

CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES DE SOTOL (*Dasyliirion leiophyllum* Engelm. ex Trelease y *D. sereke* Bogler) FERTILIZADAS CON NITRÓGENO Y FÓSFORO

Jorge Vega Cruz¹, Alicia Melgoza Castillo² y
J. Santos Sierra Tristán²

RESUMEN

Dasyliirion leiophyllum y *D. sereke* (Nolinaceae) del estado de Chihuahua tienen importancia económica en la industria licorera, y en consecuencia se les somete a una fuerte explotación, por lo que es necesario desarrollar técnicas que permitan su propagación en vivero para el establecimiento de plantaciones. Los objetivos de este estudio fueron: determinar los efectos del pericarpio de la diáspora sobre la germinación y emergencia y los de la aplicación de fertilizantes durante la etapa de plántula. La semilla se recolectó en dos sitios ubicados en la entidad; se evaluó la germinación en condiciones de laboratorio con sustrato de papel y la emergencia en suelo de las diásporas con y sin el pericarpio. Se utilizaron cuatro niveles de nitrógeno y tres de fósforo. Cuando se eliminó el pericarpio alado, las dos especies tuvieron una germinación superior al 80% en laboratorio; mientras que en suelo fue alrededor de 30%; sin retirar dicha cubierta se registró una emergencia menor a 2%. En los primeros cinco meses de desarrollo no hubo respuesta a las dosis de fertilización. Las plantas de *D. leiophyllum* presentaron mayor producción de fitomasa, ya que resultó inferior a 0.05 g. Se definió interacción entre la fertilización y la especie, en la tasa de crecimiento relativo, aunque las diferencias estuvieron abajo de los 11 mg d⁻¹ en ambas taxa, no tienen relevancia práctica. La proporción parte aérea: raíz fue de 20.5 : 26.5 y 18.6 : 25.2 cm para *D. leiophyllum* y *D. sereke*, respectivamente.

Palabras clave: *Dasyliirion leiophyllum*, *D. sereke*, germinación, pericarpio, sotol, tasa de crecimiento.

Fecha de recepción: 23 de septiembre de 2004.

Fecha de aceptación: 16 de junio de 2006.

¹ Ex Becario CONACyT, Campo Experimental La Campana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP.

² Campo Experimental La Campana, CIRNOC-INIFAP. Correo-e: melgoza.alicia@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Dasyliirion leiophyllum and *D. sereke* (Nolinaceae) from Chihuahua state are important in the liquor industry and, consequently, are subject to an intense exploitation, thus, it is necessary to generate techniques that favour its nursery propagation in order to establish plantations. The purpose of this study was to determine the effect of the diaspore pericarp over germination and emergence, as well as of fertilization on the seedling stage. Seeds were collected from two places in the State; germination was assessed in laboratory over a paper layer and the diaspore emergence from the ground with and without the pericarp. Four nitrogen and three phosphorous levels were used. When the wing pericarp was removed, germination in both species was higher than 80 percent in the laboratory and around 30 percent in the soil, and without the removal of seed covers, emergence was lower than 2 percent. During the first five months there was no response to fertilizing doses. *D. leiophyllum* plants showed higher phytomass production but was even lower than 0.05 g. Interaction was confirmed between fertilization and the species in the relative growth rate; even though differences were lower than 11 mg d⁻¹ in both taxa, it has no practical relevance. The green part : root proportion was 20.5 : 26.5 for *Dasyliirion leiophyllum* and 18.6 : 25.2 cm for *D. sereke*.

Key words: *Dasyliirion leiophyllum*, *D. sereke*, germination, pericarp, sotol, growth rate.

INTRODUCCIÓN

En el norte de México las especies del género *Dasyliirion* (*Dasyliirion leiophyllum* Engelm. ex Trelease y *D. sereke* Bogler), de la familia Nolinaceae, conocidas como sotoles, son útiles al hombre como alimento, forraje, productos medicinales y material para elaborar diversos utensilios (Bell y Castetter, 1941; Bogler, 1994; Melgoza y Sierra, 2003; Olhagaray *et al.*, 2004; Tunnell y Madrid, 1988). Actualmente el interés por estas plantas se centra en la producción de la bebida alcohólica regional llamada "sotol" (SEP-CONACyT, 2001); sin embargo, otra posibilidad de uso es en la industria farmacéutica para la producción de inulina (Iñiguez-Covarrubias *et al.*, 2001). Así, para lograr un aprovechamiento sustentable, es importante conocer la biología de la planta, desde sus primeras etapas de crecimiento.

La reproducción sexual de los sotoles se realiza mediante diásporas, las cuales consisten en semillas cubiertas por un pericarpio alado. A la fecha se desconoce si en el manejo rutinario del germoplasma es necesario eliminar dicha cubierta, ya que con frecuencia los tejidos del fruto inhiben la germinación, lo cual es más evidente en siembras sobre papel, que las efectuadas en suelo (Camacho, 1992 y 1994).

Al respecto, Alanis *et al.* (1994) mencionan que podría ser necesario liberar del pericarpio a las semillas de *Dasyliirion longissimum* Lem. para que germinen, pues no obtuvieron emisión de la radícula cuando sembraron las diásporas sobre papel filtro.

