Producción de planta de sotol para trasplante

Ma. Magdalena Villa Castorena, Ernesto A. Catalán Valencia, Marco A. Inzunza Ibarra, Abel Román López,

GOBIERNO FEDERAL

SAGARPA

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centro de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua Suelo Planta Atmósfera
Gómez Palacio, Durango. Diciembre de 2012
Folleto Técnico No. 25 ISBN 978-607-425-907-0
Serie: MX-0-310390-35-10-00-09-20

Vivir Mejor

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda
Secretario
M. C. Mariano Ruiz-Funes Macedo
Subsecretario de Agricultura
Ing. Ignacio Rivera Rodríguez
Subsecretario de Desarrollo Rural
Lic. Ernesto Fernández Arias
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios
M.Sc. Jesús Antonio Berúmen Preciado
Oficial Mayor

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General
Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación
M. C. Arturo Cruz Vázquez
Coordinación de Planeación y Desarrollo
Lic. Marcial A. García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

Centro de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua Suelo Planta Atmósfera

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas
y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán, C. P. 04010 México D. F. Teléfono
(55) 3871-8700
http://www.inifap.gob.mx

"Producción de planta de sotol para trasplante

ISBN 978-607-425-907-0
Primera Edición 2012 Derechos Reservados@

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito a la Institución.

La presente publicación se terminó de imprimir el mes de
Diciembre de 2012 en los Talleres de Carmona Impresores S.A.
de C.V. Calzada Lázaro Cárdenas No. 850. Col. Eduardo Guerra
C.P. 27280 Torreón, Coahuila, México
Su tiraje consta de 500 ejemplares.

Producción de planta de sotol para trasplante

Dra. Ma. Magdalena Villa Castorena*
Dr. Ernesto A. Catalán Valencia*
Dr. Marco A. Inzunza Ibarra*
M.C. Abel Román López*

*Investigadores del Centro de Investigación Disciplinaria
en la Relación Agua Suelo Planta Atmósfera

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales
Agrícolas y Pecuarias

Centro de Investigación Disciplinaria en la Relación
Agua Suelo Planta Atmósfera

Diciembre del 2012

CONTENIDO

	Pág.
Introducción	1
Características generales del sotol	2
Establecimiento del vivero	5
Sustratos	7
Contenedores	16
Tratamientos a la semilla	20
Metodología para la siembra	26
Riegos	30
Fertilización	31
Medidas Fitosanitarias	35
Plagas	35
Enfermedades	36
Calidad de planta	37
Aclimatación de plantas	38
Literatura citada	39

INTRODUCCIÓN

El Sotol (*Dasylirion spp.*) es una planta nativa del desierto Chihuahuense que crece en los tipos de vegetación matorral desértico rosetófilo y matorral crasirosulifolio espinoso (Bogler, 1998). Las especies en esos tipos de vegetación poseen hojas en forma de roseta con o sin espinas, sin tallo aparente o bien desarrollado. Dentro de las plantas que se encuentran asociadas al sotol se tienen al *Agave lechuguilla* (Lechuguilla), *Agave striata* (Espadín), *Hechtia* spp. (Guapi¬llas), *Euphorbia antisiphylitica* (Candelilla), *Parthenium argentatum* (Guayule) y *Yucca carnerosana* (Palma samandoca).

El sotol es importante tanto desde el punto de vista ecológico como económico. En el primer caso proporciona abrigo y alimento a la vida silvestre y es parte del patrimonio genético de la alta biodiversidad de las zonas áridas y semiáridas. Por otro lado la recolección del sotol es una fuente importante de ingresos económicos de los habitantes de esas regiones, que por lo general son áreas marginadas donde la precipitación es escasa. El sotol sobrevive tanto a la temperaturas por debajo de los 0ºC como a temperaturas arriba de los 45ºC gracias a su tipo de follaje fibroso.

Algunos de los principales usos del sotol son en la elaboración de artículos de ornato, elaboración de bebida alcohólica, como forraje, en la construcción y en industria de alimentos y farmacéutica De las hojas se hacen bolsas, sombreros, canastos, sopladores de fuego, arreglos de ornato entre otras cosas, y las fibras

de las hojas se utilizan en cordelería (Cano y Martínez, 2007). De las partes basales de los troncos (piñas) de las plantas maduras se obtiene la bebida alcohólica llamada sotol. Las cabezas o las porciones centrales de las plantas, las bases de las hojas y los tallos de la flor joven así como el bagazo que se obtiene tras el procesamiento de las piñas sirven de alimento para ganado en la época de seca (Powell, 1998; Robles *et al*., 2008; Robles, 2011). Los escápulos florales o quiotes se usan como postes para la construcción rústica de cercados de casas y corrales para ganado y techos de casas habitación (Ramírez y Juárez, 2009).

Aunque en la actualidad, el sotol es un recurso natural relativamente abundante en el Desierto Chihuahuense, se tiene el riesgo de una sobrecolecta de esta especie. Como resultado de la denominación de origen de la bebida alcohólica llamada sotol para los estados de Coahuila, Chihuahua y Durango (IMPI, 2002) y de la creación de la NOM-159-SCFI-2004, se ha tenido un incremento en la producción de esa bebida para fines de exportación. Esto indudablemente tendrá un impacto en la economía de los recolectores y sobre todo de las empresas industrializadoras del sotol; pero también se tendrá una mayor demanda del material vegetal ya que para producir una botella de 750 ml se requieren dos cabezas de sotol. De esta forma, es necesario el diseño de programas de reforestación para evitar la degradación de este recurso natural, o bien el establecimiento de plantaciones comerciales. La producción de plántula para trasplante en contenedores es una opción para llevar a cabo esas tareas; en este folleto se presenta la tecnología para producir plántula de sotol en vivero que se ha generado de resultados de investigación.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SOTOL

El sotol es una planta perenne, policárpica y semicilíndrica con aspecto de palma, pertenece a la familia Nolinaceae que significa lirio grueso y esculento, cuyas especies son plantas con hojas

lineales, largas, sobre el tallo principal en roseta, angostas y de bordes espinosos (Melgoza y Sierra, 2003; Figura 1). El tamaño de las hojas puede ser de dos centímetros de ancho hasta un metro de largo. Las hojas presentan espinas pequeñas y encorvadas en los bordes y una púa terminal, que los asemeja a los magueyes; pero a diferencia de estos son delgadas, angostas y rígidas con forma de espadas (Figura 2). Las hojas se forman del centro hacia la periferia y no caen al morir, sino que forman parte del tallo para protección y soporte (Herrera *et al*., 2011).

Las flores, que son pequeñas, aparecen agrupadas en una inflorescencia cuyo tamaño varía desde un metro en plantas jóvenes hasta cinco o seis metros en la mayoría de las plantas adultas. Las flores varían de acuerdo al tipo de planta ya que existen plantas masculinas (estaminadas) y femeninas (pistiladas). Ambas flores cuentan con un escapo que puede ser muy alto; en la parte superior se encuentran los estambres que tienen estructuras como tipo espinas o los pistilos que carecen de esas estructuras. Se estima que un ciclo de formación de semillas completo ocurre cada seis años pues la polinización se lleva a cabo por el viento y probablemente la formación de los órganos sexuales no ocurren al mismo tiempo (López y Portes, 2002). El fruto es capsular, unilocular, indehiscente, seco, con tres alas, conteniendo una semilla angulosa. La raíz es fibrosa, aunque las hay pivotante, poco profunda, ramificada y extendida, las cuales surgen del tronco o cabeza que es gruesa, carnosa y de tamaño regular.

Figura 1. Planta de sotol.

