natural, una gran cantidad de plantas proceden de la germinación de la semilla, y agrega que aprovechando las exigencias tan ínfimas que tiene esta planta, seguramente se obtendría una propagación por tallos y raíces muy abundante. De Rafols (1964) explica que las plantas pueden reproducirse lo mismo con semillas que a partir de rizomas. La reproducción por semillas es muy difícil puesto que la recolección de ellas ofrece dificultades debido a que las vainas se rompen cuando están maduras, perdiéndose la semilla.

5.8. Plagas y enfermedades

Se menciona que la candelilla no presenta problemas de plagas de importancia, sin embargo existen algunas especies que la atacan sin causar daño considerable.

Conzatti y Smith (1981) encontraron una planta parásita llamada *Clistogranunica palmeri* sobre la candelilla. La planta parásita presenta las características siguientes: tallos muy delgados, flores en umbellas solitarias o en fascículos paucifloros; pedunculillos tan largos como sus flores; cáliz de la mitad de la longitud del tubo del corolinio; corola blanca, persistente, de lóbulos lanceolados, tan largos como su tubo; escamas floríferas muy cortas, deltoideas y franjeadas; píxide globular y muy pequeña. Vive sobre plantas del género *Euphorbia* en los alrededores de la Bahía de los Ángeles de Baja California.

García (1939) menciona que existen varios insectos que depositan sus huevecillos en los tallos tiernos de la planta, y sus larvas, al penetrar al interior, destruyen la yema terminal de éstos. Esto causa nudosidades en los tallos de la planta atacada, los cuales mueren y no vuelven a retoñar hasta la primavera siguiente.

De la Cruz (1958) afirma que las principales plagas encontradas en el estado de Coahuila son las siguientes:

- 1.- Escama no identificada perteneciente, posiblemente por sus características, al género *Phenocapsis*, de color blanco sucio, con la cabeza amarillenta; el insecto adulto es de color tinto y se le encontró en tres fases: huevo, ninfa y adulto.
- 2.- Díptero de la familia Cecidomyidae cuya larva es de color blanco cristalino al nacer, cambiando a color anaranjado fuerte a medida que crece. Cuando los tallos son atacados por el díptero se forman agallas y dejan de crecer, pero en la parte de abajo del mismo sale uno nuevo que más tarde llegará a su tamaño normal
- 3.- También se encontró una araña roja que, aparentemente, es un parásito de las escamas.

Espinoza (1962) informa que investigadores del ITESM encontraron larvas de insectos himenópteros en las agallas o cápsulas que pertenecen a la familia Cynipidae, misma que se relaciona con las formaciones de agallas. Por

su parte, Robles (1985) menciona que existen varios insectos que ovipositan en el interior de los tallos de la candelilla donde se desarrollan sus larvas, las cuales, algunas veces, llegan a destruir la yema terminal, originando nudosidades con apariencia de una cápsula. En cuanto a enfermedades, Espinoza (1962) describe ensanchamientos aplanados y retorcidos en las partes terminales de los tallos de tejidos caulinares, ignorándose la causa de tales formaciones, aunque se tiene la sospecha de que se trata de un virus.

5.9. Riego

Nieto (1987) indica que la candelilla no requiere grandes cantidades de agua para su supervivencia. Hablando de términos técnicos, se puede afirmar que la aplicación de riegos en etapas tempranas del desarrollo de la planta podría considerarse como una ayuda, pero al mismo tiempo, como un inconveniente. Esto último debido a que la planta tiende a retrasar el desarrollo de su película de cera que la protege contra la deshidratación, con lo cual se acelerará el desarrollo vegetativo pero se reducirá la cantidad del producto a obtener. Sin embargo, al igual que en otra especie del desierto ya domesticada como el guayule, el riego temprano podría inducir mayor crecimiento vegetativo en los primeros dos años para que al tercer año, mediante castigos de agua, propiciar la producción de cera durante el invierno y la sequía, aprovechando la gran cantidad de tallos producidos.

5.10. Fertilización

Nieto (1987) menciona que toda especie tiende a llevar un mejor desarrollo general con las aplicaciones de suplementos nutritivos, en este caso, es de analizar el punto de que la candelilla produce su cera por medio de células ubicadas en la epidermis de la planta, así pues, probablemente con la ayudada de fertilizantes, ayudaremos a la planta a una mejor y mayor producción de cera.

Mehrotra y Ansari (1992) estudiaron el efecto de la aplicación de micronutrientes sobre la producción de cera, biomasa y extracto biocrudo de candelilla cultivada en suelos arenosos en las llanuras de las tierras altas de Gomti (India). La mejor respuesta la obtuvieron con el tratamiento de Zn + Mn + Cu el cual incrementó la biomasa en un 40% y la concentración de cera y

extractos de acetona en 232 y 83% respectivamente. Ellos auguraron un gran futuro para la candelilla a nivel mundial por ser uno de los “petrocultivos”, de los cuales pueden obtenerse combustibles.

Al estudiar el efecto del nitrógeno (N) sobre la absorción del fósforo (P), Miller (1971) indica que la absorción de P es mayor cuando el nitrógeno se aplica en forma de NH_4^+ junto con fertilizantes fosforados aplicándolos en banda, obteniéndose los siguientes efectos: (a) incremento en el crecimiento de la raíz; (b) incremento en la capacidad fisiológica de la raíz para absorber fósforo, debido probablemente a una implicación de intermediarios de nitrógeno sobre los procesos de absorción; (c) alteración del pH en la interfase raíz – suelo debido a la mayor absorción de aniones que de cationes y la consecuente liberación de iones H^+ . El último mecanismo es probablemente responsable de la absorción incrementada del fósforo con la adición de NH_4^+ en las primeras etapas del crecimiento. El mayor crecimiento de la raíz y su mayor capacidad fisiológica para absorber fósforo pueden ser importantes alrededor de la primera semana del crecimiento.

5.11. Usos de la cera de candelilla

Andrade (1958) menciona que del grupo de las ceras vegetales, la de candelilla ocupa los primeros lugares, solamente superada por la cera de la palma de carnauba (*Cospernicia cerífera*) originaria del este de Brasil, con la cual se mezcla para mejorar sus propiedades y de la que se derivan múltiples usos industriales. El grado estándar de la cera de candelilla, por su color ámbar claro, tiene preferencia en la fabricación de artículos terminados que requieren colores suaves.