Palma (2000) obtuvo valores de emergencia entre 72 y 98% para *Dasyliirion* spp. tratados con ácido sulfúrico. En el caso de las diásporas sin tratamiento, las pocas plántulas que lo hicieron se manifestaron hasta 31 días después de la siembra.

En el presente trabajo se entenderá por germinación el inicio del proceso de crecimiento de las plantas a partir de la semilla (Baskin y Baskin, 1998), ya que la emergencia se presenta cuando la plántula supera la superficie del suelo y está lista para subsistir por sí misma (Morales y Melgoza, 2003).

En el medio natural existen ciertos factores que impiden la germinación de una semilla y que están relacionados con la subsistencia de las especies en los ecosistemas (Auld, 1995); entre ellos se pueden citar: el letargo (Murdoch, 1999; Kalmbacher *et al.*, 1999), el vigor de semilla (Jones y Nelson, 1999), la temperatura (Susko *et al.*, 1999; Chachalis y Reddy, 2000), el fuego (Habrouk *et al.*, 1999) y las características del suelo (Gallegos del Trejo, 1997; Wuest *et al.*, 1999).

Flores y Jurado (1998) citan que cuando la germinación sucede, la vida del vegetal comienza y la etapa de plántula se torna incierta hasta que alcanza un estado, edad o tamaño, acumula suficiente tejido fotosintético y desarrolla un adecuado sistema radicular para sobrevivir en condiciones desfavorables. Por otra parte, al emerger la planta en campo, el establecimiento depende de diversos elementos, especialmente agua y nutrimentos (Baskin y Baskin, 1998); si bien, las especies de lento crecimiento suelen presentar una menor respuesta a la adición de estos últimos (Coomes y Grubb, 2000), la fertilización es utilizada para incrementar dicha respuesta y la producción de biomasa (Scheiner *et al.*, 2000; Cruz *et al.*, 2003; Schoellhorn y Richardson, 2005).

En el presente estudio se plantearon las siguientes hipótesis: las semillas de sotol están provistas de una cubierta que impone letargo en la germinación, pero con la manipulación de nitrógeno y fósforo aumenta la tasa de emergencia y el crecimiento relativo. Por ello, los objetivos fueron cuantificar la germinación de las semillas, la emergencia y caracterizar el crecimiento de las plántulas de dos especies de *Dasyliirion* tratadas con diferentes dosis de fertilización, en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material de *Dasyliirion sereke* se recolectó en el sitio Bif 22 de Ciudad Madera y el de *D. leiophyllum* en el Campo Experimental La Campana, sitio Cb(B) 23

(COTECOCA, 1978); se cortó la inflorescencia madura y se introdujo en un costal, para desprender de forma manual las diásporas, que se almacenaron a temperatura ambiente por aproximadamente año y medio en bolsas de papel, antes de realizar las siembras.

Germinación

Se diseñó un experimento factorial que incluyó las dos especies de sotol en combinación con dos condiciones de la diáspora (intacta y sin pericarpio) (Figura 1). La eliminación de la cubierta externa se hizo frotando, de manera suave, el material recolectado entre dos hojas de papel lija fino y así obtener las semillas.

La unidad experimental consistió de una caja Petri con papel filtro como sustrato, sobre el que se sembraron 30 diásporas. Para cada uno de los cuatro tratamientos se efectuaron cinco repeticiones, distribuidas en un diseño experimental completamente al azar, en las charolas de una germinadora que se mantuvo a $23.5 \pm 0.8^\circ\text{C}$, con una humedad relativa de $34.6 \pm 1.4\%$, y un fotoperíodo de 16 h luz.

Se consideró una diáspora germinada cuando emitía una radícula o epicótilo que tuviera al menos 1 mm de longitud. Diariamente, durante 15 días, se cuantificó el número de individuos que cumplieran con esa condición, retirándolos de las cajas después de cada conteo.

Emergencia

La unidad experimental consistió en una maceta de nueve centímetros de diámetro por seis de altura en la que se colocaron 30 semillas cubiertas con una capa de suelo migajón arenoso de un milímetro de grosor.

El diseño de tratamientos y número de repeticiones fue el mismo que en la fase anterior; las siembras permanecieron a capacidad de campo del 30 al 25 de noviembre de 2003 en un invernadero con temperatura máxima diaria de $29.0 \pm 0.6^\circ\text{C}$ y mínima de $20.4 \pm 0.9^\circ\text{C}$.

Se cuantificó una plántula cuando alcanzó 3 cm de altura; una vez al día se realizaron observaciones para contar los individuos con esta característica y enseguida se eliminaron.

Efecto de la fertilización

En las dos especies de sotol se evaluó la aplicación de cuatro niveles de nitrógeno (0, 40, 80 y 120 kg/ha) en combinación con tres de fósforo (0, 40 y 80 kg/ha).

