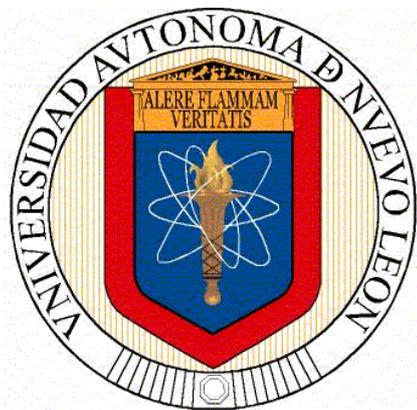


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**SITUACIÓN ACTUAL DE LAS POBLACIONES DE CANDELILLA
(*Euphorbia antisyphilitica* Zucc): INVENTARIO, SU PROPAGACIÓN
SEXUAL Y ASEJUAL EN EL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO.**

POR

MARÍA DE LA LUZ FLORES DEL ANGEL

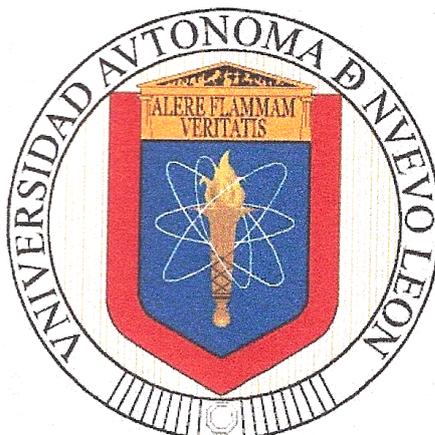
Como requisito parcial para obtener el Grado de

DOCTOR EN CIENCIAS

Con Acentuación en Manejo y Administración de Recursos Vegetales

Marzo de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



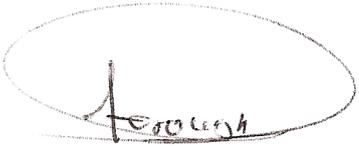
**SITUACIÓN ACTUAL DE LAS POBLACIONES DE CANDELILLA
(*Euphorbia antisiphilitica* Zucc): INVENTARIO, SU PROPAGACIÓN
SEXUAL Y ASEXUAL EN EL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO.**

POR

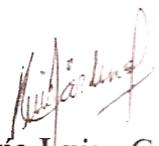
MARÍA DE LA LUZ FLORES DEL ANGEL

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS
Con Acentuación en Manejo y Administración de Recursos Vegetales**

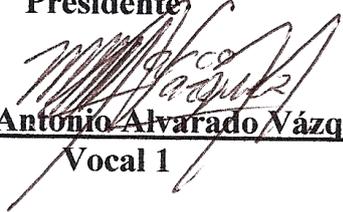
Comité de Tesis


Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab

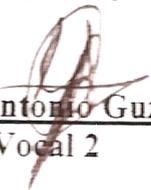
Presidente


Dra. María Luisa Cárdenas Avila

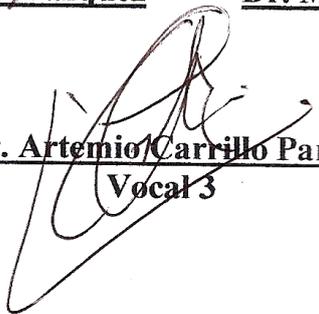
Secretario


Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez

Vocal 1

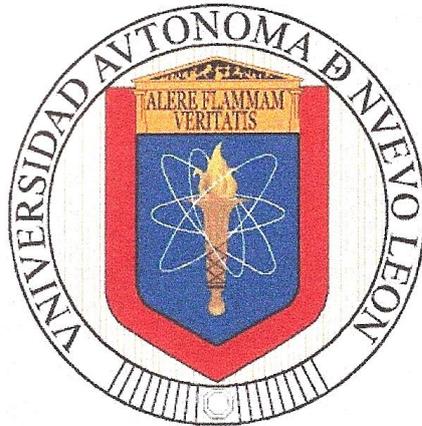

Dr. Marco Antonio Guzmán Lucio

Vocal 2


Dr. Artemio Carrillo Parra

Vocal 3

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**SITUACIÓN ACTUAL DE LAS POBLACIONES DE CANDELILLA
(*Euphorbia antisyphilitica* Zucc): INVENTARIO, SU PROPAGACIÓN
SEXUAL Y ASEXUAL EN EL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO.**

POR

MARÍA DE LA LUZ FLORES DEL ANGEL

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS
Con Acentuación en Manejo y Administración de Recursos Vegetales**

Comité de Tesis

Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab
Director

Dra. María Luisa Cárdenas Avila
Co-Director

DEDICATORIA

A mis padres: Sr. Rodolfo Flores Pérez (+) y Sra. María del Carmen del Angel Espinosa por todo su amor.

A mis hermanos: Rubén por apoyarme incondicionalmente, Lucy por ser una excelente hermana y consentirme tanto, Juan Carlos y Miguel por su apoyo. Les agradezco por ser parte importante en mi vida.

A mis sobrinos: Kevin y Karen por ser tan bellos y enseñarme a ser una tía en toda la extensión de la palabra.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento al Programa de Becas del CONACYT por el apoyo económico otorgado el cual hizo posible la realización de esta investigación y el cumplimiento de los objetivos planteados.

Al Ing. Raúl Marmolejo Vélez Director General de Multiceras S.A. de C.V. por el apoyo otorgado.

Se agradece a PAICYT (Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica) CN-631-11 por el apoyo económico para la realización de la tesis.



AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Rahim Forougbakhch Pournavab, director de tesis, por su ayuda y apoyo para la realización de esta tesis.

A la Dra. María Luisa Cárdenas Avila, por sus consejos, compartirme sus conocimientos, por tantos años de amistad y cariño.

Al Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez por su tiempo, su ayuda, y por todo el apoyo brindado durante la realización de esta tesis.

Al Dr. Marco Antonio Guzmán Lucio por compartir sus conocimientos y por su valiosa colaboración en las salidas de campo y en la realización de esta tesis.

Al Dr. Artemio Carrillo Parra por la revisión y corrección de tesis.

A todos los profesores del Departamento de Botánica: Dr. Sergio Moreno Limón, Dra. Alejandra Rocha Estrada, Dra. Marcela González Álvarez, Dr. Víctor Ramón Vargas López, M.C. María del Consuelo González de la Rosa, M.C. Jorge Alberto Villarreal Garza, Dr. Sergio Salcedo Martínez, Dra. Hilda Gámez González por su gran apoyo.

A Lidia Salas y Liz Gaspar por su amistad y por todos los momentos compartidos durante estos últimos años.

A la Familia Díaz Villanueva por considerarme parte de su familia y por todos los grandes momentos compartidos.

A mis mejores amigos Indhira Díaz e Israel Iracheta por todo el apoyo que me han brindado.

TABLA DE CONTENIDO

Sección	Página
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. IMPORTANCIA	6
4. OBJETIVOS	7
4.1 Objetivo general	
4.1.1 Objetivos particulares	
5. HIPÓTESIS	8
6. ANTECEDENTES	9
6.1 Generalidades sobre la candelilla	9
6.1.1 Clasificación botánica	9
6.1.2 Botánica	10
6.1.3 Descripción morfológica de la planta	11
6.2 Características de la semilla	14

6.3 Germinación	17
6.4 Germinación y viabilidad de las semillas	19
6.5 Hábitat y distribución de la candelilla	22
6.6 Aprovechamiento de la candelilla	26
6.6.1 Descripción del proceso tradicional de colección y extracción	27
6.7 Usos de la candelilla	29
6.8 Propagación de candelilla mediante cultivo de tejidos vegetales	31
7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	33
7.1 Localización	33
7.2 Extensión territorial	35
7.3 Fisiografía	35
7.4 Geología	36
7.5 Hidrología	36
7.6 Clima	37
7.7 Uso del suelo	37
7.8 Edafología	38
7.9 Vegetación	38
8. MÉTODOS	40
8.1 Inventario de poblaciones de candelilla y determinación de especies asociada	40
8.1.1 Áreas estudiadas	40
8.2 Cuantificación del contenido de cera en plantas de candelilla	42
8.2.1 Extracción de cerote	43
8.2.2 Sedimentación	43
8.3 Propagación vegetativa de candelilla	44
8.3.1 Establecimiento de plantas	44
8.3.2 Diseño experimental	48

8.3.3 Registro de parámetros	48
8.3.4 Análisis estadístico	49
8.4 Caracterización morfométrica, viabilidad y germinación de las semillas de candelilla	51
8.4.1 Colecta de frutos	51
8.4.2 Extracción de las semillas	51
8.4.3 Caracterización morfológica y peso de las semillas	52
8.4.4 Determinación de la viabilidad	52
8.4.5 Tratamientos pregerminativos	53
8.4.6 Ensayo de germinación	53
8.4.7 Análisis estadístico	54
8.5 Reproducción de candelilla por el cultivo <i>in vitro</i>	54
8.5.1 Asepsia	55
8.5.2 Siembra	55
 9. RESULTADOS	 56
9.1 Densidad y volumen de las poblaciones de candelilla	56
9.1.1 Poblaciones naturales de candelilla	56
9.1.2 Análisis del matorral desértico rosetófilo en las diferentes zonas muestreadas	58
9.1.2.1 Sierra La Fragua	58
9.1.2.2 Sierra San Marcos y Pinos	61
9.1.2.3 Sierra La Purísima	62
9.1.2.4 Sierra El Granizo	63
9.1.2.5 Sierra El Venado	63
9.1.2.6 Sierra de Australia Parte 1 y 2	65
9.1.2.7 Sierra La Madera	68
9.1.2.8 Sierra La Mula	70
9.1.3 Densidad de la planta de candelilla	71
9.1.4 Potencial productivo de biomasa: volumen por planta	72
9.1.5 Especies vegetales asociadas a la candelilla	73
9.2 Cuantificación del contenido de cera	73

9.2.1	Análisis del contenido de cera en función con la altura de la planta de candelilla	73
9.2.2	Análisis del contenido de cera en función del número de plantas de candelilla	74
9.2.3	Análisis del contenido de cera y el peso de las plantas de candelilla	75
9.3	Evaluación de plantaciones de candelilla	76
9.3.1	Análisis de varianza para la altura de plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Nodriza	79
9.4	Composición florística: especies asociadas a la candelilla	84
9.5	Caracterización morfológica de las semillas de candelilla	85
9.5.1	Caracterización morfológica de las semillas	85
9.5.2	Viabilidad de las semillas	88
9.5.3	Germinación de las semillas	89
9.5.3.1	Porcentaje de germinación	90
9.5.3.2	Tratamientos pregerminativos	90
9.5.3.3	Relación entre el porcentaje de germinación en función del peso y la longitud de la semilla	92
9.6	Cultivo <i>in vitro</i> y proliferación de brotes de candelilla	92
10.	DISCUSIONES	96
11.	CONCLUSIONES	102
12.	RECOMENDACIONES	105
13.	LITERATURA CITADA	108

LISTA DE TABLAS

Tabla**Página**

1. Provincias y subprovincias fisiográficas en Coahuila de Zaragoza	35
2. Tipos de afloramientos geológicos y superficie porcentual	36
3. Regiones hidrológicas de Coahuila de Zaragoza y superficie estatal	36
4. Tipos de climas del estado de Coahuila de Zaragoza	37
5. Principales usos de suelo y su ocupación en Coahuila de Zaragoza	37
6. Tipos de suelo en el estado de Coahuila de Zaragoza	38
7. Tipos de vegetación y su representación estatal	39
8. Sierras y Localidades de estudio pertenecientes al estado de Coahuila . . .	40
9. Localidades de diferentes municipios de Coahuila	42
10. Superficie ocupada por el Matorral Desértico Rosetófilo en Coahuila en los años 80's, 90's y 2000	57
11. Fisonomías y superficies del matorral desértico rosetófilo en las sierras estudiadas	58
12. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra La Fragua	59
13. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra San Marcos y Pinos	61
14. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra La Purísima	62
15. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra El Granizo	63
16. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra El Venado	64
17. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra de Australia Parte 1	65
18. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra de Australia Parte 2	67
19. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra La Madera	69
20. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra La Mula	70
21. Densidad y volumen por planta y por hectárea de las poblaciones de candelilla en las ocho sierras del centro del estado de Coahuila	72
22. Especies que componen el Matorral Desértico Rosetófilo	73

23. Análisis de regresión del contenido de cera en función de la altura	74
24. Análisis de varianza del contenido de cera en función de la altura	74
25. Análisis de regresión del contenido de cera en función del número de plantas	74
26. Análisis de varianza del contenido de cera en función del número de plantas	75
27. Análisis de regresión del contenido de cera en función del peso de plantas	75
28. Análisis de varianza del contenido de cera en función del peso de plantas	75
29. Análisis de varianza para la altura de plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Topografía	78
30. Valores promedio de altura \pm desviación estándar de la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Topografía	79
31. Análisis de varianza para la altura en función de Localidad, Tratamiento y Con-Sin Nodriza	80
32. Valores promedio de altura \pm desviación estándar de la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Con-Sin Nodriza	80
33. Análisis de varianza para la altura en función de Localidad, Tratamiento y Fecha	81
34. Valores promedio de altura \pm desviación estándar de la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Fechas	82
35. Análisis de varianza para la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Fecha y Con-Sin Nodriza	83
36. Valores promedio de altura \pm desviación estándar de la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Fechas y Con-Sin Nodriza	84
37. Lista florística de especies asociadas con candelilla	85
38. Valores promedio \pm desviación estándar correspondientes a los parámetros morfométricos de las semillas	88

39. Valores promedios \pm desviación estándar correspondiente a la prueba de viabilidad de semillas color café, ámbar y gris	89
40. Análisis de varianza para las localidades de candelilla	93
41. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para las localidades	93
42. Análisis de varianza para los tratamientos	93
43. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para los tratamientos	94
44. Análisis de varianza para los explantes	94
45. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para los explantes de candelilla	94

LISTA DE FIGURAS

Figura

Página

1. Vista general del matorral desértico con candelilla	10
2. Ramificación de candelilla por rizomas	12
3. Morfología de: A) una flor, B) flores en inflorescencia de candelilla	13
4. Etapa de fructificación de candelilla: A) semillas en capsulas, B) semillas secas extraídas de las cápsulas	15
5. Ubicación del Desierto Chihuahuense y mapa de distribución correspondiente de las plantas de Candelilla	22
6. La recolección de candelilla en el ejido Las Morenas, Cuatrociénegas, Coahuila	24
7. Planta de candelilla cortada en tercios para su extracción	27
8. Paila extrayendo la cera de candelilla	29
9. Productos derivados de la cera de candelilla	30
10. Área de estudio y colindancias	34
11. Diseño de la plantación en el Ejido Las Morenas, Cuatrociénegas	45
12. Distribución de los tratamientos en la parcela con relieve en el Ejido Las Morenas, Cuatrociénegas	46
13. Distribución de los tratamientos en la parcela ubicada en la planicie del Ejido Las Coloradas, Ramos Arizpe	47
14. Distribución de los tratamientos en la parcela con relieve Ejido Las Coloradas, Ramos Arizpe	47
15. Parámetros de crecimiento (diámetro superior e inferior y altura)	49
16. Mortalidad de las plantas de candelilla en función de tratamientos y fechas en el ejido Las Morenas	76
17. Mortalidad de las plantas de candelilla en función de tratamientos y fechas en el ejido Las Coloradas	77
18. Semillas de candelilla	86
19. Coloración de las semillas de candelilla	87
20. Porcentaje de germinación (PG) promedio de las 4 localidades en los tratamientos analizados a las temperaturas de 28°C y 32°C	89
21. Curva de Germinación acumulada diario (%) para las 4	

localidades a dos temperaturas	91
22. Porcentaje de germinación (PG) de semillas de candelilla	92
23. Callo <i>in vitro</i> de entrenudo de candelilla	95

NOMENCLATURA

% Por ciento

cm	Centímetros
m	Metros
mm	Milímetros
°C	Grados Celsius
mg	Miligramos
r ²	Coefficiente de determinación
msnm	Metros sobre el nivel del mar
°	Grados
'	Minutos
v/v	Volumen sobre volumen
Kg	Kilogramos
L	Litros
μM	Micromolar
Km ²	Kilómetros cuadrados
m ²	Metros cuadrados
mL	Mililitros
''	Segundos
ha	Hectáreas
g	Gramos
mg/L	Miligramos por litro
g/L	Gramos por litro
m ³	Metros cúbicos
IVG	Velocidad de Germinación
Bw	Muy árido con lluvias de verano
Bs	Árido con lluvias de verano
W	Western
FDA	Food and Drugs Administration
TLCAN	Tratado del Libre Comercio para América del Norte
MS	Murashige-Skoog
NAA	Ácido Naftalenacético
2,4-D	2,4-Diclorofenilacético
Kn	Kinetina

2ip	6-gamma-gamma-dimetilalilamino purina
BAP	Ácido Bencil Amino Purina
IBA	Ácido Indol 3 Butírico
SIG	Sistema de información geográfica
ISTA	International Seed Testing Association
h	Horas
NaOCl	Hipoclorito de sodio
PG	Porcentaje de germinación
N	Norte
O	Oeste
MDR	Matorral desértico rosetófilo

RESUMEN

México es el principal y casi único productor de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en el mundo, y Coahuila el estado líder de producción; la planta ha pasado de ser común del norte de México y el sur de Texas, a presentar una disminución en su población, resultando en una significativa reducción de su poder productivo. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la situación de las poblaciones de candelilla integrando aspectos fundamentales de la biología de la planta en términos de producción, mejoramiento y conservación. Para esto, se realizó un inventario de las poblaciones en diferentes localidades del estado de Coahuila, se determinaron sus especies asociadas en diferentes ecotipos; se colectaron plantas, se realizó la cuantificación de cera; se colectaron semillas de los frutos y se caracterizaron morfológicamente, se determinó la viabilidad y germinación; se realizó el establecimiento del cultivo *in vitro* y la proliferación de brotes de candelilla. Se establecieron plantaciones. Entre los resultados del inventario forestal la densidad promedio general fue de 3995 plantas por ha. El volumen promedio por planta fue 0.031 m³. El volumen de biomasa promedio general fue de 116.22 m³ por ha. El análisis de la cuantificación de cera nos indicó que la relación entre el peso de la cera y la altura de la planta no fue significativa ($p=0.86$), al igual que entre el peso de la cera y el número de planta ($p=0.37$), el peso de la cera y el peso de la planta ($p=0.19$); los coeficientes de determinación fueron 0.53%, 13.27% y 26.31% respectivamente. El mejor tratamiento de las plantaciones fue 15 tallos con nodriza en las dos localidades. En la caracterización morfológica de la semillas, el valor promedio en largo fue 2.92±0.26mm, en ancho fue 1.91±0.22mm y en grosor fue 1.50±0.41mm, con un peso promedio de 0.35g, presentando forma piriforme a ovoide, con superficie foveolada y predominando el color café; la viabilidad de las semillas fue de 86%, y la germinación fue de 35% a 28°C. En el cultivo *in vitro* la combinación de 1.5 mg/L de IAA y 1.5 mg/L de BAP mostró la mejor respuesta en la formación de callo en el explante entrenudo de la localidad de Santa Teresa de Sofía. La propagación vegetativa de la planta de candelilla es sumamente importante para restablecer las áreas sobreexplotadas de las regiones candelilleras del estado de Coahuila.

ABSTRACT

Mexico is the main and almost sole producer of candelilla plant's wax (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) in the world, with the state of Coahuila as production leader. This specie once common in northern Mexico and southern Texas, nowadays shows densities with ultimately affects the production rate at industrial use. Therefore, main goal of this study was to determine the present status for candelilla plant's population, integrating fundamental aspects such as plant biology in terms of production, improvement and conservation. For this, we conducted an inventory of populations in different localities of the state of Coahuila, associated species were determined in different ecotypes. Plants were collected in order to quantify wax content.; wild seeds were collected from fruits and characterized morphometrically determining viability and germination rates. *In vitro* culture and shoot proliferation were established. Experimental plantations were established. Among Forest inventory average density was 3995 plants per ha. Average volume per Sierra per plant was 0.031 m³. Average biomass volume was 116.22 m³ per ha. Wax quantification showed that the ratio between wax weight and plant height was not statistically significant (p=0.86), as well as ratio wax weight and sample quantify (p=0.37), wax weight and plant weight (p=0.19), determination coefficients were 0.53%, 13.27% and 26.31% respectively. Best plantations treatment was 15 stems with nurse plant in the two localities. For morphological characterization of seeds, average value was 2.92±0.26 mm length, 1.91±0.22 mm width and 1.50±0.41mm in thickness. Average weight was 0.35g, presenting pyriform to ovoid shape, with foveolate surface and brown color predominating, seed viability and germination were 86% and 35% respectively; germination data were obtained at 28°C. For *in vitro* culture best response in callus formation in the internode explants from Santa Teresa in Sofia locality was reached using the combination of 1.5 mg/L IAA and 1.5 mg/L BAP. Vegetative propagation of candelilla plant is very important to restore overharvested areas in the state of Coahuila.

1. INTRODUCCIÓN

México es un país con extensas regiones de zonas áridas y semiáridas, que cubren el 54.3% de su superficie total. La mayor extensión de estas zonas en México se ubica en la faja mundial de aridez, que en el país corresponde a los desiertos Chihuahuense y Sonorense.

La candelilla es una especie endémica de las regiones semidesérticas de Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. La candelilla es un arbusto bajo y muy ramificado, desprovisto de hojas, que se reproduce tanto por brotes de tallos aéreos y subterráneos, como por semilla.

La raíz de la planta es relativamente pequeña, aunque una planta de tamaño moderado puede desarrollar más de 100 tallos de color verde grisáceo, con dimensiones típicas de 30-60 cm de largo y de 0.1-1.0 cm de diámetro, dando lugar a la formación de arbustos de un tamaño aproximado de 90 cm de diámetro. La planta crece en zonas de clima semidesértico, principalmente en laderas de suelo calcáreo y rocoso, con gran capacidad de adaptación bajo condiciones de sequía. La candelilla ha desarrollado mecanismos fisiológicos para tolerar las temperaturas extremas, cubriendo la epidermis de sus tallos con cera, lo que le permite conservar la humedad que capta del suelo, preservar la clorofila y protegerse del exceso de energía calorífica.

Representa en la actualidad la base de una de las actividades más características e importantes de las regiones rurales semidesérticas del norte de México. El principal producto que se obtiene de la planta de candelilla es la cera, esta tiene en el país y en el extranjero un gran número de aplicaciones industriales y de uso doméstico que ha aumentado en los últimos años.

Destacando la fabricación de velas, manufactura de cosméticos, pinturas, recubrimientos para frutos de exportación, revestimientos aisladores, goma de

mascar, ceras para calzado, ungüentos, jabones, envases desechables y productos para pulir y abrillantar automóviles, muebles y pisos.

La explotación intensiva de la planta de candelilla ha disminuido sus poblaciones, lo cual ha resultado en una pérdida severa del suelo y la disminución significativa de su poder productivo, contribuyendo a la desertificación de la región candelillera. El costo de esto ha llevado a la alteración del ciclo hidrológico, la salinidad de suelos, reducción de productividad y la pérdida de su diversidad biológica. Se estima que para la rehabilitación de las zonas áridas de México se tienen que invertir más de 9 millones de dólares, por lo que es evidente la urgencia de la restitución de la cobertura vegetal nativa y el establecimiento de programas específicos a largo plazo, encaminados al establecimiento de una agricultura sostenible que cubra económicamente las necesidades de las generaciones presentes, mediante un manejo adecuado del recurso natural y asegure el bienestar de futuras generaciones.

El presente trabajo tiene como principal propósito determinar la situación actual de las poblaciones de candelilla, integrando aspectos fundamentales de la biología de la planta en términos de producción y conservación, incluyendo prácticas de reproducción sexual y asexual.

2. JUSTIFICACIÓN

El aprovechamiento indiscriminado de la candelilla, para la obtención de cera ha traído como resultado la sobreexplotación de dicho recurso; sin embargo después de tantos años de recolectar el recurso, persiste el proceso de extracción y las condiciones de extrema pobreza de los habitantes de la zona candelillera. Por lo cual, la presente investigación pretende elevar la producción de biomasa de candelilla y de cera, mediante los diferentes tipos de propagación de ecocultivos, garantizando a futuro un abasto continuo de esta materia prima, que responda a las demandas existentes del mercado sin deteriorar el ambiente ni poner en peligro este recurso vegetal.