Figura 2. Hojas de sotol que poseen espinas pequeñas y se forman del centro a la periferia.

ESTABLECIMIENTO DEL VIVERO

El propósito de producir plántulas de sotol en un vivero es proporcionar las condiciones ambientales y los cuidados necesarios para obtener plántulas de alta calidad y así sean capaces de sobrevivir y desarrollarse al llevarlas al campo. El vivero puede ser instalado en un invernadero de diferente grado de tecnología; desde los sencillos que son cubiertos con plástico y la ventilación es manual (Figura 3 y 4), hasta los de mayor tecnología donde la cubierta puede ser de policarbonato, plástico o ambos materiales y se tiene control del clima (Figura 5). También el vivero se puede establecer en una estructura ya sea de fierro galvanizado o madera cubierta con malla sombra de 40 a 50%.

En el vivero es necesaria una fuente de agua de buena calidad para proporcionar los riegos. También es recomendable contar con tanques de almacenamiento para las épocas de escasez de agua o para imprevistos. El vivero debe ser instalado en un lugar cercado y cercano a una población ya que se facilita la protección y vigilancia sobre el sitio, la contratación de mano de obra, la compra de materiales y el mercado de plantas. También

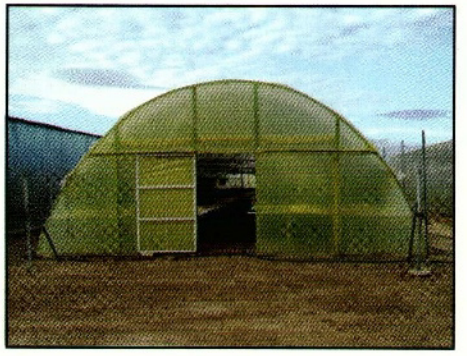

Figura 3. Invernadero con cubierta de plástico y ventilación manual.

el vivero debe de ubicarse en un lugar de fácil acceso para ingresar con facilidad y facilitar la entrada de materiales y la salida de plantas. Las dimensiones del vivero dependerán de la cantidad de plántulas requeridas y el tipo de contenedor utilizado.

Figura 4. Invernadero con cubierta de plástico, malla antiáfidos y malla sombra en el techo, ventilación manual.

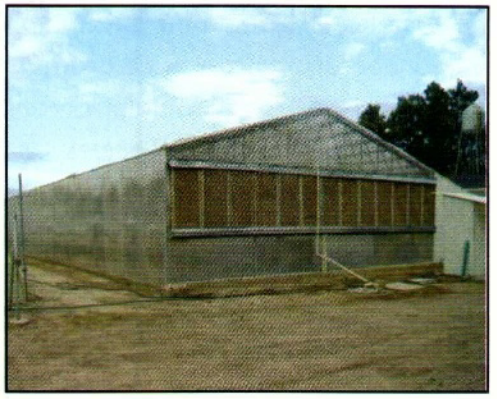

Figura 5. Invernadero cubierto con policarbonato y clima controlado.

SUSTRATOS

Un sustrato es un material sólido cuya función es soportar a las plantas y contener el agua y los nutrientes. Al seleccionar un sustrato deben de tenerse en cuenta sus propiedades físicas y químicas. Estas definen el desarrollo y crecimiento de las plantas pues determinan la disponibilidad de agua y oxígeno, la movilidad del agua, la facilidad para la penetración de la raíz, la absorción de nutrientes (Abad *et al.*, 1993; Verdonck, 2004; Cremades, 2005), y la formación de un cepellón integrado de tal forma que al sacarse del contenedor no se desintegre. Entre esas propiedades se pueden mencionar: la densidad aparente, la porosidad, aireación, capacidad de retención de agua, pH, contenido de sales, y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Densidad aparente Es el peso seco del sustrato por unidad de volumen que incluyen todos los espacios ocupados por aire y materiales orgánicos. Esta característica es frecuentemente utilizada para estimar la capacidad total de almacenaje del medio de cultivo y su grado de compactación (Ansorena, 1994; Miller y Donahue, 1995). Un sustrato con baja densidad aparente resulta económicamente beneficioso, debido a que mejora significativamente la capacidad operacional del medio de cultivo, disminuyendo los costos de transporte y manipulación de materiales. Se recomienda que su valor se encuentre por debajo de los 2 g cm^{-3} (Abad, 1993b; Riviere y Caron, 2001).

Porosidad total. Se define como el volumen total que no está siendo ocupado por partículas sólidas, minerales u orgánicas (Hillel, 1982; Burés, 1999). La administración de los flujos de agua y aire dentro de un sustrato dependerán, principalmente, de la cantidad del espacio poroso del medio. Los poros de gran tamaño o macroporos se hallan ocupados por aire y los poros de

menor tamaño o microporos alojan agua en su interior (Ansorena, 1994). El valor de la porosidad debe ser superior a un 85% (Abad *et al.*, 1993).

Aireación. Todas las plantas necesitan oxígeno para respirar. Desde el punto de vista de la planta una condición óptima es aquella donde el intercambio gaseoso con la atmósfera sea rápido. La capacidad de aireación de un sustrato se determina mediante la proporción del volumen que contiene aire después de haberlo saturado con agua y haberlo dejado drenar libremente y su valor óptimo oscila entre 20-30% (Cremades, 2005).

Capacidad de retención de agua. Dentro de un sustrato, el agua es retenida de dos formas, como una delgada película que envuelve las partículas y agregados, denominada adsorción, o en fase líquida dentro de los poros de menor tamaño (Hillel, 1982). La cantidad total de agua retenida por un sustrato en un contenedor dependerá de la proporción de poros de pequeño tamaño y del volumen del contenedor. Sin embargo, aunque la retención de agua sea elevada, puede ocurrir que una parte de ésta se encuentre adsorbida a las partículas del sustrato con una fuerza superior a la succión o tensión que la planta es capaz de ejercer, por lo que no se encontrará disponible. Interesa conocer, por tanto, la cantidad de agua disponible en el sustrato, la que dependerá del tamaño de los poros más pequeños y de la concentración de sales en la solución acuosa (Ansorena, 1994).

Se denomina agua fácilmente disponible a la diferencia en la cantidad de agua retenida por el sustrato después de haberlo saturado y drenado libremente a 10 cm de tensión mátrica, menos la cantidad de agua presente en dicho medio a una tensión de 50 cm. Por lo tanto, un sustrato será considerado como adecuado, cuando el agua fácilmente disponible fluctúe entre 20 a 30 % del volumen total del agua del medio (De Boodt *et al.*, 1974). Un

sustrato puede presentar una pobre retención de agua fácilmente disponible cuando se tienen las siguientes situaciones:

1) Su porosidad total es baja, 2) Los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad, 3) Los poros son muy pequeños y la planta no es capaz de extraer una parte importante del agua, 4) Existe una elevada concentración de sales en la solución acuosa y 5) Una combinación de las situaciones anteriores (Abad *et al.*, 1993; Ansorena, 1995).

El pH del sustrato. Debe ser ligeramente ácido (5.5 a 6.5) para que las plantas puedan absorber de manera adecuada los nutrientes. A pH menor de 5 pueden aparecer deficiencias de K, Ca y Mg. A pH mayor de 6 se presentan problemas de absorción de P, Fe, Mn, Zn y Cu. El sustrato también debe tener bajo contenido en sales (< 1.5 dS m^{-1}) para evitar daños a la planta pero con una capacidad de intercambio iónico adecuada para retener y abastecer los elementos necesarios para el desarrollo de las plantas. Finalmente el sustrato debe de estar libre de patógenos como hongos, bacterias, insectos y nemátodos, y de semillas de malezas.