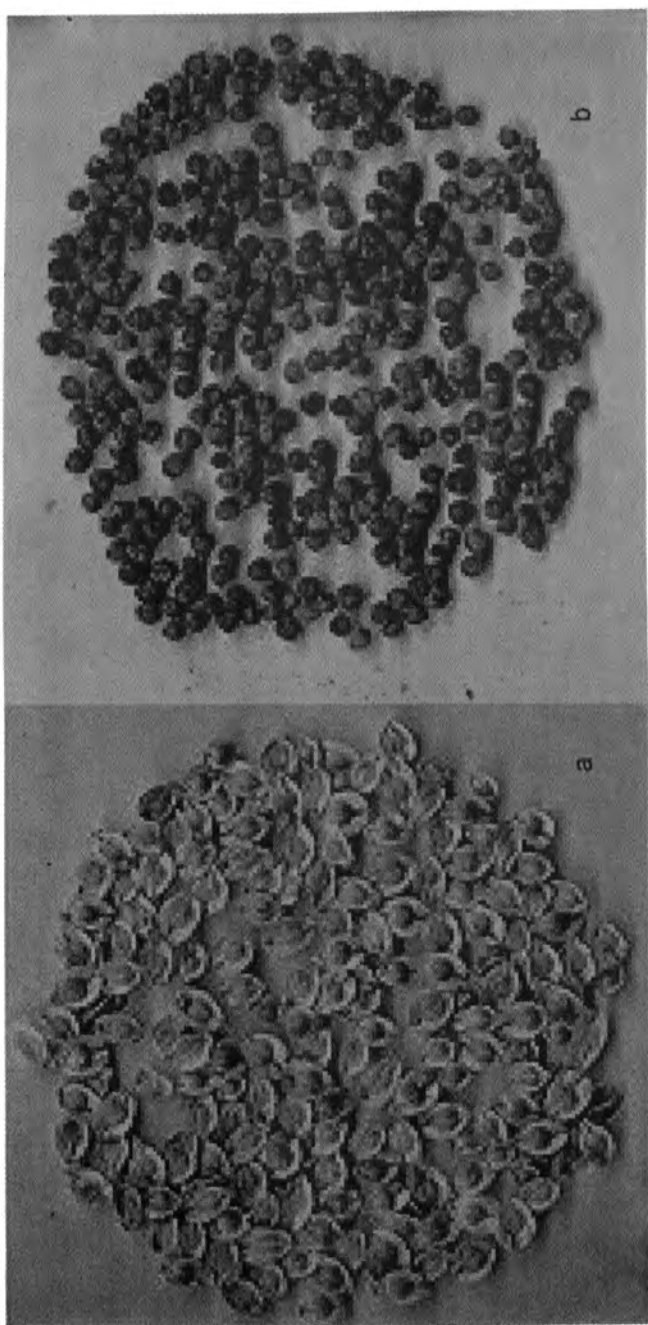


Figura 1. Diáspora (a) y semilla de sotol (b).

Los fertilizantes se prepararon con sulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ en presentación granular y ácido fosfórico (H_3PO_4) líquido con los cuales, en los casos que así lo requirieron, se complementó la fórmula comercial 18-40-00. Todos los productos fueron diluidos en agua. La cantidad utilizada se calculó considerando que las unidades experimentales fueron macetas de 20 cm^2 de superficie y 15 cm de altura, llenas con un sustrato compuesto por 75% de arena y 25% de suelo migajón arenoso (Vol/Vol). En cada una de ellas se tenía una plántula de sotol de mes y medio de edad, cuya presencia se aseguró mediante la siembra de 15 semillas, para eliminar posteriormente los individuos sobrantes.

Para cada una de las 12 combinaciones de fertilización por especie se hicieron 10 repeticiones.

El experimento se realizó del 10 de julio al 20 de noviembre del 2003, periodo en el que la temperatura máxima promedio fue de $32.5 \pm 0.9^\circ\text{C}$, la mínima de $21.1 \pm 0.6^\circ\text{C}$ y se mantuvo el suelo a capacidad de campo.

Una vez al mes durante 60 días después de la fecha de fertilización, se seleccionaron al azar cinco macetas por tratamiento y por especie. Las cinco plantas se extrajeron, se separó la raíz de la parte aérea, se midió la longitud de las hojas y de la raíz; cada parte se depositó en bolsas con su correspondiente identificación para secarlas en un horno RIOSSA® a 60°C a peso constante durante 24 h y por último se pesaron en una balanza analítica SARTORIUS®.

Con los pesos totales obtenidos en ambas fechas y de acuerdo con Hunt (1990) se determinó la tasa de crecimiento relativo (TRC):

$$TRC = (\ln w_2 - \ln w_1) / (t_2 - t_1)$$

Donde:

w_1 = Peso en tiempo t_1

w_2 = Peso en el tiempo t_2

El diseño del experimento consistió en un factorial $2 \times 2 \times 4 \times 3$ (dos especies, dos fechas, cuatro niveles de fertilización nitrogenada y tres de fosfórica).

Análisis estadístico

En cada uno de los tres experimentos y por variable de respuesta, se llevó a cabo un análisis de varianza mediante el paquete SAS (1992); posteriormente, de acuerdo con la significancia de las interacciones, se efectuaron las comparaciones de medias por el método SNK (Steel y Torrie, 1988) con una alfa

de 0.05; en los estudios de germinación y emergencia se calculó el valor acumulado de la primera y se transformó al arcoseno antes de hacer los estudios estadísticos (Steel y Torrie, 1988).

Las agrupaciones de medias correspondieron a las obtenidas con el uso de la transformación, mientras que los valores presentados en cuadros y gráficas son los promedios de los porcentajes.

RESULTADOS

Germinación

Con las diásporas intactas de *Dasylium leiophyllum* y *D. sereke* no hubo germinación en ninguna de las dos; en cambio cuando se escarificaron, alcanzó más del 80% sin diferencias significativas entre especies. La emisión de la radícula se inició a partir del cuarto día, con una máxima respuesta en el periodo comprendido de los seis a los 12 días después de la siembra (Figura 2).