Si se desea, la cera de candelilla puede utilizarse como un agente blanqueador, por lo que se adapta especialmente para obtener mezclas incoloras como las utilizadas en la industria de los cosméticos. Como no es tóxica y además tiene un olor ligeramente agradable, se utiliza en pastillas de chicle y dulce, a las cuales les imparte además la correcta resistencia a la temperatura ambiental, sin ser incompatible con otros ingredientes (Nieto, 1987).

Lacshminarayana (1975) llevó a cabo un estudio comparativo entre la cera de candelilla y otras ceras comerciales para evaluar su eficiencia para

proteger frutos durante su almacenamiento y transporte. Se evaluó la protección contra pérdidas de peso, deterioro físico, alteraciones de la composición química y propiedades organolépticas en cítricos (lima, limón, naranja y uvas) obteniéndose resultados satisfactorios y recomendables en todas y cada una de las especies probadas.

Esquivel (1979) informa que los múltiples usos de la cera de candelilla se fundamentan en sus características físicas como repelencia al agua, dureza, punto de fusión y estabilidad ante muchos agentes químicos. Izaguirre (1985) citado por Nieto (1987), destaca la magnífica repelencia al agua, por lo que se utiliza en la preservación de productos metálicos y maquinaria; se usa además para recubrir equipos de campaña, lona, etc. Sus propiedades dieléctricas la hacen deseable para utilizarla junto con otras sustancias en forros de hule, cables eléctricos y algunos aparatos de radio; su fluidez en estado líquido permite aprovecharla en la elaboración de chicles.

Aprovechando la particularidad de proporcionar lustre y brillo mediante frotamiento, la cera de candelilla se usa en grasas para calzado, para pulir pisos de madera y mosaico y para sacar brillo a muebles, objetos de madera, automóviles y otros utensilios, así como para glaseado y acabado de papel. Interviene también en la fabricación de pinturas, facilitando el secado rápido. Por su repelencia al agua, se le usa en la fabricación de telas impermeables, envolturas para proteger mercancía y en la impermeabilización de varios tipos de recipientes (Mathus *et al.*, 1981).

Otros usos son la fabricación de tintas para imprenta, papel carbón y diversos artefactos eléctricos. En gran escala se le usa para endurecer ceras de menor punto de fusión y como sustituto de otras ceras de origen animal y vegetal. Se utiliza también para cubrir moldes, facilitando la extracción de las piezas sujetas a moldeo, así como en la elaboración de loza, materiales lubricantes, pieles y cueros. En la industria bélica se le ha dado usos múltiples como cubrir explosivos, impregnar máscaras antigás y proteger revestimientos de tela de los aeroplanos (Mathus *et al.*, 1981).

Mathus *et al.* (1981) indica que en México, los usos principales de la cera de candelilla son los siguientes:

a) Fabricación de ceras para pisos, aprovechándose sus propiedades de impermeabilización y brillo.

- b) Mezclada con parafina y estearina, en la elaboración de velas y veladoras, en proporción de 1 a 5 por ciento, proporcionando a estos productos mayor dureza para facilitar su uso en climas cálidos.
- c) Fabricación de cerillos y cirios, en sustitución de cera de abeja en una proporción de 10%.
- d) Elaboración de goma y chicle de mascar, interviniendo en algunos casos hasta en un 5%, a fin de evitar que el chicle se adhiera a las encías.
- e) Aislamiento de cables eléctricos, para lo cual se mezcla la cera con caucho gutapercha.

Se aprovecha la cera de candelilla en la fabricación de barnices de color, pues una vez evaporados los disolventes, queda una superficie brillante, constituida por una ligera capa de cera que le sirve de protección.

5.12. Industrialización

En un estudio realizado por investigadores del Centro de Investigación en Química Aplicada CIQA (1979) citado por (Nieto, 1987) se comprueba que el N-hexano es un solvente excelente para extraer la cera de la planta de candelilla. También se describe el proceso para obtener la cera, mismo que cubre las etapas de extracción, sedimentación y refinación descritas enseguida:

a) **Extracción.**- Esta etapa se lleva a cabo en un recipiente rectangular de acero llamado (paila) de un volumen aproximado de 600 litros, instalado al nivel del suelo y con un horno rústico acondicionado en su base. Primero se vierten 500 litros de agua en la paila y se calienta con fuego directo; una vez que la temperatura del agua alcance los 96 °C (aproximadamente en una hora) se acomodan dentro de la paila 200 kilogramos de candelilla. Luego se espera hasta que la temperatura se recupere a 96° C, pues ésta disminuye con la adición de la hierba. Posteriormente, se agregan 1.09 litros (2 kilogramos) de ácido sulfúrico concentrado y se cierran las parrillas que trae consigo la paila en su borde superior. Estas sirven para comprimir las plantas y facilitar la extracción de la cera, la cual inmediatamente flota en la superficie de la solución en forma de una espuma de color grisáceo llamado cerote. Enseguida se retira la cera con una cuchara o espumadera de lámina perforada que facilita el escurrimiento del agua y se transfiere a otro recipiente metálico llamado espumador, cuyo objetivo es recolectar la cera extraída durante el día.

El espumador tiene un orificio en la parte inferior que permite el filtrado de agua que aún queda en el cerote. La paila se continúa calentando hasta que ya no aparezca nada de espuma en la superficie del líquido. Finalmente se saca de la paila la candelilla que ya ha sido tratada y se coloca al sol, ya que una vez seca servirá como combustible para el proceso. Al evento de extracción hasta aquí descrito se le llama una pailada y dura una hora aproximadamente.

Una vez terminado el procedimiento anterior se coloca una nueva carga de candelilla y se repone el agua perdida por evaporación, así como la que se transfirió al tanque espumador junto con la cera, más la que arrastra consigo la candelilla ya procesada. Después de varias pailadas (5 a 10) se acumulan en el fondo de la paila una gran cantidad de impurezas consistentes principalmente de tierra, arena, tallos, etc., que deben retirarse. El agua contenida en la paila se sigue usando hasta que el contenido de impurezas es intolerable, lo cual sucede después de 30 pailadas, luego se desecha el agua, se limpia la paila y se vuelve a llenar con agua nueva.

b) **Sedimentación.**— El propósito de esta etapa es reducir considerablemente el contenido de impurezas de la cera obtenida durante todo el día. La sedimentación se lleva a cabo en un tanque cilíndrico llamado cortador en el cual se vacía la cera contenida en el espumador y que contiene también, además de las impurezas, agua acidulada proveniente de la etapa de extracción. Se le agrega también una pequeña cantidad de agua adicional y se calienta la mezcla hasta una temperatura de 96° C usando bagazo seco de candelilla como combustible.