En la actualidad, existen diversos sustratos para la producción de plántulas de sotol. Sin embargo los más utilizados son: la turba (peat moss), composta, perlita, vermiculita, arena de río o la mezcla de estos materiales. A continuación se dan algunas características de ellos:

Turba (peat moss). Es la forma de materia orgánica más popular para la preparación de sustratos para almácigos (Figura 6). Satisface más el criterio para la selección de ingredientes de sustratos que cualquier otra forma de materia orgánica disponible para la industria en invernadero. Es baja en sales solubles, fácil de mezclar con otros sustratos cuando está húmeda, tiene buen drenaje y aireación. No agrega cantidades apreciables de

nutrientes, ni su uso resulta en una disminución en los nutrientes disponibles. La acidez de la turba varía con su origen, pero en general es bastante ácida. El pH se ajusta fácilmente con encalado. El aspecto más importante es que no ocurren cambios biológicos o químicos, en el medio de cultivo.

Figura 6. Turba

Composta. Es el producto que se obtiene del compostaje que constituye un grado medio de descomposición de la materia orgánica por vía aeróbica (Figura 7). Además de la materia orgánica se requiere de suelo, agua y aire para su elaboración. Un buen compostaje mejora las características físicas, químicas y biológicas de los materiales orgánicos frescos (Sinaj et al., 2002; Misra *et al*., 2003). Los hace más estables, homogéneos, manejables, más porosos, mejoran sus características de retención de humedad, aireación y capacidad de intercambio de cationes; lo cual produce un material con casi todas las propiedades de un buen sustrato, peso ligero, buena capacidad de retención de humedad, sin ser demasiado caro. Para la producción de plántula se

recomienda mezclar la composta con otros sustratos inorgánicos tales como arena y perlita. Esos materiales mejoran la aireación y drenaje ya que la composta tiende a compactarse con el tiempo; se recomienda hacer mezclas en proporciones menores al 50% en base a volumen.

Figura 7. Composta

Perlita. Es una roca volcánica silícea que triturada y calentada a 982 °C, se expande para formar partículas blancas con numerosas celdas con aire encerrado (Figura 8). El agua puede adherirse a la superficie, pero no es absorbida. La perlita es estéril, químicamente inerte, tiene una CIC muy baja, de 0.15 meq por 100 g, y es casi neutra con un valor de pH de 7.0 a 7.5. Su efecto sobre el pH del sustrato no es apreciable. Como norma, se utiliza cuando se desea tener una densidad baja del sustrato. Es un buen sustituto de la arena para dar aireación en sustratos y su principal ventaja es su peso ligero cercano a 0.095 g cm^{-3}.

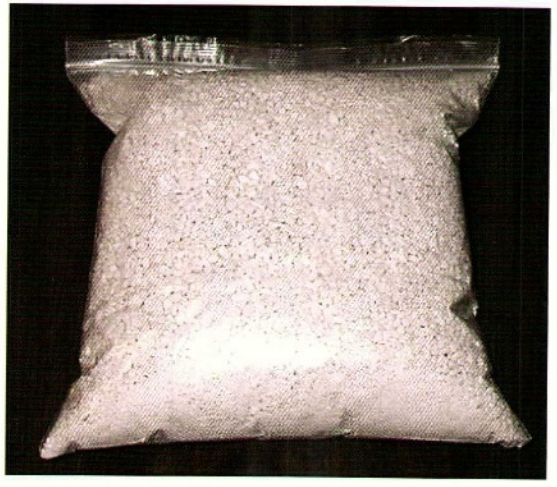

Figura 8. Perlita grado fino

Para uso de almácigos el tamaño de partículas más fino (de 1.58 a 3.18 mm) es el recomendado. La perlita adsorbe de tres a cuatro veces su peso en agua, no tiene capacidad de intercambio iónico y no contiene nutrientes minerales. La perlita también mejora la aireación y drenaje de otros materiales. Cuando está seca es un poco polvosa; se mezcla con facilidad con suelo y turba. Tiene la tendencia a flotar hacia la superficie de la mezcla durante el riego, pero no es un problema crítico para el crecimiento de las plantas. Para una buena capacidad de intercambio, se sugiere mezclar la perlita con turba, vermiculita o composta.

Vermiculita. Es un mineral que se obtiene llevando a altas temperaturas (745 a 1000 ºC) rocas formadas por silicatos de aluminio, fierro y magnesio (Figura 9). Tiene una densidad baja de 0.060 a 0.14 g cm^{-3} y una porosidad del 95%. La capacidad de retención de agua es alta por la extensa área superficial dentro de cada partícula. Las propiedades de aireación y drenaje tam-

bién son buenas por los poros grandes entre las partículas. La CIC es alta de 90-150 meq por 100 g, los nutrientes minerales predominantes son potasio y magnesio; el pH es neutro. La vermiculita es un componente muy deseable en un sustrato sin suelo por su gran retención de humedad y nutrientes, buena aireación, y baja densidad. Para fines de almácigo se desea el grado fino con un tamaño de partículas de 4 mm. Este sustrato se usa en combinación de otros sustratos para la producción de plántula de sotol o bien para tapar las semillas.

Figura 9. Vermiculita grado fino

Arena de rio. Es un sustrato fino y medianamente inerte ya que contiene rastros minerales que podrían aportar algunos nutrientes (Figura 10). Esto debe de tomarse en cuenta en la definición de los programas de nutrición de las plantas. Este material ofrece una buena retención de humedad y una aireación moderada. Se recomienda combinar con otro tipo de sustrato para obtener resultados favorables. Es un sustrato de muy fácil lavado por lo que se puede reutilizar varias veces, su precio es bastante accesible; aunque una desventaja de este sustrato es su peso ya que tiene una densidad aparente de 1.34 g cm^{-3}.

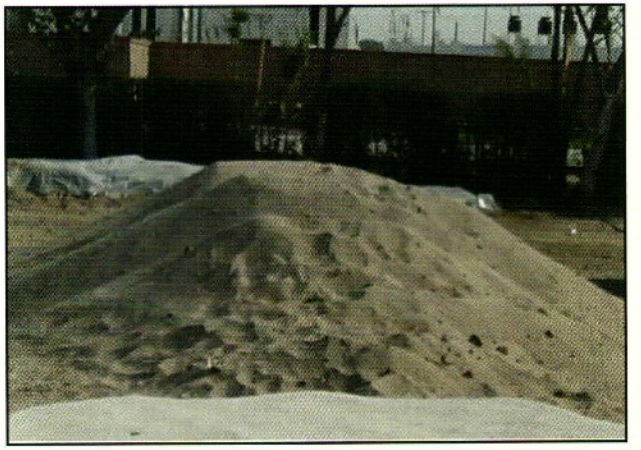

Figura 10. Arena de río.

Cuando se usa la arena de río se recomienda desinfectarla para eliminar hongos, bacterias, nemátodos y semillas de malezas. Un método muy fácil para lograr esto, es mediante solarización, el cual consiste en colocar la arena en un lugar establecido en el suelo, humedecerla en forma homogénea y cubrirla con un plástico blanco transparente (Figura 11). Este deberá estar bien sellado, lo cual se puede lograr poniendo suelo en los bordes del plástico con el mismo suelo del lugar. Esto promoverá que la temperatura de la arena se incremente y quede desinfectado el sustrato. El tiempo que debe durar cubierta la arena es de cuatro semanas.

Figura 11. Solarización de arena con plástico.