3. IMPORTANCIA

Debido a las condiciones climáticas, en particular la sequía, que limitan las actividades agropecuarias, los habitantes de las zonas áridas, incrementan sus esfuerzos de colecta de especies vegetales silvestres de interés económico como es el caso de la candelilla. La planta de candelilla es de gran importancia ya que sus tallos están cubiertos de cera que presenta características de dureza, estabilidad química, brillo e impermeabilidad, lo que le ha permitido utilizarla en la elaboración y el acabado de gran variedad de productos (Cervantes Ramírez, 1992).

México es el principal y casi único productor de cera de candelilla en el mundo, y Coahuila el estado líder de producción; la candelilla ha pasado de ser común del norte de México y el sur de Texas, a presentar una disminución en la densidad de plantas, resultando en una disminución significativa de su poder productivo, esto, aunado a la falta de estudios acerca de la planta (Esquivel, 1979), y a su difícil reproducción a nivel del laboratorio. Es de vital importancia esta investigación ya que mediante el estudio de la viabilidad de la semilla, se evaluarán métodos de germinación adecuados que aumenten la tasa y el porcentaje de germinación estableciendo las bases técnicas y científicas para el desarrollo de plantaciones a gran escala.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Determinar la situación actual de las poblaciones de candelilla e integrar aspectos fundamentales de la biología de la planta de candelilla en términos de producción, mejoramiento y conservación, incluyendo prácticas de reproducción sexual y asexual.

4.1.1 Objetivos Particulares

1. Determinar la situación actual de las poblaciones de candelilla.
2. Determinar las especies asociadas en diferentes ecotipos.
3. Cuantificar el contenido de cera.
4. Establecimiento y desarrollo de plantaciones de candelilla.
5. Caracterizar morfométricamente las semillas de candelilla, determinar la viabilidad y germinación.
6. Establecer el cultivo *in vitro* de candelilla y la proliferación de brotes.

5. HIPOTESIS

La situación actual de las poblaciones de candelilla y los aspectos fundamentales de la biología de la planta en términos de producción, mejoramiento y conservación, incluyendo prácticas de reproducción sexual y asexual varían de acuerdo a los diferentes ecotipos y topografías presentes en las localidades de estudio del estado de Coahuila, México.

6. ANTECEDENTES

6.1. GENERALIDADES SOBRE LA CANDELILLA

6.1.1 Clasificación Botánica

Reino Plantae

División Magnoliophyta

Clase Dicotyledoneae

Orden Euphorbiales

Familia Euphorbiaceae

Género *Euphorbia*

Especie *antisyphilitica*

El botánico Zuccarini describió en 1832 por primera vez la planta de candelilla con el nombre científico *Euphorbia antisyphilitica*, reconociendo las propiedades medicinales del jugo de la planta como un remedio utilizado por los indígenas para tratar la enfermedad venérea de la sífilis. Una nueva clasificación de la candelilla fue presentada en 1909 por G. Alcocer quien la nombró *Euphorbia cerífera*, destacando las propiedades de la planta para la generación de cera, la cual le sirve como elemento de protección y sello para la retención de humedad (Scora *et al.*, 1995; Saucedo-Pompa, 2007; Instituto de Candelilla, 2008).

6.1.2 Botánica

Pertenece a la familia Euphorbiaceae, que está constituida por árboles, arbustos, y herbáceas típicamente con látex; son plantas monoicas caracterizadas por inflorescencias en las que la unidad básica es el ciato. La familia incluye alrededor de 8700 especies ubicadas en 320 géneros (Webster, 1994) distribuidas principalmente en los trópicos y también en zonas templadas. (Figura 1). Se calcula que en México está representada por 43 géneros y 782 especies, más 32 taxas intraespecíficos: 8 subespecies y 24 variedades. El género *Enriquebeltrania* es endémico del país, además se estima que 57% de las especies mexicanas son endémicas.

A nivel de género muestran una gran afinidad con los de Centro y Sudamérica. A pesar de su gran importancia, tanto sistemática como florística, el conocimiento de las Euphorbiaceae en México es aún sumamente pobre (Steinmann, 2002).



Figura 1. Vista general del matorral desértico con candelilla.

6.1.3 Descripción morfológica de la planta

La candelilla es una planta perenne de tallos múltiples, cilíndricos y de color verde blanquecino, debido a la cera que produce como respuesta adaptativa a las condiciones ambientales extremas de las zonas áridas. Sus hojas son pequeñas y sésiles. Se reproduce por semilla; por brotes de tallos aéreos y subterráneos.

Los tallos aéreos son erectos, herbáceos, cilíndricos y sin ramificaciones. Miden entre 5 y 10 cm cuando son tiernos, mientras que en las plantas adultas, su altura en promedio es de 45 a 65 cm. Algunos ejemplares alcanzan hasta 1.30 m. El diámetro medio varía entre 3 y 5 mm. Cada cierto trecho presenta estrangulaciones de color más oscuro, que corresponden a períodos de crecimiento. Los tallos jóvenes son de color verde, que paulatinamente va tornándose plomizo o blanquecino debido a la cera que cubre exteriormente a dichos tallos. En un comienzo, la cera se presenta en forma de pequeños puntos que, paulatinamente van transformándose en una especie de escamas, hasta cubrir totalmente el tallo de la planta cuando es adulta. El tallo alcanza un crecimiento por año de 6 a 15 cm de longitud, existiendo entre nudo y nudo un lapso de crecimiento de espacio de un año (Flores-López, 1995).

Por su parte, Alarcón, 1945 (citado por De la Cruz, 1958) señala que el crecimiento longitudinal posee un límite, el cual llegado el tallo, se suspende y entonces la planta forma nuevos tallos. La planta se encuentra formando grupos de acuerdo a su edad (Figura 2).



Figura 2. Ramificación de candelilla por rizomas.

La cera de los tallos se desprende en forma de laminillas que en su cara posterior, conservan impresa la huella de las estrías epidérmicas. Al seccionar el tallo, se desprende el látex de aspecto lechoso. La edad de la candelilla, se determina valiéndose de los crecimientos anuales de altura de los tallos (Esquivel, 1979).

Las hojas son sésiles de forma oblonga lanceolada y presentan dos estipulas, una a cada lado de la base. Miden de 6 a 10 mm de largo y 1 mm de ancho. Son de color verde en un principio, cambiando paulatinamente a rojizo (Flores-Calderón, 1942 en Esquivel, 1979).

En los tallos tiernos las hojas son poco visibles debido a su pequeño tamaño, mientras que en los tallos adultos son caducas, permaneciendo entre 15 y 20 días. Estas características los hacen aparecer como si fueran áfidos.

Las flores se encuentran reunidas en inflorescencia de tipo cima. Las cimas se distribuyen a lo largo del tallo en las estrangulaciones y en la parte terminal. Cada

cima consta de varias flores, siendo mayor el número en la parte terminal, encontrándose en las de tipo pseudanto, que en el caso de la familia Euphorbiaceae, se le denomina ciato (Figura 3). Lo que alude a que las flores que constituyen la inflorescencia, se disponen de tal manera, dando la impresión de ser una sola flor (Chapa-Romo, 1959).



Figura 3. Morfología de: A) una flor, B) flores en inflorescencia de candelilla.

El fruto es una cápsula trilocular, dehiscente; en su interior contiene 3 semillas; su diámetro máximo es de 5 mm; el color es café. Es común que de los 3 óvulos del fruto se desarrollen uno, dos ó ninguno (Flores, 1941 en Chapa, 1959). Cuando los óvulos están maduros, la cápsula estalla y se parte en tres gajos, expulsando con fuerza las semillas.

Las semillas son pequeñas, de color café claro debido a la cera que la cubre totalmente; al quitar esta capa aparece la coloración de la semilla que es guinda, su forma varía de elíptica a ovoide, están ubicadas dentro del lóculo, con la carúncula hacia abajo. Presentan rafe que va desde la zona micropilar hasta la región basal.

Su superficie es rugosa. La semilla con dos cotiledones y óvulo anátropo, posee

abundante endospermo (Esquivel, 1979).

Hodge y Sineath, 1956 en Flores-López, 1995 mencionan que la floración principia al parecer con los periodos de lluvia, presentándose esta de Julio a Agosto en México, y de fines de Abril hasta mediados de Junio en el área de Bing Bend en Texas. Sin embargo, Alarcón, 1945 en De la Cruz, 1958, registra que la floración depende de la humedad acumulada por la planta durante las lluvias de invierno, anticipándose o retardándose según la humedad almacenada.

6.2 CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA

La semilla es la estructura que permite supervivencia de la especie y dispersión en diferentes condiciones ambientales. Hay una inmensa diversidad en la estructura externa e interna de las semillas, que se relaciona en gran parte con diferentes estrategias de dispersión y germinación. Estas variaciones incluyen el tamaño y posición del endospermo y el embrión, estructura, textura y color de la cubierta seminal, forma y dimensiones de la semilla (Flores-Vindas, 1999).

Las semillas son la forma como las plantas dan origen a nuevas plantas, y junto con el polen son la única forma móvil de las especies vegetales (Jurado, 2004). Una semilla es genéticamente un individuo distinto a la planta madre y al resto de las semillas y en términos sencillos puede definirse como un embrión (casi siempre deshidratado) que posee una reserva de nutrimentos los cuales ayudan al desarrollo de la plántula hasta que esta pueda fotosintetizar y elaborar su propio alimento (Harper *et al.*, 1970 en Jurado, 2004).

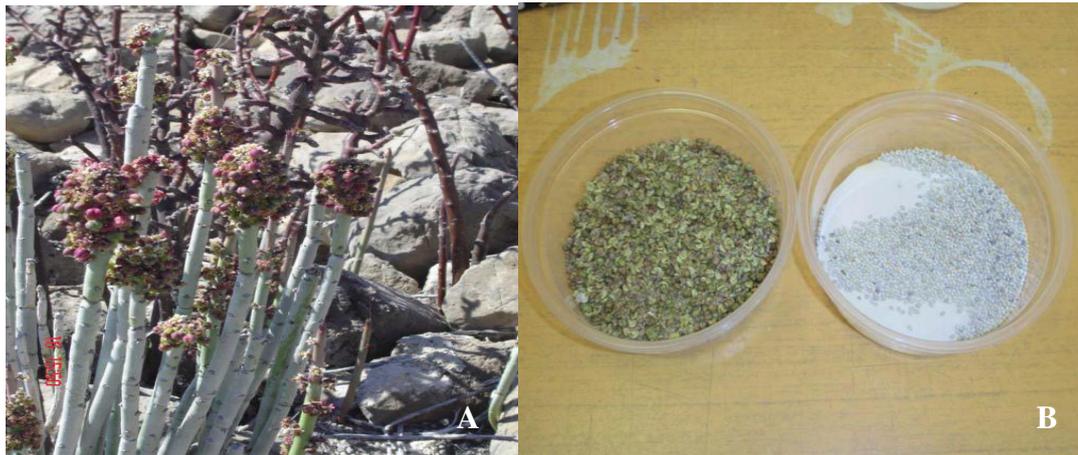


Figura 4. Etapa de fructificación de candelilla: A) semillas en cápsulas, B) semillas secas extraídas de las cápsulas.

El fruto es el órgano que deriva de la transformación del ovario después de la fecundación y la semilla es el órgano resultante de la transformación del óvulo fecundado (Figura 4). Se considera semilla pura a toda simiente de la especie analizada cuya identidad ha sido confirmada previamente o a la semilla de determinada especie predominante encontrada en el análisis, incluyendo todas las variedades botánicas y cultivadas de dicha especie. La fracción de semilla pura está integrada por:

- Semillas de la especie, consideradas inmaduras, arrugadas, germinadas o de tamaño inferior al normal.
- Fragmentos de semillas de tamaño superior a la mitad del tamaño normal.
- Semillas con o sin testa,
- Semillas enfermas, con excepción de aquellas modificadas por hongos (Perretti, 1994).

La semilla madura consiste en un embrión, rodeado de cubiertas seminales y por el alimento almacenado, este puede hallarse en el endospermo o dentro del embrión. Las cubiertas seminales proceden de los tegumentos del óvulo; generalmente existen dos cubiertas, la externa que se denomina testa y la interna tegumento que suele ser mucho más delgada que la externa y en ocasiones se deseca y se endurece mucho protegiendo más el embrión. Una vez desarrollada la semilla, el embrión en la fase más avanzada consta de 4 partes distintas, la plúmula, los cotiledones, el hipocotilo y la radícula (Overholst *et al.*, 1976 en Carrillo-Gutiérrez, 1986).

Las semillas difieren ampliamente en cuanto a su tamaño, tipo de dispersión, longevidad y tiempo transcurrido entre la formación de las semillas y la germinación, así como en los mecanismos que previenen la germinación (Jurado y Westoby, 1992).

Las semillas son el principal medio de perpetuación para la mayoría de las especies vegetales, por tal motivo es importante el conocimiento y entendimiento de los procesos de formación, desarrollo maduración, dormición y germinación. Entre mayor sea el conocimiento acerca de las semillas, se podrán cosechar de manera más eficiente y exitosa; además será posible utilizarlas de mejor manera, a fin de obtener el mayor beneficio posible de ellas.

Radford, (1974), afirma que las plantas pueden reproducirse de la misma forma con semilla que a partir de rizomas. La reproducción por semilla es muy difícil, puesto que la recolección de ellas ofrece dificultades debido a que los frutos se rompen cuando están maduros perdiéndose la semilla (Radford, 1974 en Degollado-Veloz, 1989).

6.3 GERMINACIÓN

La germinación es el proceso desencadenado por la rehidratación de la semilla y el inicio de la expansión de la radícula. El proceso de germinación involucra la transición de las células de un estado deshidratado y de baja actividad metabólica a un estado hidratado y de intensa actividad metabólica. El agua es absorbida de manera trifásica por muchas semillas: a) imbibición, b) germinación *sensu stricto* y c) desarrollo del embrión (Flores-Vindas, 1999).

La germinación es un evento en el que la semilla apuesta su vida, ya que una vez iniciado el proceso, no puede regresar al estado de letargo (Jurado y Moles, 2004).

La germinación es la reanudación de las actividades de crecimiento del embrión, suspendidas o disminuidas al momento de alcanzar la semilla su madurez fisiológica. Esta madurez implica el establecimiento de un estado metabólicamente activo que se manifiesta fisiológicamente con división celular y diferenciación, y morfológicamente con la transformación de un embrión en una plántula.

La primera expresión visible del reactivado de crecimiento es la emisión de la radícula (Perretti, 1994).

Los factores ambientales directamente involucrados en el proceso de germinación según Flores-Vindas, (1999), son:

1. Agua: la imbibición del agua es el primer requisito para la germinación de las semillas, porque permite la reactivación metabólica y la completa restauración del sistema de membranas y organelos; la imbibición está sujeta a la permeabilidad de la cubierta seminal.

2. Temperatura: en condiciones naturales determina la capacidad y tasa de germinación, removiendo el letargo primario y secundario; en algunos casos es un factor que induce letargo secundario. La tasa de germinación depende en gran parte del nivel de temperatura, el límite superior es cercano a 45°C y el inferior está entre 3 y 5°C, los regímenes de temperatura alternantes (20°C en la noche y 30°C durante el día) parecen óptimos para las especies de zonas templadas aunque resultados similares se obtienen con temperaturas constantes de 25°C para las especies tropicales en el rango de 25 a 30°C.
3. Luz: estimula la germinación, pero no es estrictamente necesaria para la mayoría de las semillas. El sistema de fotocontrol de la germinación está regulado por el fitocromo que existe en dos formas reversibles, rojo y rojo lejano.

La procedencia de las semillas utilizadas en la siembra es el primer punto a observar para cada sitio, ya que dentro de una especie, la adaptación genética a diferentes condiciones ambientales nos lleva a seleccionar las semillas de acuerdo a sitios característicos, de modo que se podría contar con semillas de la misma especie pero de diferentes procedencias (localidades); cuando esto sucede debemos seleccionar la localidad que presente las condiciones ambientales más parecidas a las del lugar donde se va a realizar la siembra, esto tiene como finalidad garantizar en cierta medida el éxito en la germinación y posterior establecimiento de las plántulas.

Es importante preservar la variación genética, pues esto ayudará a que los individuos evolucionen de la mano con la selección natural creando individuos con nuevas combinaciones genéticas que serán seleccionadas por el medio en el que se encuentren; estos individuos están mejor adaptados y tendrán una abundante reproducción. Entre las principales características a evaluar al considerar la fuente de semilla están las siguientes:

- 1) Factores de sobrevivencia y crecimiento (porcentaje de sobrevivencia, diámetro del cuello de la raíz, diámetro del tallo y de los brotes),
- 2) Respuesta del crecimiento, temperatura, fotoperiodo, fertilizantes, etc.,
- 3) Requerimientos pregerminativos de las semillas,
- 4) Efecto de la temperatura y la luz sobre la germinación de las semillas,

- 5) Fenología de la planta (desarrollo vegetativo, floración y fructificación),
- 6) Forma, tamaño y peso de frutos y semillas,
- 7) Resistencia a enfermedades y plagas,
- 8) Resistencia a condiciones ambientales (Villalón-Mendoza, 2004).

El ensayo del poder germinativo proporciona información sobre el valor de las semillas en relación a su comportamiento en campo en condiciones agroclimáticas favorables, y permite determinar la máxima capacidad de siembra de distintos lotes (Perretti, 1994).

6.4 GERMINACIÓN Y VIABILIDAD DE LAS SEMILLAS

Los métodos de escarificación de semillas son tratamientos que remueven la dureza de las capas germinativas y son aplicados antes del ensayo de germinación. De acuerdo al sustrato que se utilice para germinar las semillas; los ensayos se pueden dividir en: Ensayos de germinación con papel, (sobre papel, entre papel), con arena (sustrato en arena, sobre la arena) y ensayos de germinación con suelo (Perretti, 1994).

De acuerdo a las pruebas de germinación en el laboratorio, la germinación de las semillas de candelilla en la oscuridad y a una temperatura media de 25°C, demora entre 48 y 72 horas (De la Cruz, 1958).

Según Chapa-Romo, (1959), en un kilogramo de semilla de candelilla hay 272, 000 semillas de las cuales son viables 260, 000, el resto son vanas, es decir, el 4.4%. Por su parte Flores-Calderón, (1942), asegura que un alto porcentaje es infecunda.

En un estudio comparativo para establecer la efectividad de la germinación entre el método bioquímico a base de cloruro 2-3-5, trifetil tetrazolium mediante reacciones de coloración con el método fisiológico, se llegó a la conclusión de que el método fisiológico es más fácil de evaluar pero no el más apto, ya que mediante el estudio bioquímico se determina la enzima deshidrogenasa presente en los embriones que son aptos para germinar (López, 1961).

En una investigación para coleccionar y caracterizar el germoplasma de algunas leguminosas forrajeras, se realizaron pruebas de germinación de varias especies para obtener datos sobre la viabilidad de las semillas y el establecimiento de un jardín. Con pretratamientos de escarificación, tanto mecánica (raspado con papel lija), química (inmersión en ácido sulfúrico durante 5 minutos), se obtuvieron valores de germinación del 96% y 80% respectivamente, teniendo un pretratamiento testigo con valores del 72% (González-Sánchez, 1985).

Foroughbakhch (1989), compara dos métodos económicos viables para romper el letargo de semillas, encontrando que los mejores tratamientos fueron la escarificación mecánica y la escarificación química, el primero de ellos utilizando elementos abrasivos como limas, navajas y papel lija comercial y el segundo la técnica de inmersión en ácido sulfúrico concentrado durante 20 minutos y con agitación constante. Los anteriores tratamientos tuvieron un porcentaje de germinación del 95.5% y del 94%, respectivamente.

En un estudio para mejorar la eficiencia en romper la latencia de las semillas, se aplicaron los extractos orgánicos de raíz y hojas secas de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en concentraciones de 0.05 mg, 0.01mg, 0.1 mg y un testigo absoluto. Los resultados mostraron una tasa de germinación de 96.8% a los 20 días después de la siembra, con un Índice de Velocidad de Germinación (IVG) de 12.1% en 0.05 mg de extracto de raíz (González *et al.*, 1994). Por otra parte, Jurado (1997), evaluó el porcentaje de germinación en 66 especies de las cuales 28 especies presentaron un porcentaje mayor al 20%, 11 de estas especies requirieron escarificación para promover la germinación, las otras 17 especies germinaron solamente después de la escarificación en número pequeño (menos de 20% baja germinación).

Flores y Jurado (1998), estudiaron características de germinación de 24 especies y sobrevivencia de plántulas de 12 especies vegetales del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Se realizaron experimentos para comparar la tasa y el porcentaje de germinación a la temperatura media de verano (28°C) y de invierno (12°C).

Se estudió el establecimiento de plántulas bajo tres condiciones de luz (directa, bajo sombra artificial y bajo matorral); la mayoría de las especies germinaron en menos de 10 días, algunas especies requirieron de escarificación para promover la germinación, todas las especies germinaron a la temperatura media de verano y la mayoría germinó a la temperatura media invernal; la mayoría de las especies mostraron una tendencia a establecer más plántulas bajo sombra artificial, las plántulas bajo esta condición mostraron una tendencia a ser más altas que aquellas bajo sol directo o bajo matorral. En otra publicación Jurado *et al.*, 2000 describen la emergencia, tasa de germinación y la temperatura de germinación (12 y 28°C), longevidad y tamaño de la semilla en gramíneas, hierbas y leñosas presentes en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. La germinación fue mayor de 20% para 28 especies, 17 especies presentaron 10% menor y 21 especies no germinaron bajo ninguna circunstancia.

En un estudio de la germinación de 47 especies herbáceas y leñosas representantes de la flora del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México, se encontró que más de la mitad de las especies presentaron una germinación similar bajo condiciones de primavera y otoño, y 17 especies mostraron porcentajes altos de germinación en condiciones lluviosas de primavera (Jurado *et al.*, 2001).

Moreno-Álvarez *et al.*, (2001) compararon la utilidad de dos nuevas técnicas de determinación de la viabilidad de semillas (test de electroconductividad y test del índigo carmín) tomando como referencia el test del tetrazolio, técnica bioquímica aceptada por ISTA. Como control de todos ellos se realizó el ensayo de germinación; se utilizaron semillas de *Pinus pinaster* y *P. halepensis* de dos ecotipos. Con el índigo-carmín los resultados de estimación del potencial germinativo son para *P. pinaster* ($r^2 = 0.92$) y *P. halepensis* ($r^2 = 0.94$).

6.5. HÁBITAT Y DISTRIBUCIÓN DE LA CANDELILLA

Área de distribución natural (Fuente: CITES, 2009; Instituto de la Candelilla, 2008).

La planta de candelilla crece casi exclusivamente en una región semiárida de América del Norte, conocida como "El Desierto de Chihuahua". La mayor extensión de este desierto se encuentra en territorio mexicano y consta de las regiones del Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango y Chihuahua, extendiendo sus fronteras hasta los límites de Texas, Nuevo México y Arizona en los Estados Unidos (Figura 5).



Figura 5. Ubicación del Desierto Chihuahuense y mapa de distribución correspondiente de las plantas de Candelilla (Fuente: Instituto de la Candelilla 2008).

Es notable que el área de distribución de la planta no sea totalmente congruente con la zona del tipo desértico, especialmente en su parte norte. La planta de candelilla florece a elevaciones entre los 400 y 1000 m sobre suelos bien drenados, con orientación sur en laderas de piedra caliza. En Estados Unidos la candelilla crece en zonas de Trans-Pecos en Texas como el Big Bend National Park, donde las fuertes heladas son raras (Bacon, 2009). Probablemente los Estados Unidos se encuentran en el borde norte de la distribución causado por factores ecológicos, por ejemplo, heladas severas.

En Nuevo México, la especie se considera en peligro de extinción, situación que por lo general indica una situación límite. Comúnmente crece en las tierras bajas en laderas de grava en las áreas de piedra caliza, como la Sierra del Carmen y Mesa de Anguila.

La candelilla es una planta endémica de las regiones semidesérticas de Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas; en Estados Unidos de América, se distribuye en los estados de Nuevo México y Texas. Crece en laderas con suelo calcáreo, de origen aluvial, someros (menor de 25 cm), de textura franco arenosa, poco profundos, pedregosos, con buen drenaje, ricos en carbonato de calcio, con un pH que va de 7.4 a 8.4 y pobres en nitrógeno. Son arbustos con un diámetro aproximado a 90 cm, la raíz es pequeña; aunque una planta de tamaño moderado puede desarrollar más de 100 tallos de color verde grisáceo, con dimensiones típicas de 30 a 60 cm de largo y de 0.1 a 1.0 cm de diámetro (Romahn,1992; Instituto de la Candelilla, 2008; Taller Nacional de Candelilla, 2008).