Una vez terminada la operación anterior, la mezcla se deja reposar durante toda la noche para permitir que las impurezas se sedimenten en el fondo del cortador. Al enfriarse el sistema, la cera se solidifica y flota en la superficie del agua. El bloque de cera obtenido contiene en la parte inferior una capa de tierra, la cual se desprende fácilmente raspándola. Posteriormente se tritura el bloque de cera en pedazos más pequeños que se colocan en costales de ixtle para trasportarlos a la planta refinadora donde recibirán un último tratamiento de purificación.

c) **Refinación.**— El propósito de la refinación es eliminar todas las impurezas del cerote y darle el color amarillento característico de la cera. El

proceso se lleva a cabo en refinerías como la de Saltillo, en donde se concentra toda la producción de cerote de los ejidos candelilleros.

Mathus *et al.* (1981) menciona que la refinación se realiza en recipientes metálicos rectangulares de 5.5 toneladas de capacidad, de los cuales se tienen tres instalados en el fideicomiso para el fondo candelillero y que permiten una producción diaria de 16.5 toneladas de cera refinada. En tales recipientes se funde el cerote a una temperatura de más de 100° C para eliminar el agua residual. También se agrega un poco de ácido sulfúrico y se deja en reposo la mezcla para que las impurezas se precipiten al fondo cóncavo del recipiente. Luego se vacía la cera líquida a través de cedazos de 60 mallas por pulgada logrando una pureza casi total, pues la cera refinada, de acuerdo con análisis efectuados, tiene menos de 1% de impurezas. Una vez enfriada, la cera es quebrada y envasada en sacos de 80 kilogramos para su venta.

5.13. Comercialización

Esquivel (1979) en su estudio monográfico, documenta que en el año 1936 se fundó el comité organizador de la Unión de Créditos de Productores de Cera de Candelilla (UCPCC). En ese tiempo la producción de cera estuvo controlada por un reducido grupo de firmas de grandes comerciantes privados, que residían en Monterrey, México, Tampico y Saltillo, aunque la primera industrialización de la cera de candelilla ocurrió en 1913, en las ciudades de Monterrey, N. L. y Torreón, Coah. La intervención de la UCPCC mejoró un poco la condición de vida de los campesinos candelilleros, aliados con el Banco de Comercio Exterior (BANCOMEXT), institución que les proporcionaba créditos para la explotación de la candelilla.

Eliminados los comerciantes particulares de la circulación mercantil de la cera, la UCPCC tuvo cambios radicales. La producción y exportación directa del producto estuvo bajo la protección arancelaria del BANCOMEXT, lo cual trajo una serie de problemas, como la formación de un grupo de particulares asociados y amparados por dicha institución, quienes crearon un monopolio privado, con carácter semi-oficial. Esta organización se encargaba de exportar la producción de cera en un 98% al extranjero y el 2% restante para el consumo del país (Nieto, 1987).

Con el fin de adquirir toda la cera producida por los ejidatarios, así como para operar las actividades de venta, refinación, etc, se creó, en 1965, el Fideicomiso de Cera de Candelilla. Dicho fideicomiso estuvo bajo la coordinación del BANCOMEXT e instaló su refinería en Saltillo. A partir de 1965, el encargado de la industrialización de la cera así como de la comercialización ha sido el Fondo Candelillero (FONCAN), mediante el fideicomiso para la explotación de la hierba de candelilla (Nieto, 1987).

En los años posteriores, el fideicomiso para la explotación de candelilla pasó al Banco Nacional de Crédito Rural que se encargó de la comercialización de la cera hasta 1992. En este año, el Poder Ejecutivo desapareció el fideicomiso y transfirió sus funciones a una empresa denominada Ceras Naturales Mexicanas, S.A de C.V. (CENAMEX). Una sociedad mercantil conformada con capital mexicano cuyos accionistas fueron los 6,000 candelilleros del país representados por 300 grupos. Durante dos años, CENAMEX fue la única empresa que procesaba y vendía cera en el mundo, pero a partir de 1994, con la firma del tratado de libre comercio para América del norte (TLCAN) y la creación de nuevas empresas nacionales y extranjeras, la obligaron a ser más competitiva en relación con la calidad (Nieto, 1987).

La cera de candelilla es un producto que tradicionalmente había encontrado buena aceptación en el extranjero, por lo que durante varias décadas el volumen de venta y cotización del producto fueron determinados por consumidores de otros países. Durante la Segunda Guerra Mundial, la producción de la cera aumentó debido a la demanda norteamericana, llegando a alcanzar 5,000 toneladas en 1947; si embargo, después de la guerra y debido al desarrollo de la industria petroquímica, que reemplazó muchas de las aplicaciones de la candelilla por otras a base de petróleo, la demanda fue disminuyendo hasta llegar a 1,500 toneladas en 1954 (Nieto, 1987)

La dependencia de los mercados extranjeros se mantuvo en los años siguientes. Esta situación, aunada al apoyo gubernamental a los candelilleros, provocó una fuerte acumulación de cerote, ya que hasta 1967 la producción de cera se mantuvo alrededor de las 2,800 toneladas por año en promedio. En los años siguientes se registró una tendencia a la baja obteniéndose solamente 1,603 toneladas en 1972 (Nieto, 1987).

El precio de la cera ha fluctuado a través del tiempo en función de la demanda. En 1961 el precio de adquisición del cerote se fijó en ocho pesos por kilogramo y en 1962 aumentó a 9 pesos, manteniéndose fijo este precio hasta 1974. A partir de este año el precio aumentó gradualmente hasta alcanzar los 33 pesos en 1980 (Nieto, 1987). Actualmente se pagan alrededor de 24 pesos por kilogramo de cerote y el precio de cera ya refinada varía entre 36 y 38 pesos por kilogramo. Aunque no se dispone de información sobre el precio de venta de la cera al mayoreo en el extranjero, se tiene un registro del año 2005 de venta al menudeo en Italia de 520 pesos el kilogramo (Canales *et al.*, 2006).

Hasta 1923, el único país que compraba cera a México era Estados Unidos. Posteriormente se exportó a diversos países como Francia, Guatemala, Alemania, Bélgica, Gran Bretaña, Suecia, El Salvador, España, Japón, Italia, Panamá, Australia, Venezuela, Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile, República Dominicana, Uruguay, Argentina, India y República Sudafricana. Estados Unidos ha sido siempre el mayor comprador y un mercado seguro para la cera de candelilla (Nieto, 1987).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación del sitio experimental

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID RASPA) del INIFAP, localizado en el margen derecho del canal principal Sacramento km 6.5 en Gómez Palacio, Durango. El CENID RASPA se localiza en la Región Lagunera, la cual se ubica entre los paralelos 24° 25' y 26° 55' de latitud Norte y los meridianos 102° 30' y 104° 48' de longitud oeste, con una altura media de 1,123 m sobre el nivel del mar. El clima de la región es seco y caliente con temperatura media anual de 22 °C y precipitación media anual de 230 mm. El período libre de heladas se ubica entre abril y octubre (García, 1970).

6.2. Material y equipo utilizado

El material y equipo utilizado para la realización de esta investigación fue el siguiente:

- Bolsas de polietileno negro calibre 600 de 6 L de capacidad
- Probeta de 1000 ml.
- Tijeras para podar
- Regla de 30 cm.
- Bolsas de papel para muestras
- Turba como medio de cultivo
- Arena
- Fertilizante
- Tanques de plástico de 200 litros
- Regadera manual
- Báscula de 15 kg
- Olla y membrana de presión para determinar curva de retención de humedad
- Invernadero tipo túnel para protección del experimento

6.3. Obtención del material vegetativo

La planta de candelilla utilizada para este experimento se obtuvo en el Valle de Acatita, localizado en los 26° 30' de latitud norte y 103° 00' de longitud oeste. Dicho valle se ubica por la Carretera Finisterre–Química del Rey y abarca cinco ejidos: Charcos de Risa, Tres Manantiales, Felipe Ángeles, Lindavista y Río Aguanaval. Todos pertenecientes al municipio de Francisco I. Madero, Coahuila. El valle se encuentra delimitado por la sierra de Tlahualilo al oeste, por la sierra de los Remedios al noroeste y por la sierra de las Delicias al suroeste.

6.4. Selección de hijuelos

Una vez obtenidas las plantas de candelilla del campo se colocaron en un lugar sombreado para protegerlas del sol. Luego se procedió a seleccionar hijuelos sanos, de buen aspecto y de 15 cm de longitud. Antes de plantarse, los hijuelos se trataron con fungicida (Captan) en una concentración de 1 g por litro de agua para prevenir enfermedades.

6.5. Preparación del sustrato

Como sustrato se utilizó una mezcla de arena de río y turba cuyas densidades aparentes fueron 1.45 y 0.2 g cm⁻³, respectivamente. Ambos materiales se mezclaron en una proporción por volumen entre la arena y la turba de 1:1.5 (1 m³ de arena por 1.5 m³ de turba), equivalente a una proporción por masa o peso de 1:0.207 (1 kg de arena por 0.207 kg de turba). Frecuentemente se utilizan mezclas de suelo y turba en proporciones volumétricas de 1:1 y 1:2 para preparar sustratos. Aun cuando se sabe que la planta de candelilla se desarrolla bien en suelos arenosos, se decidió combinar arena con turba para incrementar la porosidad del sustrato y en consecuencia, su aireación y capacidad de retención de agua.

6.6. Características físico-químicas del sustrato

El Cuadro 6.1 muestra la principales características físico-químicas del sustrato, la mayoría de las cuales se determinaron en el laboratorio de análisis de suelo, agua y tejido vegetal del CENID RASPA.

Cuadro 6.1. Principales características físico químicas del sustrato

Características físicas	
Densidad aparente (g cm^{-3})	0.825
Contenido de humedad a capacidad de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.8100
Contenido de humedad al punto de marchitamiento permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.0834
Características químicas	
PH	6.88
Conductividad eléctrica (dS m^{-1})	2.69
Nitrógeno disponible (N-NO_3 , mg kg^{-1})	41.5
Fósforo disponible (P, mg kg^{-1})	17.0
Potasio soluble (K^+ , meq L^{-1})	13.42
Calcio soluble (Ca^{+2} , meq L^{-1})	224.3
Magnesio soluble (Mg^{+2} , meq L^{-1})	40.74
Sodio soluble (Na^+ , meq L^{-1})	52.5
Hierro (Fe, mg kg^{-1})	8.92
Cobre (Cu, mg kg^{-1})	0.24
Zinc (Zn, mg kg^{-1})	2.02
Manganeso (Mn, mg kg^{-1})	15.0

La densidad aparente se midió directamente pesando repetidamente un volumen de un litro de sustrato seco. Las constantes de humedad capacidad de campo (CC) y punto de marchitamiento permanente (PMP) se determinaron con base en la función de retención de humedad (Figura 6.1). Sus valores se estimaron como los contenidos de humedad del sustrato correspondientes a las tensiones de humedad (potenciales mátricos) de -0.3 y -15 bars para CC y PMP respectivamente. La función de retención se determinó mediante la olla y membrana de succión.

La humedad aprovechable total del sustrato, definida por la diferencia entre CC y PMP fue de $0.726 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, o sea, 726 mililitros por litro de sustrato. Aunque el valor de PMP como límite inferior de la humedad aprovechable debe tomarse únicamente como un valor de referencia en este

estudio debido a que la candelilla tolera potenciales mátricos del agua del suelo mucho menores que -15 bars.

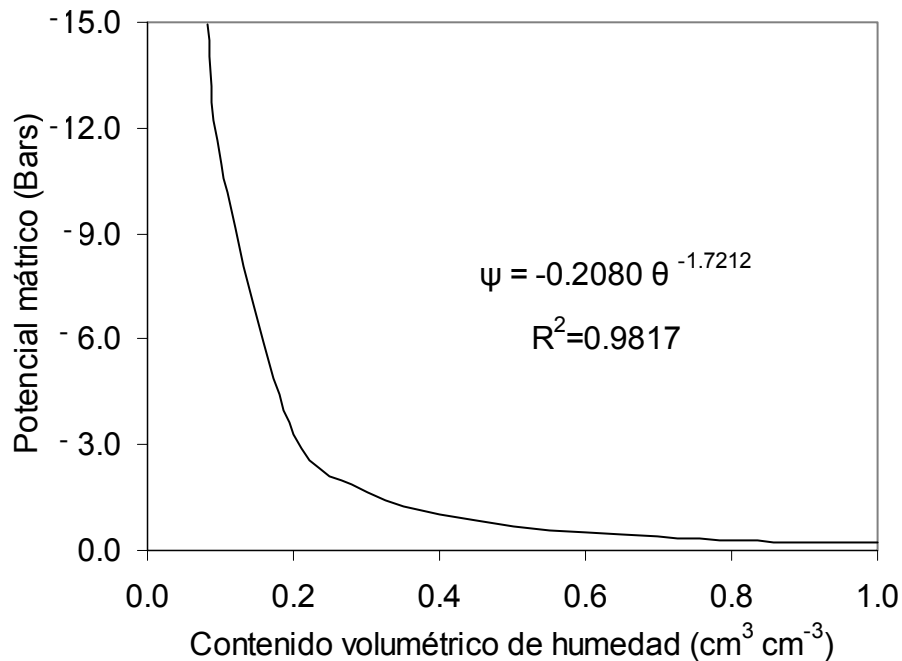


Figura 6.1. Función de retención de humedad del sustrato.

El pH resultó ligeramente ácido, con un valor situado en el límite superior del rango adecuado de 5.5 a 6.8 sugerido para sustratos por Escudero (1993). El valor de conductividad eléctrica medido representa un nivel de salinidad ligeramente alto para la mayoría de las especies, pero quizá no para la candelilla debido a las condiciones tan adversas en que ésta se desarrolla en su medio natural.

Los contenidos de macro elementos resultaron ligeramente bajo para el nitrógeno y altos para el fósforo, potasio, magnesio y calcio. Por su parte, los micro elementos resultaron óptimos para el cobre y el zinc, y altos para el hierro y manganeso (Ansorena, 1994). Esto se debió principalmente a la aportación de nutrimentos de la turba, ya que a ésta normalmente se le agregan fertilizantes inorgánicos para mejorar su fertilidad, así como carbonato de calcio para aumentar su pH.

6.7 Características químicas del agua de riego

Se utilizó agua proveniente de la red de agua potable para regar el experimento. Sus características químicas se muestran en el Cuadro 6.2. Se clasifica como agua con alta salinidad utilizable en suelos con buen drenaje, no presenta exceso de sodio intercambiable y puede utilizarse para riego en la mayoría de los suelos, con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

Cuadro 6.2. Análisis químico del agua de riego

Características	Valor
pH	7.95
CE (dS m ⁻¹)	1.09
Ca ⁺⁺ (mg L ⁻¹)	173
Mg ⁺⁺ (mg L ⁻¹)	18
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	65
K ⁺ (mg L ⁻¹)	0.39
CO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	16.8
HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	82.3
Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	41.5
SO ₄ ⁻ (mg L ⁻¹)	524.6
SE (me L ⁻¹)	5.30
SP (me L ⁻¹)	6.62
RAS	1.25
PSP (%)	53.24
N-Nitratos (mg L ⁻¹)	5.1
Boro (mg L ⁻¹)	0.01
Clasificación	C3-S1

6.8. Llenado de macetas y plantación de hijuelos

Para la plantación de los hijuelos se prepararon macetas con bolsas de plástico de polietileno negro de 6 litros de capacidad. Antes de la plantación de los hijuelos se desinfectó el material utilizado (cucharas) con una solución de hipoclorito de sodio al 5%. Cada maceta se llenó con 5 litros (4.1 kg) de

sustrato, dejando un volumen libre de un litro para la aplicación del agua de riego. Posteriormente se aplicó un riego a cada maceta con un volumen de 3 litros de agua para llevar a cabo la plantación en húmedo.

6.9. Factores de estudio

Como factores de estudio se tuvieron el riego y la fertilización. Para el caso del riego se aplicaron tres diferentes tratamientos: húmedo, intermedio y seco, los cuales se regaron cada 4, 9 y 26 días en promedio. El Cuadro 6.3 muestra los tratamientos de riego probados donde se puede apreciar que a los tratamientos húmedo, intermedio y seco se les aplicaron un total de 21, 10 y 3 riegos respectivamente. También se puede notar que con dichos tratamientos se cubrieron amplios rangos de abatimiento de la humedad aprovechable y del potencial mátrico del agua del sustrato al momento de aplicar cada uno de los riegos. En la programación de estos tratamientos se consideró la gran resistencia de la planta de candelilla al estrés hídrico, así como una probable sensibilidad de la misma al riego excesivo.

Cuadro 6.3. Tratamientos de riego

Variable	Tratamientos		
	Húmedo	Intermedio	Seco
Número de riegos	21	10	3
Intervalo de riego promedio (días)	4	9	26
Agua aplicada promedio por maceta por riego (litros)	0.747	1.396	2.116
Agua total aplicada promedio por maceta (litros)	15.7	13.9	6.3
Abatimiento de humedad aprovechable promedio (%)	67	85	105
Potencial mátrico promedio antes del riego (bars)	-1.45	-3.54	-38.72

Para el caso de la fertilización se evaluaron tres tratamientos: alto, intermedio y bajo, a partir de diferentes dosis de nitrógeno, fósforo, potasio y algunos micro elementos agregados de manera complementaria al agua de riego (Cuadro 6.4). Para determinar los tratamientos intermedio y alto se consideró el contenido de macro y micro elementos tanto en el sustrato como en el agua de riego utilizados. El tratamiento bajo consistió en un tratamiento control sin la adición de fertilizantes al agua de riego.

Cuadro 6.4. Tratamientos de fertilización ensayados

Elemento Químico	Tratamientos		
	Alto	Intermedio	Bajo (control)
Concentración por elemento (mg l ⁻¹)			
N	31.8	19.2	0
P	49.8	30.1	0
K	26.4	15.9	0
Fe	0.265	0.160	0
Mn	0.133	0.080	0
B	0.053	0.032	0
Zn	0.040	0.024	0
Cu	0.029	0.018	0
Mo	0.019	0.011	0

6.10. Diseño experimental

El experimento se estableció el 19 de junio de 2006 y se utilizó un diseño de tratamientos factorial completo 3x3 (nueve tratamientos), con un diseño experimental de bloques al azar y 10 repeticiones, para un total de 90 macetas o unidades experimentales. En la Figura 6.2 se ilustra la distribución de los tratamientos en el invernadero.