CONTENEDORES

El contenedor tiene la función de retener el sustrato y la planta durante su desarrollo en el vivero. Debe de estar perforado en la base para permitir el drenado del agua y evitar la saturación del sustrato. Existen en el mercado diferentes tipos de contenedores para la producción de plantas entre los que se encuentran: las charolas de poliestireno expandido (PE) y poliestireno virgen (plástico), generalmente de color negro (PN). Ambas charolas de distinto número de celdas y volumen por unidad. Así se tienen charolas de PE de 72, 77, 128 y 200 (Figura 12).

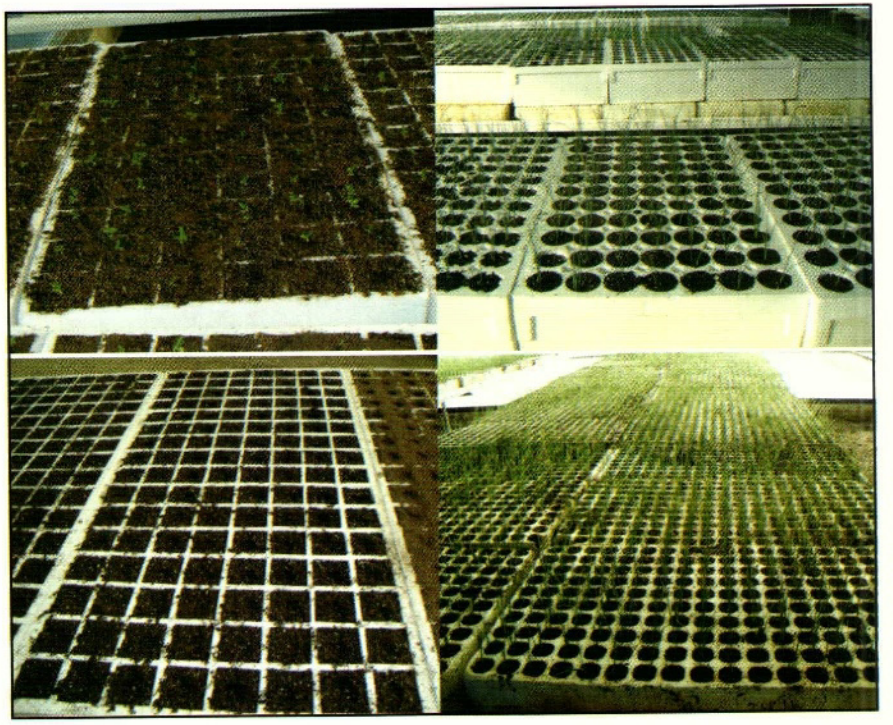

Figura 12. Charolas de poliestireno de 72, 77, 128 y 200 cavidades.

Las charolas de PN pueden tener desde 25 hasta 288 cavidades (Figura 13) y pueden ser de diferentes calibre, los más comunes son de 1.1 mm (cal 40) y el ligero de 0.7 mm (cal 25). El mayor calibre permite el re-uso múltiple de las charolas (4-6 ciclos), mientras que el de menor calibre se usa normalmente para embarque a otras localidades y posterior reciclado. También se pueden usar como contenedores para almácigos los vasos de PE (Figura 14) y las bolsas de plástico negro ambos de diferentes tamaños (Figura 15).

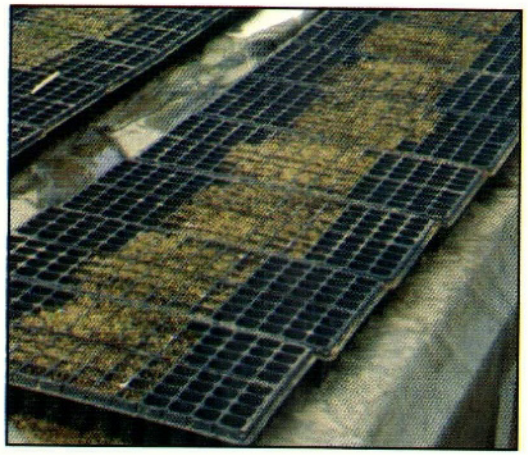

Figura 13. Charolas de plástico negro de 288 cavidades.

Figura 14. Vasos de poliestireno

Figura 15. Bolsas de plástico negro.

Se recomienda que los contenedores no estén sobre el piso sino sobre alguna estructura como bancales de perfil (Figura 16), o bien en estructuras hechas con bloques y pedazos de madera. Esas estructuras deberían de estar a una altura de 70 a 90 cm y 50 cm de separación con el fin de facilitar las actividades agronómicas y el movimiento de contenedores.

Figura 16. Bancales de perfil para charolas.

TRATAMIENTOS A LA SEMILLA

Las semillas de sotol tienen una testa dura (Figura 17) con un bajo poder de germinación de apenas un 8% (Palma, 2000). Por este motivo esta semilla requiere de tratamientos pregerminativos para romper la latencia e incrementen la emergencia (Arce, 2003). Calderón (2004) reportaron que bajo condiciones de cámara de crecimiento y en laboratorio, el tratamiento de las semillas con ácido sulfúrico a 75 ppm y un tiempo de inmersión de 10 minutos se obtuvo un 77% de germinación.

Figura 17. Semillas de sotol

Estudio en invernadero con tratamientos a la semilla

En el CENID RASPA se llevó a cabo un estudio en invernadero donde se probaron tratamientos a la semilla con agua a diferentes temperaturas y tiempos de inmersión, y con ácido giberélico a diferente concentración y tiempos de inmersión (Figura 18, Cuadro 1). Los resultados indicaron que los tratamientos a la semilla con agua a temperatura de ebullición, sin importar el tiempo de

inmersión, retrasaron y redujeron la emergencia de plantas, con respecto al testigo (Figura 19, Cuadro 2). Ellos apenas promovieron un 25% de emergencia, en tanto que el tratamiento con agua a temperatura ambiente (25°C) alcanzó un 59% de emergencia y superó al testigo en un 8%. Los tratamientos a la semilla con ácido giberélico, todos superaron al testigo, con la mayor emergencia (79%) en el tratamiento de mayor tiempo de inmersión (10 h, Figura 20, Cuadro 3).

Figura 18. Vista del estudio en invernadero donde se probaron tratamientos a la semilla

Cuadro 1. Tratamientos pregerminativos en sotol. CENID RASPA 2011

CLAVE	TRATAMIENTO	TIEMPO DE INMERSIÒN
T1	Agua caliente a temp. de ebullición	30 seg
T2	Agua caliente a temp. de ebullición	45 seg
T3	Agua caliente a temp. de ebullición	60 seg
T4	Agua a temperatura ambiente (25°C)	12 horas
T5	Ac. Giberélico 250 ppm	2 horas
T6	Ac. Giberéico 250 ppm	4 horas
T7	Ac. Giberélico 250 ppm	6 horas
T8	Ac. Giberélico 250 ppm	10 horas
T9	Testigo (sin tratar)	

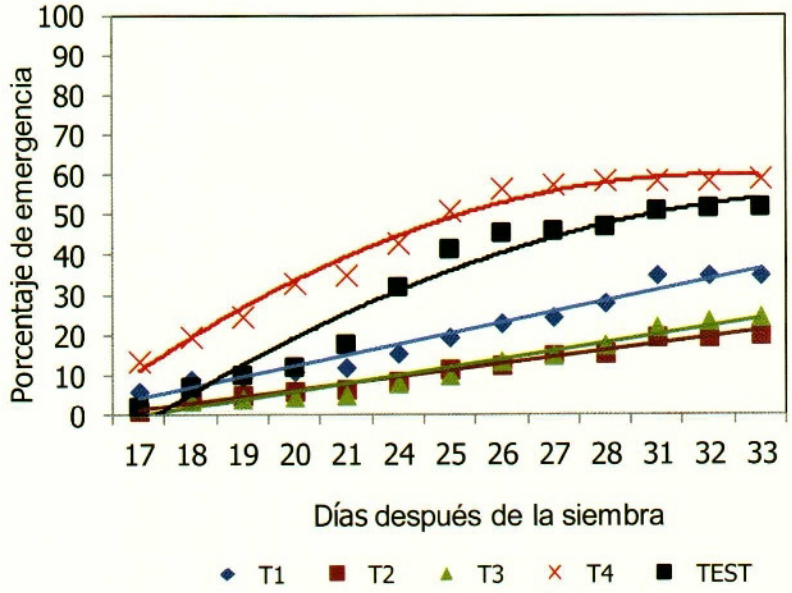

Figura 19. Respuesta de la emergencia de plántulas de sotol a los tratamientos a la semilla. Las curvas son los datos ajustados y las marcas son los datos observados. Los tratamientos T1, T2 Y T3 indican tratamiento con agua caliente a temperatura de ebullición y tiempos de 30, 45 y 60 segundos, respectivamente. El T4 corresponde al tratamiento con agua a temperatura ambiente (25 °C) y tiempo de 12 horas y el Test, es el testigo, sin tratamiento.