La región candelillera posee una superficie de 14 millones de hectáreas, se le denomina región candelillera porque hasta la fecha la actividad económica y principal fuente de ocupación para los habitantes de las estas zonas constituye la recolección de candelilla (Figura 6). Siendo subdivida en 4 zonas: I las Coloradas, II Ocampo, III Coyame y IV Tlahualillo (Peña-Contreras, 1998). La zona Candelillera comprende los estados productores de Coahuila, Zacatecas, Durango, Chihuahua y Nuevo León (Padilla-Fuentes, 1959); los cuales cubren el 28.5% del territorio correspondiente a los estratos desérticos del país.



Figura 6. La recolección de candelilla en el ejido Las Morenas, Cuatrociénegas, Coahuila.

La zona candelillera se encuentra limitada al Este por la Sierra Madre Oriental al Oeste por la Sierra Madre Occidental y al Sur por las Serranías de Zacatecas y San Luis Potosí (Flores-López, 1995). Según Villarreal-Barrera, (1995), la región candelillera se localiza por superficies parciales de los municipios de Castaños, Cuatrociénegas, Francisco I Madero, General Cepeda, Ocampo, Parras, Ramos Arizpe, Saltillo, San Pedro, Sierra Mojada y Viesca. Dichos municipios están comprendidos en el rango de los 740 msnm hasta los 1600 msnm en donde predominan temperaturas extremas. La temperatura media anual para la región es de 18 a 22°C (Maldonado, 1979 en Flores-López, 1995) resistiendo temperaturas máximas hasta de 47°C y mínimas hasta de 14°C; la precipitación media anual varía de 120 mm a 600 mm. El clima para la región según la clasificación de Köpen, modificado por García, (2004), adaptada a la Republica Mexicana son el Bw (muy árido con lluvias de verano), y el Bs (árido con lluvias de verano), de los cuales Andrade (1958), reporta como predominante el clima muy árido con lluvias de verano. La mayor parte de esta zona está situada en la planicie a una altura de 900-1500 msnm (Andrade ,1958 en Flores-López, 1995). Los suelos del área candelillera son de origen coluvial y aluvial, con profundidades de 5 hasta 9 cm en la mayor parte del área (Guzmán, 1978, en Esquivel, 1979). La candelilla se desarrolla en suelos que poseen una profundidad de 5 a 50 cm que presentan un contenido de piedra y grava entre el 15 al 30% de arcilla, siendo los más frecuentes los migajones arenosos, arcillo arenosos y los suelos francos.

La candelilla se encuentra ampliamente distribuida desde el meridiano 99°25' W (parte del suroeste de Jaumave) hasta los 105°50' W (parte suroeste de Jaumave) y desde los 22°00' a los 30°40' latitud Norte aproximadamente. Las mayores concentraciones de candelilla se encuentran en una faja que se extiende entre los meridianos 102° a 104° latitud oeste (desde el Río Bravo hasta el paralelo 24°00' pero particularmente marcado dentro de los meridianos 102° a 103° W).

Se encuentra en altitudes de 700 a los 1200 msnm, con pendientes de 1 a 3% en donde contribuye a la prevención de la erosión edáfica, pues protege al suelo de la radiación solar y del efecto del viento. Además no se conocen plagas o enfermedades que la afecten; sin embargo, el aprovechamiento del recurso, la ganadería, el sobrepastoreo y los incendios pueden llegar a poner en peligro sus poblaciones (CONAFOR, 2009).

La candelilla se desarrolla generalmente mezclada con especies espinosas de la región. No forma masas puras, se encuentra localizada en forma de matas o manchas ocupando desde una pequeña fracción de tierra hasta varios centenares de áreas. Se encuentra mezclada con especies como la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), guapilla (*Agave striata* y *A. falcata*), guapilla china (*Agave glomerata*) sotol (*Dasylirium cedrosanum*), ocotillo (*Fouquieria splendens*), maguey cenizo (*Agave asperrima*), sangre de drago (*Jatropha dioica*), palma china (*Yucca filifera*), palma samandoca (*Yucca carnerosana*), hojasén (*Fluorensia cernua*), mezquite (*Prosopis granulosa* var. *glandulosa*), cenizo (*Leucophyllum frutescens*), costilla de vaca (*Atriplex canescens*) quelites (*Amaranthus spp*), rabanillo (*Raphanus raphanistrum*), mariola (*Parthenium icanum*). Se asocia también con numerosas cactáceas, como: nopal (*Opuntia sp*), Cardeneche o coyonostle (*Opuntia imbricata*), nopal cegador (*Opuntia microdasys*), Tasajillo (*Opuntia leptocaulis*) de acuerdo con Esquivel, (1979).

La recolección de la candelilla es de naturaleza migratoria, ya que una vez agotada la planta de un área, los recolectores se trasladan a otros lugares en donde esta abunda (De la Cruz, 1958), la recolección se practica en terrenos ejidales (Marroquín *et al.*, 1964). Según Espinosa, (1962) en Flores-Lopez, 1995 la recolección de la candelilla se realiza en época de sequía, específicamente de octubre a junio y la principal recolección se realiza en los meses invernales. Por otra parte

Cárdenas, (1988), afirma que un factor limitante para la asimilación de nutrientes de la planta de la candelilla a través de las diferentes estaciones del año es el pH, mismo que se encuentra relacionado con la producción de la cera. Además menciona que los carbonatos influyen en la concentración de hidrógeno presentes en el suelo, y en consecuencia aumenta o disminuye el pH, lo cual afecta la asimilación del fósforo.

Como respuesta adaptativa a las condiciones ambientales extremas de las regiones áridas, la candelilla produce cera que le permite conservar la poca humedad que capta en los tiempos de lluvia y protegerse del exceso de energía calorífica (Scora *et al.*, 1995; CONAFOR, 2005).

6.6 APROVECHAMIENTO DE LA CANDELILLA

Su descubrimiento y uso se debe a los indígenas del norte de México, quienes extraían la cera cruda mediante el calentamiento de los tallos en recipientes de barro y después la mezclaban con colorantes para usarla con fines ornamentales (Romhan, 1992; Romhan, 1992a). Algunas versiones indican que en la antigüedad se quemaba para la iluminación, por lo que cumplía con las funciones propias de una vela; también, la utilizaban para tensar arcos, curtir pieles, en preparaciones medicinales contra el dolor de muelas y como laxante. En la época de la colonia española se empleó para elaborar velas, de ahí el nombre de candelilla, que significa “vela pequeña”.

La planta de candelilla es un producto no maderable que se obtiene de su recolecta comercial, y cuyo aprovechamiento se remonta a 1914, año en que los señores Borrego y Flores diseñaron un método sencillo para la extracción de la cera. Técnica que consiste en la recolección total de la planta y posterior ebullición en una solución agua-ácido sulfúrico, método que en la actualidad todavía es utilizado. Durante los primeros años del siglo XX llegó a convertirse en una de las primeras actividades económicas en el sector forestal del Desierto Chihuahuense.

En la actualidad, del aprovechamiento de la candelilla dependen pequeños productores de cera, conocidos a nivel local y nacional con el nombre de “Candelilleros”, cuyo número es más de 3,500, distribuidos en 230 ejidos de 33 municipios del noreste rural de México. Coahuila es el principal estado productor, en donde sobresalen los municipios de Ocampo, Cuatrociénegas y Sierra Mojada.

6.6.1 Descripción del proceso tradicional de colección y extracción

Comienza con la recolección de la planta de candelilla la cual es arrancada de raíz (Figura 7) sin respetar lo establecido en la NOM-018-SEMARNAT-1999 (SEMARNAT, 2008) para posteriormente colocar la planta en calderos de hierro llamados “pailas”, con una solución de ácido sulfúrico a una concentración aproximada del 0.3% (v/v); el ácido sulfúrico utilizado es un desecho de la industria de los fertilizantes, según testimonios de los candelilleros. Un “tercio”, es la unidad de medida equivalente a una “brazada”, es decir, lo que se alcance a tomar entre los dos brazos abiertos; en kilogramos corresponde entre 24 y 32 Kg de planta, la variación responde al contenido de humedad de la planta. Cada paila tiene una capacidad de 500 L, allí se introducen ocho “tercios” (192 a 256 Kg) de candelilla por extracción o “pailada”. La carga inmersa en la solución agua-ácido se calienta a fuego directo hasta el punto de ebullición de la solución, lo que permite la fusión de la cera y que se desprenda de la planta (De León, 2008; Saucedo *et al.*, 2009).



Figura 7. Planta de candelilla cortada en tercios para su extracción.

El ácido sulfúrico evita que la cera se adhiera a las impurezas y forme una emulsión, la cual podría generarse dadas las condiciones de turbulencia durante el proceso de ebullición. Mediante esta técnica, la cera de candelilla fundida flota en la superficie del agua como espuma, enseguida se retira de la “paila” con utensilios que presentan orificios, denominados “espumaderas”, con las cuales se pasa a tanques de acero, cubetas con agujeros cónicos o a moldes de barro que se colocan a nivel de piso (Figura 8). En cualquiera de los recipientes, la espuma caliente (cera) se separa por decantación, de un licor pardo que precipita hacia el fondo, para posteriormente reciclarse en la “paila” de extracción. En la parte superior de la “paila”, se forma una capa de fina crema color amarillo, que constituye la cera de candelilla, a la cual se le conoce con el nombre de “cerote”, se retira con la ayuda de las “espumaderas” y se deja enfriar hasta solidificarse, a temperatura ambiente, después se quiebra en pedazos con golpes de martillo y los trozos se refunden en un recipiente cilíndrico de hierro (cortador) con la misma solución ácida con la que se realizó la extracción en la “paila”, a fin de eliminar las impurezas de tierra y materia orgánica, que finalmente se separan por sedimentación. La cera decantada, conocida como “cera de candelilla cruda”, se deja enfriar y solidificar. Para refinar la cera, CENAMEX, (2007) indica que es necesario quebrarla, fundirla y filtrarla a través de carbón activado y de algunos otros medios filtrantes. Para el 2005, el precio de la cera de candelilla refinada osciló, en México, entre 36 y 38 pesos el kilogramo y en Italia en 52 pesos los 100 gramos. Para marzo de 2009, los candelilleros de Cuatrociénegas (Ejido La Vega) vendían la cera de candelilla cruda a los intermediarios en 48 pesos por Kg pero una vez refinada su valor se incrementa; de tal manera que empresas como Multiceras S.A. de C.V. comercializó la cera refinada a 56 pesos por Kg (Canales *et al.*, 2006; Multiceras, 2010).

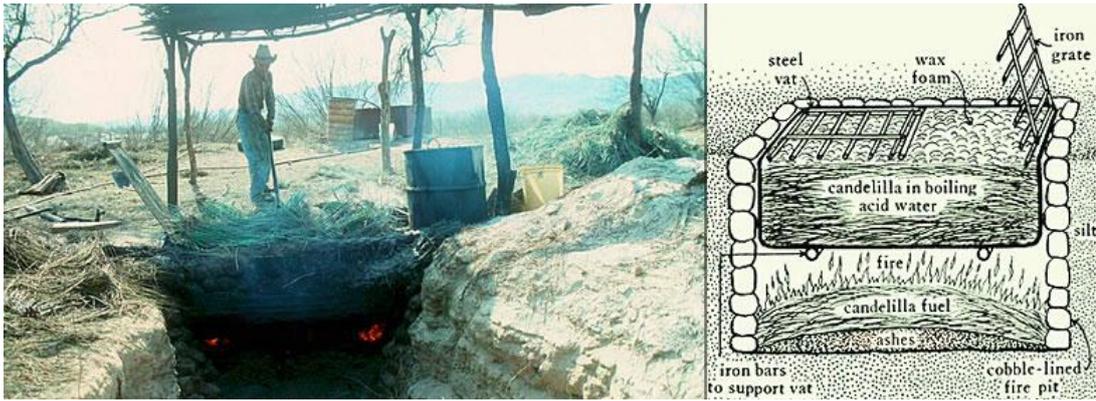


Figura 8. Paila extrayendo la cera de candelilla (imagen: University of Texas at Austin 2004).

6.7 USOS DE LA CANDELILLA

La cera es uno de los productos naturales más usados en la industria, desde la cosmética hasta la electrónica por sus características únicas como: color amarillo transparente, su dureza, su brillo y su fácil digestión sin ser tóxica; ya que es una sustancia generalmente reconocida como segura (GRAS), por la Food and Drugs Administration (FDA). Además, sus características fisicoquímicas, como su punto de fusión, impermeabilidad, su bajo índice de contracción y propiedades dieléctricas le permiten funcionar con eficiencia en el proceso de moldeo de precisión o cera perdida en la industria eléctrica (Canales *et al.*, 2006). El procesamiento y comercialización de la cera de candelilla, hasta 1992, estuvieron a cargo del Banco Nacional de Crédito Rural, por medio de un fideicomiso; sin embargo, ese año, el Poder Ejecutivo lo desapareció y transfirió sus funciones a una empresa denominada Ceras Naturales Mexicanas, S.A. de C.V. (CENAMEX), sociedad mercantil conformada con capital ciento por ciento mexicano y cuyos accionistas eran los seis mil candelilleros del país, representados por 300 grupos. Durante dos años, CENAMEX fue la única empresa que procesaba y vendía la cera en el mundo, pero en 1994, con la firma del Tratado del Libre Comercio para América del Norte (TLCAN) la apertura del mercado y la creación de nuevas empresas nacionales e internacionales la obligaron a ser más competitiva, en relación con la calidad del producto, mientras se incrementaba el precio (CENAMEX, 2007).

A principios del siglo XXI, en el 2006, México produjo 349 toneladas de ceras naturales con un valor superior a \$7, 677,582 pesos. Para el 2007, los principales consumidores fueron: España, Italia, Alemania y China con 85.38% del total de cera de candelilla; al siguiente año se exportó a Japón, Estados Unidos y Alemania. En la actualidad alrededor de este recurso gira la actividad de más de 3,500 pequeños productores. (Instituto de la Candelilla, 2008; Canales *et al.*, 2006; CENAMEX, 2007). 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. Destacan la fabricación de velas, manufactura de cosméticos, pinturas, recubrimientos para frutos de exportación, revestimientos aisladores, goma de mascar, ceras para calzado, ungüentos, jabones, envases desechables y productos para pulir y dar brillo a automóviles, muebles y pisos como lo indica la figura 9 (Gupta and Mehrotra, 1997; Hagenmaier, 2000; Cervantes, 2002; Barsch, 2004).



9. Productos derivados de la cera de candelilla.

En la manufactura de cosméticos, en el recubrimiento de dulces y frutos, como diluyente en la cera de abejas, ceras para calzado, velas, aislantes eléctricos, crayones, lustradores para pisos, ungüentos, jabones, moldes, modelos dentales, materiales eléctricos y aislantes, cableado de computadoras, y fabricación de papel térmico (NAS, 1975; Dávila, 1981; Esparza, 2003).

La revista *Nature* publicó en 1941 un artículo de John Whitaker, en el cual mencionaba que la cera de candelilla quizás era el material con el mayor número de aplicaciones comerciales de todas las sustancias extraídas de plantas silvestres que crecen en el continente americano. Hoy en día se usa en más de 20 industrias en todo el mundo (FDA, 1982; Kuznesof y Whitehouse, 2007; Instituto de la Candelilla, 2008).

6.8 PROPAGACIÓN DE CANDELILLA MEDIANTE CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES

La micropropagación es una herramienta que puede ser empleada como una herramienta para la conservación de la flora en un lapso de tiempo menor. El cultivo de tejidos es útil para multiplicar y conservar especies, las cuales son difíciles de regenerar con otros métodos de conservación y salvarlas así de la extinción. La criopreservación del germoplasma ayudaría a mantener la diversidad genética de población en peligro. Tecnologías mejoradas para el cultivo de células y tejidos ayudaría a producir compuestos activos *in vitro* con una mejor productividad y sin afectar los recursos naturales. Existe suficiente progreso en materia de investigación que sugiere que el cultivo de tejidos de Euphorbiaceae puede y debe ser desarrollada (Kondamudi *et al.*, 2009).

El éxito de la propagación vegetativa *in vitro* se ha informado de diferentes especies de *Euphorbia* (Lang *et al.*, 1974; Lee *et al.*, 1982; Jakobek *et al.*, 1986; Zhang *et al.*, 1987, Nielsen *et al.*, 2003, Torres, 2004, Uchida *et al.*, 2004). Se han realizados otros estudios de cultivo *in vitro* de diferentes *Euphorbias* por Jasrai *et al.*, 2003 quienes reportaron la formación de callo embriogénico en explantes nodales de *E. pulcherima* cultivados en MS (1962) + NAA, 2,4-D, Kn y 2ip. Brotes de candelilla fueron cultivados en medio MS modificado + NAA (0.13 μ M) y BAP (4.44 μ M), la combinación de enraizamiento en medio MS + IBA (0.49 μ M) y posterior aclimatación (Jakobek *et al.*, 1986).

7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

7.1 LOCALIZACIÓN

El marco de referencia para la realización de esta investigación está delimitado por los límites políticos del estado de Coahuila de Zaragoza (Figura 10), el cual colinda al norte con Estados Unidos de América; al este con Estados Unidos de América y Nuevo León; al sur con Nuevo León, Zacatecas y Durango; al oeste con Durango, Chihuahua y Estados Unidos de América.

Geográficamente se ubica entre $24^{\circ} 32'$ y $29^{\circ} 53'$ latitud norte y entre $99^{\circ} 51'$, $103^{\circ} 58'$ de longitud oeste.

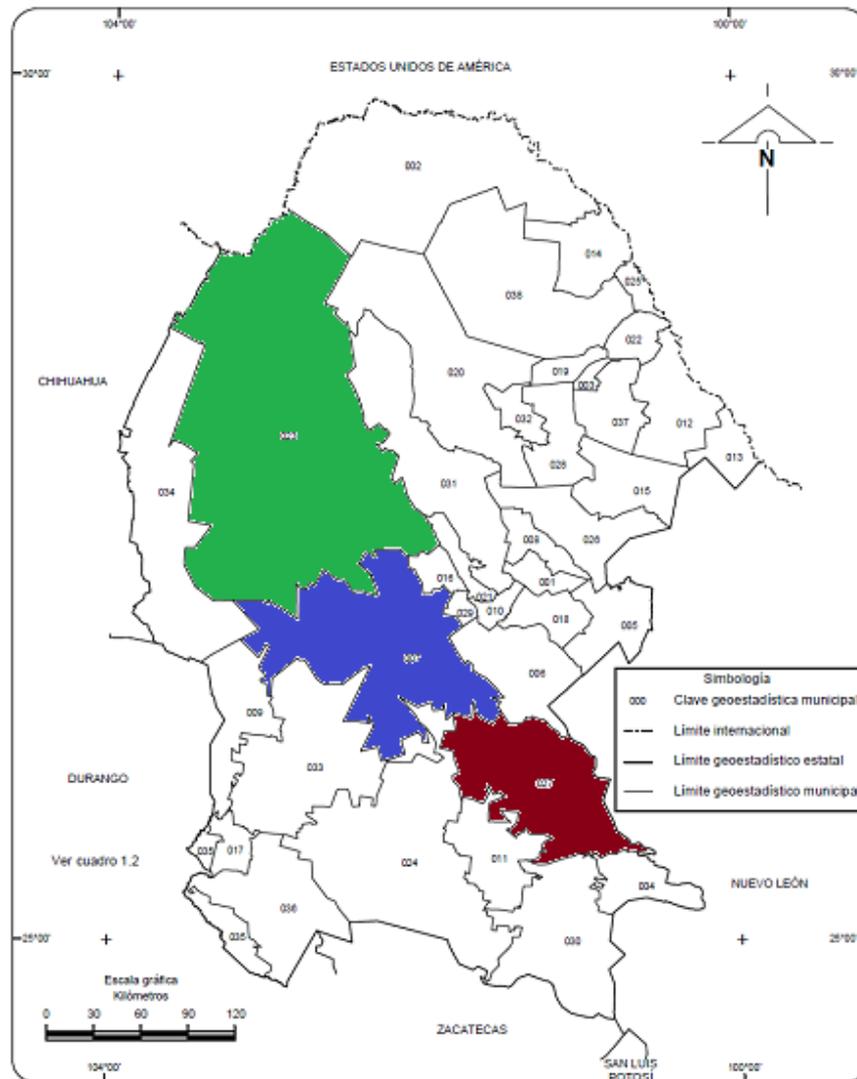


Figura 10. Área de estudio y colindancias

De acuerdo a la información geográfica obtenida del anuario estadístico del INEGI (2010) los datos descriptivos para el estado de Coahuila de Zaragoza se presentan a continuación además de algunas observaciones adicionales.

7. 2 EXTENSIÓN TERRITORIAL

El estado de Coahuila de Zaragoza está integrado por 38 municipios y cuenta con una superficie territorial continental de 151,562.6 Km² y representa el 7.7% de la superficie del país.

7. 3 FISIOGRAFÍA

Se distinguen 3 provincias fisiográficas principales de las Sierras y Llanuras del Norte y la Sierra Madre Oriental (Tabla 1) que por su complejidad y diversidad morfológica se subdividen en subprovincias, y la de la Grandes Llanuras de Norteamérica.

Tabla 1. Provincias y subprovincias fisiográficas en Coahuila de Zaragoza.

Provincia	Subprovincia	% de la superficie estatal
Sierras y Llanuras del Norte	Del Bolsón de Mapimí	2.83
	Llanuras y Sierras Volcánicas	9.35
	Laguna de Mayrán	5.08
	Sierras y Llanuras Coahuilenses	28.61
	Serranía del Burro	8.87
Sierra Madre Oriental	Sierra de la Pañla	12.61
	Pliegues Saltillo-Parras	6.38
	Sierras Transversales	7.76
	Gran Sierra Plegada	1.41
	Sierras y Llanuras Occidentales	0.05
Grandes Llanuras de Norteamérica	Llanuras de Coahuila y Nuevo León	17.05

7.4 GEOLOGÍA

Los principales afloramientos geológicos (Tabla 2) están representados por diferentes tipos de rocas formadas en diversas eras y diferentes períodos, predominando las de origen sedimentario; las principales actividades de la industria extractiva que se realizan y tienen relación con estas formaciones son variadas.

Tabla 2. Tipos de afloramientos geológicos y superficie porcentual en el estado.

Roca	% de la superficie estatal
Ígnea extrusiva	2.38
Suelo	43.52
Ígnea intrusiva	0.60
Sedimentaria	53.42
Metasedimentaria	0.02
Complejo metamórfico	0.02
Otro	0.21

7.5 HIDROLOGÍA

Existen 4 regiones hidrológicas (Tabla 3) en el estado siendo la principal por su extensión la cuenca del Bravo-Conchos.

Tabla 3. Regiones hidrológicas de Coahuila de Zaragoza y porcentaje de la superficie estatal.

Región	Nombre de la cuenca	Superficie estatal (%)
RH24	Bravo-Conchos	62.73
RH35	Mapimí	19.77
RH36	Nazas-Aguanaval	14.41
RH37	El salado	3.09

7.6 CLIMA

En el estado se reconocen 12 tipos de clima (Tabla 4), los de carácter templado y semifrío se localizan en el sureste del estado, los semicálidos subhúmedos se ubican en la zona sur, los semisecos, secos y muy secos ocupan la mayor extensión y cubren el resto del estado; las isothermas predominantes asociadas a la menor temperatura son de 8°C variando hasta la de 25°C; los rasgos históricos de precipitación promedio registrados desde 1970 han sido de 548.3 mm en el municipio de Piedras Negras.

Tabla 4. Tipos de climas del estado de Coahuila de Zaragoza.

Tipo de Clima	Símbolo	Superficie estatal (%)
Templado subhúmedo con lluvias en verano	C(w)	0.09
Templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año	Cx	1.82
Semifrío subhúmedo con lluvias escasas todo el año	C(E)x	0.16
Semiseco semicálido	BS1h	5.45
Semiseco templado	BS1k	7.77
Seco muy cálido y cálido	BS(h')	4.85
Seco semicálido	BSh	25.85
Seco templado	BSk	4.64
Muy seco muy cálido y cálido	BW(h')	0.18
Muy seco semicálido	BWh	47.37
Muy seco templado	BWk	0.32
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	Acw	1.50

7.7 USO DEL SUELO

La superficie de agostadero (Tabla 5), abarca fundamentalmente los pastizales.

Tabla 5. Principales usos de suelo y su ocupación en Coahuila de Zaragoza.