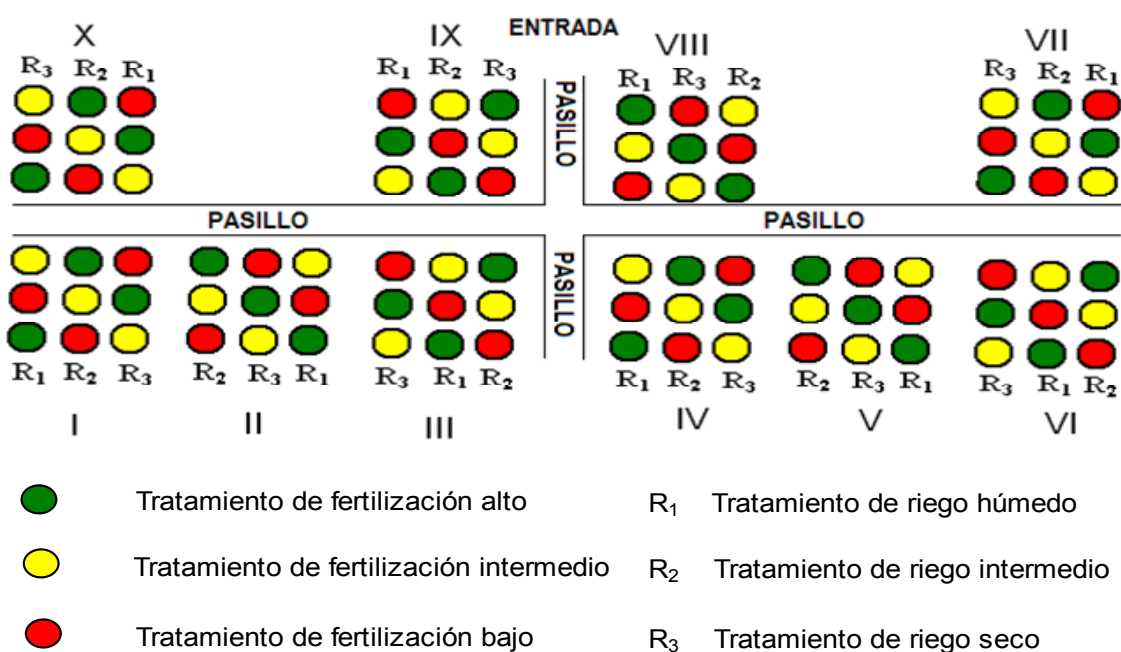


Figura 6.2. Distribución de los tratamientos en el invernadero.

6.11. Variables evaluadas

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron cuatro muestreos a los 29, 43, 57 y 110 días después de la plantación de los hijuelos para medir número de brotes, longitud de brotes y longitud de raíces. En los primeros dos muestreos se midió únicamente longitud y número de brotes. El tercer y cuarto muestreos fueron destructivos y se midió además longitud de raíces en cuatro repeticiones. Sólo se midieron las raíces nuevas, las cuales se diferenciaban fácilmente, de manera visual, sobre las raíces inicialmente presentes al momento de la plantación de los hijuelos.

6.12. Aplicación de los riegos

La aplicación de los riegos se realizó con una regadera manual, pesando previamente las macetas para conocer su contenido de humedad. A partir de estos valores se estimaron las cantidades de agua por aplicar a cada maceta en base a su capacidad para retener la misma, de acuerdo a los tratamientos descritos en el Cuadro 6.3.

6.13. Análisis de resultados

Los resultados se analizaron por fecha de muestreo. A cada variable analizada se le aplicó un análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental utilizado. Luego se realizó una prueba de comparación de medias de tratamientos para aquellos factores que resultaron significativos en el análisis de varianza. Se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1999).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Número de brotes

Los tratamientos de riego y fertilización no mostraron efectos significativos sobre el número de brotes en ninguno de los muestreos realizados (Cuadro 7.1). Esto muestra que la capacidad de la plántula de candelilla para producir múltiples brotes no fue afectada por la aplicación de los tratamientos de riego y fertilización ensayados.

Cuadro 7.1. Análisis de varianza del número de brotes por muestreo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F
Primer muestreo (29 ddp [†])					
Repeticiones	3	15.56	5.19	2.190	0.116ns
Riego (R)	2	9.06	4.53	1.910	0.170ns
Fertilización (F)	2	8.22	4.11	1.730	0.198ns
R*F	4	7.78	1.94	0.820	0.526ns
Error	24	56.94	2.37		
Total	35	97.56			
Segundo muestreo (43 ddp)					
Repeticiones	3	38.00	12.67	2.250	0.108ns
Riego (R)	2	9.72	4.86	0.860	0.434ns
Fertilización (F)	2	5.39	2.69	0.480	0.625ns
R*F	4	20.78	5.19	0.920	0.467ns
Error	24	135.00	5.63		
Total	35	208.89			
Tercer muestreo (57 ddp)					
Repeticiones	3	14.31	4.77	0.980	0.417ns
Riego (R)	2	7.06	3.53	0.730	0.494ns
Fertilización (F)	2	21.06	10.53	2.170	0.136ns
R*F	4	12.11	3.03	0.620	0.650ns
Error	24	116.44	4.85		
Total	35	170.97			
Cuarto muestreo (110 ddp)					
Repeticiones	3	35.00	11.67	0.190	0.902ns
Riego (R)	2	62.06	31.03	0.500	0.610ns
Fertilización (F)	2	128.39	64.19	1.040	0.368ns
R*F	4	107.78	26.94	0.440	0.780ns
Error	24	1476.00	61.50		
Total	35	1809.22			

[†] días transcurridos después de la plantación de los hijuelos.

ns = no significativo ($\alpha=0.05$).

7.2. Longitud de brotes

La elongación o tamaño de los brotes producidos por la plántula de candelilla sí fue afectada por la aplicación de los tratamientos de riego y fertilización. Estos efectos variaron a través del tiempo en cada uno de los muestreos realizados (Cuadro 7.2). En el primer muestreo no se detectaron diferencias significativas por efecto de los tratamientos.

Cuadro 7.2. Análisis de varianza de la longitud de brotes por muestreo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F
Primer muestreo (29 ddp [†])					
Repeticiones	3	76.14	25.38	0.650	0.594ns
Riego (R)	2	45.84	22.92	0.580	0.566ns
Fertilización (F)	2	93.63	46.82	1.190	0.322ns
R*F	4	183.49	45.87	1.170	0.351ns
Error	24	944.31	39.35		
Total	35	1343.41			
Segundo muestreo (43 ddp)					
Repeticiones	3	397.31	132.447	1.000	0.408ns
Riego (R)	2	1541.30	770.65	5.850	0.009**
Fertilización (F)	2	54.89	27.45	0.210	0.813ns
R*F	4	652.20	163.05	1.240	0.322ns
Error	24	3162.98	131.79		
Total	35	5808.68			
Tercer muestreo (57 ddp)					
Repeticiones	3	480.42	160.14	1.540	0.229ns
Riego (R)	2	2316.17	1158.09	11.160	0.000**
Fertilización (F)	2	998.75	499.37	4.810	0.018*
R*F	4	375.25	93.81	0.900	0.477ns
Error	24	2491.30	103.80		
Total	35	6661.89			
Cuarto muestreo (110 ddp)					
Repeticiones	3	3825.22	1275.07	0.440	0.729ns
Riego (R)	2	17496.58	8748.29	2.990	0.069ns
Fertilización (F)	2	31993.90	15996.95	5.470	0.011*
R*F	4	35491.33	8872.83	3.040	0.037*
Error	24	70154.59	2923.11		
Total	35	158961.62			

[†] días transcurridos después de la plantación de los hijuelos.

* significativo a un α de 0.05; ** significativo a un α de 0.01; ns = no significativo.

En el segundo muestreo se detectaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos de riego. Los tratamientos de riego húmedo

e intermedio resultaron superiores al tratamiento seco en el segundo muestreo, es decir, a los 43 días después de la plantación de los hijuelos (ddp) (Cuadro 7.3). Esto muestra la importancia del riego durante esta primera etapa del desarrollo de la plántula de candelilla. Muestra también que el riego debe aplicarse a un potencial mátrico no menor de -3.54 bars durante dicha etapa. En contraste, ni los tratamientos de fertilización ni la interacción entre el riego y la fertilización mostraron diferencias significativas en el segundo muestreo (Cuadro 7.2).

Cuadro 7.3. Longitud de brotes promedio en centímetros por tratamiento y muestreo.

Riego	Fertilización			Promedio
	Alto	Intermedio	Bajo (control)	
Segundo muestreo (43 ddp [†])				
Húmedo	12.80	24.23	9.43	15.48 a [‡]
Intermedio	17.30	9.13	18.25	14.89 a
Seco	0.50	3.33	0.13	1.32 b
Promedio	10.20 a [‡]	12.23 a	9.27 a	
Tercer muestreo (57 ddp)				
Húmedo	21.90	42.13	29.05	31.03 b
Intermedio	36.13	52.08	43.08	43.76 a
Seco	22.60	25.05	25.65	24.43 b
Promedio	26.88 b	39.75 a	32.59 ab	

[†] días transcurridos después de la plantación de los hijuelos.

[‡] medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Duncan, $\alpha = 0.05$).

En el tercer muestreo (57 ddp), el mejor tratamiento de riego fue el intermedio (Cuadro 7.3). Como puede notarse, el tratamiento húmedo deja de ser el mejor tratamiento de riego en relación con el muestreo anterior, lo cual indica una sensibilidad de la planta al riego frecuente y el exceso de humedad que éste provoca. Los mejores tratamientos de fertilización en el tercer muestreo fueron el tratamiento bajo o tratamiento control y el tratamiento intermedio (Cuadro 7.3). En cambio, el tratamiento de fertilización alto produjo la menor longitud de brotes, lo cual pudo deberse quizá al efecto negativo producido en la planta por un menor potencial osmótico del agua en el sustrato inducido por la mayor cantidad de fertilizante aplicado.

En el cuarto muestreo (110 ddp), la interacción entre los factores riego y fertilización resultó significativa para la variable longitud de brotes. Debido a esto, no fue posible analizar efectos principales para esta variable, así que se

realizó una comparación de medias de los nueve tratamientos de riego y fertilización probados (Cuadro 7.4). El tratamiento de riego húmedo combinado con el tratamiento de fertilización alto resultó ser el mejor en esta etapa. Luego le siguió el tratamiento intermedio tanto de riego como de fertilización. Estos resultados muestran la importancia del riego y la fertilización sobre la elongación de los primeros brotes de la plántula de candelilla durante esta última etapa de desarrollo evaluada.

Cuadro 7.4. Comparación de medias por tratamiento para la variable longitud de brotes en el cuarto muestreo (110 ddp[†]).

Tratamiento de Riego	Tratamiento de Fertilización	Longitud de brotes promedio (cm)
Húmedo	Alto	249.20 a [‡]
Intermedio	Intermedio	175.20 ab
Húmedo	Intermedio	139.75 b
Seco	Alto	124.63 b
Intermedio	Alto	117.13 b
Seco	Intermedio	109.13 b
Intermedio	Bajo	97.08 b
Húmedo	Bajo	93.00 b
Seco	Bajo	86.78 b

[†] días transcurridos después de la plantación de los hijuelos.

[‡] medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Duncan, $\alpha = 0.05$).

7.3. Longitud de raíces

La longitud de raíces nuevas producidas por la planta de candelilla fué afectada únicamente por los tratamientos de riego (Cuadro 7.5). Este efecto ocurrió en el tercer muestreo solamente, cuando el mejor tratamiento de riego resultó ser el tratamiento húmedo, seguido por los tratamientos intermedio y seco (Cuadro 7.6). Esto muestra un efecto temporal de los tratamientos de riego probados que sugiere la aplicación frecuente del riego, a un potencial mátrico del agua en el sustrato no menor de -1.45 bars durante el período comprendido entre los 43 y 57 días después de la plantación de los hijuelos.

El efecto de los tratamientos de fertilización sobre la longitud de raíces nuevas fue nulo ya que no se detectaron diferencias significativas por este factor. La cantidad de raíces al momento de la plantación de hijuelos amortiguó quizá el efecto de la fertilización sobre la producción de raíces nuevas. Por lo tanto, el beneficio aportado por la fertilización probablemente impactó la absorción de nutrimentos pero no el crecimiento de la raíz misma.

Cuadro 7.5. Análisis de varianza de la longitud de raíces por muestreo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F
Tercer muestreo (57 ddp [†])					
Repeticiones	3	39.74	13.25	0.510	0.680ns
Riego (R)	2	1244.43	622.21	23.920	0.000**
Fertilización (F)	2	116.93	58.47	2.250	0.128ns
R*F	4	274.28	68.57	2.640	0.059ns
Error	24	624.35	26.01		
Total	35	2299.74			
Cuarto muestreo (110 ddp)					
Repeticiones	3	379.62	126.54	0.490	0.691ns
Riego (R)	2	1203.64	601.82	2.340	0.118ns
Fertilización (F)	2	1074.16	537.08	2.090	0.146ns
R*F	4	1919.91	479.98	1.870	0.149ns
Error	24	6176.44	257.35		
Total	35	10753.77			

[†] días transcurridos después de la plantación de los hijuelos.

* significativo a un α de 0.05; ** significativo a un α de 0.01; ns = no significativo.

Cuadro 7.6. Longitud de raíces promedio por tratamiento de riego en el tercer muestreo (57 ddp[†]).

Tratamiento de riego	Longitud de raíces (cm)
Húmedo	22.13a [‡]
Intermedio	15.12b
Seco	7.73c

[†] días transcurridos después de la plantación de los hijuelos.

[‡] medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Duncan, $\alpha= 0.05$).

VIII. CONCLUSIONES

Con la aplicación del riego y la fertilización se logró incrementar el crecimiento de plántulas de candelilla reproducidas asexualmente por medio de hijuelos.

De los componentes del crecimiento analizados, sólo la elongación o longitud de brotes nuevos fue favorecida por la aplicación del riego y la fertilización. En contraste, el número de brotes nuevos no fue afectado por estos factores. Por su parte, la longitud de las raíces nuevas aumentó con el incremento del régimen de riego, aunque este efecto fue temporal.

Los tratamientos intermedios y altos de riego y fertilización fueron los que produjeron la mayor longitud de brotes nuevos. Ambos se diferenciaron del tratamiento de riego bajo o seco y del tratamiento control de fertilización respectivamente.

Para lograr mayor crecimiento de las plántulas de candelilla, el riego debe aplicarse a un potencial mátrico del agua en el sustrato no menor de -3.54 bars. En macetas de tamaño similar a las utilizadas en este estudio, llenas con sustratos parecidos al sustrato utilizado, dicho potencial se recupera hasta -0.3 bars regando la plántula de candelilla cada nueve días con un volumen de agua de 1.4 litros de agua aproximadamente.

Además de la aplicación del riego, es importante aplicar fertilización complementaria con macro y micro elementos. Para sustratos a base de turba se recomienda aplicar, de manera complementaria y en el agua de riego, 20, 30 y 16 miligramos por litro de N, P y K y algunos micro elementos.

El sustrato preparado con base en la mezcla de arena de río y turba en proporción volumétrica 1:1.5 resultó favorable para el desarrollo y crecimiento de la plántula de candelilla.

IX. LITERATURA CITADA

- Andrade F., J. 1958. La cera de candelilla en México. Revista Chapingo, ENA. México.
- Ansorena J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 172 pp.
- Beltrán E. 1964. Zonas áridas del centro y noreste de México y el aprovechamiento de sus recursos. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México.
- Canales G., E., V. Canales M. y E. M. Zamarrón R. 2006. La candelilla. Biodiversitas 69: 1-5.
- Conzatti C. y L. C. Smith. 1981. Flora Sinóptica Mexicana. Tercera edición. Talleres gráficos del Instituto Politécnico Nacional. México, D. F.
- Dávila A., H. 1981. Métodos de reproducción de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*). 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. 1958. Contribución al estudio de la candelilla. Tesis profesional. ESAAN. Universidad de Coahuila. Buenavista, Saltillo, Coahuila, 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 Rafols W. 1964. Aprovechamiento industrial de los productos agrícolas. Salvat Editores. Barcelona – Madrid. España.
- Escudero J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate. En: Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. F. Canovas y J.R. Díaz (Eds.). I.E.A./F.I.A.P.A., Almería, p. 261-297.
- Esparza M., J. F. 1992. Plantas medicinales en el Ejido “Charcos de Risa”, Municipio de Francisco I. Madero, Coahuila (Estudio Etnobotánico) Tesis de Licenciatura. UAAAN – UL, Torreón, Coah. México.
- Espinoza M., J. 1962. Estudio agronómico y socioeconómico de la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) en el norte de México. Tesis profesional. ITESM. Monterrey, N. L., México.
- Esquivel W., M. 1979. La candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc). Tesis profesional. Facultad de Biología. UANL. Monterrey, Nuevo León, México.

- FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. Estado actual de la información sobre productos forestales no madereros. Candelilla. Consulta página WEB: www.fao.org/DOCREP/006/AD398S/AD398s14.htm
- Flores C., E. 1941. La candelilla (*Euphorbia cerifera* Alc.). Primer Congreso Forestal. México, D. F.
- Francisco C. y De la Vega R. 1992. Principales productos forestales no maderables de México. Universidad Autónoma Chapingo. Primera edición.
- García C., M. 1939. Estudio económico–comercial de la candelilla. DAPP. México. D. F.
- García E. 1970. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía de la UNAM, para la Comisión de Estudios del Territorio Nacional. 235 pp.
- García G., R. 1988. Respuesta vegetativa de la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) bajo diferentes sistemas de cosecha y poda estacional en la sierra la pardita Zacatecas. Tesis de Licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Garza R. y Alder M. 1979. Recuperación y propagación de plantas de candelilla usando técnicas de micropropagación. Primera Reunión Bilateral México – Estados Unidos. Saltillo, Coahuila. México.
- Instituto de la candelilla. 2007. La planta de candelilla. Consulta página WEB: <http://www.candelilla.com/es/noticias.php?subaction=showfull&id=1158162386>
- Lacshminarayana S. 1975. Evaluación de Formulaciones de cera de candelilla con limón mexicano. SAG: México.
- Loyer J. Y., Estrada A. J., Jasso I. R., Moreno D. L., Editores. 1993. Estudio de los factores que influyen el escurrimiento y el uso del agua en la región hidrológica 36. Orstom CENID RASPA INIFAP, Gómez Palacio Dgo., México, 367p.
- 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.
- Mathus M., J. G., L. F. Musalem y R. J. Reyes 1981. Candelilla: Documento de Trabajo y Análisis. 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.

- Mehrotra N. K. and S. R. Ansari. 1992. Response of micronutrients application to biomass, candelilla wax and bicrude of *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. Grown on Gonti Upland Alluvium. Annals of Arid Zone.
- Miller M. H. 1971. The plant root and its environment. Proceedings of an institute sponsored by the southern regional education board, held at Virginia Polytechnic Institute State University. Edited by E. W. Carson.
- Monasterio M. 1992. Informe de consultor sobre los recursos naturales "tradicionales" usados por la población local en la Comarca Lagunera: una propuesta para un desarrollo sustentable. Organización de los estados americanos. Proyecto y metodología para la administración del agua en zonas semiáridas. Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- National Plant Data Center. 2000. The plants database, <http://plants.usda.gov> NRCS, USDA. Baton Rouge, LA 70874-4490 USA.
- Nieto R., R. 1987. La candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). Implicaciones sobre su domesticación y mejoramiento genético. Monografía. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Ortega R., S. A. 1981. Métodos y épocas de corte en candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) 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.
- Robles S., R. 1985. Producción de oleaginosas y textiles. Editorial LIMUSA. Segunda edición. México, D. F.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1991. Memoria general, estudios técnicos justificados y avisos de acción preliminar para el aprovechamiento de la hierba de candelilla en la Región Lagunera Coahuila-Durango. SARH, SEDUE; FIDEHCAN, RSA y Asociación Nacional de Uniones de Ejidos Productores de Cera de Candelilla.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS/STAT User's guide, Version 6, Fourth edition Volume 2.