Cuadro 2. Modelos matemáticos de mejor ajuste de los datos observados de la emergencia de plantas de sotol a través del tiempo.

Tratamiento	Ecuación	R^2
T1. Agua caliente a temp. de ebullición, 30 segundos	Y= 1.404 + 2.689X	0.97
T2. Agua caliente a temp. de ebullición, 45 segundos	Y= -0.25 + 1.629X	0.98
T3. Agua caliente a temp. de ebullición, 60 segundos	Y= -2.519+ 2.041X	0.96
T4. Agua a temperatura ambiente (25°C), 12 horas	Y= 1.863+9.438X -0.384 X^2	0.98
Test. Testigo (sin tratar)	Y=-11.151+8.718X-0.285X^2	0.95

Y. Es el porcentaje de emergencia
X. Son los días después de la siembra

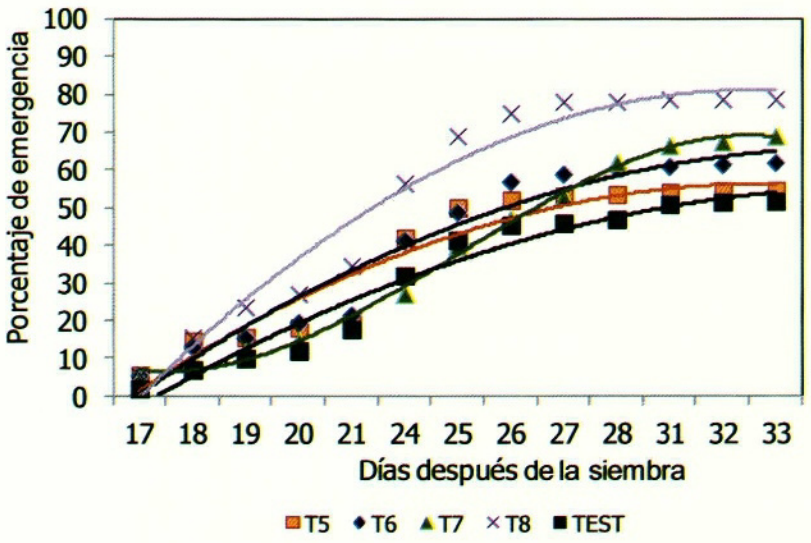

Figura 20. Respuesta de la emergencia de plantas de sotol a los tratamientos a la semilla. Las curvas son los datos ajustados y las marcas son los datos observados. Los tratamientos T5, T6, T7 y T8 indican tratamiento de inmersión a la semilla con ácido giberélico a 250 ppm de concentración y tiempos de 2, 4, 6 y 10 horas, respectivamente. El Test, es el testigo, sin tratamiento.

Cuadro 3. Modelos matemáticos de mejor ajuste de los datos observados de la emergencia de plantas de sotol a través del tiempo.

Tratamiento	Ecuación	R^2
T5. Ac. Giberélico 250 ppm, 2 horas	$Y=-8.307+10.069X -0.384X^2$	0.92
T6. Ac. Giberélico 250 ppm, 4 horas	$Y=-9.559+10.361X-0.357X^2$	0.94
T7. Ac. Giberélico 250 ppm, 6 horas	$Y=10.767-5.644X+2.027X^2-0.096X^3$	0.99
T8. Ac. Giberélico 250 ppm, 10 horas	$Y=-15.318+15.424X-0.6179X^2$	0.96
Test. Testigo (sin tratar)	$Y=-11.151+8.718X-0.285X^2$	0.95

Y. Es el porcentaje de emergencia
X. Son los días después de la siembra

METODOLOGÍA PARA LA SIEMBRA

La siembra se lleva a cabo en el tipo de contenedor seleccionado, previo al llenado de los contenedores, el sustrato debe mezclarse y humedecerse en forma homogénea (Figura 21) de tal forma que al apretarlo con la mano, no escurra agua. Al llenar el contenedor, debe de darse algunos golpes para que el sustrato se acomode y no queden huecos dentro de él (Figura 22). La

siembra se puede establecer a finales de otoño, en invierno o a principios de primavera dependiendo de la fecha que se desee trasplantar en campo.

Figura 21. Mezcla y humedecimiento de sustrato.

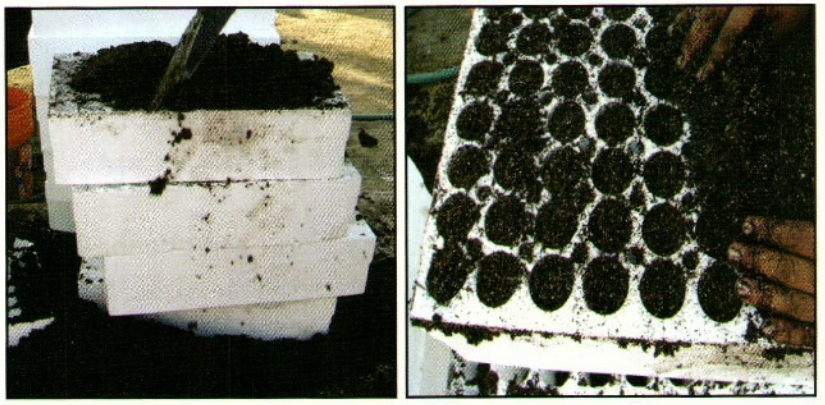

Figura 22. Llenado de charolas.

Las semillas se colocan en cada cavidad del contenedor, haciendo previamente una pequeña oquedad con un rodillo de madera o plancha diseñado para cada tamaño de charola o envase (Figura 23 y 24). Esas estructuras las venden de manera comercial o se pueden mandar fabricar con un carpintero o herrero.

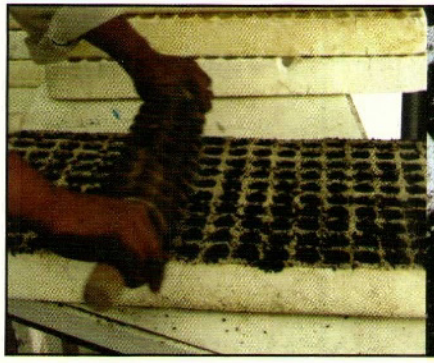

Figura 23. Rodillo de madera para hacer oquedades en la charola.