Tipo de suelo	Superficie estatal (%)
Agrícola	32.67
Pecuario	61.49
Otros	5.84

7.8 EDAFOLOGÍA

Las unidades de suelo más sobresalientes en el estado (Tabla 6) son el leptosol, y el calcisol.

Tabla 6. Tipos de suelo en el estado de Coahuila de Zaragoza.

Unidad Edafológica	Superficie estatal (%)
Arenosol	0.26
Calcisol	34.68
Cambisol	0.70
Chernozem	1.16
Fluvisol	0.79
Gleysol	0.01
Gypsisol	1.52
Kastañozem	2.54
Leptosol	38.45
Luvisol	0.81
Phaozem	3.54
Regosol	7.62
Solonchak	2.74
Solonetz	1.41
Vertisol	3.10
Otro	0.62

7.9 VEGETACIÓN

La cubierta vegetal consta de 27 tipos primarios de vegetación y se agrupa en 6 categorías básicas (Tabla 7) que incluyen aquellas asociadas con cultivos y las compuestas por la vegetación natural.

Tabla 7. Tipos de vegetación y su representación estatal.

Tipo de vegetación	Superficie estatal (%)
Agricultura	4.97
Pastizal	7.99
Bosque	3.02
Matorral	74.32
Otros tipos de vegetación	0.13
Vegetación secundaria	8.51

8. MÉTODOS

8.1 INVENTARIO DE POBLACIONES DE CANDELILLA Y DETERMINACIÓN DE ESPECIES ASOCIADAS

8.1.1. Áreas estudiadas

Se realizaron actividades encaminadas a la cuantificación del recurso candelilla, considerando las zonas de mayor actividad candelillera siendo la región central del estado de Coahuila en donde se visitaron 6 Sierras con 7 localidades ubicadas en el municipio de Cuatrociénegas y 2 Sierras con 2 localidades en el municipio de Ocampo. Siendo un total de 8 Sierras y 9 localidades con un total de 15 sitios de muestreo (Tabla 8).

Tabla 8. Sierras y Localidades de estudio pertenecientes al estado de Coahuila.

Sierra	Localidad	Municipio	Coordenadas UTM	Altura (msnm)
El Venado	Ejido Las Morenas	Cuatrociénegas	730295, 2945443.	1034
La Fragua	Santa Teresa de Sofía	Cuatrociénegas	767637, 2951636.	825
	Estación Socorro		750875, 2979968.	1104
El Granizo	Valle del Jabalí	Cuatrociénegas	794218, 2946607.	914
San Marcos y Pinos	Rancho La Palmosa	Cuatrociénegas	218499, 2919229.	1058
La Purísima	Ejido La Vega	Cuatrociénegas	217884, 2978362.	756
De Australia	Ejido Tanque Nuevo	Cuatrociénegas	773230, 2942292.	876
La Madera	Las Marías	Ocampo	724334, 3017215.	1277
La Mula	La Puerta	Ocampo	751551, 3022590.	13667

La localización de áreas con matorral desértico rosetófilo y selección de puntos de muestreos se efectuó mediante el uso de información geográfica de INEGI procesada con el paquete informático Arc View y concentrada en un mapa base para la creación de un sistema de información geográfica (SIG) para la candelilla en el estado de Coahuila; SIG incluye los límites políticos estatales y municipales del estado de Coahuila, y se le agregaron distintas capas temáticas referenciadas como curvas de nivel, vías de comunicación, uso del suelo y vegetación series I y II, localidades urbanas, Hidrografía, plantilla de cartografía de ubicación de cartas escala 1:50,000 y 1:250,000.

Ubicados espacialmente los rodales con matorral desértico rosetófilo en el área central del estado, se seleccionaron puntos de muestreo y verificación sobre ocho sierras, considerando también la posibilidad de acceso al punto y las vías de comunicación disponibles.

En campo se realizaron varios transectos orientados en un gradiente ascendente hacia la sierra y sobre los cuales se instalaron un número variable de áreas de muestreo de forma circular, cuadradas y rectangulares superficies variadas de 2m^2 , 3.14m^2 , 4m^2 , 10m^2 y 100m^2 ; también se probaron los métodos de cuadrante centrado en un punto y método de intercepción en línea; todo esto tuvo la finalidad de encontrar un método más eficiente y minimizar el error de muestreo, los datos obtenidos de estas superficies parciales de prueba se equipararon a la superficie total del transecto y se evaluaron comparándose las densidades de candelilla para cada uno de los métodos.

La información de inventario de candelilla se obtuvo a partir de dos tipos de formato, en el primero se recabó información de la densidad de candelilla, características de la planta, situación de nodricismo y datos para la estimación de volumen de la planta utilizando como modelo un cono cilíndrico truncado de bases elípticas y desiguales, donde la base inferior es de menor superficie que la superior, que es la forma más parecida a la planta. En el segundo formato se registró información sobre la composición de especies asociadas y fisonomía de la comunidad.

La fórmula para estimar el volumen de un cono truncado invertido de superficies superior e inferior elípticos es la siguiente:

$$V = \frac{1}{3} \pi abh - \frac{1}{3} \pi xyh$$

Donde;

V=Volumen (cm³)

π = 3.1416

a= diámetro superior 1 (cm)

b= diámetro superior 2 (cm)

x= diámetro inferior 1 (cm)

y= diámetro inferior 2 (cm)

h= altura (cm)

8.2. CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE CERA EN PLANTAS DE CANDELILLA

Se colectaron plantas de candelilla de diferentes municipios del estado de Coahuila, teniendo un total de 8 localidades de estudio (Tabla 9).

Tabla 9. Localidades de diferentes municipios de Coahuila.

Localidad	Municipio
Ejido Las Morenas	Cuatrociénegas
Santa Teresa de Sofía	Cuatrociénegas
Estación Socorro	Cuatrociénegas
Valle del Jabalí	Cuatrociénegas
Ejido La Vega	Cuatrociénegas
Ejido Tanque Nuevo	Cuatrociénegas
La Puerta	Ocampo
Las Coloradas	Ramos Arizpe

8.2.1. Extracción de cerote

La extracción se lleva a cabo en un recipiente rectangular de acero llamado paila. De aproximadamente 100 litros de capacidad; esta se acomodó en el suelo de tal forma que en su base se acondiciona unas hornillas. El primer paso, fue colocar 90 L de agua en la paila y calentar a fuego directo; una vez que la temperatura alcanzó los 96°C, se acomodan dentro de la paila 10 Kg de planta de candelilla, de cada una de las localidades de estudio, se dejó que vuelva a recuperarse la misma temperatura y posteriormente se agregan 50 mL de ácido sulfúrico concentrado y enseguida se comprime la planta, utilizando las parrillas que trae consigo la paila en el borde superior. La cera empieza a brotar en la superficie del líquido en forma de espuma de color grisáceo, la cual fue retirada con una espumadera de lámina con perforaciones, que facilitan el escurrimiento del agua y se transfiere a otro recipiente (espumador). La paila se continuó calentando hasta que ya no aparece nada de espuma en la superficie. Finalmente se saca de la paila la candelilla que ya ha sido tratada. El tiempo de duración desde que se coloca la candelilla en la paila hasta que se retira, es de aproximadamente hora y media. Una vez terminado el proceso anterior se coloca una nueva carga de candelilla y se agrega solamente el agua que se perdió por evaporación.

8.2.2. Sedimentación

La sedimentación se lleva a cabo en vaso de precipitado con capacidad de 1 L, en el cual se vació la cera contenida en el espumador y que contiene además de las impurezas, agua acidulada que provino de la etapa de extracción. Se le agregó una pequeña cantidad de agua adicional y se calentó la muestra hasta alcanzar una temperatura de 96°C. Terminada la operación, la mezcla se dejó reposar toda la noche para permitir que las impurezas se sedimentaran en el fondo. Al enfriarse la cera, se solidificó y flotó en la superficie del agua, el bloque de cera obtenido mantuvo en su parte inferior una capa de tierra, la cual se desprendió fácilmente, raspándola. Posteriormente se trituro el bloque de cera, para obtener pedazos más pequeños y fueron pesados en una balanza analítica OHAUS.

8.3. PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE CANDELILLA

El material biológico utilizado en este trabajo fueron plantas de candelilla silvestres de los ejidos Las Morenas y Las Coloradas, en los municipios de Cuatrociénegas y Ramos Arizpe respectivamente pertenecientes al estado de Coahuila.

8.3.1. Establecimiento de plantas

Una de las principales características de las plantas que les confieren alta rusticidad, es la diversidad que presenta en cuanto a su propagación y es posible manifestar que un grupo de estas son xerófitas, en este caso específico, la candelilla, la cual se comporta bien bajo condiciones de cultivo.

Para la propagación de candelilla es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos agronómicos:

- a) Desarrollar (seleccionar) variedades con alto rendimiento, para la domesticación,
- b) Desarrollar plantaciones con tecnología y agronomía.

La propagación vegetativa de candelilla debe iniciarse paralelamente a la formación de un Banco de Germoplasma (propagación sexual), entidad vital de cualquier proyecto de domesticación y mejoramiento.

La propagación de candelilla se llevo a cabo en el matorral rosetófilo y micrófilo, mediante la aplicación de técnicas de plantación en dos localidades ubicados en los ejidos Las Morenas, Cuatrociénegas (102° 03'59" Longitud Oeste y 26° 59'10" Longitud Norte) y Las Coloradas, Ramos Arizpe, (100°57'2" Longitud Oeste y 25°32'26" Longitud Norte) en el estado de Coahuila. En cada localidad se seleccionaron dos sitios topográficamente distintos: a) un sitio ubicado en la loma con pendientes que va desde 10-30°, y b) un segundo sitio que se ubico en la planicie sin pendiente. En cada sitio se instalaron una parcela de 150 m de largo por 100 m de

ancho (15,000 m²) la cual se dividió a su vez en 10 parcelas de 50 x 30 m, donde se aplicaron los tratamientos bajo dos esquemas con nodriza y sin nodriza (Figura 11).

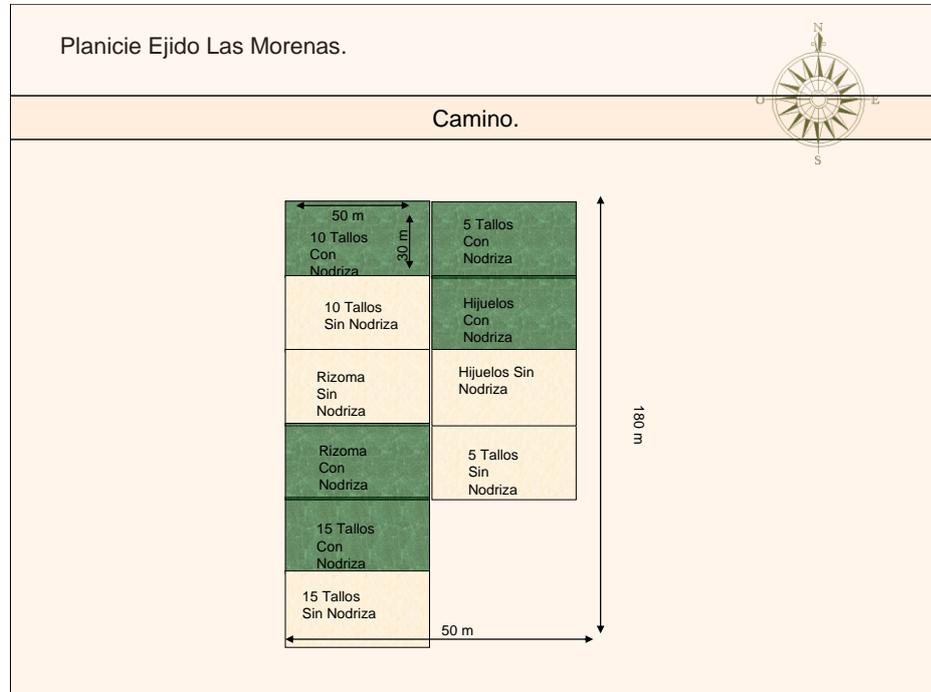


Figura 11. Diseño de la plantación en el Ejido Las Morenas, Cuatrociénegas.

Para la aplicación de tratamientos, las plantas de candelilla fueron colectadas y transportadas al sitio de estudio después se procedió a cortarlas en: a) Hijuelos (H) b) Rizomas (R) y c) Tallos (5, 10 y 15). Los rizomas se colocaron en agua durante una noche antes de su plantación (Figura 12).

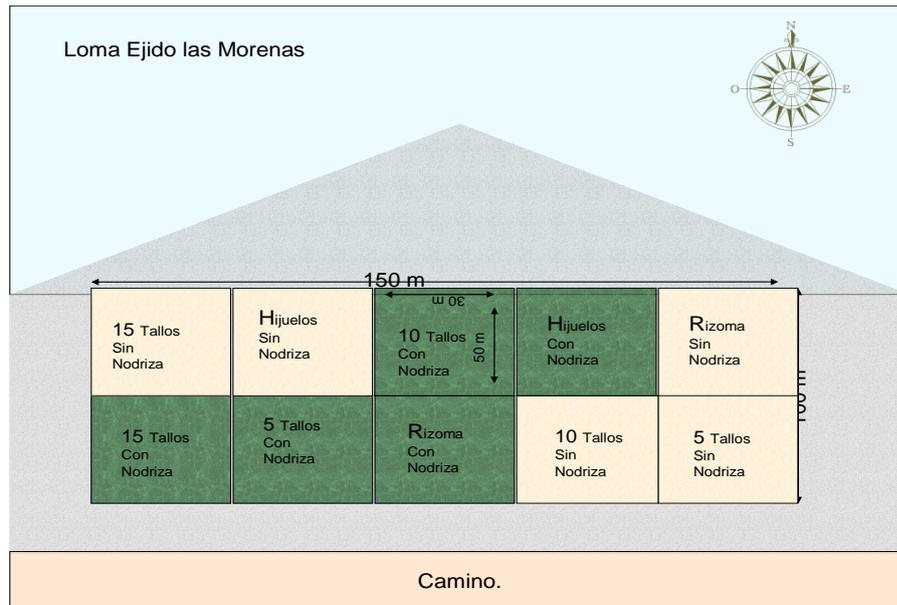


Figura 12. Distribución de los tratamientos en la parcela con relieve en el Ejido Las Morenas, Cuatrociénegas.

La propagación experimental en los sitios se llevó a cabo bajo un diseño de bloques completos aleatorio. En cada parcela se aplicó los métodos de propagación con plantas nodrizas (en asociación con otras especies) y sin nodrizas (forma aislada) (Figura 13) dependiendo de asociación vegetal. La propagación se llevó a cabo de acuerdo con la curva de nivel a una distancia de 1 m entre plantas utilizando una densidad variable de componentes de plantas por ha. Bajo la técnica de propagación por tallos se utilizó 5, 10 y 15 tallos por golpe en nodrizas y no nodrizas a contorno para aprovechar al máximo los escurrimientos pluviales de acuerdo con Arriaga, (1994). Ver figura 14.

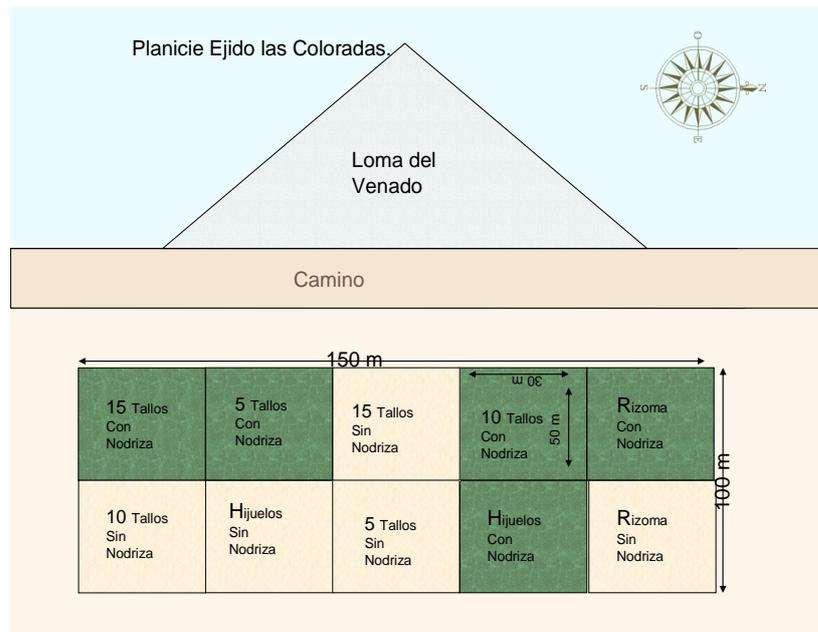


Figura 13. Distribución de los tratamientos en la parcela ubicada en la planicie del Ejido Las Coloradas, Ramos Arizpe.

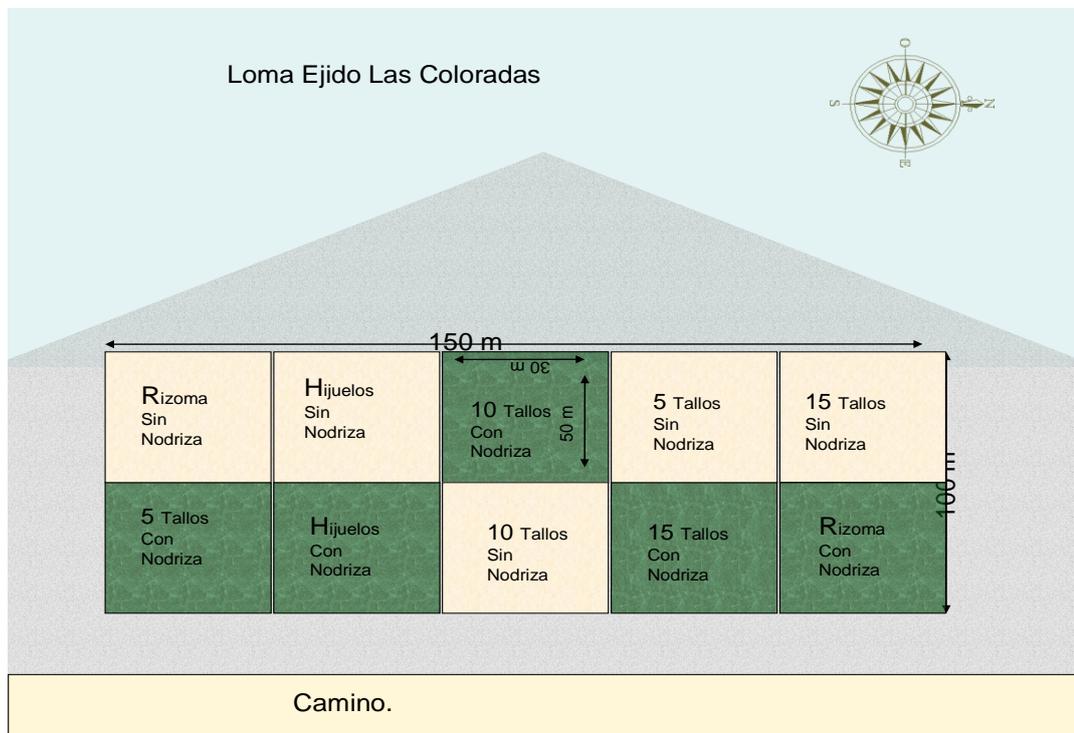


Figura 14. Distribución de los tratamientos en la parcela con relieve en el Ejido Las Coloradas, Ramos Arizpe.

8.3.2. Diseño experimental

La distribución de los tratamientos en los cuadrantes experimentales se llevó a cabo bajo un diseño de bloques completos aleatorio.

8.3.3. Registro de parámetros

Toma de datos: Para la toma de datos se realizaron 16 lecturas durante todo el ciclo del experimento, cada una de ellas se tomó con un período de uno a tres meses.

Altura: Se midió la altura de todas las plantas y se determinó el número de tallos por planta.

Cobertura: La medición de la parte aérea de las plantas se realizó en la parte media de ellas, tomando en cuenta el hábito de crecimiento.

Sanidad: Esta característica se midió de una forma visual tomando en cuenta sus características fenotípicas, que son influenciadas por el medio ambiente, plagas y enfermedades.

Además se determinó:

1. La estructura vertical y horizontal del matorral rosetófilo y micrófilo (las asociaciones vegetales con candelilla), considerando la forma biológica de cada especie. El registro de esta actividad se llevó a cabo mensualmente donde se determinaron los patrones fenológicos de las especies.
2. Colecta de material biológico proveniente de diferentes ecotipos y su producción para el programa de propagación.
3. Medición de sobrevivencia a nivel de campo (cada mes).
4. Medición de parámetros de crecimiento, a nivel de campo (cada mes).
5. En todo el cuadrante y tratamientos, se determinó la densidad de plantas de candelilla, donde se registro mensualmente, el parámetro de crecimiento como el diámetro basal, la altura y la cobertura (Figura 15).
6. Registro de parámetros de crecimiento y la producción de tallos en las parcelas correspondiente a los sitios experimentales.

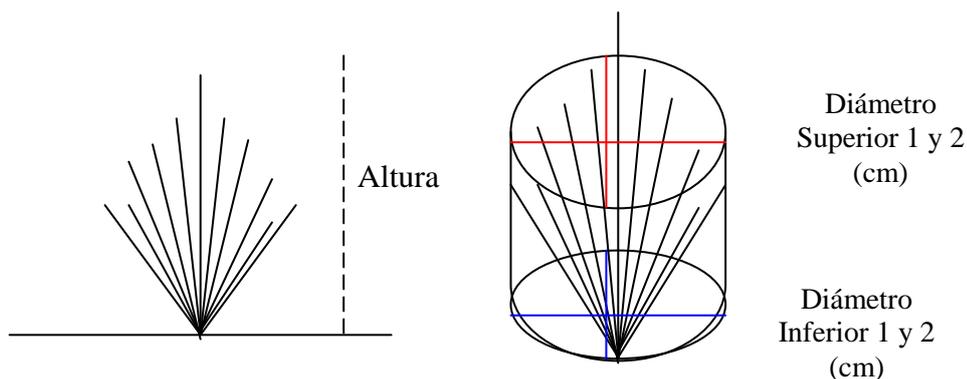


Figura 15. Parámetros de crecimiento (diámetro superior e inferior y altura).

8.3.4. Análisis estadístico

Para detectar las diferencias entre las localidades, los tratamientos y tiempo de medición se aplicó el análisis de varianza y la prueba t student de acuerdo con Zar (2010). Los valores promedios se compararon mediante la aplicación de comparaciones de medias de Tukey.

Para verificar las relaciones funcionales entre el volumen de la planta con el parámetro de crecimiento se aplicó el modelo de regresión curva lineal (Zar, 2010).

Los resultados obtenidos concernientes a parámetro de crecimiento, se sometieron a un análisis estadístico del paquete SPSS (versión 15).

La composición por especies de la comunidad se determinó mediante la aplicación del cociente de afinidad de Sorensen (1948) utilizando los cocientes que se explican a continuación:

Valor de importancia por especie:

$$Vi = \frac{\text{FrecReal} + \text{DenReal} + \text{DomReal}}{3}$$

En donde:

$$\text{FrecReal} = \frac{\text{FrecAbs}}{\Sigma \text{FrecAbs}} 100$$

$$\text{DenReal} = \frac{\text{DenAbs}}{\Sigma \text{DenAbs}} 100$$

$$\text{DomReal} = \frac{\text{DomAbs}}{\Sigma \text{DomAbs}} 100$$

$\text{FrecAbs} = \frac{\text{Número de parcelas en las que aparece la especie}}{\Sigma \text{ del número de parcelas}}$

$\text{DenAbs} = \text{Número de individuos de la especie}$

$\text{DomAbs} = \Sigma \text{ de la proyección de copa por especie}$

$$\text{Proyección de copa} = \frac{(\text{Diámetro 1} + \text{Diámetro 2})^2}{4} \pi$$

8.4 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA, VIABILIDAD Y GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DE CANDELILLA

8.4.1. Colecta de frutos

Los frutos de candelilla fueron colectados en 4 localidades del noreste de México donde la planta es abundante en condiciones silvestres; Las localidades fueron: a) Las Morenas (UTM 735528, 2946478, 957 msnm); b) Santa Teresa de Sofía (UTM 767637, 2951636, 825 msnm); c) Las Marías (UTM 724334, 3017215, 1277 msnm) y d) Lomas de Icamole (UTM 327788, 2868616, 659 msnm), las tres primeras se ubican en el estado de Coahuila y la cuarta en el estado de Nuevo León.