Emergencia

Los valores obtenidos fueron estadísticamente diferentes para los tratamientos, pero no entre especies, lo que resultó de la eliminación del pericarpio; las diásporas intactas tuvieron una emergencia menor de 2%; las que carecían de dicha cubierta, un poco más de 30% en ambas taxa (Figura 3). Se observó una respuesta ligeramente más rápida en *D. sereke*, pero en *D. leiophyllum* se registró una emergencia acumulada más alta en dos puntos porcentuales.

Efecto de la fertilización

Referente al peso alcanzado por plántulas de sotol con distintas dosis de fertilización, no hubo efecto de los tratamientos en ambas evaluaciones, sólo diferencias entre especies. Las plántulas de *Dasylium leiophyllum* tuvieron 0.1861 y 0.4356 g, mientras que *D. sereke* 0.1687 y 0.3882 g, en la primera y segunda fecha de muestreo respectivamente.

Las tasas de crecimiento relativo denotaron un crecimiento lento, con interacción entre tratamiento y especie; sin embargo, en términos prácticos las diferencias son pequeñas, pues los tratamientos más contrastantes no superan los 0.01 g d^{-1} en ambos taxones (cuadros 1 y 2).

La proporción parte aérea: raíz fue de $20.5 \pm 0.46 : 26.5 \pm 0.70$ cm para *D. leiophyllum*, y *D. sereke* $18.6 \pm 0.45 : 25.2 \pm 0.69$ cm. Generalmente, plantas con lento crecimiento presentan mayor proporción de raíz que los valores observados (Lambers y Poorter, 1992; Poorter y Farquar, 1994).

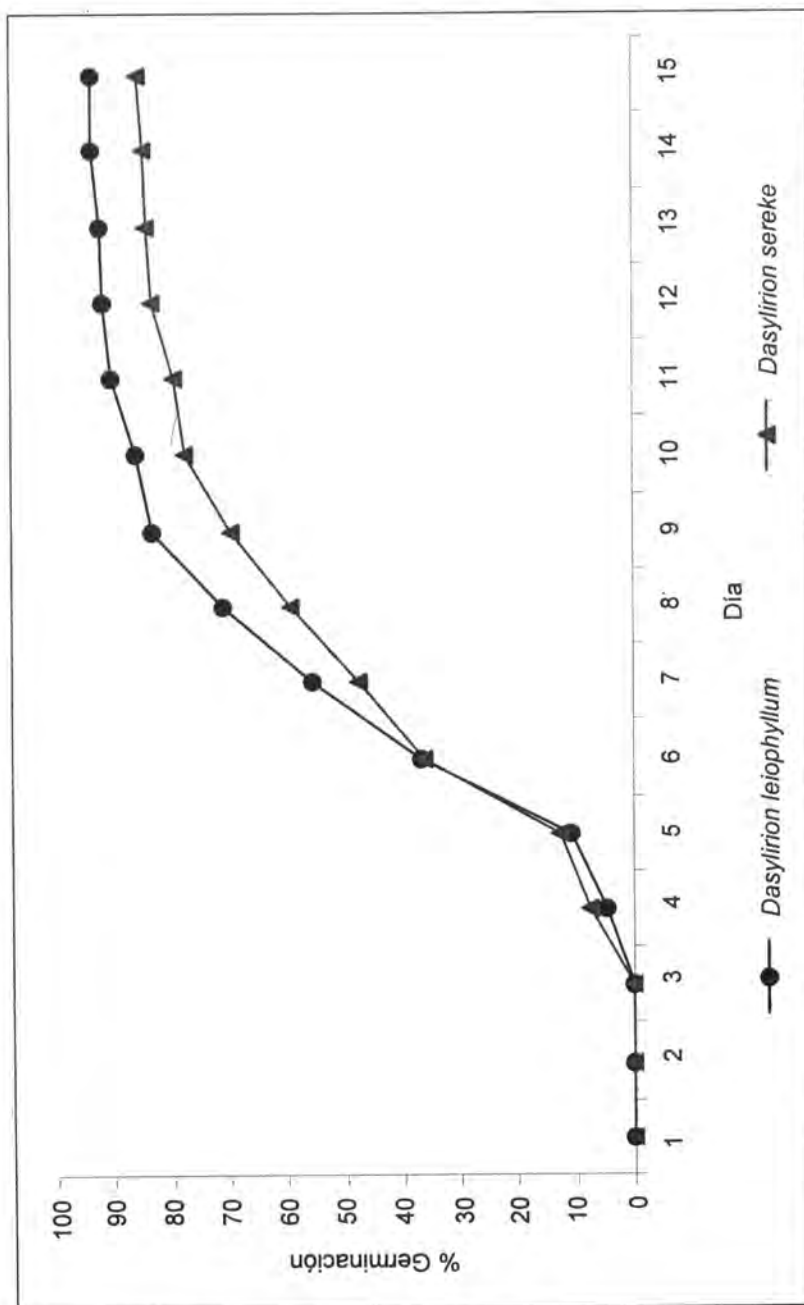


Figura 2. Germinación acumulada de las semillas en dos especies de sotol sembradas sobre papel en laboratorio.