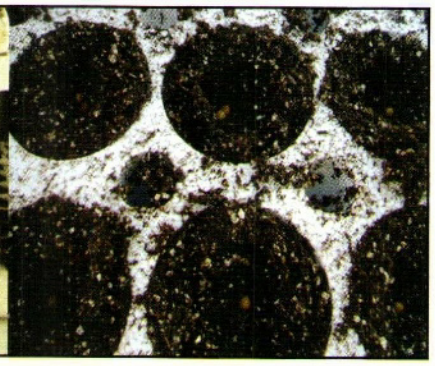

Figura 24. Siembra en charolas

Se recomienda poner dos semillas por cavidad; enseguida se tapan con el mismo sustrato quedando como máximo a una profundidad del doble del tamaño de ellas. Las semillas que quedan muy encima corren el riesgo de ser sacadas al momento del riego y además pueden deshidratarse más fácilmente cuando se seque el sustrato que las cubre. Por el contrario, las semillas demasiado profundas gastarán más energía para emerger y ellas se retrasarán en hacerlo. Después de la siembra se aplica un riego a las charolas, éstas se apilan, se cubren con plástico negro (Figuras 25 y 26) y se dejan por un tiempo de 15 a 20 días. Cuando empiezan a emerger las plantas, se retira el plástico de las charolas y estas se extienden en los bancales (Figura 27).

Figura 25. Riego y colocación de charolas en pilas sembradas

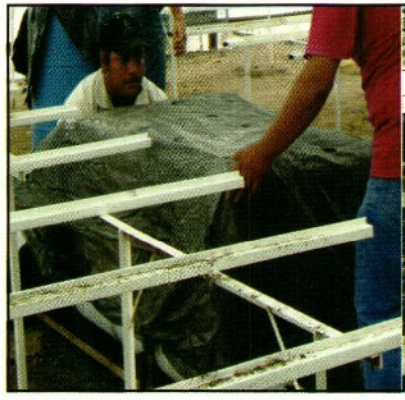

Figura 26. Envoltura de charolas con plástico negro

Figura 27. Colocación de charolas en bancales

RIEGOS

La aplicación de los riegos se puede hacer en forma manual o mecanizada. La primera se lleva a cabo mediante una manguera y una boquilla con un difusor tipo nebulizador. Con este sistema se tiene la ventaja de que requiere baja inversión pero se necesita de mano de obra y el riego no es muy uniforme ya que dependerá mucho del operador de la manguera. En la segunda forma se usa un sistema de aspersión ya sea fijo o portátil (Figura 28). En este caso la inversión del equipo es alta pero los costos de operación son bajos ya que los riegos se pueden programar sin necesidad de un operador, además de que la uniformidad del riego es mejor.

Figura 28. Sistema de riego por aspersión fijo.

Durante la emergencia y los primeros 90 días, los riegos deben ser ligeros y poco frecuentes (cada tres o cuatro días) ya que el sotol es muy susceptible a la pudrición de la base del tallo provocada por excesos de humedad. Después de los 90 días, los riegos pueden ser más pesados y más frecuentes, dependiendo de las condiciones climáticas y del tipo de contenedor. Es importante señalar que la aplicación de los riegos debe de hacerse por la mañana evitando hacerlo en la hora de mayor temperatura ambiente porque esto aumenta considerablemente la evapotranspiración y puede provocar lesiones en las plántulas.

FERTILIZACIÓN

Las plántulas se empiezan a fertilizar con una solución nutrimental cuando tengan tres hojas (aproximadamente a los 60 días después de la siembra). La concentración de la solución nutrimental es de 40-60-40 mg L^{-1} de N, P y K, respectivamente. A partir de los 100 días y hasta el final del almácigo se recomienda incrementar la concentración de la solución nutrimental hasta 70-100-70. Lo anterior es en base a resultados obtenidos de estudios hechos en el CENID RASPA sobre la respuesta del crecimiento de plántulas de sotol a diferentes soluciones nutrimentales. En el Cuadro 4 se muestra los tratamientos evaluados; en las figuras 29 y 30, y cuadros 5 y 6 se presentan datos del crecimiento de las plantas en función del tiempo.

Cuadro 4. Concentración de nutrientes de la solución nutrimental en cada tratamiento.

Trat.	N	P	K
	mg L^{-1}		
T1	17.5	25	17.5
T2	30	38	30
T3	35	50	35
T4	45	60	45
T5	60	75	60
T6	70	100	70
T7	90	120	90
T8	120	150	120
T (Testigo)	0	0	0

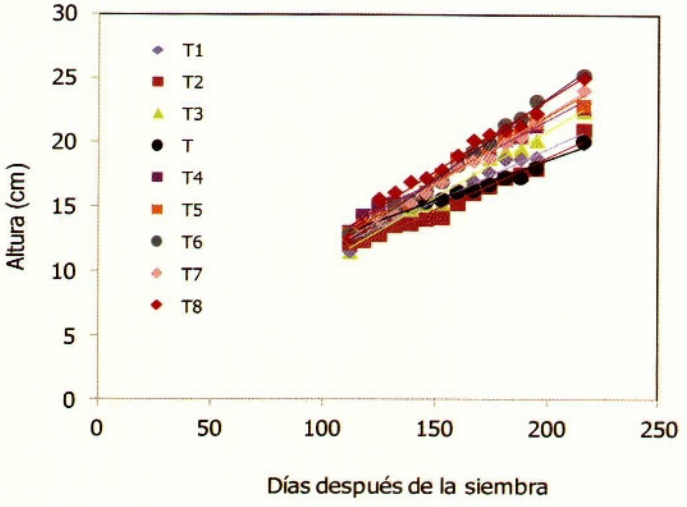

Figura 29. Respuesta de la altura de planta a la concentración de la solución nutrimental. Las rectas son los datos ajustados y las marcas son los datos observados. Las letras T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 indican los tratamientos de las soluciones nutritivas, T es el testigo.

Cuadro 5. Modelos matemáticos de mejor ajuste de los datos observados de la altura de planta de sotol a través del tiempo.

Tratamiento	Ecuación	R^2
T1. 17.5 -25-17.5	Y= 3.247+ 0.0813X	0.97
T2. 30-38-30	Y= 2.629+ 0.0807X	0.97
T3. 35-50-35	Y= 0.213+ 0.1032X	0.98
T4. 45-60-45	Y= 2.988+0.0936X	0.98
T5.60-75-60	Y=1.439+0.103X	0.98
T6. 70-100-70	Y=-1.687+0.1255X	0.99
T7. 90-120-90	Y=0.280+0.1091X	0.99
T8. 120-150-120	Y8=0.991+0.1113X	0.98
T Testigo (sin tratar)	Y=-6.116+0.0626X	0.97

Y. Altura de planta en cm
X. Días después de la siembra

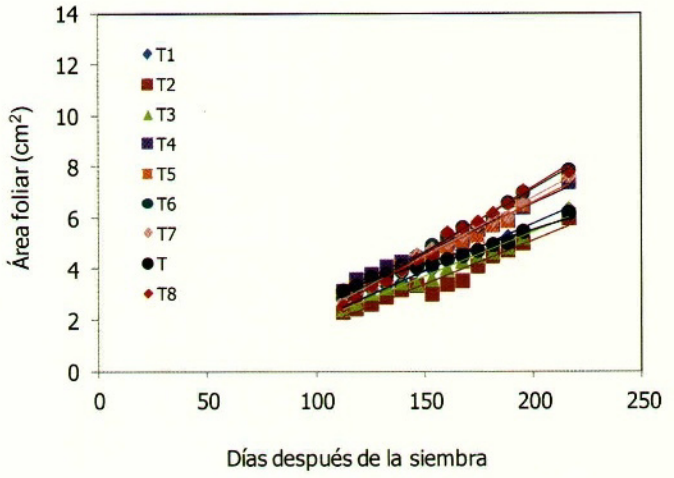

Figura 30. Respuesta del área foliar a la concentración de la solución nutrimental. Las rectas son los datos ajustados y las marcas son los datos observados. Las letras T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 indican los tratamientos de las soluciones nutritivas, T es el testigo.