En cada localidad se seleccionaron plantas con frutos maduros bajo un diseño de muestreo sistemático. Se colectaron los frutos manualmente y se colocaron en bolsas de papel, las cuales se etiquetaron con información de la planta y el sitio. La recolección de frutos se efectuó en los meses de verano y otoño, por ser los meses en que se observó la floración y producción de frutos de candelilla. Estos meses son también los de mayor precipitación pluvial en el año (Flores-López, 1995).

8.4.2. Extracción de las semillas

En el laboratorio los frutos se colocaron en recipientes de plástico, con una base absorbente de humedad (papel secante), y se les colocó una tapa de tul para asegurar la aeración y evitar que al abrirse los frutos (de manera explosiva) las semillas salieran de los recipientes. Una vez que los frutos liberaron las semillas (aproximadamente una semana después), se procedió a separar las semillas de los restos de los frutos, para lo cual se pasó el material por un tamiz de 2.5 mm (mayor al tamaño de la semilla), a fin de que el fruto quedara en la superficie del tamiz y la semilla pasara a un recipiente. Posteriormente, Las semillas fueron almacenadas en un ambiente fresco y seco hasta su análisis.

8.4.3. Caracterización morfológica y peso de las semillas

Se tomaron al azar 100 semillas por localidad, las cuales se midieron en un microscopio estereoscopio con aumento de 40x y un ocular graduado. Las variables morfológicas consideradas fueron: ancho (mm), largo (mm) y grosor (mm), forma, superficie y color. El peso se determinó, al seleccionar en forma aleatoria 30 repeticiones de 100 semillas para cada localidad, las cuales se pesaron (g) utilizando una balanza analítica OHAUS.

8.4.4. Determinación de la viabilidad

El color de las semillas de candelilla puede indicar el grado de madurez de la misma (García-García, 1988 y Peña-Contreras, 1998), las semillas de cada localidad se clasificaron en tres grupos de acuerdo al color: A (café), B (ámbar) y C (gris). La viabilidad se determinó mediante la prueba de tetrazolio (ISTA, 1985). Para esto se utilizaron 3 repeticiones de 30 semillas tomadas al azar para cada grupo (color) de semillas, las cuales primeramente se hidrataron con agua destilada durante 12 h y enseguida se les realizó un corte transversal en la testa para exponer al embrión. Después las semillas de cada repetición se colocaron en tubos de ensayo de 13 x 100 mm y se les agregó 2 mL de cloruro de tetrazolio (2,3,5-Triphenyltetrazolium chloride, SIGMA-ALDRICH™) a una concentración de 0.25 mg/L durante 48 horas a 24°C. La interpretación de la prueba se basó en el patrón topográfico del método de tetrazolio para la candelilla (Flores-López, 1995). El porcentaje de viabilidad se determinó mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ viabilidad} = \frac{\text{Número de semillas coloreadas}}{\text{Número total de semillas}} 100$$

8.4.5. Tratamientos pregerminativos

Previo al ensayo de germinación se realizó una evaluación de diferentes tratamientos de escarificación química y mecánica, así como desinfestación de las semillas para determinar cual tratamiento permite una mayor respuesta germinativa. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

Escarificación química. Las semillas se trataron con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3), en concentraciones desde 5 al 40%, el tiempo de exposición fue de tres minutos para evitar posibles daños al embrión. En total se evaluaron 12 tratamientos.

Escarificación mecánica. Las semillas se escarificaron con papel lija (grano fino marca Fandeli clave FIN 150) en dos tiempos de lijado (2 y 5 minutos).

Desinfestación de las semillas. Se desinfectó con hipoclorito de sodio ($NaOCl$) al 4% (Cloralex®) en concentraciones de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50% v/v, con dos tiempos de exposición (3 y 5 minutos). En total se evaluaron 8 tratamientos.

8.4.6. Ensayo de germinación

La evaluación de la germinación se realizó con un diseño de bloques completos al azar. Los bloques en este ensayo fueron las localidades, dos pretratamientos de germinación (escarificación química y escarificación mecánica) más un testigo con 3 repeticiones para cada pretratamiento. La germinación se analizó a dos temperaturas (28 y 32°C). Cada tratamiento contó con 3 repeticiones de 10 semillas cada una. La escarificación química se realizó sumergiendo las semillas en ácido sulfúrico al 10% por 2 minutos (tratamiento seleccionado en un ensayo preliminar); la escarificación mecánica se realizó frotando las semillas con papel lija durante 2 minutos (tiempo seleccionado en ensayo preliminar). Después de aplicados los tratamientos se procedió a la desinfestación de las semillas en $NaOCl$ al 4% diluido al 20% v/v durante 5 minutos (tiempo y concentración seleccionados en

ensayo preliminar), y posteriormente se realizaron tres lavados con agua destilada. Las semillas se colocaron en cajas de petri estériles y se llevaron a la cámara bioclimática donde se evaluó la germinación durante 20 días, determinándose el porcentaje de germinación con la siguiente fórmula:

$$PG = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número de semillas sembradas}} 100$$

8.4.7. Análisis estadístico

Para verificar las diferencias significativas entre los tratamientos y las localidades en la germinación se utilizó un análisis de varianza bifactorial ANOVA con un nivel de significancia $p \leq 0.05$ en conjunto con una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Zar, 2010). Las variables de peso, longitud, ancho, grosor y la viabilidad de las semillas de los grupos A, B y C, se analizaron con una prueba de ANOVA simple ($p \leq 0.05$). En cuanto a los parámetros de forma, color y superficie de la semilla se analizaron mediante el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal Wallis ($p \leq 0.05$). Para determinar las relaciones funcionales entre el peso de la semilla con valores de germinación se aplicó el modelo de regresión lineal simple (Zar, 2010). Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el software SPSS versión 15.0.

8.5 REPRODUCCIÓN DE CANDELILLA POR EL CULTIVO *IN VITRO*

Se utilizaron plantas de candelilla, obtenidas directamente de tres localidades que pertenecen al estado de Coahuila: Santa Teresa de Sofía (2951636 N, 767637 O, 825 m), Las Morenas, Cuatrociénegas (2946478 N, 735528 O, 957 m), y Las Marías, Ocampo (3017215 N, 724334 O, 1277 m). Se realizaron tratamientos preliminares de asepsia con 4 concentraciones de cloro (5, 10, 15 y 20%) y 4 tiempos de exposición (5, 10, 15 y 20 minutos).

8.5.1 Asepsia

Se utilizaron las partes superiores de los tallos de la planta de candelilla como explantes, se desinfectaron superficialmente por inmersión en etanol absoluto durante 1 minuto, posteriormente se colocaron en agitación ligera en una solución al 20% (v/v) de hipoclorito de sodio (cloralex) con 0.5 mL de tween 20 durante 15 minutos y finalmente se enjuagaron tres veces con agua bidestilada estéril. Los explantes (ápice de brote, nudo y entrenudo) se colocaron en etanol etílico absoluto por 1 minuto, después en cloro al 20% con tween 20 por 20 minutos.

8.5.2 Siembra

Se seccionaron los tallos en 1.5 cm de ápice de brote, 0.5 cm de nudo y 1 cm de entrenudo, estos se colocaron en recipientes de vidrio con una capacidad de 120 mL que contenían 30 mL de medio Murashige y Skoog (MS; Murashige y Skoog 1962) suplementado con vitaminas (tiamina.HCl 0.1 mg/L, ácido nicotínico 0.5 mg/L, piridoxina.HCl 0.1 mg/L, glicina 2.0 mg/L), mio-inositol (100 mg/L), sacarosa (30 g/L), 0.5, 1.0 y 1.5 mg/L de ácido indol-3-acético (IAA) en combinación con 0.5, 1.0 y 1.5 mg/L de 6-bencilaminopurina (BAP). El pH del medio fue ajustado a 5.7 con HCl o KOH y solidificado con 7 g/L de agar, posteriormente se esterilizo a 121°C, 15 libras de presión durante 15 minutos.

De las combinaciones de los reguladores de crecimiento: IAA (Ácido indolacético) y BAP (Bencilaminopurina), se obtuvieron nueve tratamientos y un control sin reguladores de crecimiento, con 12 repeticiones cada uno. Se sembraron seis explantes por unidad experimental (frascos).

Los cultivos se mantuvieron en fotoperiodo de 14 horas a 25°C en cámara de crecimiento (Lab-Line Biotronette).

9. RESULTADOS

9.1 DENSIDAD Y VOLUMEN DE LAS POBLACIONES DE CANDELILLA

9.1.1 POBLACIONES NATURALES DE CANDELILLA

Las actividades encaminadas a la cuantificación del recurso candelilla en la porción central del estado de Coahuila donde se visitaron 8 sierras y 9 localidades con un total de 15 sitios de muestreo, 6 sierras con 7 localidades ubicadas en el municipio de Cuatrociénegas y 2 sierras con 2 localidades en el municipio de Ocampo, y de acuerdo al análisis de la información de vegetación y uso del suelo del INEGI se detectó que la planta de candelilla se encuentra asociada al matorral desértico rosetófilo, el cual ocupa en el estado de Coahuila una superficie de 4,959,438.08 ha, lo que representa un 28.90% de la superficie estatal.

En el matorral desértico rosetófilo dominan las especies arrosetadas de las cuales este tipo de vegetación desértico toma su nombre, no obstante se asocian otro tipo de especies que muestran cierta abundancia y porte debido a lo cual en el matorral del área de estudio destacan por su extensión las variantes fisonómicas que se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Superficie ocupada por el Matorral Desértico Rosetófilo en Coahuila en los años 80`s, 90`s y 2000.

Clave	Fisonomía	80's	90's	2000
E- MDR/MB	Matorral subinerme	14,55282	12,297.45	Se reclasifica
E- MDR/ME	Matorral espinoso	443.08	147.23	Se reclasifica
E- MDR/MZ	Izotal	224.86	Se pierde	Se reclasifica
E- MDR/MI	Matorral inerme	482.08	Se pierde	Se reclasifica
E- MDR/MR	Crasirosulifolios	3,622.40	33,984.62	Se reclasifica
E- MDR/VSa	Vegetación secundaria	4,4131.16	3,112.88	Se reclasifica
MDR/MB	Matorral subinerme	827,924.93	907,715.27	Se reclasifica
MDR/ME	Matorral espinoso	5,863.06	5,281.57	Se reclasifica
MDR/MI	Matorral inerme	17,324.92	12,602.02	Se reclasifica
MDR/MR	Crasirosulifolios	4,032,640.23	3,928,792.03	4,924,273.86
MDR/MZ	Izotal	129,463.68	128,132.73	Se pierde
MDR/VSa	Vegetación secundaria	22,365.35	23,593.80	35,165.22
	Superficie total (Ha)	5,059,320.56	5,055,659.59	4,959,439.08

Desde el punto de vista ecológico el sistema de sierras, cerros y lomeríos es complejo, por presentar pendientes, exposición, altitud, geología, suelo, humedad, etc., por lo tanto además del MDR, se presentan otros tipos de vegetación y variantes de ocupación del suelo.

Comparativamente, la superficie de las distintas fisonomías del matorral desértico rosetófilo en las localidades estudiadas, representa el 18.71% del matorral desértico rosetófilo existente en el estado. La Tabla 11 muestra la fisonomía y superficie del MDR en las sierras.

Tabla 11. Fisonomía y superficie del matorral desértico rosetófilo en las sierras estudiadas.

Sierra	Clave	Fisonomía	Superficie parcial	Superficie/Sierra (Ha)
La Fragua	MDR/MR	Crasirosulifolio	99,526.90	130,697.00
	MDR/MB	Matorral subinerme	31,170.10	
San Marcos y Pinos	MDR/MR	Crasirosulifolio	82,919.92	86,013.28
	MDR/MB	Matorral subinerme	3,093.36	
La Purísima	MDR/MR	Crasirosulifolio	93,455.85	93,691.98
	MDR/MB	Matorral subinerme	236.13	
El Granizo	MDR/MR	Crasirosulifolio	21,743.61	22,784.45
	MDR/MB	Matorral subinerme	1,040.84	
El Venado	MDR/MR	Crasirosulifolio	43,401.37	55,430.98
	MDR/MB	Matorral subinerme	12,029.61	
De Australia	MDR/MR	Crasirosulifolio	239,628.21	398,929.09
	E-	Crasirosulifolio	370.62	
	MDR/MR			
	MDR/MZ	Izotal	123,572.83	
La Madera	MDR/MB	Matorral subinerme	30,967.76	101,114.58
		No aplicable	4,389.68	
	MDR/MR	Crasirosulifolio	56,686.64	
	MDR/MB	Matorral subinerme	44,427.94	
La Mula	MDR/MR	Crasirosulifolio	20,305.09	39,272.54
	MDR/MB	Matorral subinerme	17,353.43	
		No aplicable	1,614.02	
			Total	927,933.90

9.1.2 Análisis del matorral desértico rosetófilo en las diferentes zonas muestreadas

9.1.2.1 Sierra La Fragua

En esta Sierra los resultados del inventario en campo presentaron las fisonomías de matorral subinerme con 31,170.10 ha y Crasirosulifolios con 99,526.89 ha (Tabla 12).

Tabla 12. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en la Sierra La Fragua.

Clave	Fisonomía	Vegetación secundaria	Erosión	Área (Ha)
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	3695,68
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	99,47
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	126,10
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	116,09
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	202,05
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	826,69
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	2836,91
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	925,06
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	273,86
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	436,71
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	184,77
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	114,99
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	6348,41
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	197,76
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	2051,76
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	679,86
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	49,62
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	23,61
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	221,23
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	612,22
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	55,83
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	15,63
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	186,51
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	451,44

MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1995,79
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	155,08
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	183,43
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	0,21
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	0,01
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	15,30
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	7278,25
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	267,31
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	542,44
			Matorral subinerme	31.170,10
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	63,55
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	58,67
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	34,79
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	97894,60
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	1076,53
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	0,14
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	0,01
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	0,01
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	68,75
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	14,39
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	203,22
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	35,61
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	76,63
			Crasiosulifolios	99.526,89
			Superficie total	130.696,99

9.1.2.2 Sierra San Marcos y Pinos

Se presentan otros matorrales y bosques de pino en adición la fisonomía crasirosulifolios y matorral subinerme (Tabla 13).

Tabla 13. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra San Marcos y Pinos.

Clave	Fisonomía	Vegetación secundaria	Erosión	Área (Ha)
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	477,88903
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	313,5707
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	562,47107
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1171,2644
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	397,20498
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	170,95581
			Matorral subinerme	3.093,36
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	4952,7136
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	21,165065
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	74888,059
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	241,48153
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	1005,6495
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	799,35319
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	90,749449
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	113,55209
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	327,09306
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	363,10464
MDR/MR	Crasirosulifolio	ninguno	sin erosión apreciable	116,99569
			Crasirosulifolio	82.919,92
			Superficie total	86.013,27

9.1.2.3 Sierra La Purísima

En esta Sierra se encontró un mosaico complejo de tipos de vegetación (Tabla 14), el inventario mostró el matorral desértico micrófilo de gobernadora en donde también se presenta candelilla como especie asociada.

Tabla 14. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra La Purísima.

Clave	Fisonomía	Vegetación secundaria	Erosión	Área (Ha)
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	66,8332
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	169,2940
			Matorral subinerme	236,1271
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	0,004
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	1140,330
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	434,973
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	222,176
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	123,234
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	8479,946
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	90,894
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	146,309
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	91,868
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	4964,130
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	23798,755
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	69,226
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	63,892
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	85,342
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	200,812
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	115,968
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	264,878
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	269,875
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	258,766
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	15,909
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	1362,974
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	45307,841
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	5947,756
			Crasiosulifolios	93.455,854
			Superficie total	93.692

9.1.2.4 Sierra El Granizo

El inventario en esta Sierra presentó matorral subinerme (Tabla 15).

Tabla 15. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en la Sierra El Granizo.

Clave	Fisonomía	Vegetación secundaria	Erosión	Área (Ha)
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1040,842342
			Matorral subinerme	1.040,84
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	28,62243705
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	21491,81439
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	223,177283
			Crasirosulifolios	21.743,61
			Superficie total	22.784,46

9.1.2.5 Sierra El Venado

Las fisonomías crasirosulifolios y matorral subinerme constituyen la cubierta vegetal predominante en esta Sierra (Tabla 16).

Tabla 16. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra El Venado.

Clave	Fisonomía	Vegetación secundaria	Erosión	Área (Ha)
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	193,05
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	4894,54
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	2246,19
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	169,58
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	579,45
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	512,59
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	977,29
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	544,42
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	426,86
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	641,20
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	216,53
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	193,76
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	349,71
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	79,63
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	4,80
			Matorral subinerme	12.029,61
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	43032,35366
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	171,8194564
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	36,81828196
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	0,00938966
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	0,01539427
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	9,79390907
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	150,5617072
			Crasirosulifolios	43.401,37

9.1.2.6 Sierra de Australia Parte 1 y 2.

En esta Sierra se encuentran variadas fisonomías del Matorral Desértico Rosetófilo, en donde el inventario refirió a la fisonomía de matorral subinorme (Tablas 17 y 18).

Tabla 17. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra de Australia Parte 1.

Clave	Fisonomía	Vegetación secundaria	Erosión	Área (Ha)
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	175,38
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	129,56
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	214,91
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	638,82
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	1498,12
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	108,24
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	480,61
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	123,24
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	2006,95
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	1199,09
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	631,64
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	457,97
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	221,57
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	2081,88
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	662,93
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	185,55
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	661,01
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	933,97
MDR/MB	Matorral subinorme	ninguno	sin erosión apreciable	2136,58

MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	315,77
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	340,16
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	253,86
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	322,02
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	348,43
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	267,49
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	175,54
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	324,72
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	603,42
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	517,97
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	232,13
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	649,62
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	213,38
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	566,05
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1394,31
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	4174,87
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	157,10
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	324,69
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	217,56
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	3154,04
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1737,80
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	128,80
			Matorral subinerme	30.967,76
			Superficie parte 1	30.967,76

Tabla 18. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra de Australia Parte 2.

Clave	Fisonomía	Vegetación secundaria	Erosión	Área (Ha)
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	46,39
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	234782,74
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	82,58
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	2,86
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	0,49
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	1,09
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	83,40
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	104,48
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	172,87
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	0,06
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	80,15
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	10,90
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	3756,85
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	301,02
MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	202,33
			Crasiosulifolios	239.628,21
E-MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	con erosión apreciable	170,80
E-MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	con erosión apreciable	47,66
E-MDR/MR	Crasiosulifolios	ninguno	con erosión apreciable	152,17
			E-Crasiosulifolios	370,62
MDR/MZ	Izotal	ninguno	sin erosión apreciable	31955,22
MDR/MZ	Izotal	ninguno	sin erosión apreciable	85332,60
MDR/MZ	Izotal	ninguno	sin erosión apreciable	180,39
MDR/MZ	Izotal	ninguno	sin erosión apreciable	3635,64
MDR/MZ	Izotal	ninguno	sin erosión apreciable	644,26
MDR/MZ	Izotal	ninguno	sin erosión	491,45

MDR/MZ	Izotal	ninguno	apreciable sin erosión apreciable	942,40
MDR/MZ	Izotal	ninguno	sin erosión apreciable	390,87
			Izotal	123.572,82
MDR/VSa	No aplicable	Vegetación secundaria arbustiva	sin erosión apreciable	1101,12
MDR/VSa	No aplicable	Vegetación secundaria arbustiva	sin erosión apreciable	211,23
MDR/VSa	No aplicable	Vegetación secundaria arbustiva	sin erosión apreciable	2098,86
MDR/VSa	No aplicable	Vegetación secundaria arbustiva	sin erosión apreciable	209,12
MDR/VSa	No aplicable	Vegetación secundaria arbustiva	sin erosión apreciable	479,40
MDR/VSa	No aplicable	Vegetación secundaria arbustiva	sin erosión apreciable	289,94
			No aplicable	4.389,68
			Superficie parte 2	367.961,34
			Superficie total	398.929,10

9.1.2.7 Sierra La Madera

Esta Sierra refirió las fisonomías de matorral subinerme y crasirosulifolio (Tabla 19).

Tabla 19. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra La Madera.

Clave	Fisonomía	Vegetación secundaria	Erosión	Área (Ha)
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	4834,25
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1018,22
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	232,88
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	3,84
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1556,09
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	11370,10
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	0,01
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	0,01
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	575,36
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	181,88
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	712,85
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	19096,43
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	0,55
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	950,73
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1427,45
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	260,83
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1116,51
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1,31
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1088,65
			Matorral subinerme	44.427,95
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	887,89
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	746,05
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	2611,99
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	11821,40
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	9802,38

MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	201,37
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	250,92
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	64,61
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	2526,63
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	819,56
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	24893,39
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	163,06
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	202,96
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	1035,28
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	659,15
			Crasirosulifolios	56.686,64
			Superficie total	101.114,59

9.1.2.8 Sierra La Mula

En esta Sierra se encuentran variadas fisonomías del Matorral Desértico Rosetófilo (Tabla 20).

Tabla 20. Superficie del Matorral Desértico Rosetófilo en Sierra La Mula.

Clave	Fisonomía	Vegetación secundaria	Erosión	Área (Ha)
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	836,56
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	807,06
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	884,41
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1491,50
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	2,52
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	0,00
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1711,89
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	447,81

MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	9116,36
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	197,12
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	121,70
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	102,94
MDR/MB	Matorral subinerme	ninguno	sin erosión apreciable	1633,56
			Matorral subinerme	17.353,43
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	15,86
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	1,81
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	1211,21
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	8930,93
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	493,60
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	398,25
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	709,62
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	1225,25
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	6562,59
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	25,31
MDR/MR	Crasirosulifolios	ninguno	sin erosión apreciable	730,66
			Crasirosulifolios	20.305,09
MDR/VSa	No aplicable	Arbustiva	sin erosión apreciable	1614,02
			No aplicable	1.614,02
			Superficie total	39,272.54

9.1.3 DENSIDAD DE LA PLANTA DE CANDELILLA

Se encontró que la densidad promedio general de la ocho sierras del centro del estado de Coahuila fue de 3995.56 plantas por ha, con un valor mínimo de 1066.18 plantas por ha en la Sierra La Mula y un máximo de 5919.5 plantas por ha en la Sierra La Madera, tal como lo muestra en la tabla 21.

9.1.4 POTENCIAL PRODUCTIVO DE BIOMASA: VOLUMEN POR PLANTA

Mediante la utilización de variables morfométricas de altura, diámetros superiores (1 y 2) y diámetros inferiores (1 y 2) se calculó el volumen individual de las plantas muestreadas en cada una de las Sierras, y posteriormente en volumen promedio por Sierra y por unidad de área (Tabla 21).

Se encontró que el volumen promedio osciló entre 0.025 m³ (Sierra La Fragua) y 0.041 m³ (Sierra La Mula) por planta, con un promedio de 0.031 m³ por planta. En cuanto al volumen de biomasa de candelilla por ha encontramos que la mayor se presentó en la Sierra “La Madera” (183.5 m³/ha), la cual aunque no presenta las plantas con mayor volumen promedio (0.031 m³), es la zona con mayor densidad. La Sierra con menor volumen por hectárea fue la Sierra “La Mula” con apenas 43.71 m³/ha, la cual presenta las plantas con mayor biomasa individual, pero con menor densidad. El volumen promedio general por ha fue de 116.22.

Tabla 21. Densidad y volumen por planta y por hectárea de las poblaciones de candelilla en las ocho sierras del centro del estado de Coahuila.

Sierra	Densidad plantas/ha	Volumen por planta (m ³)	Volumen por ha (m ³)
La Fragua	5164.29	0.025	129.43
San Marcos y Pinos	4285.71	0.029	126.12
La Purísima	5556.37	0.026	142.74
El Granizo	3644.01	0.033	120.48
El Venado	4020.75	0.030	116.88
De Australia	2307.69	0.029	66.92
La Madera	5919.50	0.031	183.50
La Mula	1066.18	0.041	43.71
Promedio General	3995.56	0.031	116.22

9.1.5 ESPECIES VEGETALES ASOCIADAS A LA CANDELILLA

Se determinó la flora asociada con la candelilla para caracterizar adecuadamente su hábitat y las interacciones bióticas en su medio natural, para establecer indicadores biológicos que aportaran información de la condición de la candelilla. La tabla 22 muestra las especies que componen el matorral desértico rosetófilo.

Tabla 22. Especies que componen el Matorral Desértico Rosetófilo.