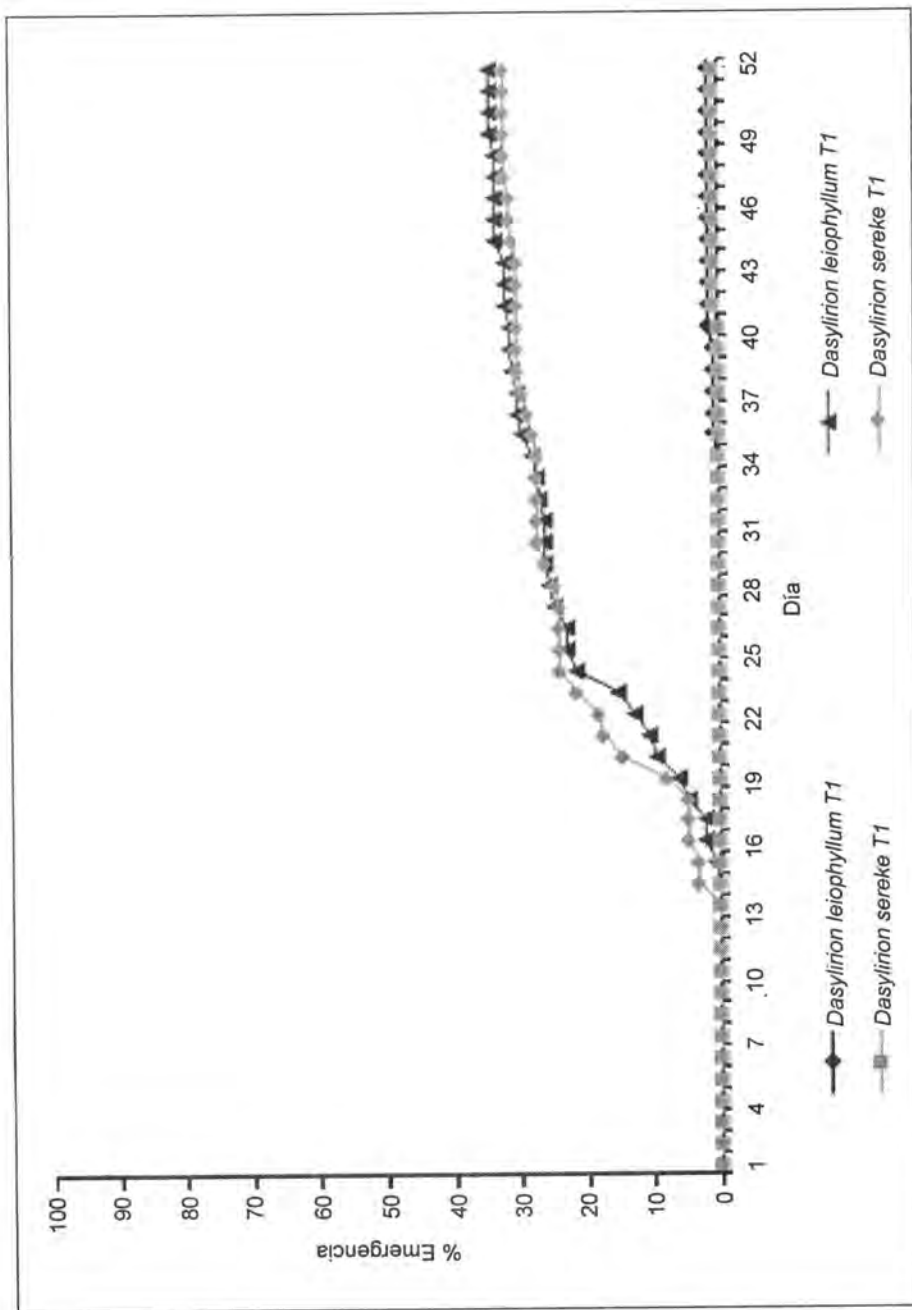


Figura 3. Emergencia (%) acumulada de dos especies de sotol con diásporas intactas (T1) y sin pericarpio (T2) en invernadero.

Cuadro 1. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de plántulas de *Dasyllirion leiophyllum* a los 105 días en invernadero con relación a la fertilización aplicada.

Nitrógeno kg ha ⁻¹	Fósforo kg ha ⁻¹	TCR(g d ⁻¹)
0	0	0.0292 a*
0	40	0.0287 ab
0	80	0.0256 ab
40	0	0.0172 b
40	40	0.0262 ab
40	80	0.0189 b
80	0	0.0275 ab
80	40	0.0207 b
80	80	0.0302 a
120	0	0.0227 ab
120	40	0.0265 ab
120	80	0.0161 b

Las medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($P > 0.05$).

Cuadro 2. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de plántulas de *Dasyllirion sereke* después de 105 días en invernadero con relación a la fertilización aplicada.

Nitrógeno kg ha ⁻¹	Fósforo kg ha ⁻¹	TCR(g d ⁻¹)
0	0	0.0230 b*
0	40	0.0242 ab
0	80	0.0220 b
40	0	0.0216 b
40	40	0.0220 b
40	80	0.0257 ab
80	0	0.0220 b
80	40	0.0315 a
80	80	0.0201 b
120	0	0.0276 ab
120	40	0.0199 b
120	80	0.0264 ab

Las medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($P > 0.05$).

DISCUSIÓN

Con base en los resultados presentados para *Dasyllirion leiophyllum* y *D. sereke*, se confirma lo citado por Alanis *et al.* (1994) en cuanto a que podría ser necesario liberar del pericarpio a las semillas para que ocurran altos porcentajes de germinación. Lo anterior es consistente con lo obtenido por Palma (2000) al aplicar tratamientos con ácido sulfúrico en diásporas de *Dasyllirion* spp. Las semillas de las especies estudiadas mostraron alta velocidad de germinación (Morales y Melgoza, 2003), lo que indica que fisiológicamente están listas para el restablecimiento de poblaciones naturales.

Contrario a lo registrado por Camacho (1992) para *Schinus molle* L., la germinación de los sotoles fue menor en las siembras realizadas en suelo que en las efectuadas en laboratorio; aunque hubo concordancia con lo observado por dicho autor, tanto en *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., como en *Pinus greggii* Engelm., la menor emergencia en suelo se atribuye al ataque de los hongos existentes en el sustrato.

El pericarpio que recubre la semilla de *Dasyliroyon* spp., es posible que funcione como un mecanismo de letargo y que forme parte de una estrategia de supervivencia del sotol. Baskin y Baskin (1998) mencionan que las especies que se desarrollan en ambientes adversos integran bancos de semilla en el suelo que propician una distribución relativamente uniforme de sus semillas a través del tiempo, con el fin de que exista material viable en el momento que exista disponibilidad de agua, luz o nutrimentos.

A pesar de los altos valores de germinación, en campo se observan problemas de establecimiento y supervivencia del sotol, debido al forrajeo del ganado, la fauna silvestre, así como a las condiciones extremas de sequía.

Las tasas de crecimiento relativo en ambas especies son bajas, característica común en plantas bajo condiciones naturales inciertas (Grime y Hunt, 1975).

Sin bien son numerosas las evidencias de los beneficios de los fertilizantes sobre los vegetales, también se han verificado casos en que no ocurre así (Miller y Hawkins, 2003; Schoellhorn y Richardson, 2005). Haq y Mallarino (2000) mencionan que, aun cuando hay diferencias estadísticas y biológicas, esta práctica no siempre es rentable. La falta de respuesta a la fertilización puede resultar de la variabilidad inherente a las especies (Lambers y Poorter, 1992), ya que el sotol es una planta que aún no ha sido domesticada. Anchondo y Olivas (2002) citan que en plántulas de *Dasyliroyon* sp. de la misma edad, existe una variación de 16 a 80 hojas, área foliar de 230.07 a 2965.02 cm², peso seco de la parte aérea de 7.66 a 149.33 g y peso seco de raíz de 2.18 a 15.68 g.

Otros factores que evitarían la detección de los efectos de adicionar fertilizantes son el tipo de suelo, la temperatura, la etapa del crecimiento, entre otras. A pesar de que se cuidó que no hubiesen escurrimientos, es factible que el tipo de suelo empleado haya ocasionado una lixiviación de los químicos aplicados (en particular de nitrógeno), y en consecuencia una falta de respuesta del sotol. Sin embargo, se utilizó suelo arenoso porque facilita la extracción de raíces.

Por otra parte, la ausencia de una simbiosis micorrízica entre el sustrato y la raíz del sotol, debido al tipo de suelo utilizado, pudo haber ocasionado la falta de respuesta; además, es común que tal asociación se presente en plantas que

se desenvuelven en ambientes infértiles y rocosos (Chapin, 1980; Aerts y Chapin, 2000), ya que la micorriza favorece una mejora en la absorción de nutrientes por la planta, particularmente de fósforo (Merryweather y Fitter 1996; Schachtman *et al.*, 1998), y un incremento en la captación de CO₂ (Pimienta-Barrios *et al.*, 2001).

La forma de presentación de los fertilizantes empleados y las temperaturas manejadas, en relación a la disponibilidad de éstos, a su vez inciden en la nula respuesta del sotol a la fertilización, como lo han consignado diversos autores en estudios similares (Cruz *et al.*, 1993; Boukcim y Plassard, 2003). Además, dicho efecto sobre las tasas de crecimiento relativo es susceptible de expresarse en futuras etapas de crecimiento, como sucede en otros taxa (Andersson y Lundegardh, 1999).

Las plantas desérticas suelen presentar raíces poco profundas, como parte de una estrategia para aprovechar las lluvias ligeras que reciben las regiones áridas y semiáridas (Nobel, 1988; Nobel *et al.*, 2002). Este modelo de crecimiento se ha observado en ciertas plantas cuya fotosíntesis es del tipo del metabolismo del ácido crasuláceo (CAM) (Nobel, 1988); son individuos que muestran asimilación nocturna de CO₂, la cual es influenciada, principalmente, por la temperatura (Eickmeier y Adams, 1978; Nobel *et al.*, 2002); diversas especies vegetales CAM alcanzan su valor óptimo a temperaturas inferiores a las usadas en este trabajo (Eickmeier y Adams, 1978; Pimienta-Barrios *et al.*, 2001; Nobel *et al.*, 2002) y tienen distintas fases de fijación de carbono que promueven un incremento en la demanda de nitrógeno del suelo (Kluge y Ting, 1978; Spreitzer, 1993).

Si el sotol posee características CAM es posible que las temperaturas utilizadas le hayan ocasionado una disminución en la tasa de asimilación nocturna de CO₂, y en consecuencia, una falta de expresión en su capacidad de asimilación de nutrientes y de producción de biomasa; sin embargo, no se han realizado estudios en este sentido.

CONCLUSIONES

Dasyliion leiophyllum y *D. sereke* presentan semillas con altos porcentajes de germinación desde la madurez del fruto, por lo que ambas pueden reproducirse en vivero y posteriormente utilizarse para el restablecimiento de sus poblaciones.

La eliminación del pericarpio de las diásporas mejora la emergencia.

La fertilización con N y P no tuvo impacto en la producción de fitomasa total, ni en la tasa de crecimiento relativo del sotol, en los primeros cinco meses de crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al CONACyT por el financiamiento de este trabajo como parte del proyecto "Taxonomía, ordenación y análisis de la distribución espacial del sotol (*Dasyllirion* spp.) en el estado de Chihuahua" clave 2000406010, dirigido por el Dr. J. Santos Sierra Tristán. A la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH por permitir el uso del invernadero.

REFERENCIAS

- Aerts, R. and F. S. Chapin III. 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *In*: Fitter H. A. and D. G. Raffaelli. (Eds.). *Advances in Ecological Research*. Academic Press, San Diego, CA. pp 1-67.
- Alanís F., G. J., D. Rocha, L. Marroquín de la F., J. S. 1994. Datos fenológicos de *Dasyllirion longissimum* en un jardín botánico. *Cactáceas y Suculentas de Mexicanas* 39 (2): 43-50.
- Anchondo N., J. A. y J. M. Olivas G. 2002. Avances de investigación del cultivo del sotol (*Dasyllirion* spp.) en Chihuahua. *Resultados y Avances de la Investigación en el Estado de Chihuahua*. Pub. Especial No.9. Campo Experimental Delicias. CIRNOC-INIFAP-SAGARPA. 197 pp.
- Andersson T., N. and B. Lundegardh. 1999. Growth of field horsetail (*Equisetum arvense*) under low light and low nitrogen conditions. *Weed Sci.* 47:41-46.
- Auld T., D. 1995. Soil seedbank patterns of four trees and shrubs from Australia. *J. Arid Environ.* 29: 33-35.
- Baskin C., C. and J. M. Baskin. 1998. *Seeds, ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. New York, NY. 1243 pp.
- Bell W., H. and E. F. Castetter. 1941. *Ethnobotanical studies in the American Southwest*. Vol. VII. The utilization of yucca, sotol and beargrass by the aborigines in the American Southwest. New México State University. Bull. No. 372. Albuquerque, NM. 74 p.
- Bogler D., J. 1994. *Taxonomy and phylogeny of Dasyllirion (Nolinaceae)*. Disertación doctoral. Universidad de Texas. Austin, TX. 583 p.
- Boukcim, H. and C. Plassard. 2003. Juvenile nitrogen uptake capacities and root architecture of two open-pollinated families of *Picea abies*. Effects of nitrogen source and ectomycorrhizal symbiosis. *Plant Physiol.* 160: 111-121.
- Camacho M., F. 1992. Manifestación de la dormición química en siembras de vivero. *In*: Memoria de la Reunión Científica Forestal y Agropecuaria del Campo Experimental Coyoacán. INIFAP. Publicación Especial Número I. SARH. México. pp. 298-309.
- Camacho M., F. 1994. Dormición de semillas; causas y tratamientos. Ed. Trillas. México. 125 p.

- Chachalis, D. and K. N. Reddy. 2000. Factors affecting seed germination and seedling emergence. *Weed Sci.* 48: 212-216.
- Chapin III S., F. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 11: 233-260.
- Coomes D., A. and P. J. Grubb. 2000. Impacts of root competition in forests and woodlands: a theoretical framework and review of experiments. *Ecol. Monogr.* 70: 171-207.
- Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 1978. Comisión técnico consultiva para la determinación regional de los coeficientes de agostadero. Chihuahua. Subsecretaría de Ganadería, SARH. 151 p.
- Cruz C., S. H. Lips and M. A. Martins-Loucao. 1993. The effect of nitrogen source on photosynthesis of carob at high CO₂ concentrations. *Plant Physiol.* 89: 552-556.
- Cruz, C., L. Herman and M. A. Martins-Loucao. 2003. Nitrogen use efficiency by a slow-growing species as affected by CO₂ levels, root temperature, N source and availability. *Plant Physiol.* 160: 1421-1429.
- Eickmeier W., G. and M. S. Adams. 1978. Gas exchange in *Agave lecheguilla* Torr. (Agavaceae) and its ecological implications. *The Southwestern Naturalist* 23: 473-486.
- Flores, J. and E. Jurado. 1998. Germination and early growth trials of 14 plant species native to northern Mexico. *The Southwest Naturalist.* 43: 40-46.
- Gallegos del T., A. 1997. La aptitud agrícola de los suelos: la pedagogía aplicada a las actividades agropecuarias. Ed. Trillas. México. 114 p.
- Grime J., P. and R. Hunt. 1975. Relative growth-rate: its range and adaptive significance in a local flora. *J. Ecol.* 63: 393-422.
- Habrouk, A., J. Retana and J. M. Espelta. 1999. Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires. *Plant Ecol.* 145: 91-99.
- Haq M., U. and A. P. Mallarino. 2000. Soybean yield and nutrient composition as affected by early season foliar fertilization. *Agron. J.* 92: 16-24.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Unwin Hyman. Londres, UK. 451 p.
- Iñiguez-Covarrubias, G., R. Díaz-Teres, R. Sanjuán-Dueñas, J. Anzaldo-Hernández and R. M. Rowell. 2001. Utilization of by-products from the industry. Part 2: potential value of *Agave tequilana* Weber azul leaves. *Bioresource Technology.* 77: 101-108.
- Jones T., A. and D. C. Nelson. 1999. Intrapopulation genetic variation for seed dormancy in India ricegrass. *J. Range Manage.* 52: 646-650.
- Kalmbacher R., S., S. H. West and F. G. Martin. 1999. Seed dormancy and aging in *atra paspalum*. *Crop Sci.* 39: 1847-1852.
- Kebreab, E. and A. J. Murdoch. 1999. A model of the effects of a wide range of constant and alternating temperatures on seed germination of four *Orobanche* species. *Ann. Bot.* 84: 549-557.

- Kluge, M. and I. P. Ting. 1978. Crassulacean Acid Metabolism. Analysis of an Ecological Adaptation. Springer-Verlag. Berlin. 500 p.
- Lambers, H. and H. Poorter. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Adv. Ecol. Res.* 23: 187-261.
- Melgoza C., A. y J. S. Sierra T. S. 2003. Contribución al conocimiento y distribución de las especies de *Dasyliirion* spp. (Sotol) en Chihuahua, México. *Rev. Cien. For. en Méx.* 28 (93): 25-40.
- Merryweather, J. and A. Fitter. 1996. Phosphorous nutrition of an obligately mycorrhizal plant treated with the fungicide benomyl in the field. *New Phytologist* 132: 307-311.
- Miller B., D. and B. J. Hawkins. 2003. Nitrogen uptake and utilization by slow- and fast-growing families of interior spruce under contrasting fertility regimes. *Can. J. For. Res.* Vol. 33: 950-959.
- Morales N., C. R. y A. Melgoza C. 2003. Uso de tratamientos químicos para mejorar la emergencia de semillas en pastos. Folleto Técnico No. 7. Campo Exp. La Campana. CIRNOC-INIFAP. Chihuahua, Chih. 15 p.
- Nobel, P. S. 1988. Environmental Biology of Agaves and Cacti. Cambridge University Press. New York, NY. 270 p.
- Nobel P., S., E. Pimienta-Barrios, J. Z. Hernández and B. C. Ramírez-Hernández. 2002. Historical aspects and net CO₂ uptake for cultivated Crassulacean acid metabolism plants in Mexico. *Annals of Applied Biology.* 140:133-142.
- Olhagaray R., E. C., E. Esparza Ch., y F. Vega S. 2004. Producción y comercialización de licores de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) en Durango, México. *Rev. Cien. For. en Méx.* 29 (95): 83-89.
- Palma J., I. 2000. Bases para la propagación del sotol (*Dasyliirion* spp.) via *in vitro* y por semilla. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. UACH. Cd. Delicias, Chih. 89 p.
- Pimienta-Barrios, E., C. Robles-Murguía and P. S. Nobel. 2001. Net CO₂ uptake for *Agave tequilana* in a warm and a temperate environment. *Biotropica.* 3:312-318.
- Poorter, H. and G. D. Farquhar. 1994. Transpiration, intercellular carbon dioxide concentration and carbon-isotope discrimination of 24 wild species differing in relative growth rate. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 507-516.
- Statistical Analysis System. 1992. User's Guide: Procedures statics. SAS Institute Inc., Cary, NC., USA. 1605 p.
- Schachtman D., P. R. J. Reid and S. M. Ayling. 1998. Phosphorous uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116: 447-453.
- Scheiner J., D., F. H. Gutiérrez-Boem and R. S. Lavrado. 2000. Root growth and phosphorus uptake in wide- and narrow-row soybeans. *J. Plant Nutr.* 23: 1241-1249.

- Schoellhorn, R. and A. A. Richardson. 2005. Warm climate production guidelines for *Agave*. http://hort.ifas.ufl.edu/floriculture/crops/Agave_ENHFLO4-007.pdf (15 de julio de 2005).
- SEP-CONACyT. 2001. Prioridades del sector agropecuario y forestal para la formulación de proyectos integrales. Compilación. COFUPRO. México, D. F. 158 p.
- Spreitzer J., R. 1993. Genetic dissection of Rubisco structure and function. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 44: 411-436.
- Steel R., G. and J. H. Torrie. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. 1a. Ed. McGraw-Hill. México. 354 p.
- Susko D., J., J. P. Mueller and J. F. Spears. 1999. Influence of environmental factors on germination and emergence of *Pueraria lobata*. *Weed Sci*. 47: 585-588.
- Tunnell, C. and E. Madrid. 1988. Making and taking sotol in Chihuahua and Texas. *In*: Hollander A., R. Barlow, J. McGillivray and D. Schmidly (Eds.). Third Symposium on Resources of the Chihuahua Desert Region. Alpine, Texas. pp.145-160.
- Wuest S., B., S. L. Albrecht and K. W. Skirvin. 1999. Vapor transport vs. seed-soil contact in wheat germination. *Agron. J*. 91: 783-787.