Cuadro 6. Modelos matemáticos de mejor ajuste de los datos observados del área foliar de planta de sotol a través del tiempo.

Tratamiento	Ecuación	R^2
T1. 17.5 -25-17.5	Y=-1.581+0.037X	0.98
T2. 30-38-30	Y=-1.648+0.034X	0.95
T3. 35-50-35	Y=-1.407+0.034X	0.98
T4. 45-60-45	Y=-0.965+0.037X	0.98
T5.60-75-60	Y= -1.848+0.042X	0.98
T6. 70-100-70	Y= -2.656+0.049X	0.99
T7. 90-120-90	Y= -2.204+0.045X	0.99
T8. 120-150-120	Y= -3.196+0.052X	0.99
T Testigo (sin tratar)	Y= 0.305+0.026X	0.97

Y. es el área foliar en Cm^2
X. Días después de la siembra

MEDIDAS FITOSANITARIAS

Con el fin de evitar la presencia de plagas y enfermedades en el vivero es necesario llevar a cabo medidas fitosanitarias. Entre ellas se encuentran: la desinfección de contenedores y herramientas, control de riegos, limpieza de malezas, adecuada ventilación del vivero. Cuando los contenedores se han usados anteriormente es necesario limpiarlos, lavarlos y desinfectarlos para evitar contaminar el nuevo sustrato. Se les quita los residuos del sustrato anterior, se lavan con agua limpia y se meten en una solución de clorálex al 10% por espacio de 30 minutos, después se enjuagan con agua limpia para retirar los excesos de clorálex. De igual forma las herramientas como cucharas, rodillos, palas que se utilizarán en la siembra y durante el desarrollo de las plántulas deberán de desinfectarse en una solución de clorálex al 5% por un tiempo de uno a dos minutos.

El control del riego es un aspecto importante para evitar la presencia de enfermedades por lo que debe evitarse los períodos prolongados de saturación del sustrato. El vivero debe estar libre de malezas ya que éstas hospedan una diversidad de insectos que pueden dañar a las plantas, por otro lado el vivero debe estar siempre ventilado para evitar que la humedad relativa se incremente dentro de él.

PLAGAS

En el estado de plántula, las plantas de sotol no han mostrado daños por plagas. Únicamente los "asqueles" (insectos parecidos a hormigas pequeñas, Figura 31) sacan y se llevan la semilla cuando aún no emerge la plántula y dañan a las plantas recién emergidas. Estos se controlan espolvoreando alrededor y sobre las charolas permetrina granulada.

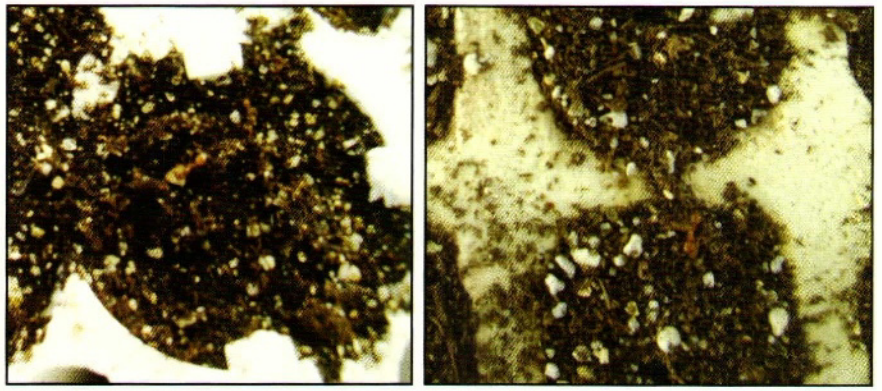

Figura 31. "Asqueles" en charolas sembradas con semilla de sotol.

ENFERMEDADES

El sotol es muy sensible a la humedad, sobre todo durante los primeros 30 a 40 días después de la siembra. Las plantas sufren un estrangulamiento del tallo o bien se pudren en el cuello del tallo (Figuras 32), esto se puede controlar evitando la aplicación excesiva de agua de riego. En caso necesario puede aplicarse el fungicida Previcur N a una razón de 1.5 g L^{-1} de agua.

Figura 32. Plántula de sotol con podredumbre del cuello del tallo.

CALIDAD DE PLANTA

Las plantas de sotol para trasplante deben de reunir características morfológicas que garanticen su supervivencia en campo. Entre esas características se encuentran la altura de planta, el área foliar, el diámetro del tallo, sistema radicular abundante y bien desarrollado. La altura deberá ser la adecuada para evitar el acame, el área foliar suficiente para reanudar el crecimiento en campo, el diámetro del tallo define la resistencia de este a torceduras, acame, daño por insectos y otros animales; en tanto que, un sistema radicular abundante y bien desarrollado, incrementa la probabilidad de supervivencia en campo al garantizar un mejor anclaje y absorción de agua y nutrimentos.

Se han desarrollados diferentes índices para evaluar la calidad de las planta para trasplante al combinar las características mor-

fológicas, los más usados son el índice de robustez y el índice de calidad de Dickson (ICD; Mexal, 1990; Reyes *et al.*, 2005). El primero se calcula mediante la relación entre la altura de planta en cm y el diámetro del tallo en mm y el segundo mediante la siguiente ecuación:

$$I.C.D = \frac{Peso\ seco\ total\ (g)}{Alt.(cm)/\theta\ de\ tallo\ (mm) + Peso\ seco\ tallo\ (g)/Peso\ seco\ raíz\ (g)}$$

En estudios realizados en el CENID RASPA, plántulas de 160 días después de la siembra mostraron 20 cm de altura, cinco hojas, un diámetro de tallo de 3.3 mm y un sistema radicular bien desarrollado. Esas características podrían ser deseables para hacer un buen trasplante.

ACLIMATACIÓN DE PLANTAS

Las plantas en el vivero deben estar en condiciones favorables para su crecimiento cuando se llevan al campo para su trasplante al lugar definitivo ya que sufren un cambio muy fuerte. Por este motivo es recomendable acondicionarlas para que ese cambio no sea tan drástico. El endurecimiento, también llamado "rusticado" es la etapa final de producción de plantas en vivero y consiste en ir retirando poco a poco todos los cuidados que se dan dentro del vivero, por ejemplo, los riegos se van reduciendo con el fin de que la planta reduzca su crecimiento en altura y refuerce el crecimiento de raíces y grosor del tallo. También es aconsejable aplicar 50 mg L^{-1} de calcio en forma foliar un día antes de que las plantas salgan a campo con el fin de evitar la deshidratación.

LITERATURA CITADA

Arce, G. L.; R. J. Valdés; O. A. Valdés; Del T. A. Gallegos y V. G. Padilla. 2003. Pruebas de germinación de semillas de sotol (Dasylirion cedrosanum Trel.) utilizando extractos secos de lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) bajo condiciones de laboratorio. En: Resultados de proyectos de investigación 2003. Dirección de Investigación, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. pp. 492-495.

Abad M.; P. F. Martínez G. y M. D. Martínez H. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Actas de Horticultura 11:141-154.

Abad M. 1993b. Inventario y características de los sustratos. pp. 65-80. En F. Canovas y J. Díaz. (eds). Cultivo sin suelo. Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.

Ansorena J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa, España. 172 p.

Ansorena J. 1995. Propiedades físicas de los sustratos. Chile Agrícola, 20(208): 217-218.