Lista Florística del Matorral Desértico Rosetófilo		
<i>Acacia constricta</i>	<i>Ephedra sp.</i>	<i>Notholaena sinuata</i>
<i>Acleisanthes obtusa</i>	<i>Erioneuron avenaceum</i>	<i>Opuntia bradtiana</i>
<i>Agave lechuguilla</i>	<i>Evolvulus alsinoides</i>	<i>Opuntia leptocaulis</i>
<i>Agave scabra</i>	<i>Flourensia cernua</i>	<i>Opuntia microdasys</i>
<i>Agave striata</i>	<i>Fouquieria splendens</i>	<i>Opuntia sp.</i>
<i>Allionia incarnata</i>	<i>Gymnosperma glutinosum</i>	<i>Panicum halli</i>
<i>Argithamnia neomexicana</i>	<i>Hechtia glomerata</i>	<i>Parthenium incanum</i>
<i>Ayenia filiformis</i>	<i>Heliotropium torreyi</i>	<i>Selaginella lepidophylla</i>
<i>Bahia absinthifolia</i>	<i>Jatropha dioica</i>	<i>Senna bauhinioides</i>
<i>Bouteloua curtipendula</i>	<i>Krameris ramosissima</i>	<i>Sertaria sp.</i>
<i>Bouteloua trifida</i>	<i>Lantana macropoda</i>	<i>Tiquilia canescens</i>
<i>Croton sp.</i>	<i>Larrea tridentata</i>	<i>Tridens muticus</i>
<i>Dasyochioa pulchella</i>	<i>Lesquerella sp.</i>	<i>Viguiera stenoloba</i>
<i>Dyssodia pentachaeta</i>	<i>Leucophyllum frutescens</i>	<i>Yucca sp.</i>
<i>Enneapogon desvauxii</i>	<i>Lippia berladieri</i>	<i>Zexmenia brevifolia</i>

9.2 CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE CERA

9.2.1 Análisis del contenido de cera en función con la altura de la planta de candelilla

Los resultados de la regresión lineal simple nos indican que no existe relación entre el contenido de cera y la altura de la planta de candelilla con un coeficiente de determinación (R^2) del 0.53%, ($r = 0.72$) siendo coeficiente no significativo con una probabilidad superior al 0.05 (Tabla 23 y 24).

Tabla 23. Análisis de regresión del contenido de cera en función de la altura.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Nivel Prob.
Intercepto	239.718	1072.62	0.223487	0.83057
Pendiente	476.347	265.999	0.179078	0.86377

Tabla 24. Análisis de varianza del contenido de cera en función de la altura.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	Cociente F.	Nivel Prob.
Modelo	42.966.943	1	42.966.943	0.032	0.86377
Residuo	803895.49	6	133982.58		
Total	808192.18	7			
Coefficiente de correlación	0.0729138				
Error estándar de Est.	366.036				

R-cuadrada = 0.53%

9.2.2 Análisis del contenido de cera en función del número de plantas de candelilla

El resultado de la regresión del contenido de cera y el número de plantas de candelilla nos indican que no existe relación entre estas variables presentando un coeficiente de determinación (R^2) del 13.27%, siendo coeficiente no significativo $p > 0.05$ (Tabla 25 y 26).

Tabla 25. Análisis de regresión del contenido de cera en función del número de plantas.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Nivel Prob.
Intercepto	125.596	340.321	0.369053	0.72476
Pendiente	732.261	764.309	0.958069	0.37502

Tabla 26. Análisis de varianza del contenido de cera en función del número de plantas.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	Coefficiente F.	Nivel Prob.
Modelo	107234.46	1	107234.46	0.9	0.37502
Residuo	700957.72	6	116826.29		
Total	808192.18	7			
Coef. de correlación	0.364259				
Error estandar de Est.	341.799				

R-cuadrada = 13.27%

9.2.3 Análisis del contenido de cera y el peso de las plantas de candelilla

Las variables contenido de cera y peso de plantas muestran que no existe relación entre ellas, con un coeficiente de determinación de R^2 26.31%, siendo coeficiente no significativo $p > 0.05$ (Tabla 27 y 28).

Tabla 27. Análisis de regresión del contenido de cera en función del peso de plantas.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Nivel Prob.
Intercepto	8329.86	5398.62	154.296	0.17378
Pendiente	-0.770773	0.526646	-146.355	0.19365

Tabla 28. Análisis de varianza del contenido de cera en función del peso de plantas.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	Cociente F.	Nivel Prob.
Modelo	212617.72	1	212617.72	2.1	0.19365
Residuo	595574.46	6	99262.41		
Total	808192.18	7			
Coef. de correlación	-0.512911				
Error estándar de Est.	315.059				

R-cuadrada = 26.31%

9.3 EVALUACIÓN DE PLANTACIONES DE CANDELILLA

Los resultados obtenidos nos permiten observar que hay un mayor porcentaje de mortalidad en las parcelas con topografía loma perteneciente a la localidad Las Morenas. En cuanto a los tratamientos el que presento mayor porcentaje de mortalidad fue el de 15 tallos sin nodriza en Las Morenas, mientras que en Las Coloradas fue el de 10 tallos sin nodriza y el que presento menor porcentaje de mortalidad fue el de 15 tallos con nodriza en las dos localidades (Figuras 16 y 17).

Con respecto a las fechas de observación en el ejido Las Morenas se pudo observar una mayor mortalidad en la cuarta medición la cual se realizó durante el mes de Junio del 2008.

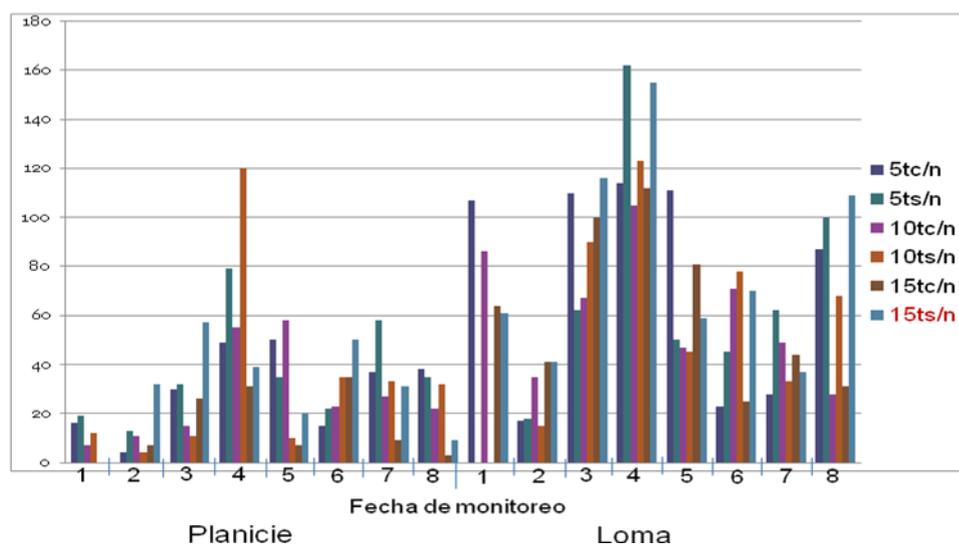


Figura 16. Mortalidad de las plantas de candelilla en función de tratamientos y fechas en el ejido Las Morenas.

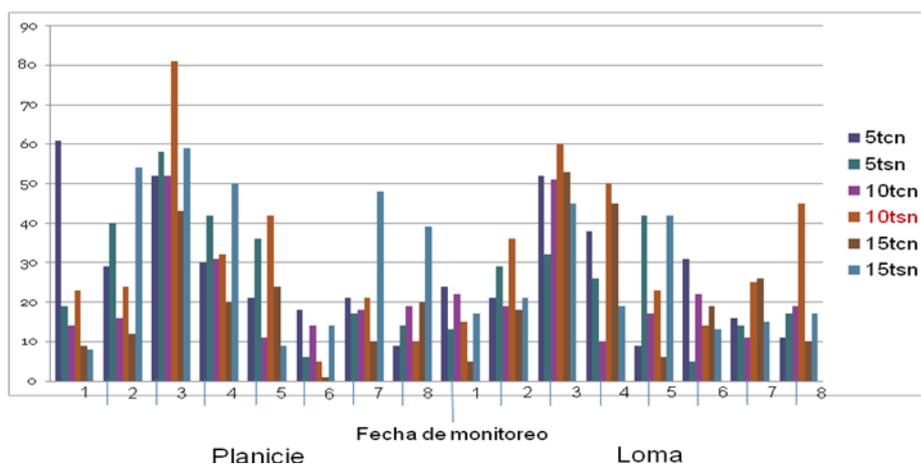


Figura 17. Mortalidad de las plantas de candelilla en función de tratamientos y fechas en el ejido Las Coloradas.

Los resultados obtenidos evidencian que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre la altura de las plantas de candelilla en función de las variables localidad, tratamiento y topografía (Tabla 29). Los resultados de la tabla 30 nos muestran las medias de la altura de las localidades que van de 29.84 cm hasta 37.84 cm indicando que en las dos localidades el mejor tratamiento fue el de 15 tallos en la topografía loma.

Tabla 29. Análisis de varianza para la altura de plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Topografía.

Fuente		S.C.	G.L.	C.M.	F cal	Sig.
Localidad		61654.88	1	61654.88	1011.65	0.000***
Tratamiento		47739.32	2	23869.66	391.66	0.000***
Topografía		6996.63	1	6996.63	114.80	0.000***
Localidad	*	5876.01	2	2938.00	48.20	0.000***
Tratamiento						
Localidad * Topografía		779.34	1	779.34	12.78	0.000***
Tratamiento	*	472.95	2	236.47	3.88	0.021NS
Topografía						
Localidad	*	255.45	2	127.72	2.09	0.123NS
Tratamiento	*					
Topografía						
Error		1251314.51	20532	60.94		
Total		24250403.98	20544			

*** Altamente significativo ($p < 0.001$), ** Significativo ($p < 0.01$), N.S. No Significativo ($p > 0.05$).

Los resultados obtenidos muestran que la localidad Las Coloradas obtuvo el mayor porcentaje con 32.83% (5 tallos), 36.38% (10 tallos) y 37.36% (15 tallos) mientras que los menores porcentajes en altura de plantas de candelilla fue para la localidad Las Morenas con 30.42% (5 tallos), 31.27% (10 tallos) y 33.75% (15 tallos) en función de Localidad, Tratamiento y Topografía (Tabla 30).

Tabla 30. Valores promedio de altura \pm desviación estándar de la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Topografía.

Localidades	Tratamientos	Topografía		Total
		Planicie	Loma	
Las Morenas	5	29.84 \pm 6.94	31.21 \pm 6.53	30.42 \pm 6.80
	10	30.74 \pm 7.80	32.05 \pm 6.48	31.27 \pm 7.32
	15	32.72 \pm 7.79	34.88 \pm 7.33	33.75 \pm 7.65
Las Coloradas	5	32.15 \pm 8.02	33.37 \pm 8.63	32.83 \pm 8.39
	10	36.23 \pm 8.74	36.52 \pm 9.25	36.38 \pm 9.01
	15	36.92 \pm 8.60	37.84 \pm 8.05	37.36 \pm 8.36

9.3.1 Análisis de varianza para la altura de plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Nodriza.

Los resultados del análisis de varianza indican que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre la altura de las plantas de candelilla en función a las variables localidad, tratamiento y presencia/ausencia de planta (Tabla 31). Los resultados de la tabla 32 nos muestran las medias de la altura de las localidades que van de 29.31 cm hasta 37.51 cm y nos indican que en la localidad Las Morenas el mejor tratamiento fue el de 15 tallos con nodriza, mientras que para la localidad Las Coloradas fue sin nodriza.

Tabla 31. Análisis de varianza para la altura en función de Localidad, Tratamiento y Con-Sin Nodriza.

Fuente		S.C.	G L.	C.M.	F cal	Sig.
Localidad		65533.17	1	65533.17	1081.01	0.000***
Tratamiento		50545.80	2	25272.90	416.89	0.000***
Con/Sin Nodriza		4545.42	1	4545.42	74.98	0.000***
Localidad Tratamiento	*	4424.07	2	2212.03	36.48	0.000***
Localidad *		5657.87	1	5657.87	93.33	0.000***
Con/Sin Nodriza						
Tratamiento Con/Sin Nodriza	*	1890.26	2	945.13	15.59	0.000***
Localidad Tratamiento Con/Sin Nodriza	* *	1884.82	2	942.41	15.54	0.000***
Error		1244694.48	20532	60.62		
Total		24250403.98	20544			

*** Altamente significativo ($p < 0.001$), ** Significativo ($p < 0.01$), N.S. No Significativo ($p > 0.05$).

Tabla 32. Valores promedio de altura \pm desviación estándar de la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Con-Sin Nodriza.

Localidades	Tratamientos	Con nodriza	Sin nodriza	Total
	5	31.13 \pm 6.96	29.31 \pm 6.39	30.42 \pm 6.80
Las Morenas	10	32.38 \pm 7.56	30.61 \pm 7.09	31.27 \pm 7.32
	15	35.12 \pm 7.89	32.48 \pm 7.19	33.75 \pm 7.65
	5	33.57 \pm 8.57	32.11 \pm 8.14	32.83 \pm 8.39
Las Coloradas	10	35.73 \pm 8.48	37.24 \pm 9.60	36.38 \pm 9.01
	15	37.22 \pm 8.00	37.51 \pm 8.72	37.36 \pm 8.36

Los resultados obtenidos del análisis de varianza indican que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre la altura de las plantas de candelilla en función a las variables localidad, tratamiento y fecha (Tabla 33). Los resultados de la tabla 34 nos muestran las medias de la altura de las localidades que van de 29.86 cm hasta 38.06 cm mostraron que en las dos localidades el tratamiento de 15 tallos en la fechas ocho mostró los valores más altos.

Tabla 33. Análisis de varianza para la altura en función de Localidad, Tratamiento y Fecha.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F cal	Sig.
Localidad	66381.41	1	66381.41	1082.93	0.000***
Tratamiento	47841.19	2	23920.59	390.23	0.000***
Fecha	4755.48	7	679.35	11.08	0.000***
Localidad * Tratamiento	5803.81	2	2901.90	47.34	0.000***
Localidad * Fecha	60.26	7	8.60	0.14	0.995 NS
Tratamiento * Fecha	4.44	14	0.31	0.00	1.000 NS
Localidad * Tratamiento * Fecha	3.13	14	0.22	0.00	1.000 NS
Error	1256356.34	20496	61.29		
Total	24250403.98	20544			

*** Altamente significativo ($p < 0.001$), ** Significativo ($p < 0.01$), N.S. No Significativo ($p > 0.05$).

Los resultados obtenidos muestran que la localidad que obtuvo menores porcentajes en altura de plantas de candelilla fue Las Morenas con 30.42% (5 tallos), 31.27% (10 tallos) y 33.75% (15 tallos), mientras que la localidad Las Coloradas obtuvo el mayor porcentaje con 32.83% (5 tallos), 36.38% (10 tallos) y 37.36% (15 tallos) en función a las variables localidad, tratamiento y fecha (Tabla 34).

Tabla 34. Valores promedio de altura \pm desviación estándar de la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Tratamiento y Fechas.

Localidades	Tratamientos	Fechas								Promedio
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Las Morenas	5	29.86	29.92	29.96	30.08	30.32	30.67	31.12	31.41	30.42
		± 6.72	± 6.71	± 6.72	± 6.75	± 6.84	± 6.83	± 6.81	± 6.90	± 6.80
	10	30.76	30.79	30.83	30.93	31.12	31.51	31.96	32.28	31.27
		± 7.31	± 7.31	± 7.31	± 7.30	± 7.34	± 7.32	± 7.28	± 7.26	± 7.32
	15	33.21	33.27	33.33	33.43	33.59	33.98	34.50	34.73	33.75
		± 7.66	± 7.65	± 7.66	± 7.67	± 7.66	± 7.61	± 7.56	± 7.60	± 7.65
Las Coloradas	5	32.39	32.42	32.49	32.49	32.74	33.14	33.44	33.56	32.83
		± 8.37	± 8.38	± 8.36	± 8.36	± 8.37	± 8.44	± 8.42	± 8.38	± 8.39
	10	35.97	35.97	36.02	36.07	36.24	36.60	37.02	37.15	36.38
		± 9.10	± 9.06	± 9.03	± 9.01	± 8.99	± 8.96	± 8.95	± 8.97	± 9.01
	15	36.91	36.94	36.99	37.06	37.26	37.66	37.96	38.06	37.36
		± 8.38	± 8.38	± 8.37	± 8.34	± 8.30	± 8.35	± 8.37	± 8.35	± 8.36

En lo referente a la presencia y ausencia de plantas nodrizas, los resultados indican que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre la altura de las plantas de candelilla en función a las variables localidad, fecha y presencia/ausencia de plantas (Tabla 35). Los resultados de la tabla 36 nos muestran que el rango de la altura media oscila entre 30.53 cm hasta 36.36 cm indicando que en la localidad Las Morenas el tratamiento con nodriza presentó mejores alturas, mientras que la Localidad Las Coloradas fue el tratamiento sin nodriza.

Tabla 35. Análisis de varianza para la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Fecha y Con-Sin Nodriza.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F cal	Sig.
Localidad	63127.31	1	63127.31	997.15	0.000***
Fecha	4794.20	7	684.88	10.81	0.000***
Con/Sin Nodriza	4356.77	1	4356.77	68.81	0.000***
Localidad *Fecha	61.64	7	8.80	0.13	0.995 NS
Localidad *	4722.44	1	4722.44	74.59	0.000***
Con/Sin Nodriza					
Fecha *	8.19	7	1.17	0.01	1.000 NS
Con/Sin Nodriza					
Localidad * Fecha *	6.10	7	0.87	0.01	1.000 NS
Con/Sin Nodriza					
Error	1298558.97	20512	63.30		
Total	24250403.98	20544			

*** Altamente significativo ($p < 0.001$), ** Significativo ($p < 0.01$), N.S. No Significativo ($p > 0.05$).

Tabla 36. Valores promedio de altura \pm desviación estándar de la altura de las plantas de candelilla en función de Localidad, Fechas y Con-Sin Nodriz.

Localidades	Fecha	Con nodriza	Sin Nodriza	Total
Las Morenas	1	32.38 \pm 7.67	30.53 \pm 7.07	31.42 \pm 7.42
	2	32.46 \pm 7.66	30.56 \pm 7.08	31.47 \pm 7.42
	3	32.50 \pm 7.65	30.60 \pm 7.09	31.51 \pm 7.42
	4	32.61 \pm 7.65	30.71 \pm 7.10	31.62 \pm 7.43
	5	32.81 \pm 7.68	30.90 \pm 7.13	31.81 \pm 7.46
	6	33.20 \pm 7.67	31.26 \pm 7.09	32.19 \pm 7.43
	7	33.71 \pm 7.63	31.71 \pm 7.05	32.66 \pm 7.40
	8	34.02 \pm 7.71	31.95 \pm 7.01	32.94 \pm 7.42
Las Coloradas	1	35.14 \pm 8.51	35.20 \pm 9.21	35.17 \pm 8.84
	2	35.15 \pm 8.48	35.23 \pm 9.21	35.19 \pm 8.83
	3	35.20 \pm 8.47	35.29 \pm 9.18	35.24 \pm 8.81
	4	35.30 \pm 8.44	35.27 \pm 9.19	35.29 \pm 8.80
	5	35.49 \pm 8.43	35.50 \pm 9.15	35.49 \pm 8.77
	6	35.87 \pm 8.47	35.88 \pm 9.17	35.87 \pm 8.80
	7	36.20 \pm 8.46	36.24 \pm 9.16	36.22 \pm 8.80
	8	36.32 \pm 8.47	36.36 \pm 9.14	36.34 \pm 8.79

9.4 COMPOSICIÓN FLORÍSTICA: ESPECIES ASOCIADAS A LA CANDELILLA

Se observó que la candelilla en el matorral desértico rosetófilo se desarrolla en asociación con múltiples especies, la mayoría de ellas de porte bajo y arrosetadas. La candelilla se asocia con especies espinosas propias de la región en agrupaciones o manchones ocupando desde una pequeña fracción de tierra hasta varias hectáreas. Su mejor desarrollo y conservación lo alcanza cuando se encuentra asociada con otras

especies. En base a este argumento se realizó la composición florística de las dos localidades ubicadas en los ejidos Las Morenas y Las Coloradas. En la tabla 37 se presenta un listado de las especies que componen el matorral desértico rosetófilo en ambas localidades de estudio.

Tabla 37. Lista florística de especies asociadas con candelilla.

Especie	Nombre común
<i>Acacia constricta</i>	
<i>Agave lechuguilla</i>	Lechuguilla
<i>Agave scabra</i>	Maguey cenizo
<i>Fouquieria splendens</i>	Albarda
<i>Hechtia glomerata</i>	Guapilla
<i>Jatropha dioica</i>	Sangre de drago
<i>Larrea tridentata</i>	Gobernadora
<i>Lippia berlandieri</i>	Orégano
<i>Opuntia bradtiana</i>	Viejito
<i>Opuntia leptocaulis</i>	Tasajillo
<i>Opuntia microdasys</i>	Nopal cegador

9.5 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS SEMILLAS DE CANDELILLA

9.5.1 Caracterización morfológica de las semillas

Forma de la semilla. La forma de la semilla predominante en las localidades estudiadas fue la piriforme se presentó en el 53% en Las Morenas, 80% en Las Marías y 96% en Lomas de Icamole y Santa Teresa de Sofía, seguida por la forma botuliforme encontrada en el 3 al 12% de las semillas; por su parte, la forma elipsoide tuvo una frecuencia del 5 al 17%. La forma esférica se encontró

únicamente en la localidad Las Morenas con una incidencia del 24%. La prueba de Kruskal Wallis mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre las localidades respecto a la forma de las semillas.

Superficie de la semilla. Se distinguieron dos tipos de superficie; foveolada y lisa (Figura 18); la superficie foveolada se presentó en todas las localidades, alcanzando valores de 100% en Las Morenas y Santa Teresa de Sofía; por su parte la superficie lisa solo se presentó en las localidades de Lomas de Icamole y Las Marías con frecuencias del 9 y 2% respectivamente. El análisis estadístico reveló que existen diferencias significativas entre las localidades ($p \leq 0.01$).



Figura 18. Semillas de candelilla.

Color de la semilla. Se apreciaron tres colores de semilla, café, ámbar y gris; todos ellos presentes en las 4 localidades aunque con frecuencias diferentes estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$). El color predominante es el café presente desde un 60% en la localidad Las Marías hasta un 90% de las semillas en Santa Teresa de Sofía. El color ámbar se encontró en menor abundancia con un máximo de 22% en la localidad Las Marías; en tanto que el color gris fue el menos abundante en las 4 localidades, encontrándose en una proporción de apenas 1% en la localidad Las Morenas y hasta 12% en la localidad Las Marías (Figura 19).



Figura 19. Coloración de las semillas de candelilla

Características morfométricas de las semillas. La media general para el peso de 100 semillas de todas las localidades fue de 0.32 ± 0.12 g, la localidad de Santa Teresa de Sofía presentó un mayor peso promedio con 0.43 ± 0.07 g y la localidad de Las Marías la de menor peso con 0.20 ± 0.06 g. El análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas entre las localidades ($p \leq 0.01$), existiendo similitud estadística (Tukey, $p \geq 0.05$) solamente entre las localidades Las Morenas y Santa Teresa de Sofía. La longitud de la semilla tuvo una media general para todas las localidades de 2.92 ± 0.26 mm. Siendo la localidad de mayor longitud Santa Teresa de Sofía ($3.07 \text{ mm} \pm 0.23$) y las de menor longitud Lomas de Icamole ($2.82 \text{ mm} \pm 0.18$) y Las Marías ($2.83 \text{ mm} \pm 0.23$). Esta variación entre localidades es estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$), y de acuerdo a la prueba de comparación de medias (Tukey) solo existe similitud entre las localidades Lomas de Icamole y Las Marías.

El ancho de la semilla también presentó diferencias entre las localidades ($p \leq 0.01$) y tuvo una media general de 1.91 ± 0.22 mm, con un valor promedio máximo en la localidad Las Morenas con 2.12 ± 0.17 mm y un valor mínimo en Lomas de Icamole (1.80 ± 0.14 mm). En esta variable no se encontró ninguna similitud entre las localidades (Tukey, $p \leq 0.05$).

El grosor de la semilla mostró una media general de 1.50 ± 0.41 mm, siendo Lomas de Icamole la y Santa Teresa de Sofía las localidades con los valores promedio menor (1.48 ± 0.41 mm) y mayor (1.79 ± 0.21 mm) respectivamente. La prueba de

ANOVA mostró que existen diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre las localidades (Tabla 38).

Tabla 38. Valores promedio \pm desviación estándar correspondientes a los parámetros morfométricos de las semillas.

Localidades	Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)
Lomas de Icamole	0.34 ± 0.04^B	2.82 ± 0.18^A	1.80 ± 0.14^A	1.48 ± 0.41^B
Las Marías	0.20 ± 0.06^A	2.83 ± 0.23^A	1.82 ± 0.19^B	1.25 ± 0.38^A
Las Morenas	0.42 ± 0.10^C	3.05 ± 0.26^B	2.12 ± 0.17^D	1.76 ± 0.22^C
Santa Teresa de Sofía	0.43 ± 0.07^C	3.07 ± 0.23^C	2.03 ± 2.12^C	1.79 ± 0.21^D
Media Total	0.32 ± 0.12	2.92 ± 0.26	1.91 ± 0.22	1.50 ± 0.41

Literales diferentes indican diferencias significativas $p \leq 0.01$

9.5.2 Viabilidad de las semillas

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de semillas ($p \leq 0.01$) como entre las localidades ($p \leq 0.05$). En la tabla 39 se puede apreciar que el grupo de semillas color café presentó el mayor porcentaje de viabilidad ($86.0 \pm 16.4\%$), en tanto que las semillas ámbar y grises apenas alcanzaron $52.0 \pm 9.77\%$ y $21.5 \pm 7.46\%$ respectivamente. En cuanto a las localidades, fueron Santa Teresa de Sofía y Lomas de Icamole las que mostraron los mayores porcentajes de viabilidad para los tres grupos de semillas, además de ser estadísticamente similares, en tanto que Las Morenas y Las Marías presentaron los menores porcentajes y también fueron estadísticamente similares.

Tabla 39. Valores promedios \pm desviación estándar correspondiente a la prueba de viabilidad de semillas color café, ámbar y gris.

Localidad	Semilla Café	Semilla Ámbar	Semilla Gris
Lomas de Icamole	88.6 \pm 10.0 ^B	53.1 \pm 9.8 ^B	30.8 \pm 6.9 ^B
Las Marías	77.6 \pm 24.7 ^A	46.8 \pm 12.4 ^A	17.8 \pm 5.8 ^A
Las Morenas	86.0 \pm 13.0 ^A	44.6 \pm 8.7 ^A	14.7 \pm 9.4 ^A
Santa Teresa de Sofía	92.0 \pm 10.3 ^B	63.5 \pm 8.2 ^B	22.9 \pm 7.7 ^B
Media Total	86.0 \pm 16.4 ^C	52.0 \pm 9.77 ^B	21.5 \pm 7.46 ^A

Literales diferentes indican diferencias significativas entre las localidades ($p \leq 0.05$).

9.5.3 Germinación de las semillas

Para la evaluación de la germinación se consideraron solamente semillas de color café que fueron las que presentaron mayor porcentaje de viabilidad. El patrón de germinación en todos los tratamientos muestra que esta inicia casi de inmediato, encontrando semillas germinadas a partir del segundo día del experimento. Se observó también que la aplicación de los tratamientos de escarificación química y mecánica produjo una respuesta más rápida en la germinación de las semillas. Así mismo, la temperatura de 28°C mostró una mayor respuesta germinativa de todos los tratamientos (Figura 20).

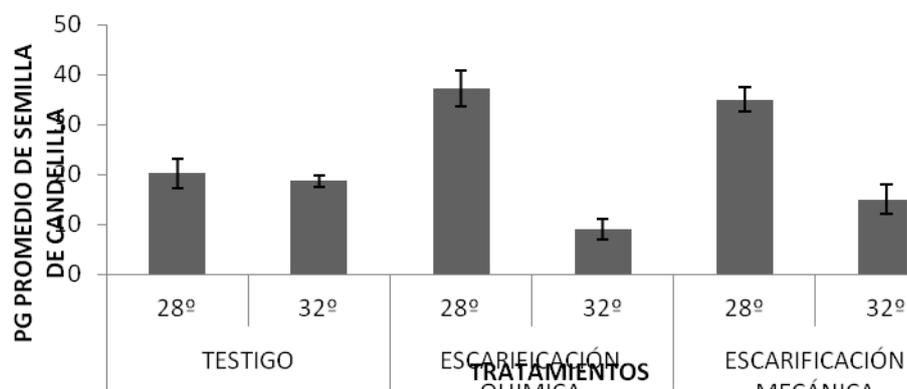


Figura 20. Porcentaje de germinación (PG) promedio de las 4 localidades en los tratamientos analizados a las temperaturas de 28°C y 32°C.

9.5.3.1 Porcentaje de germinación (PG)

Respecto al efecto de los tratamientos y la temperatura en el porcentaje de germinación total, tenemos que para el caso del tratamiento testigo los porcentajes de germinación fueron mayores en la temperatura de 28°C con una variación entre localidades del 5 al 38%, en tanto que para la temperatura de 32°C los porcentajes de germinación total oscilaron entre 5 y 18%, (Figuras 21A y B).

9.5.3.2 Tratamientos pregerminativos

Por su parte, la escarificación química tuvo un efecto positivo sobre el porcentaje de germinación, particularmente en la temperatura de 28°C donde se alcanzó un porcentaje máximo de 60%, en tanto que en la temperatura de 32°C se presentaron porcentajes de germinación que oscilaron entre 5 y 25% entre las localidades (Figuras 21C y D).

En cuanto a la escarificación mecánica, se observó también un incremento en los porcentajes de germinación respecto al testigo; aquí se encontraron valores promedio de germinación entre 16 y 46% para la temperatura de 28°C y de 15 a 34% para la temperatura de 32°C (Figuras 21E y F).

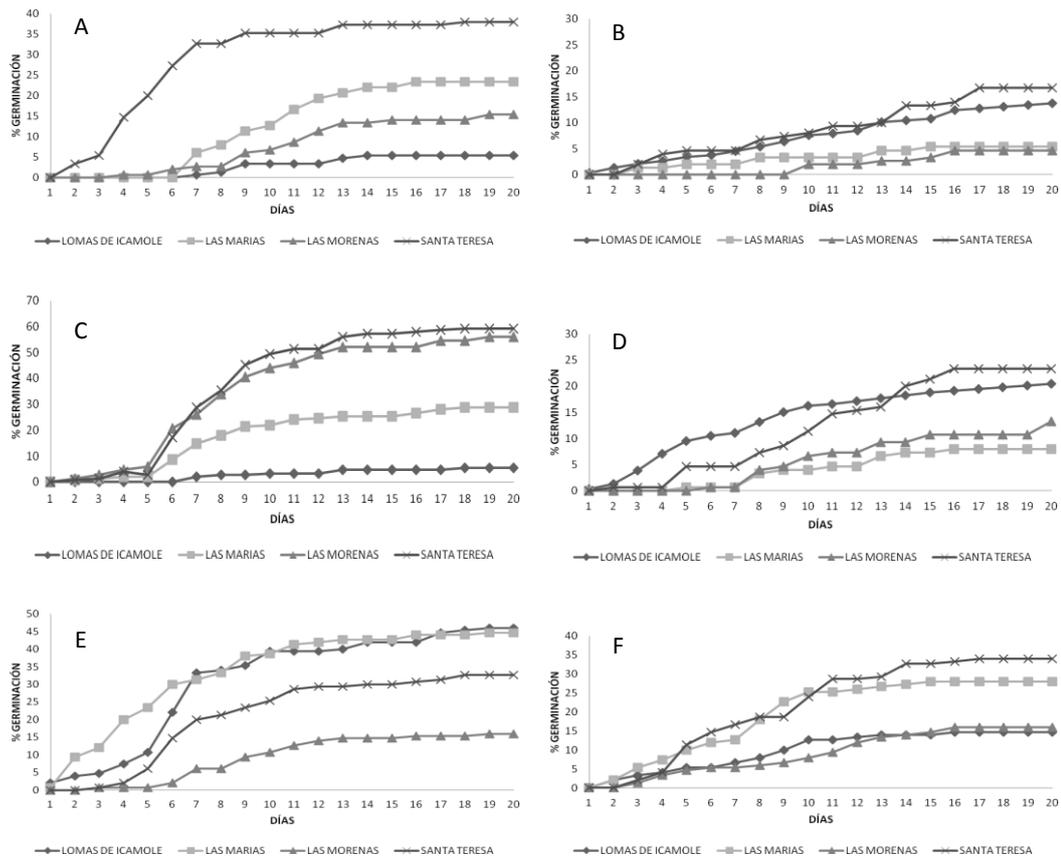


Figura 21. Curva de Germinación acumulada (%) para las 4 localidades a dos temperaturas. Testigo 28°C (A) y 32°C (B); Escarificación química 28°C (C) y 32°C (D); Escarificación mecánica 28°C (E) y 32°C (F).

Respecto al efecto del origen de las semillas sobre el porcentaje de germinación se encontró que la localidad Santa Teresa de Sofía presentó porcentajes de germinación superiores al resto de las localidades para la mayoría de los tratamientos, incluyendo el testigo, excepto en el tratamiento de escarificación mecánica a 28°C, donde las localidades de Lomas de Icamole y Las Marias fueron superiores (Figura 22).

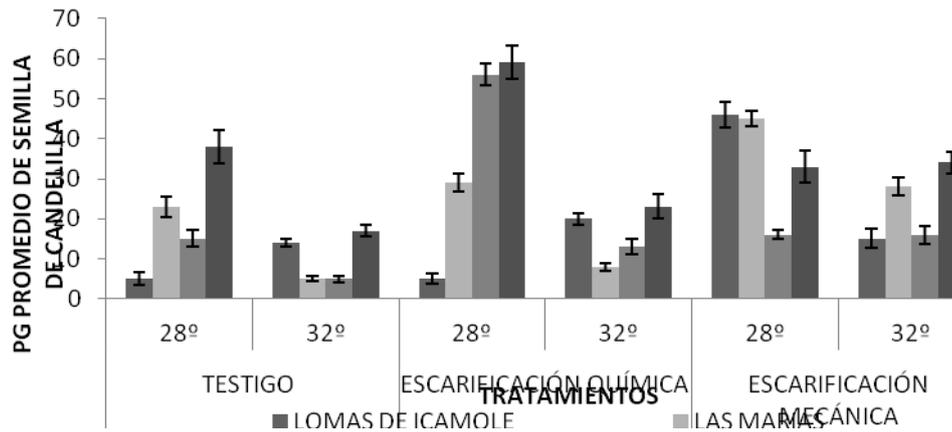


Figura 22. Porcentaje de germinación (PG) de semillas de candelilla de 4 localidades con la aplicación de tres tratamientos a temperaturas de 28 y 32°C.

9.5.3.3 Relación entre el porcentaje de germinación en función del peso y la longitud de la semilla.

La relación funcional entre el peso de la semilla y el porcentaje de germinación no fue significativo ($r= 0.17$). El modelo que mejor se ajuste a estos dos variables es un modelo lineal con un coeficiente de determinación 10.2%, lo que indica una relación débil entre las variables.

De igual manera, la relación funcional entre los valores de germinación y la longitud de la semilla tampoco fue significativa ($r= 0.13$). El modelo que mejor se ajuste a estos dos variables es un modelo lineal con un coeficiente de determinación 10.2%, lo que indica una relación débil entre las variables.

9.6 CULTIVO *IN VITRO* Y LA PROLIFERACIÓN DE BROTES DE CANDELILLA

Los resultados obtenidos del análisis de varianza muestran diferencias significativas ($p<0.01$), entre las localidades (Tabla 40 y 41). La comparación múltiple de medias de Tukey muestra que en relación a las localidades se observaron dos grupos en el primer grupo se muestra a la localidad Santa Teresa de Sofía; en el

segundo grupo a la localidad Las Marías, lo que nos indica que existen diferencias significativas entre estas localidades. En relación a los tratamientos el análisis de varianza mostró que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre estos (Tabla 42). En la comparación múltiple de medias de Tukey se muestra la formación de 4 grupos (Tabla 43 y 44). El análisis de varianza nos indica que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) en los explantes (Tabla 44). En la comparación múltiple de medias de Tukey nos mostró la formación de dos grupos, el primer grupo se encuentra el explante entrenado (Tabla 45).

Tabla 40. Análisis de varianza para las localidades de candelilla.

	S.C.	G.L.	C.M.	F cal.	Sig.
Entre grupos	117.622	2	58.811	7.113	0.001*
Dentro de grupos	719.367	87	8.269		
Total	836.989	89			

** Altamente significativo ($p < 0.001$), * Significativo ($p < 0.01$), N.S. No Significativo ($p > 0.05$).

Tabla 41. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para las localidades.

Localidad	Presencia	Ausencia
Las Marías	3.8000±1.9010 b	8.2000±1.9010 a
Las Morenas	5.2333±3.0363 ab	6.7667±3.0363 ab
Santa Teresa de Sofía	6.6000±3.4601 a	5.4000±3.4601 b

Tabla 42. Análisis de varianza para los tratamientos.

	S.C.	G.L.	C.M.	F cal	Sig.
Entre grupos	551.878	9	61.320	17.206	0.000**
Dentro de grupos	285.111	80	3.564		
Total	836.989	89			

** Altamente significativo ($p < 0.001$), * Significativo ($p < 0.01$), N.S. No Significativo ($p > 0.05$).

Tabla 43. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para los tratamientos.

Tratamiento	Presencia	Ausencia
Control	1.6667±0.8660 b	10.3333±0.8660 a
0.5 mg/L IAA+0.5 mg/L BAP	2.3333±1.2247 bc	9.6667±1.2247 ad
1.0 mg/L IAA+0.5 mg/L BAP	3.0000±1.0000bc	9.0000±1.0000 ad
1.5 mg/L IAA+0.5 mg/L BAP	3.7778±1.3944bc	8.2222±1.3944 ad
0.5 mg/L IAA+1.0 mg/L BAP	4.3333±1.5811bcd	7.6667±1.5811acd
1.0 mg/L IAA+1.0 mg/L BAP	4.8889±2.0275 cd	7.1111±2.0275 cd
1.5 mg/L IAA+1.0 mg/L BAP	8.3333±2.3452 a	3.6667±2.3452 b
0.5 mg/L IAA+1.5 mg/L BAP	7.2222±2.3863 ad	4.7778±2.3863 bc
1.0 mg/L IAA+1.5 mg/L BAP	8.1111±2.5221 a	3.8889±2.5221 b
1.5 mg/L IAA+1.5 mg/L BAP	8.4444±2.5055 a	3.5556±2.5055 b

Tabla 44. Análisis de varianza para los explantes.

	S.C.	G.L.	C.M.	Fcal	Sig.
Entre grupos	82.756	2	41.378	4.773	0.011 NS
Dentro de grupos	754.233	87	8.669		
Total	836.989	89			

** Altamente significativo (p<0.001), * Significativo (p<0.01), N.S. No Significativo (p>0.05).

Tabla 45. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para los explantes de candelilla.

Explante	Presencia	Ausencia
Apice de brote	3.9667±2.4980 b	8.0333±2.4980 a
Nudo	5.3667±2.9998 ab	6.6333± 2.9998ab
Entrenudo	6.3000±3.2816 a	5.7000± 3.2816b

El callo fue visible en todos los explantes a los 10 días independientemente de los tratamientos y las localidades. El tratamiento que contiene 1.5 mg/L IAA+1.5 mg/L BAP presentó mayor producción de callos en el explante de entrenudos, seguido por los tratamientos (1.0 mg/L IAA + 1.5 mg/L BAP), (0.5 mg/L IAA + 1.5 mg/L BAP) y (1.5 mg/L IAA + 1.0 mg/L BAP). Los callos fueron friables y de color verde claro (Figura 1). La generación de brotes de candelilla (Figura 23), se presentó a las 8 semanas a partir del callo *in vitro* originado en los tratamientos antes mencionados siendo mayor en el tratamiento (1.5 mg/L IAA + 1.5 mg/L BAP) con las más altas concentraciones de los reguladores de crecimiento vegetal. La localidad que presentó

mejores resultados fue Santa Teresa de Sofía, seguida de Las Morenas y finalmente Las Marías, Coahuila. Las hormonas empleadas para la obtención de callos de candelilla, las combinaciones de IAA y BAP muestran una excelente capacidad para inducir la formación de los mismos.

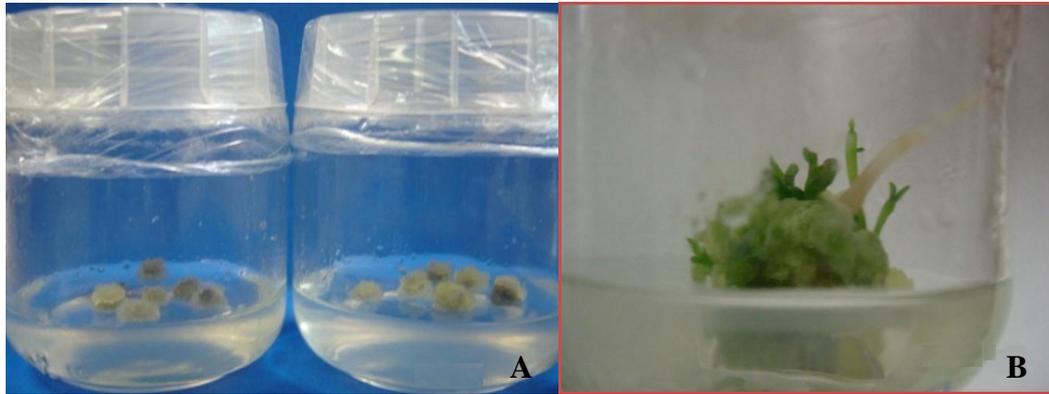


Figura 23. A. Callo *in vitro* de entrenado de candelilla en medio MS con 1.5 mg/L IAA+1.5 mg/L BAP. B. Generación de brotes de candelilla a ocho semanas del cultivo.

10. DISCUSIONES

INVENTARIO DE POBLACIONES DE CANDELILLA Y DETERMINACIÓN DE ESPECIES ASOCIADAS.

De acuerdo al estudio de las poblaciones de candelilla en las ocho sierras ubicadas en el centro del estado de Coahuila, se encontró que la densidad promedio general fue de 3995 plantas por ha, presentando el valor mínimo Sierra La Mula y el valor máximo Sierra La Madera.

Utilizando las variables morfométricas altura y diámetro se calculo el volumen de las plantas de candelilla en cada una de las Sierras, y posteriormente el volumen promedio por Sierra y por unidad de área. Se tuvo un volumen promedio de 0.031 m^3 por planta, Sierra La Mula presentó el mayor volumen por planta.

Se observó que la candelilla se desarrolla en asociación con múltiples especies, la mayoría de ellas de porte bajo y arrosetadas. Tal como lo menciona Esquivel, 1979 que la candelilla se desarrolla generalmente mezclada con especies espinosas de la región. No forma masas puras, se encuentra en forma de manchas ocupando desde una pequeña fracción de tierra hasta varios centenares de áreas.

El método de muestreo más eficiente fue el de cuadrantes de $10 \times 10 \text{ m}$ para una superficie de 100 m^2 .

Las fisonomías crasirosulifolios y matorral subinorme son las dominantes y tienen la de mayor extensión territorial en las Sierras. Ocupan $3,928,490.532 \text{ ha}$ y $904,426.95 \text{ ha}$ respectivamente.

El recorrido en campo para realizar observaciones del grado de erosión del suelo, pendiente topográfica y accesibilidad, tipos de vegetación asociados, etc., en cada uno de los puntos verificados no mostraron una relación consistente con las imágenes de satélite para lograr la caracterización de las imágenes para plasmar con mayor detalle las superficies de los rodales de candelilla. Por otro lado lograr la caracterización de las imágenes sería el punto de partida para estimar y homogenizar la superficie de los rodales de candelilla, las áreas de aprovechamiento, las áreas potenciales de aprovechamiento, las áreas inaccesibles (potenciales), la superficie total del recurso, por lo cual se requiere realizar más observaciones en los recorridos de campo.

La mayoría de los sitios visitados son de propiedad ejidal y presentan perturbaciones del matorral desértico rosetófilo (MDR) y el aprovechamiento de candelilla a llegado a la sobreexplotación del recurso, no obstante en los sitios Las Marías y Estación Socorro localizados a 40 y 80 Km de Cuatrociénegas poseen poblaciones bien conservadas del recurso con potencial para su aprovechamiento.

Los sitios más accesibles de las sierras presentan sobreexplotación y problemas de erosión con roca expuesta, favorecen el desarrollo de otras especies y disminuye las superficies para el establecimiento de candelilla.

El matorral desértico rosetófilo, al cual está asociada la planta de candelilla, ocupa en el estado de Coahuila una superficie de 5,002,497.38 ha (33% de la superficie estatal). El estudio del MDR mostró que la candelilla está asociada a cerca de 50 especies, la mayoría de ellas de porte bajo y arrosetado, predominando especies de las familias Agavaceae, Gramineae, Compositae y Cactaceae.

La densidad promedio general para la candelilla fue de 3995.56 plantas por ha, con un valor mínimo de 1066.18 plantas por ha en la Sierra La Mula y un máximo de 5919.5 plantas por ha en la Sierra La Madera.

El volumen promedio por planta fue de 0.031 m³, con un valor mínimo de 0.025 m³ en la Sierra La Fragua y un valor máximo de 0.041 m³ en la Sierra La Mula. El volumen de biomasa de candelilla por ha mostró un valor máximo en la Sierra La Madera con 183.5 m³/ha y un valor mínimo en la Sierra La Mula con 43.71 m³/ha. El volumen promedio general fue de 116.22 m³/ha.

CONTENIDO DE CERA EN PLANTAS DE CANDELILLA

La relación al contenido de cera y las variables de altura, número de plantas y el peso de las plantas indicó que el coeficiente no fue significativo, esto debido a que el estudio se realizó a menor escala, ya que en las regiones candelilleras utilizan pailas con una capacidad de 500 L, y la cantidad de plantas que utilizan va de 192 a 256 Kg de candelilla por extracción, esto es reportado por De León Zapata, 2008 y Saucedo *et al.*, 2009.

PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE CANDELILLA

Los resultados obtenidos nos permiten observar que existe un menor porcentaje de sobrevivencia en las parcelas con topografía de loma en la localidad Las Morenas lo que concuerda con Flores-López (1995), quien al realizar un estudio sobre plantaciones de candelilla demostró que al sembrar en topografía con pendiente pronunciada como en nuestro estudio, afecta las plantas de candelilla.

Con respecto a las fechas de observación en el ejido Las Morenas se pudo observar una mayor mortalidad en la cuarta medición la cual se realizó durante el mes de Junio del 2008, los factores causantes de estos resultados fueron probablemente por las altas temperaturas y la escasez de precipitación, mientras que el menor porcentaje de mortalidad se presentó en los meses de Diciembre 2007 y Febrero 2008, aunque estos meses presentan temperaturas frías no parecen haber afectado a las plantas de candelilla. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por García, (1988), quien dice que los meses de invierno no son los mejores para realizar una plantación.

Los mejores tratamientos en las dos localidades fueron 10 tallos con nodriza con una altura media de 38.57 cm y un volumen medio de 4495.74 cm³ en el ejido Las Morenas; mientras que para el ejido Las Coloradas obtuvo una altura media de 33.75 cm y un volumen medio de 1655.29 cm³ y el de 15 tallos sin nodriza con una altura media de 38.79 cm y un volumen medio de 4359.37 cm³ en el ejido Las Morenas; mientras que para el ejido Las Coloradas obtuvo una altura media de 35.17 cm y un volumen medio de 1871 cm³ en Planicie y en Loma los mejores Tratamientos también fueron los de 10 tallos con nodriza en el ejido Las Morenas; mientras que para el ejido Las Coloradas obtuvo una mayor altura y el volumen con el tratamiento de 15 tallos con nodriza.

La candelilla posee una de sus mejores defensas debido a su reproducción en forma vegetativa, pero este medio de propagación no es seguro ni absoluto. Estas facultades las pierde irremisiblemente la planta si se le arrancan todos sus tallos y muy frecuentemente con toda los raíces (acción de los candelilleros); lo que dificulta su recuperación, dejando el terreno libre a la invasión de otras especies no maderables como lechuguilla, gobernadora, nopal, guapilla, entre otras.

Cabe señalar que la candelilla se considera como una planta regeneradora, puesto que la planta, aún cuando casi agotada en su área natural, requiere un tiempo promedio largo (10-12 años) para su recuperación. Aún durante el periodo de recuperación, el área explotada será invadida por otras especies del matorral desértico rosetófilo, limitando así su crecimiento, el desarrollo adecuado y su explotación por efectos de competencia inter-específico. Razón por la cual el programa de propagación y la reforestación será una solución en la rehabilitación de grandes áreas explotadas.

Se observó que la candelilla en el matorral desértico rosetófilo se desarrolla en asociación con múltiples especies, la mayoría de ellas de porte bajo y arrosetadas. La candelilla se asocia con especies espinosas propias de la región en agrupaciones o manchas ocupando desde una pequeña fracción de tierra, hasta varias hectáreas. Su mejor desarrollo y conservación los alcanza cuando se encuentra asociada con otras especies. En base a este argumento, se analizó la composición florística de las dos localidades ubicadas en los ejidos Las Morenas y las Coloradas.

CARACTERIZACIÓN MORFOMETRICA, VIABILIDAD Y GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DE CANDELILLA

De las características morfológicas de la semilla de candelilla reportamos diferentes formas: la piriforme se presentó hasta en un 96%, la botuliforme en un 12%, la elipsoide con una frecuencia del 17% en las tres localidades y la forma esférica únicamente en la localidad Las Morenas con una incidencia del 24%. Se distinguieron dos tipos de superficie; foveolada y lisa; la foveolada en las tres localidades y la superficie lisa en Lomas de Icamole y Las Marías; sin embargo Esquivel (1979), menciona que la forma puede variar de elíptica a ovoidal y la superficie es rugosa.

En cuanto a la coloración de la semilla nuestros resultados indican que predomina el color café con un 82% lo que coincide con García-García, 1988, Peña-Contreras, 1998, Esquivel, 1979, Padilla-Fuentes, 1959, quienes reportan el mismo color para esta especie.

En lo que respecta a la superficie de la semilla, se observó que del 91 al 100% de las semillas presentan una superficie foveolada siendo la localidad de Lomas de Icamole la de menor frecuencia y Santa Teresa de Sofía la de mayor frecuencia, las localidades de Santa Teresa y las Morenas no presentaron semillas con superficie lisa, en cambio las localidades de Lomas de Icamole y Las Marías presentaron una frecuencia del 9 y 2% respectivamente.

En lo que respecta a las dimensiones de la semillas encontramos 2.95 mm de longitud, 1.95 mm de ancho y un grosor de 1.58 mm, lo que difiere de Esquivel (1979), que menciona que la semilla de candelilla tiene una longitud de 1 a 2 mm.

El empleo de la escarificación mecánica a las semillas de candelilla permitió un incremento en los porcentajes de germinación respecto al testigo; con valores promedio de germinación entre 16 y 46% a 28°C y de 15 a 34% a 32°C, lo que difiere de lo reportado por Villa-Castorena *et al.*, 2005 que las semillas de candelilla sin tratamiento pregerminativo tuvieron mayor porcentaje de germinación.

En cuanto al tratamiento con ácido se muestra un porcentaje de germinación entre el 5 y el 25% a la temperatura de 32°C, siendo Santa Teresa de Sofía la localidad de mayor porcentaje de germinación y Las Marías la localidad de menor respuesta a este tratamiento. En cuanto a la temperatura de 28°C se observa que el porcentaje de germinación se encuentra entre el 5 y el 60%, siendo Lomas de Icamole y las Marías las localidades de menor porcentaje de germinación, y Santa Teresa de Sofía la localidad de menor respuesta a este tratamiento.

CULTIVO *IN VITRO* DE CANDELILLA

Se logró la proliferación de brotes (regeneración directa) a partir de las plántulas *in vitro* obtenidas a los dos meses de la siembra; y la regeneración indirecta (la que tiene al callo *in vitro* como paso intermedio y necesario) a partir de los callos *in vitro*.

La generación de brotes de candelilla, se presentó a las ocho semanas a partir del callo *in vitro* siendo mayor en el tratamiento (1.5 mg/L IAA+1.5 mg/L BAP) con las más altas concentraciones de los reguladores de crecimiento vegetal utilizados. Los resultados obtenidos difieren de los logrados por Jakobek *et al.*, 1986, quienes reportan brotes de candelilla a las 6 semanas. Esto se debe que Jakobek *et al.*, 1986 utilizaron plantas de invernadero y en nuestro trabajo utilizamos plantas de candelilla silvestre, y esto vario los resultados debido a que las plantas de candelilla tuvieron que pasar por un proceso de desinfestación mas meticuloso.

11. CONCLUSIONES

INVENTARIO DE POBLACIONES DE CANDELILLA Y DETERMINACIÓN DE ESPECIES ASOCIADAS.

Las fisonomías crasirosulifolios y matorral subinorme fueron dominantes y presentaron la mayor extensión territorial en las ocho Sierras, ocupando 4,924,273.86 ha y 907,715.27 ha respectivamente.

La mayoría de los sitios visitados eran de propiedad ejidal y presentaban perturbaciones del matorral desértico rosetófilo y el aprovechamiento de candelilla ha llegado a la sobreexplotación de dicho recurso.

El matorral desértico rosetófilo, al cual está asociada la planta de candelilla, ocupa en el estado una superficie de 4, 959,439.08 ha (28.90% de la superficie estatal). El estudio del MDR mostró que la candelilla está asociada a cerca de 50 especies, la mayoría de ellas de porte bajo y arrosetado, predominando especies de las familias Agavaceae, Gramineae, Compositae y Cactaceae.

La densidad promedio general para la candelilla fue de 3995.56 plantas por ha, con un valor mínimo de 1066.18 plantas por ha en la Sierra La Mula y un máximo de 5919.5 plantas por ha en la Sierra La Madera. El volumen promedio por planta fue de 0.031 m³, con un valor mínimo de 0.025 m³ en la Sierra La Fragua y un valor máximo de 0.041 m³ en la Sierra La Mula. El volumen de biomasa de candelilla por ha mostró un valor máximo en la Sierra La Madera con 183.5 m³/ha y un valor mínimo en la Sierra La Mula con 43.71 m³/ha. El volumen promedio general fue de 116.22 m³/ha.

CONTENIDO DE CERA EN PLANTAS DE CANDELILLA

En cuanto al contenido de cera en las plantas de candelilla los resultados no fueron favorables, debido a la poca cantidad de planta utilizada, lo recomendable para obtener mejores resultados es la utilización de mayor cantidad de plantas de candelilla.

PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE CANDELILLA

La propagación vegetativa de la planta de candelilla es sumamente importante para restablecer las áreas sobreexplotadas de las regiones candelilleras del estado de Coahuila.

Los resultados obtenidos en este estudio son indicadores para el futuro desarrollo de programas de rehabilitación y reforestación de la planta de candelilla.

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA, VIABILIDAD Y GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DE CANDELILLA

La forma piriforme y la superficie foveolada de las semillas de candelilla son las que predominan en las tres localidades. Se observa que existe una relación entre el peso, el color de la semilla con la viabilidad y el porcentaje de germinación. Se observa un incremento en el porcentaje de germinación con la aplicación de escarificación mecánica; la temperatura fue también un factor importante al permitir una mayor tasa de germinación acumulada.

CULTIVO *IN VITRO* DE CANDELILLA

Se estandarizó la técnica de desinfestación y se determinó la viabilidad para las semillas de esta. Se logró la germinación *in vitro* optimizándose las combinaciones y concentraciones de los diferentes reguladores de crecimiento vegetal; la inducción de callo *in vitro* y la posterior micropropagación vías organogénesis directa e indirecta.

Este estudio demostró que la candelilla fue capaz de regenerarse por medio de cultivo de tejidos. La regeneración a través de cultivo de tejidos es afectada por la edad y las condiciones de la planta donante. Se confía que un sistema de regeneración eficiente se pueda desarrollar en el futuro.

Por lo anterior se concluye que esta especie es factible de ser micropropagada de acuerdo a los protocolos y metodologías descritas en este presente trabajo, de igual manera se recomienda que los estudios con la especie deban continuar para mejorar los modelos planteados.

12. RECOMENDACIONES

1. Es necesario continuar con los estudios de adaptación y domesticación (propagación vegetativa) de planta de candelilla a mediano y largo plazo, pues solo con ello se lograría aprovechar al máximo el potencial integral de la planta. A esto deberían agregarse estudios de mejoramiento genético (selección genética) para aumentar la secreción (cantidad) de cera y disminuir el de algunos componentes no deseados creando variedades más adecuadas a las necesidades del mercado.
2. Continuar con el estudio ecológico de zonas geográficas para determinar la asociación de cultivos, lo es un aspecto importante con miras a la conservación no solo de este recurso natural (candelilla) sino también, los otros recursos con los que se asocia en su hábitat natural.
3. Urgen medidas que ayudan a la rehabilitación de áreas sobreexplotada y la aplicación de tecnologías que propicien mejoras tanto ecológicas como de cultivo de la planta, lo anterior deberá hacerse extensivo siguiendo un programa ordenado de manejo y el aprovechamiento racional de los recursos vegetales con plantas de candelilla donde participen los organismos gubernamentales (CONAFOR, SAGARPA, SEMARNAT, etc.), empresas así como con la participación activa de los candelilleros de zonas desérticas del noreste de México. El aprovechamiento óptimo de los recursos vegetales debe llevarse a cabo paralelamente con la aplicación de la metodología mejorada de la recolección de plantas (sin arrancar la plantas desde la raíz) mediante el uso de herramienta ó maquinaria en la recolección de planta en el campo, el uso de la tecnología de extracción de la cera en el campo (evitando la pérdida y desperdicio de ceras crudas).

4. La propagación sexual (domesticación de la planta y mejoramiento genético) es una alternativa para preservar el recurso natural (candelilla). Para lograrlo, es importante que los organismos involucrados cuenten con un Banco de Germoplasma el cual constituye el punto de partida para cualquier sistema de propagación y reforestación que se pretenda establecer.
5. El inventario del recurso de candelilla que cuantifique la abundancia y la productividad (en tonelaje por ha o por Km²) de la planta de candelilla como los aspectos cualitativos de los sitios o zonas ocupadas por este recurso, tiene una gran prioridad sobre otras actividades, puesto que de esto dependerán las estrategias de abastecimiento que se definan.
6. La planta de candelilla se comporta bien en condiciones de cultivo (el vivero de la Facultad con una precipitación 700-800 mm), con una tasa de crecimiento superior a 15-20 cm en el primer año, y un gran número de tallos (verdes: por condiciones favorable del clima), sin embargo, con una cantidad muy reducida en capa de cera (aproximadamente 60% menos) en comparación a la planta silvestre. Sin embargo, es importante de señalar que la producción de plantas a nivel de vivero podrá resultar muy factible como una alternativa de propagación, cuando y siempre los viveros se coloquen en el hábitat natural donde la precipitación es escasa (200-250 mm).
7. Como conclusión final de este proyecto de propagación *in vivo*, la candelilla puede ser propagada directamente a través de estacas; de este modo es recomendable establecer dentro de cada ejido de la región un programa de reforestación y rehabilitación orientado a preservar la candelilla en su hábitat esto con la finalidad de asegurar el establecimiento del recursos mediante la transformación de los métodos tradicionales
8. El inventario podrá efectuarse mediante la aplicación de las siguientes estrategias:
 - a) Uso de los métodos tradicionales para determinar la población por hectárea, precisar geográficamente las poblaciones y las asociaciones vegetales con candelilla en forma de “manchones” y “comunidades” y, realizar un inventario de dichos “manchones” y “comunidades” en función de la abundancia de la planta y su volumen.

b) Aplicar la tecnología de sensores remotos (costoso) e imágenes de satélite de alta resolución para definir la abundancia de candelilla y las asociaciones vegetales en las diversas regiones, utilizando herramienta en el estudio dasonómico.

13. LITERATURA CITADA

Andrade, F. J. 1958. La cera de candelilla de México. *Revista Chapingo*. 121-150.

Alcocer, G., J.M. Sanders. 1909. *Euphorbia cerífera*. *Anales del Instituto Médico Nacional*. México. 2:156-163.

Arriaga, P. 1994. Effects of mesquite gum-candelilla wax based edible coating on the quality of guava fruit (*Psidium guajava* L.). *J.Phys. IV France* 125 (2004) 889-892.

Bacon, Jeffrey. R. 2009. Desert Candle (*Euphorbia antisyphilitica*). [internet]. Disponible en el sitio de red: http://www.desertusa.com/mag017nov/main/deser_candle.html. [Revisado el 15 de marzo de 2010].

Barsch, F. 2004. Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*): Utilization in Mexico and international trade. *Medicinal Plant Conservation* 9: 46-50.

Canales, G. E., V. Canales Martínez y E. M. Zamarrón Rodríguez. 2006. Candelilla del Desierto Mexicano Hacia el Mundo. *Biodiversitas*. 69: 1-5.

Cárdenas R, F. 1988. Influencia de algunas características agro climáticas en la producción de la cera de Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc). Tesis Ingeniero Agrónomo en Suelos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Ingeniería. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Carrillo-Gutiérrez, L. 1986. Efecto de la profundidad de siembra sobre la emergencia y vigor de plántulas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Chapa-Romo, M. T. 1959. Estudio monográfico de la Candelilla *Euphorbia* sp. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Coahuila. Escuela superior de Agricultura Antonio Narro.

Ceras Naturales Mexicanas, S.A. de C.V. (CENAMEX). 2007. Ficha técnica *Candelilla Euphorbia anthisyphilitica*. [internet]. Disponible en el sitio de red: http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/cadenasproductivas/Estudio_Competitividad/FICHAS%20TECNICAS/CANDELILLA.pdf. [Revisado el 8 de marzo de 2008].

Cervantes Ramírez. M. C. 1992. Plantas productoras de cera. Universidad Autónoma de México.

Cervantes Ramírez. M. C. 2002. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. Temas Selectos de Geografía de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 125-137.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2005. La Candelilla. [internet]. Disponible en el sitio de red: [internet]. Disponible en el sitio de red: http://www.conafor.gob.mx/revista_forestal/vol207. [Revisado el 13 de septiembre del 2008].

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2009. Gerencia de plantaciones forestales comerciales. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temasforestales/competitividad/estudio-2009>. [Revisado el 7 de febrero de 2009].

Dávila, A. H., 1981. Métodos de reproducción de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*). Primera Reunión Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las Plantas Útiles del Desierto, Publicación Especial No. 31. INIF. México. pp. 346-350.

Degollado-Veloz, M. A. 1989. Estudios sobre domesticación de Candelilla, Banco de germoplasma, métodos de extracción de cera y regresión lineal múltiple. Tesis Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. División de Agronomía. Buenavista, Saltillo.

De la Cruz J. A. 1958. Contribución al estudio de la Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma de Coahuila. Escuela Superior de Agricultura “Antonio Narro” Buenavista, Saltillo.

De León Zapata, M. A. 2008. Mejoras tecnológicas al proceso de extracción de cera de candelilla. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila. México.

Esparza, H. 2003. La Vida en el Desierto: Ocampo Candelillero, Revista Nomádica Núm. 5, Torreón, México, Enero-Febrero.

Esquivel, W. 1979. Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). Estudio monográfico. Tesina Biólogo. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Foroughbakhch, R. 1989. Tratamiento a la semilla de catorce especies forestales de uso múltiple de zonas de matorral y su influencia en la germinación. Reporte científico No. 12. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L., México. pp. 1-21.

Flores-Calderón E. 1942. La candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). Tesis Licenciatura. Escuela Nacional Agraria Chapingo, México.

Flores, J. y E. Jurado. 1998. Germination and early growth traits of 14 plant species native to northern Mexico. *The Southwestern Naturalist* 43 (1): 40-46.

Flores-López. C. 1995. Viabilidad de las semillas, emergencia de plántulas y plantaciones de Candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) en Ramos Arizpe, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División de Agronomía.

Flores-Vindas, E. 1999. La planta estructura y función. Consejo Editorial del Libro Universitario Regional. Costa Rica. Vol. I y II. 884 pp.

Food and Drugs Administration (FDA). 1982. Candelilla wax, proposed affirmation of GRAS status as a direct human food ingredient. Fed. Reg. 47: 35776-35777.

García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, 5ta. Edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 90 p.

García-García, 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 Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División de Agronomía.

González L. A., J. Valdés, A. Valdés, A. Gallegos, G. Padilla. 1994. Pruebas de germinación en semillas de sotol (*Dasyllirion cedrosasanum* Trel.) utilizando extractos secos de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) bajo condiciones de laboratorio. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/Zaridas/sotol01.pdf>. [Revisado el 23 enero 2007].

González-Sánchez, A. 1985. Colección y caracterización de germoplasma de algunas leguminosas forrajeras existentes en la región semiárida del noreste de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Gupta, N. y N. K. Mehrotra. 1997. Potassium nutrition related biomass and wax productivity of *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. in sand culture. *Journal of the Indian Botanical Society* 76: 99- 101.

Hagenmaier, R. D, 2000. Evaluation of a polyethylene-candelilla coating for “Valencia” oranges. *Postharvest Biology and Technology* 19: 147-154.

Instituto de la Candelilla (IC), 2008. La planta de candelilla. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.candelilla.org/es/>. [Revisado el 23 de abril de 2008].

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI), 2010. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.inegi.org.mx>. [Revisado el 20 de junio de 2012].

Jakobek, J. L., R. A. Backhaus y K. Herman. 1986. Micropropagation of Candelilla, *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 7:145-148.

Jasrai, T., K.N. Thaker y M. C. D'Souza. 2003. *In vitro* propagation of *Euphorbia pulcherrima* Willd. through somatic embryogenesis. *Plant Tissue Culture*, 13: 31-36.

Jurado, E. 2004. Semillas de Matorral Espinoso Tamaulipeco. En: Foroughbakhch, Torres y Alvarado (Eds.) Tópicos Selectos de Botánica. Dirección de Publicaciones de la UANL. pp. 67- 73.

Jurado, E. y M. Westoby. 1992. Germination biology of selected central Australian plants. *Australian Journal of Ecology*. 17: 341-348.

Jurado, E. 1997. Germination in relation to seed mass, dispersal syndromes and plant attributes across species in northeastern Mexico. Recent Advances in Biotechnology for tree Conservation and Management. Proceedings of an IFS Workshop. Organizer and Sponsors: International Foundation for Science (IFS) and Universidad de federal de Santa Catarina (UFSC). Florianopolis, Brazil. 15-19. September 172-179.

Jurado E., O. Aguirre, J. Flores, J. Navar, H. Villalón, y D. Wester. 2000. Germination in Tamaulipas thornscrub of north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*. 46: 413 – 424.

Jurado E., J. Navar, H. Villalón y M. Pando. 2001. Germination associated with season and sunlight for Tamaulipan thornscrub plants of north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*. 49: 833-841.

Jurado, E. y A. Moles. 2004. Postergar la germinación de las semillas: Una estrategia evolutiva en ambientes desfavorables. En: Foroughbakhch, Torres y Alvarado (Eds) *Tópicos Selectos de Botánica*. Dirección de Publicaciones de la UANL. pp. 80-83.

Kondamundi, R., K. Sri Rama Murthy y T.Pullaiah. 2009. Euphorbiaceae. A critical review on plant tissue culture. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10:313-335.

Kuznesof, P. M. y D. B. Whitehouse. 2007. Candelilla Wax. Chemical and Technical Assessment (CTA) 65th JECF A. FAO. [internet]. Disponible en el sitio de red: http://www.fao.org/es/esn/jecfa/cta_65_candelilla_wax.pdf. [Revisado el 23 de abril de 2008].

Lang he, E.D., Debergh, P. y Rijk, V.R. 1974. *In vitro* culture as a method for vegetative propagation of *Euphorbia pulcherrima*. *Zeitschrift fur Pflanzenphysiologie* 71:271- 274.

Lee, C.W., J. Jeckes y J.C. Thomas. 1982. Culture Propagation of *Euphorbia lathyris*, *Horticultural Science*, 17:533 -553.

López M. G. 1961. Estudio comparativo de dos Métodos de Germinación de Semillas. Tesis Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Marroquín, J. S. 1964. Estudio Ecológico Dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Publicación especial 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. pp.116.

Moreno-Álvarez M. T., L. F. Benito-Matías, N. Herrera-Sierra, S. Domínguez-Lerena, J. L. Peñuelas-Rubira. 2001. Estudios de nuevos métodos de viabilidad de las semillas forestales: test de electroconductividad e índigo carmín. Comparación con el método del tetrazolio y su aplicación a *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis*. Actas del III Congreso Forestal en Español. Granada, Mesa 3: 653-658.

Multiceras, 2010. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.multiceras.com.mx/pro-candelilla.htm>. [Revisado el 26 de mayo de 2010].

Murashige, T. y F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiology Plantarum*, 15:473-497.

National Academy of Sci. (NAS). 1975. Underexploited tropical plants with promising economic value. *National Academy of Sciences*. Washington, D.C. U.S.A. 188 p.

Nielsen, M D., Farestveit, B. y Andersen, A.S. 2003. Adventitious shoot development from decapitated plants of periclinal chimeric poisetia plants (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotsch). *European Journal of Horticultural Science*, 68:161-168.

Padilla-Fuentes, G. 1959. Determinación del contenido de cera en plantas de candelilla *Euphorbia ssp.* De las seis zonas productoras del norte de México. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma de Coahuila. Escuela superior de Agricultura “Antonio Narro” Buenavista, Saltillo.

Peña-Contreras, A. R. 1998. Utilidad de algunas metodologías de análisis la interacción genotipo-ambiente en la medición de la tasa de recuperación, en el crecimiento de la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*, Zucc.), bajo diferentes condiciones ecológicas. Tesis M.C. Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Buenavista, Saltillo.

Perretti, A. 1994. Manual Para el Análisis de Semillas. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp. 73-145.

Radford, A. E., W. C. Dickison, J. R. Massey, C. R. Bell. 1974. Vascular Plant Systematics. Harper & Row Publishers. New York, USA. pp.83-166.

Romahn V., C. F. 1992. Los Recursos Forestales no Maderables de México: una Revisión. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 131 p.

Romahn, C. F. 1992a. Principales productos forestales no maderables de México. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México.

Saucedo-Pompa, S. 2007. Desarrollo de películas comestibles a partir de cera de candelilla y activos antioxidantes. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila. México.

Saucedo-Pompa, S., R. Rojas-Molina, A. F. Aguilera-Carbó, A. Saenz-Galindo, H. De La Garza, D. Jasso-Cantú and C. N. Aguilar. 2009. Edible film base don candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*. 42: 511-515.

Scora, G. A., M. Ahmed y R. W. Scora. 1995. Epicuticular hydrocarbons of candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) from three different geographical areas. *Industrial Crops and Products*, 4: 179-184.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2008. Manual que establece los criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de recursos forestales no maderables de clima árido y semiárido. Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental, Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables. México. D.F. México. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/publicaciones/Publicaciones/ManualClima%20%C3%81rido.pdf>. [Revisado el 14 de marzo de 2009].

Steinmann, V. W. 2002. Diversidad y Endemismo de la Familia Euphorbiaceae en México Acta Botánica Mexicana 2002. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán 61: 61-93. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/resumeness/ABM/ABM.61.2002/acta6161-93.pdf>. [Revisado el 16 de marzo del 2011].

Taller Nacional de Candelilla. 2008. Conservación, uso y comercio de la candelilla. Taller Nacional. 11: 1-3. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/boletines/pdf/BP011Taller%20candelillaDEF18dic08.pdf>. [Revisado el 7 de febrero de 2009].

Torres, A.I. 2004. Rooting experiments with *Euphorbia lagascae* cuttings. *Anales de Biología*, 26:101-104.

Uchida, H., O. Nakayachi, M. Otani, M. Kijikawa, Y. Kohzu, K.T. Yamato, H. Fukuzawa, T. Shimada y K. Ohyama. 2004. Plant regeneration from inter node explants of *Euphorbia tirucalli*. *Plant Biotechnology*, 21: 397-399.

Villalón-Mendoza, H. 2004. El germoplasma y su importancia en la conservación de recursos naturales. En: Foroughbakhch, Torres y Alvarado (Eds.) Tópicos Selectos de Botánica I. Dirección de Publicaciones de la UANL. p. 74-79.

Villarreal-Barrera, A. R. 1995. Pobreza y marginación de los productores de cera de Candelilla. Tesis Ingeniero Agrónomo en Economía Agrícola. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". División de Ciencias Socioeconómicas. Buenavista, Saltillo.

Webster, G. L. 1994. Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 81:33-144.

Zar, J. H. 2010. Bioestatistical Analysis, 4th edition Prentice Hall, Inc. New Jersey, USA, 662 p.

Zhang B, L.P. Stoltz y J.C. Snyder. 1987. *In vitro* propagation of *Euphorbia fulgens*, *Horticultural Science*, 22: 486-488.

Zuccarini, J. G. 1832. Description of *Euphorbia antisyphilitica* Zuccar. Adhandlungen der Mathematisch-Physikalischen Classe der Koeniglich Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Vol.1, Fasc. 1, Munich, Deutschland. 35-36 pp.