Bogler, D. J. 1998. Three new species of Dasylirion (Nolineaceae) from México and a clarification of the D. longissimum complex. Brittonia. Vol.50 (1): 71-86.

Burés S. 1999. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid. 220 p.

Calderón, G. E. R. 2004. Rompimiento de latencia en semilla de sotol (Dasylirion cedrosanum Trel.) mediante escarificación

física y química. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 60 p.

Cano, P. A. y O. Martínez B. 2007. Determinación de aéreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de sotol (Dasylirion cedrosanum Trel.) en el estado de Coahuila. Folleto Técnico Núm. 31. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. 47 p.

Cremades, M. M. 2005. Factores implicados en el desarrollo de la plántula: sustratos. pp 91-113. En Cuadrado G. I. M, García G. M. del C. y Fernández F. Ma. M. (Eds). Curso de especialización. Dirección Técnica de semilleros hortícolas. Almería España.

De Boodt, M.; O. Verdonck e I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Horticulturae. 37: 2054-2062.

Herrera, R. E. B.; R. R. Herrera; C. N. Aguilar; J. C. Contreras E. y H. de la Garza T. 2011. El sotol: una planta con pasado, presente y futuro. Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas. http://www2.uadec.mx/pub/pdf/CIENCIACIERTA5.pdf. Consultado el 24 de julio del 2011.

Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, San Diego. 365 p.

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). 2002. "Declaración de Protección a la Denominación de Origen Sotol". Diario Oficial de la Federación. 2 de agosto del 2002. Pp 95-98. http://www.impi.gob.mx/wb/IMPI/declaracion_de_

proteccion_a_la_denominacion_de_ori/_rid/674?page=1.

López, B. L. A. y V. L. Portes. 2002. El Sotol, una planta muy especial. Manual del productor. Impresa en Print-Power, S.A. de C.V. México, D.F. 1ª Edición. 56 p.

Melgoza, C. A. y T.J.S. Sierra. 2003. Contribución al conocimiento y distribución de la especie de Dasylirion spp (sotol) en Chihuahua, México. Rev. Ciencia Forestal en México, 93(28):25-40.

Mexal, J.G., T. D. Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. En Target Seedling Symposium. General Technical Report. USDA Forest Service: (17-34).

Miller, R. and R. Donahue. 1995. Soil in your environment. Prentice Hall, New Jersey. 649 p.

Misra, V. R.; R.N. Roy and H. Hiraoka. 2003. On-farm composting methods. Land and water discussion paper 2. FAO Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok. Food and Agriculture Organization of The United Nations. Rome, Italy. 35 p.

Palma, E. J. I. 2000. Bases para la propagación de sotol (Dasylirion spp) Vias in Vitro y por semilla. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestal, Universidad Autónoma de Chihuahua. Cd. Delicias, Chih, México.

Powell, A. M. 1998. Trees and shrubs of the Trans-Pecos and adjacent areas. Austin, TX, USA. University of Texas Press. 498 p.

Ramírez, J. A. y Juárez A. 2009. Usos alternos de los escapulos de "sotol" (Dasyilirion cedrosanum) en sustitución de la madera de "balsa" (Ochroma spp.) VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas.

Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. 885-886. http://www.dictus.uson.mx/florazonasaridas/CD%20in%20Extensos/Utilizacion%20de%20Flora/Ramirez_Diaz.pdf.

Reyes, R. J.; A. Aldrete; V.M. Cetina A.; J. López U. 2005. Producción de plántulas de Pinus pseudostrobus var apulcensis en sustratos a base de aserrín. Rev. Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Vol XI (2): 105-110.

Riviere, L. M. and J. Caron. 2001. Research on substrates: state of the art and need for the coming 10 years. Acta Horticulturae: 548:29-41.

Robles, E. A.; J. L. España M.; H. Robles B. 2008. Biomasa y forraje, distribución espacial y abundancia de la planta de sotol (Dasylirion spp.) en el ejido el Jazmín, Mazapil, Zacatecas, México. XII JORNADAS DE INVESTIGACIÓN Revista Investigación Científica, Vol. 4, No. 2, Nueva época. Mayo - Agosto 2008.

Robles, E. A. 2011. Distribución, densidad, factores ecológicos y valor forrajero del sotol (Dasylirion cedrosanum Trel.) en el Noreste de Zacatecas, México. Tesis de Doctor en Ciencias Pecuarias. Universidad Autónoma de Zacatecas. 85 p.

Sinaj, S.; O. Traore and E. Frossard. 2002. Effect of compost and soil properties on the availability of compost phosphate for white clover (Trifolium repens L.). Nutrient Cycling in Agroecosystems 62: 89–102.

Verdonck, O. 2004. Growing media and the environmental impact. VII Jornadas del Grupo de Sustratos de la Soc. Española de Ciencias Hortícolas. 24 al 26 de marzo 2004, Madrid, España. pp. 22-32.

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales

Sede de Centro de Investigación Regional
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
Campo Experimental

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua Suelo Planta Atmósfera

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director
Ing. Armando Estrada González
Jefe de Operación
Lic. Flor Carina Espinoza Delgadillo
Jefe Administrativo

Personal Investigador

M.C. Palmira Bueno Hurtado	Manejo integral de cuencas
Ing. David Aarón Burgos Córdova	Ingeniería de riegos
Dr. Ernesto Alonso Catalán Valencia	Ingeniería de riegos
M.C. Julián Cerano Paredes	Incendios forestales
Ing. Yadira Cerda Cerda	Ingeniería de riegos
M.C. Rosalinda Cervantes Martínez	Incendios forestales
Ing. Vicenta Constante García	Incendios forestales
M.C. Gerardo Delgado Ramírez	Ingeniería de riegos
Dr. Juan Estrada Ávalos	Manejo integral de cuencas
M.C. Gerardo Esquivel Arriaga	Manejo integral de cuencas
Dr. José Luis González Barrios	Manejo integral de cuencas
Dr. Guillermo González Cervantes	Ingeniería de riegos
Dr. Marco Antonio Inzunza Ibarra	Ingeniería de riegos
M.C. Hilario Macías Rodríguez	Ingeniería de riegos
Dr. Jesús Arcadio Muñoz Villalobos	Ingeniería de riegos
M.C. María del Carmen Potisek Talavera	Ingeniería de riegos
M.C. Miguel Rivera González	Ingeniería de riegos
M.C. Abel Román López	Ingeniería de riegos
Dr. Ignacio Sánchez Cohen	Manejo integral de cuencas
M.C. Ramón Trucios Caciano	Manejo integral de cuencas
Dr. Miguel Agustín Velásquez Valle	Manejo integral de cuencas
Dra. Ma. Magdalena Villa Castorena	Ingeniería de riegos
Dr. José Villanueva Díaz	Incendios forestales

Comité Editorial del CENID RASPA

Presidente
Dr. José Antonio Cueto Wong
Secretario
Dr. Miguel Agustín Velásquez Valle
Vocales
Dr. Juan Estrada Ávalos
M.C. Miguel Rivera González

REVISIÓN TÉCNICA
Dr. David Guadalupe Reta Sánchez
Dr. Rafael Figueroa Viramontes

DISEÑO
L.D.G. Leticia Jara Ramírez

CÓDIGO INIFAP
MX-0-310390-35-10-00-09-20

La presente publicación se terminó de imprimir en el mes de Diciembre de 2012 en los Talleres de Carmona Impresores S.A. de C.V. Calzada Lázaro Cárdenas No. 850. Col. Eduardo Guerra C.P. 27280 Torreón, Coahuila, México

Su tiraje consta de 500 ejemplares.

Vivir Mejor

www.gobiernofederal.gob.mx
www.sagarpa.gob.mx
www.inifap.gob.mx

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias