

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMIA



**EFFECTO EN LA CAPACIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE SOTOL
(*DASYLIRION CEDROSANUM* TREL.), CON APLICACIÓN DE
BIOREGULADORES**

POR

HÉCTOR FAVIÁN CRUZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2011

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISION DE AGRONOMIA**

Efecto en la capacidad fisiológica en semillas de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.),
con aplicación de bioreguladores.

POR

HÉCTOR FAVIÁN CRUZ LÓPEZ

Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador como

Requisito Parcial

Para Obtener el Título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA
A P R O B A D A**


M. P. **María Alejandra Torres Tapia**
Presidente del Jurado


Dr. **Manuel Humberto Reyes Váldez**
Sinodal


Dr. **Alberto Flores Olivas**
Sinodal


M.C. **Andrés Rodríguez Gamez**
Sinodal


Dr. **Mario Ernesto Vázquez Badillo**
Coordinador de la División de Agronomía



Junio, 2011

DEDICATORIAS

A mis padres

Sr. Orzue Cruz Cruz y Sra. Tomasa López Hernández

Por estar al pendiente de mí en cada momento de mi vida y educándome de la mejor manera posible. Por forjar mi formación a base de enseñanzas y actitudes positivas y por darme el privilegio de dedicarles este logro que empezamos juntos y que hoy veamos realizado.

A mis hermanos

Ivis, Clari, Liliana, Yanderi y Yovani

Por ser la motivación en seguir adelante, en todas las etapas difíciles de mi vida.

A mis sobrinos

Jesús, Yosi, Hugo, Michel, Kevin y Andrix.

Por todo el cariño y afecto que les tengo y por compartir tantos momentos bonitos.

A mi abuela

† Sra. Rosalba Cruz Grajales

Por brindarme todo su apoyo incondicional y llenarme de consejos. Sé que desde el Cielo, al igual que nosotros disfrutas de este logro.

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por permitirme la vida y colmarme de bendiciones, restaurándome en las flaquezas y confortándome en los momentos de tristeza. Por poner personas tan especiales a lo largo de mi vida y que de una y otra forma están involucrados en este logro.

A mis padres, por apoyarme en todos los momentos de mi formación académica y profesional. Por inducirme a ser una persona de bien.

A MI ALMA TERRA MATER: Por brindarme una formación profesional de excelencia, mediante todo el cuerpo académico, llenando de conocimientos y valores toda mi persona.

Agradezco plenamente a la M. P. María Alejandra Torres Tapia por permitirme realizar este trabajo de investigación. También agradezco toda su paciencia y dedicación que me brindo y gracias por ayudarme a culminar de manera exitosa.

De la misma forma agradezco a mis sinodales:

Dr. Manuel Humberto Reyes Váldes. Por apoyarme en la orientación y en el aspecto estadístico de este trabajo. Gracias por la comprensión y dedicación en esta investigación.

Dr. Alberto Flores Olivas. Por su cooperación en el trabajo de investigación como parte de mis asesores y aportando parte del material biológico utilizado. Gracias por su esfuerzo y dedicación.

M.C. Andrés Rodríguez Gámez. Por la revisión y apoyo técnico de esta investigación, gracias por compartir sus conocimientos y dedicación a este trabajo.

Agradezco también al Dr. Gustavo Frías Treviño y al Dr. Sergio Sánchez Peña. Por compartir sus conocimientos y ayudar en mi formación profesional.

A mis compañeros de la Carrera y amigos que me apoyaron para lograr terminar esta investigación, Gracias por todo sus apoyo.

INDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PAG
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
Índice de Cuadros.....	iv
Índice de Figuras.....	v
RESUMEN.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	5
Hipótesis.....	5
II. REVISION DE LITERATURA.....	6
Antecedentes históricos.....	6
Clasificación taxonómica.....	7
Descripción botánica del género <i>Dasyilirion</i>	8
Descripción de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel.....	11
Reproducción.....	11
Definición de semilla.....	12
Calidad de la semilla.....	13
Deterioro de la semilla.....	14
Latencia de semillas.....	15
Tratamientos para romper latencia.....	18
Distribución del sotol en Coahuila.....	24
Importancia económica del sotol.....	26
Aprovechamiento del sotol como bebida alcohólica.....	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
Ubicación experimental.....	31
Material genético.....	31
Tratamientos.....	32
Parámetros evaluados.....	33
Diseño experimental.....	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. LITERATURA CITADA.....	52

Índice de Cuadros

No. de Cuadro	Descripción	Pág.
2.1	Tabla de Producción de sotol estimado en kilogramos a partir del diámetro de la piña (Zarate, 2002).....	30
3.1	Tratamientos y dosis aplicados a semillas de sotol (<i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel.) bajo condiciones de laboratorio, Saltillo 2010.	32
4.1	Cuadros medios del análisis de varianza y coeficiente de variación en la variable de viabilidad en semillas de sotol (<i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010.....	42
4.2	Cuadros medios del análisis de varianza y coeficiente de variación en las variables de capacidad de germinación en semillas de sotol (<i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010.....	43
4.3	Cuadros medios del análisis de varianza y coeficiente de variación en las variables de viabilidad y vigor en semillas de sotol (<i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010.....	46

Índice de Figuras

Número de Figuras	Descripción	Pág.
3.1	Ejemplo de una prueba de viabilidad con 3, 4, 5 Trifenil Cloruro de Tetrazolio a una concentración del 1 %, a) Semilla de sotol viable; b) Semillas de sotol no viables.....	34
4.1	Porcentaje de viabilidad inicial en la muestra de semillas de sotol, <i>D. cedrosanum</i> , viables y no viables, 2010.....	39
4.2	Porcentaje de la Viabilidad en semillas de sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.), viables y no viables, aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, Saltillo, 2010.....	41
4.3	Comportamiento de la capacidad de germinación en semillas de sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, Saltillo, 2010.....	44
4.4	Comportamiento del índice de velocidad de emergencia en semillas de sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010.....	47
4.5	Comportamiento Longitud Media del Hipócotilo en semillas de sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010.....	48
4.6	Comportamiento Longitud Media de Radícula en semillas de sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010.....	49

RESUMEN

La especie de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) se ha venido estudiando a lo largo de los años con la finalidad de conocer su biología, morfología y ecología; sin embargo uno de los principales problemas que presenta la especie es su reproducción, por lo que la presente investigación se planteó los objetivos de evaluar el efecto de los bioreguladores aplicados en semillas de sotol, *Dasyilirion cedrosanum* Trel., mediante su capacidad fisiológica a través de pruebas de germinación y vigor en condiciones de laboratorio, realizando el trabajo de investigación en el Laboratorio de producción de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, durante el semestre Agosto – Diciembre del 2010.

Se aplicaron catorce tratamientos a base de bioreguladores, Micorriza (0.0125, 0.025 y 0.0375 g/mL), *Bacillus Subtilis* (100, 75, 50 y 25%), Ácido Fúlvico (1500, 2500, 3500, 4500 y 5500 ppm), KNO_3 (1 y 2%) y un Testigo con agua. Se determinó la capacidad fisiológica del material genético de nueve meses de haber sido cosechado mediante las pruebas de Viabilidad, Capacidad de Germinación, Índice de Velocidad de Emergencia, Longitud Media de Hipócotilo y Radícula; aplicando 5 mL por caja Petri sobre papel filtro, contando 3 repeticiones de 25 semillas por tratamiento y haciendo riegos de cada tratamiento para mantenerlas húmedas.

Los resultados obtenidos se analizaron con un diseño estadístico completamente al azar, donde el ANVA, presentó solo diferencia altamente significativa en la variable Índice de Velocidad de Emergencia y diferencia significativa en LMR; sin embargo, en la comparación de medias generales en cada variable se mostraron algunas diferencias numéricas.

En lo que respecta al Vigor de la especie con tratamientos se encontró que en el IVE, T11 sobresalió con 20.9 de plántulas por día siendo el mejor de todos los tratamientos, le siguieron T10 y T12 con 19.6 y 19.5 de plántulas por día respectivamente; y el tratamiento con menor respuesta a esta variable fue el T14 con 8.96 de plántulas por día, seguido de T13 y T15 con 11.53 y 12.77 de plántulas por día.

Por lo anterior se concluye que el Ácido Fúlvico a concentraciones elevadas promovió el IVE significativamente, aumentando los índices de emergencia y confirmó el efecto positivo de estas moléculas orgánicas en la promoción fisiológica de la semilla. Por otro lado, el Nitrato de Potasio (KNO_3) principalmente a concentraciones de 0.2 %, pero también a 0.1 % causa un efecto negativo, disminuyendo considerablemente la velocidad de emergencia de plántulas por día. En determinados tratamientos la dosificación es una característica primordial a considerar, ya que puede revertir el resultado en los diferentes parámetros evaluados.

Palabras clave: *Dasyllirion cedrosanum*, sotol, semillas, bioreguladores, calidad fisiológica.

INTRODUCCION

El sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) conocido como sereque y en algunas regiones de Zacatecas, México, como cuchara del desierto; es una especie silvestre y nativa de nuestro país. La encontramos en lugares de clima árido y semiárido, formando parte del matorral xerófilo de zona seca, particularmente en los matorrales desértico rosetófilo crasirrosulifolio espinoso (Arce *et al*, 2004).

La especie *Dasyliirion cedrosanum* Trel., es un recurso invaluable y con una amplia distribución en el desierto Chihuahuense. En el Estado de Coahuila, México, que forma parte del desierto antes mencionado, se encuentra presente de manera abundante (UAC, 2006).

Esta especie aparte de ser proveedora de bienes, nos proporciona servicios ambientales como aire limpio o bien un bello paisaje. Además de alojar entre sus hojas a algunos animales pequeños, por lo general insectos, mantiene la biodiversidad animal y vegetal, sirviendo como alimento para algunos animales domésticos y silvestres y al ser incorporada al suelo es usada por otras plantas en forma de abono. La planta disminuye la erosión del suelo, manteniendo la calidad del mismo. Se considera que tiene su valor agroindustrial en los ejidos de zonas áridas y semiáridas por el valor de explotación pues es usada para la producción de bebidas alcohólicas, forraje, ornato, en prácticas rituales y religiosas, así como fibra en la fabricación de cordelería y cestería, entre otros usos (Romahn, 1992).

Otra ventaja de la especie en estas regiones es que prospera con facilidad en suelos bien drenados y una vez establecida, la planta regularmente necesita poca agua (Bogler, 1998).

El sotol es considerada una especie monocotiledónea y dioica con flores hembra y macho, en plantas separadas (Ladyman, s.f.). Regularmente es propagada por semilla y en algunos otras a partir de la cauda para producir vástagos (Bogler, 1998). Sin embargo no hay un sistema de producción o propagación para estas agroindustrias, por lo que se encuentran explotando la especie sin darle la oportunidad de tener su ciclo biológico normal.

A través del tiempo, el hombre con el afán de maximizar sus rendimientos a desarrollado sistemas de producción agrícolas que le permitan su objetivo; como es la agricultura moderna o también conocida como convencional, se desarrolló con la aparición del tractor permitiendo sembrar, cosechar y trillar en forma rápida, a gran escala y reduciendo la mano de obra; pero hubo sus desventajas, el costo de producción aumento por el gran consumo energético, generalmente de combustibles fósiles.

En los países desarrollados a diferencia de los más pobres, sus sistemas de producción son generalmente mayores por tener capital, tecnología como el desarrollo de nuevas variedades, uso de fertilizantes, plaguicidas y el crecimiento de infraestructura de riego así como de conocimientos científicos necesarios.

A pesar de su éxito, este sistema de producción se encuentra en el proceso de erosionar las bases fundamentales que lo sostienen. Paradójicamente, las innovaciones tecnológicas, las prácticas, y las políticas que explican el incremento en la productividad, también están erosionando las bases de la misma. Por un lado han abusado y degradado los recursos naturales de los que depende la agricultura: suelo, agua y diversidad genética. Por otro lado han creado una dependencia en el uso de los recursos no renovables como el petróleo. En pocas palabras la agricultura moderna es insostenible, a largo plazo no tiene el potencial

para producir suficiente alimento como demanda la población debido a que precisamente está erosionando las bases que la hacen posible.

Por lo que en los últimos años, este tipo de agricultura ha tenido que evolucionar hacia modelos más eficientes y sostenibles en términos ambientales y económicos, donde adquiere mayor importancia la inocuidad y la calidad dentro de los sistemas de producción.

La sostenibilidad y remediación de los problemas se puede alcanzar mediante prácticas de cultivo basadas en el conocimiento adecuado y profundo de los procesos ecológicos que suceden en las parcelas de producción como en el contexto de las cuales ellas son parte, por ejemplo, la implementación de control biológico y manejo agroecológico con el composteo, aplicación de humus, de lombricompost y micorrizas que facilitan a la planta obtener principalmente nutrientes, minerales y agua.

Bashan *et al.* (2004), menciona que la inoculación de microorganismos benéficos del suelo es una práctica común en agricultura y silvicultura en países desarrollados, ya que son parte integral de los procesos de revegetación y reforestación y pueden ser usados para reducir la erosión del suelo en general y la polución por polvo en suelos desérticos.

En base a las observaciones e investigaciones que se han realizado en la especie de sotol para conocer su biología, morfología, ecología y demás, se ha detectado algunos de los principales problemas que presenta la planta en cuanto a su reproducción de manera natural. *Dasyilirion cedrosanum* no produce la misma cantidad de semillas cada año, además la ausencia o escases de las lluvias en estas regiones provocan sequias muy severas que permite prosperar solo una

población baja de sotol. Se ha estimado que tan solo el 8 % (Arce, 2004a) del total de sus semillas logra germinar y cuando está se encuentra en fase de plántula se presenta otra limitante para su crecimiento, frecuentemente es consumida por animales de pastoreo como, caballos, cabras, vacas y animales silvestres como conejo, liebres y roedores. Otro factor que reduce considerablemente la población de sotol en nuestros tiempos, es la extracción de especímenes para su industrialización y elaboración de bebidas alcohólicas denominada "Sotol", pues en muchas regiones esta actividad rebasa la tasa de reproducción de la misma (Palma, 2000 y Vázquez, 2001 tomado de Hernández *et. al.*, 2008).

Las semillas de sotol se caracterizan por tener una testa dura y escasa capacidad de imbibición, lo que reduce su porcentaje de germinación. Debido a todo lo anterior y al ver que no se cuenta con suficiente información en cuanto a la propagación de la especie y aun en un sistema de tipo orgánico no se ha implementado criterios apropiados para el manejo y aprovechamiento racional y sostenible de la especie; se desarrolló el presente trabajo en busca de alternativas eficientes que permitan propagar la planta mediante semillas, estableciéndose los siguientes objetivos e hipótesis

Objetivos

Evaluar el efecto de los bioreguladores aplicados en semillas de sotol, *Dasyilirion cedrosanum* Trel., mediante su capacidad fisiológica a través de pruebas de germinación y vigor en condiciones de laboratorio.

Hipótesis

Al menos uno de los tratamientos marcará diferencia significativa en la capacidad de germinación y vigor de la semilla de sotol.

REVISION DE LITERATURA

Antecedentes históricos

Las especies del género *Dasyllirion* se desarrollan en áreas áridas y semiáridas de algunas regiones de Estados Unidos (Bogler, 1994), en territorios del sur y oeste de Texas, del sur al centro de Nuevo México y en el sur de Arizona. En México crece abundantemente en los estados de Chihuahua, Coahuila y en muchas otras regiones del desierto chihuahuense (UAC, 2006).

Los pobladores nativos de Norteamérica cocinaban la parte central del tallo, conocida como piñas, la utilizaban como un alimento similar al que se obtiene del maguey. Los Apaches, Mezcaleros y Chiricahuas comían los tallos tiernos de las flores. Los Tarahumaras y los habitantes del Rio Bravo y Rio Pecos usaban las hojas para elaborar sombreros, canastas y sandalias. Además los Lipones, los Papagos y Tarahumaras aparte del uso alimenticio, también usaban esta planta para destilarla y obtener la bebida alcohólica denominada "Sotol". Los Lipones cocinaban en pozos con piedras calientes, a manera de tatema y de la parte del centro preparaban una harina que la usaban para elaborar panecillos o tortas (SEMARNAT, 2001 tomado de Hernández, 2008).

Actualmente las hojas de la planta de sotol se usan en pequeña escala para la construcción de techos de casas (García, 1979 citado por Hernández, 2008), sin embargo, es utilizada de manera abundante para la alimentación de ganado (Castellanos y Vergara, 1983) y en la formación de barreras vivientes que

disminuyen considerablemente la erosión de los suelos (Madrigal, 1988) evitando la disminución de fertilidad del mismo.

En la época colonial, los grupos de conquistadores y misioneros presentes en los estados de Chihuahua, Durango y Coahuila, a partir de la segunda mitad del siglo XVI enseñaron a los indígenas los procesos de destilación que hasta la fecha ha variado muy poco y debido a su consumo y demanda ha aumentado el valor económico y con ello su producción. En Coahuila se produce este destilado desde el siglo XIX y a pesar que esta actividad se realiza también en Chihuahua y Durango, Coahuila es el principal estado destilador de Sotol en la actualidad.

Clasificación taxonómica

Reino	Plantae
Superdivisión	Spermatophyta
División	Anthophyta
Clase	Liliopsida
Sub-clase	Liliidea
Orden	Liliares
Serie	Choripetalae
Familia	Nolinaceae
Género	<i>Dasyilirion</i>
Especie	<i>cedrosanum</i> Trelease

Descripción botánica del género *dasytirion*

A través del tiempo, muchos autores han ubicado al género *Dasytirion* dentro de diferentes familias botánicas, según Endlicher (1842 tomado de Melgoza y Sierra, 2003), considera este género dentro de la familia Bromelaceae, sin embargo, Hitchinson (1934 tomado de Melgoza y Sierra, 2003), reporta a este género como perteneciente a la familia Agavaceae y Cronquist (1981 tomado de Melgoza y Sierra, 2003), ubica a *Dasytirion* como parte de la familia Liliaceae y así otros autores han considerado y ubicado al género *Dasytirion* dentro de otras familias.

Debido a las controversias anteriores Bogler (1994-1995), realiza y publica un estudio filogenético, en el cual analizó filogenéticamente al grupo Liliiflorae, que agrupa siete ordenes, 50 familias y 540 géneros. Como resultado de la información que reveló el trabajo de Bogler, en la actualidad se ubica al género *Dasytirion* dentro de la familia Nolinaceae, donde aparece más cercano al género *Nolina* que a los demás.

Actualmente el género *Dasytirion*, que significa lirio grueso y suculento, pertenece a la familia Nolinaceae que comprende alrededor de 200 géneros y 2 500 especies ampliamente distribuidos. El *Dasytirion* se le conoce regularmente con el nombre de Sotol, proviene del vocablo Náhuatl "Tzotollin", aunque este nombre en ocasiones varía dependiendo de la región.

Las plantas que pertenecen al género *Dasytirion* son dioicas y perennes. Se caracterizan por tener una raíz fibrosa ramificada, poco profunda y extendida. Esta puede ser de color café o parduzco, grisáceo y blanco amarillento según la especie, surgen del tronco o cabeza la cual es gruesa, carnosa y de tamaño regular (Velásquez, 1983). Son plantas caulescentes; tronco de 1 a 1.5 m de

largo; hojas de forma ascendente, de 2 o 3 cm de ancho y de hasta un metro de largo, arrosetadas, adelgazadas hacia el ápice y ensanchadas en la base. Son de color verde, rugosas y opacas; tienen espinas pequeñas y encorvadas en los bordes, generalmente separadas entre una y otra de 10 a 15 mm y de 2 a 5 mm de largo; de color amarillas haciéndose rojas hacia arriba, características que los asemeja a los magueyes; pero a diferencia de estos, son delgadas y angostas con forma de espadas (SEMARNAT, 2001 citado por Hernández, 2008).

El tamaño de la inflorescencia se encuentra relacionada a la corona y puede variar de un metro hasta seis metros de altura en plantas jóvenes y adultas; respectivamente. Aparecen en el centro de la corona, como un brote parecido a una lanza con brácteas densamente sobrepuestas, las cuales tienen un color morado – verdoso en este Estado. El color de la inflorescencia varía dependiendo del tipo de planta. En la actualidad aun no se tiene definida claramente la floración. Probablemente esta se debe como consecuencia a una asociación de una temporada lluviosa o bien con el acumulamiento de humedad de las estaciones de lluvias recibidas en los años anteriores. La cantidad de plantas que produce flores en un año varía drásticamente de un año a otro. Se tienen registros que mientras en algunos años todas las plantas de sotol florecen, en otros solo unas cuantas lo hacen. Se estima que el ciclo de floración es de aproximadamente seis años (USDA, 1965 citado por Dzib, 2003). Por ende la producción de semillas no es constante o igual cada año y hay más posibilidades que se produzca mas semillas cada seis años (López y Portes, 2002).

Sus flores varían de acuerdo al tipo de planta, debido a que existen plantas masculinas (estaminadas) y femeninas (pistiladas). Cuando la inflorescencia es estaminada, la flor se torna de un color amarillo brillante, por la dehiscencia del polen, lo que permite verla a una buena distancia. En la inflorescencia pistilada, cuando la flor esta completa, es muy estrecha, con las brácteas de los fascículos sostenidos al tallo. La inflorescencia muestra un color dominante verde o purpura.

Las flores pistiladas tienen el periodo de floración más corto y pueden ser más rápidamente polinizadas. A diferencia de las flores pistiladas, las estaminadas continúan floreciendo por un periodo más largo. También tiene un receptáculo corto con seis pétalos separados en dos verticilos, en donde se encuentran seis estambres con filamentos grabosos más largos que el perianto. Las flores pistiladas tienen un pedicelo claramente unido (SEMARNAT, 2001 citado por Hernández, 2008).

El tamaño del perianto es de 2 a 2.5 mm de largo; sépalos y pétalos finos, blanquecinos, de filamento delgado; con frutos pequeños, capsular, alados; la semilla encerada en la parte central.

El ovario tiene tres lóbulos y un lóculo simple. Usualmente hay seis pequeños óvulos, producidos en los lóculos, pero casi siempre únicamente uno o en raras ocasiones dos desarrollan en semillas maduras. Las flores crecen en fascículos contractados de racimos parecidos a dedos formados en series a lo largo del eje de la inflorescencia, la cual es vistosa y de forma paniculada, parecida a una espiga con un muy elongado pedúnculo.

Las semillas son trigonas, con tres lados, de color café-oro con una superficie más o menos plana y rugosa. Además de tener una testa dura, presenta una cubierta impermeable que reduce su capacidad de imbibición la cual hace que presente dificultad para su germinación, siendo tan solo del 8 %.

Descripción de *Dasyilirion cedrosanum* Trel.

D. cedrosanum es una planta perenne, de tallo corto, de 1 a 1.5 metro, simple o bien con 2 o 3 brazos subterráneos (Martínez, 1979). La planta se caracteriza por tener hojas arrosetadas, son delgadas, glaucas, con quilla ligeramente ásperas, angostas, con forma de espada, de 1.5 a 2.1 centímetros de ancho por 0.75 a 1.20 metro de largo aproximadamente. Con espinas pequeñas y encorvadas en los bordes y una púa terminal. Las espinas son gruesas más de 90 % curvadas hacia la base, distantes de una a otra de 10 a 15 mm y de 2 a 5 mm de largo, amarillas y rojizas hacia la punta. Inflorescencia de 5 metros de altura. Frutos elípticos y angostos, de 4 a 5 mm por 7 a 9 mm. Semilla de 2 por 3.5 mm.

Esta especie se localiza en el desierto Chihuahuense, Durango, Coahuila y en el Norte de Zacatecas. Según Villareal (2001), en el estado de Coahuila está presente en los municipios de Castaños, Cuatrociénegas, Monclova, Ocampo, Parras de la Fuente, Ramos Arizpe y Saltillo.

Reproducción

El sotol puede reproducirse de forma sexual como también asexual:

Reproducción sexual

El sotol es una planta perenne y dioica. El método natural es por semillas, al hacer explosión las capsulas y esparcir las semillas alrededor de la planta, se obtiene un porcentaje de germinación muy bajo, ya que solo alcanzan a germinar un promedio de 10 plantas por cada planta madre y estas necesitan alrededor de

12 a15 años para tener el tamaño ideal para ser aprovechadas (Ortega y Villavicencio, s.f. citado por Calderón, 2004).

Reproducción asexual

En este método la reproducción es a partir de alguna parte vegetativa de la planta como yemas axilares, hojas, tallo, raíz.

Definición de semilla

Desde el punto de vista botánico, una semilla es un óvulo fecundado de una planta que se encuentra encerrado dentro del ovario o fruto, unidas a él por el funículo que es un filamento pequeño y delgado que une al óvulo con la placenta (Ruíz, 1979). También se define como el producto maduro de un óvulo y es una estructura autónoma, completa y compleja, tanto fenotípicamente como genotípicamente.

Agronómica y comercialmente, una semilla es considerada toda clase de granos, frutos y estructuras más complejas que se emplean en las siembras agrícolas (Moreno, 1996).

Hay tres funciones fundamentales que las semillas realizan. La primera, es portadora de las características inherentes de generación a generación esencialmente sin cambio alguno; la segunda, la semilla funciona como un sistema eficaz de almacenamiento para una planta viva y tercera, cierra el ciclo de la reproducción de las especies (Potts, 1977).

Una semilla usualmente consta de un embrión, tejido nutrimental y una cubierta seminal. La forma, el tamaño, la estructura, la consistencia y el color de estas partes son variables entre las especies y variedades.

Cuando las semillas son recién cosechadas el contenido de humedad es bajo, el metabolismo se encuentra en un nivel reducido y no ocurre actividad aparente de crecimiento. En estado seco, las semillas se pueden almacenar por largos periodos a temperaturas bajas y usarse para propagación.

Calidad de la semilla

Una semilla de buena calidad es la que tiene la capacidad de germinar bajo condiciones convenientes. Con la edad las semillas van perdiendo esta capacidad y más cuando su almacenamiento no es el adecuado. Es recomendable que las semillas sean de la última cosecha. Cabe mencionar, que la semilla no tiene el máximo poder germinativo al madurar el fruto, sino algo después, posteriormente lo va perdiendo hasta llegar a cero (Pidi, 1981).

Krieg y Bartee (1975), mencionan que la calidad es uno de los factores más importantes que afectan el comportamiento y productividad de la mayoría de los cultivos. Según Douglas (1982), la calidad de la semilla es muy importante al ser esencial para la supervivencia de la humanidad, por cuanto almacena el más alto potencial genético que la ciencia pudiera llegar a desarrollar, al mismo tiempo, se considera un elemento vital para mantener y desarrollar la agricultura moderna.

Los principales parámetros que determinan la calidad de las semillas son la pureza física, la calidad genética, el poder germinativo, el vigor, la latencia, la

homogeneidad del lote, el estado fitosanitario y el contenido de humedad (Thomson, 1979).

Deterioro de la semilla

Según Philpott (1981 citado por Dzib, 2003), indica que durante la vida de la semilla se presentan muchos factores que afectan ligeramente o total la calidad de la semilla. Las condiciones y el equipo usados durante el manejo físico de la semilla antes de ser almacenado son factores que determinan e influyen en su deterioro.

El deterioro en semillas es considerado como un proceso inexorable, inevitable e irreversible que involucra cambios determinables que causan la reducción en la calidad de la semilla, luego que esta ha alcanzado su nivel máximo y que culmina con la pérdida completa de su viabilidad.

Delouche (1973 citado por Dzib, 2003), menciona que como consecuencia durante el deterioro de la semilla se presentan los siguientes cambios: degradación de las membranas celulares, daños en los caminos de producción y síntesis de energía, alteraciones en los procesos respiratorios y de biosíntesis, disminución en la tasa de germinación, disminución de la tasa de crecimiento y desarrollo de la plántula, disminución de la uniformidad, disminución de la resistencia a condiciones adversas, disminución en el rendimiento, incremento en la producción de plántulas anormales y pérdida de la capacidad de germinación.

Latencia de semillas

En ocasiones para dar a conocer que la semilla se encuentra en latencia, algunos autores utilizan sinónimos, como: en reposo, obstaculizadas, bloqueadas, en condiciones inactivas, letargo y dormancia. Sin embargo, Hartmann *et al* (1990), aclara que el termino letargo involucra aspectos menos restringidos que latencia; como la falta de crecimiento de cualquier parte de la planta, resultante de factores inducidos interna o externamente. La semilla en este caso, puede absorber agua y tener condiciones favorables, pero no germinar. Menciona que la latencia se restringe a condiciones internas de la semilla que impiden la germinación.

Algunos autores coinciden en definir la latencia de la semilla, como simplemente la no-germinación de semillas viables, cuando se encuentran en un medio natural o bien artificial que proporciona condiciones favorables de luz, humedad, aire y temperatura (Copeland y McDonald, 1985).

Las semillas duras difieren de las semillas con latencia. Las semillas duras incluyen aquellas que no absorben humedad debido a que tienen una cubierta impermeable y las semillas con latencia son aquellas que no llegan a germinar aunque el embrión este vivo y absorban humedad.

Cuando las semillas llegan a su madurez, se observa que de la mayoría de las células vivas del embrión entran en vida latente, lo que provoca que algunas de sus funciones, como respiración y nutrición se atenúan notablemente, mientras que otras, como la división celular se suspenden completamente. La maduración de las semillas casi siempre va acompañada por una intensa deshidratación en sus tejidos, fenómeno que permite a las células resistir en vida latente. La longevidad de las semillas, es decir, el tiempo que duran en vida latente y con poder germinativo, es muy variable y depende de diversas circunstancias, como la

especie de la planta, los tipos de reservas que poseen las mismas y del sitio en el que se encuentren al salir del fruto (Ruíz, 1979).

Hartmann y Kester (1999) y Willian (1991) presentan una forma detallada de los tipos de latencia de la siguiente manera:

Latencia exógena

- Latencia física. Se caracteriza dentro de un gran número de plantas, en las cuales la testa o las secciones endurecidas de otras cubiertas de la semilla son impermeables. El embrión está quiescente, pero se encuentra encerrado dentro de una cubierta impermeable que conserva a la semilla con un bajo contenido de humedad durante varios años, aun con temperaturas altas.
- Latencia mecánica. Semillas con cubierta demasiado duras que no permiten que el embrión se expanda durante la germinación. Una vez que el agua ha sido absorbida por la semilla, la fuerza expansiva de la germinación rompe la cubierta y desgarrará cualquier parte externa. En la mayoría de los casos este factor se combina con otros tipos de latencia para inhibir la germinación, por lo que raramente la cubierta dura de la semilla es la única causa de la latencia.
- Latencia química. Es la producción y acumulación de sustancias químicas que inhiben la germinación, ya sea en el fruto o en las cubiertas de las semillas. Los inhibidores endógenos químicos de la germinación son una causa común de latencia de semilla. Algunas de las sustancias asociadas con la inhibición de la germinación pueden persistir hasta el periodo de la germinación, pudiendo ser fenoles, cumarina y ácido abscísico.

Latencia endógena

Dentro de esta categoría se encuentran dos grupos:

- Embriones rudimentarios. Se presenta en semillas cuyo embrión es apenas algo más que un pro-embrión embebido en un endospermo, al momento de la maduración de fruto. En el endospermo existen también inhibidores químicos de la germinación que se vuelven en particular activos con altas temperaturas.
- Embriones no desarrollados. Algunas semillas, en la madurez del fruto tienen embriones poco desarrollados, con forma de torpedos, que pueden alcanzar hasta un tamaño de la cavidad de la semilla. El crecimiento posterior del embrión se efectúa antes de la germinación.

Latencia interna

En esta categoría se encuentran implicados dos fenómenos: el primero es el control ejercido por la semipermeabilidad de las cubiertas de las semillas, y el segundo es un letargo presente en el embrión, el cual se supera con exposición a enfriamiento en húmedo.

- Fisiológica. En la mayoría de las especies de la zona templada la germinación es inhibida por un mecanismo fisiológico inhibitor que tiende a desaparecerse con almacenamiento en seco.
- Interno intermedio. Es inducida principalmente por las cubiertas de las semillas y los tejidos de almacenamiento circundante.
- Letargo del embrión. Se caracteriza principalmente porque para llegar a la germinación se requiere un periodo de enfriamiento en húmedo y por la incapacidad del embrión separado de germinar con normalidad.

Tratamientos para romper latencia

Existen diferentes métodos para interrumpir la latencia de las semillas, entre ellos: procedimientos químicos con ácidos o bases, tratamientos mecánicos como frotar las semillas con papel de lija, inmersiones en agua, inmersiones en agua caliente, tratamientos con temperaturas, almacenamiento y otros. La respuesta a la escarificación varía de acuerdo a la especie.

Obtener buenos resultados mediante el empleo de cualquiera de los métodos para romper la latencia, depende de algunas alteraciones en la integridad física de la cubierta de las mismas, o bien, de la eliminación de barreras que provoquen la producción de inhibidores de la germinación y eviten la hidratación y crecimiento del embrión, ya sea en forma física (con el uso de temperaturas o escarificación) o en forma química (con promotores de la germinación) (Faría *et al.*, 1996 citado por Sánchez *et al.*, 2006).

Valdez (1998) menciona que hay especies que se ha logrado germinar sus semillas latentes, sin embargo, existe en otras en las que se desconoce la manera de lograrlo y en contra parte se ignoran los mecanismos que convierten a las semillas en latentes.

Hoy se sabe que el uso de hormonas y otros compuestos, como el ácido giberélico, ácido abscísico, citocininas, etileno, nitrato de potasio, hipoclorito de sodio y cloroformo, pueden promover la germinación.

Los tratamientos empleados comúnmente para vencer la latencia y estimular la germinación son los siguientes:

Escarificación mecánica

Las semillas de muchas gramíneas contienen una cariopsis bien recubierta por glumas fuertes, la plúmula y radícula pueden emerger solo si logran romper la lemma y la palea; la expansión de la plúmula y de la radícula son limitadas por las glumas que están muy ajustadas.

La escarificación mecánica se usa en semillas duras o impermeables, con el objeto de alterar la integridad física del pericarpio o cubierta. Esto permite la absorción de agua y oxígeno, eliminando así mismo la restricción mecánica. El método consiste en raspar la cubierta de las semillas con lija, lima o bien quebrarlas con martillo. Si las semillas son a gran escala se utilizan máquinas especiales como tambores giratorios recubiertos en su interior con papel lija, o combinados con arena gruesa o grava. El tiempo de escarificación puede variar para cada especie, dependiendo del grosor y resistencia de la cubierta, sin embargo, el exceso puede dañar la semilla reduciendo su poder germinativo.

Con la escarificación mecánica pueden haber otros cambios en la semilla, por ejemplo: el incremento de la sensibilidad a la luz y temperatura, la permeabilidad a gases, los cuales pueden favorecer el metabolismo y por consecuencia la germinación (Khan, 1997).

Escarificación química

Este método es utilizado para semillas duras, consiste en la aplicación de sustancias químicas para promover la permeabilidad de la cubierta y favorecer la entrada de agua y oxígeno al embrión. El ácido sulfúrico es el generalmente usado en este tratamiento.

El procedimiento consiste en remojar la semilla en una solución concentrada de ácido sulfúrico por periodos de tiempo que varía para cada especie; es importante conocer el tiempo óptimo de escarificación para cada especie. En gramíneas forrajeras el ácido disuelve la lemma y la pálea de la cariopsis y agrieta, debilita y adelgaza los tegumentos aumentando la permeabilidad.

Según Ramos (1975) y Zulay (1998), reportan que es el método químico más utilizado en semillas de especies forrajeras tropicales. Facilita la expansión del embrión y salida de la radícula. En semillas de leguminosas de los géneros: *Medicago*, *Calopogonium*, *Centrocema*, *Leucaena*, *Neonotonia* y *Stylosanthes*, se han obtenido altos porcentajes de germinación, de 80 – 90 %, cuando la semilla es tratada alrededor de 10 – 15 minutos, con ácido sulfúrico concentrado.

Según Palma (2000), reporta que la relación de ácido sulfúrico (15% v/v), a 10 minutos de exposición, con temperatura de 28 °C, permiten la rápida germinación de la semilla de sotol (*Dasyllirion spp.*), incrementándose hasta un 92%.

Al trabajar con semillas de *Centrocema*, Fariñas *et. al.*, (1997) encontraron altos porcentajes de germinación con escarificación química de ácido sulfúrico al 95% de concentración, durante 10 minutos y con una concentración baja encontraron que las semillas muertas y plántulas anormales ocurrieron en muy baja proporción, indicando que a pesar de haber alto porcentaje de semillas duras y bajos porcentajes de germinación, el ácido no está causando perjuicio en la semilla; sin embargo, estimula la germinación, aunque en muy baja proporción.

En la actualidad, además del ácido sulfúrico, se está utilizando enzimas como celulosa y pectinasa, las cuales alteran la cubierta y permeabilizan la semilla. El

alcohol y la acetona se han utilizado para disolver componentes insolubles en agua.

También la escarificación con agua es una de las técnicas más ampliamente usadas para acelerar el proceso de imbibición o para mejorar las características de la cubierta. El procedimiento consiste en sumergir la semilla en agua durante un cierto periodo de tiempo. Este método puede lixiviar inhibidores químicos de la germinación. El agua puede ser caliente o a temperatura ambiente, generalmente es utilizada en especies cuya semilla presenta impermeabilidad de la cubierta y solo es aplicable a semillas que toleran el agua caliente sin sufrir daños en el embrión, por ejemplo las leguminosas.

Tratamientos con promotores de germinación

El uso de estimulantes contribuye a mejorar la calidad de las semillas ya que beneficia la velocidad, uniformidad de la germinación y emergencia, asegurando una mayor densidad de plantas de mejor vigor, con mayor tolerancia a condiciones ambientales adversas e influyendo además en la planta adulta (INIFAP, 1989).

Los promotores de germinación más comúnmente usados son compuestos como: el ácido giberélico, ácido abscísico, citocininas, etileno, hipoclorito de sodio, nitrato de potasio y cloroformo.

ISTA (1985, citado por Calderón, 2004), recomienda al ácido giberélico como una hormona vegetal para romper latencia fisiológica ocasionada por requerimientos de luz y temperatura. Este actúa en la inducción de enzimas de los cromosomas y activa enzimas que actúan en la movilización de las reservas.

Pérez y Durán (1990), consideran el ácido abscísico como uno de los principales inhibidores endógenos y como el responsable de la presencia de latencia en algunas semillas como *Onopodorum nervisum*. Además este ácido contrarresta el efecto de las giberelinas.

Las citocininas contrarrestan el ácido abscísico dejando funcionar las giberelinas. Sus productos comerciales son la benciladenina, cinetina, tiourea y difenilurea.

Dzib (2003), reporta que las semillas de sotol, *Dasyilirion cedrosanum* Trel., después de un año de ser cosechadas y siendo sumergidas en ácido sulfúrico a 500 ppm durante un minuto se obtiene un alto porcentaje de germinación, alcanzando hasta un 93.66%. Esto se debe a que su aplicación rompe la latencia al inducir su síntesis en la sensibilidad de los tejidos permitiendo el crecimiento y desarrollo del embrión. Sin embargo, menciona que debido a un alto contenido de ácido giberélico en las semillas se presenta una intoxicación en la radícula.

El nitrato de potación (KNO_3) es otro de los reguladores comúnmente utilizados. Strickland *et. al.*, (1976), encontraron que la escarificación con KNO_3 a semillas de especies de zacate *Digitaria* puede triplicar la germinación, sin embargo mencionan que este ácido puede ser dañino para algunas de estas especies.

Algunos trabajos realizados indican que el preremajo de semillas de los zacates *Axonopus affinis* Chanse y *Eremochloa ophiuroides*, incremento el porcentaje de germinación y redujo el tiempo promedio de germinación a 20, 25, y 30 °C. El efecto de preremajo fue dependiente de la especie de zacate y la temperatura. La temperatura óptima para la germinación de esas especies de clima cálido fue de 30 °C. El máximo efecto en la germinación de ambas especies de zacates se obtuvo remojando las semillas de estos en soluciones al 2% de KNO_3 ,

concentraciones más altas de esta sal no mejoraron el porcentaje de germinación (Bush *et. al.*, 2000).

Katzman *et. al.*, (2001), reportan que los tratamientos con peróxido de hidrogeno con o sin NaOCl mejoran la tasa, uniformidad y porcentaje de germinación de las semillas. El trabajo se baso en mejorar el porcentaje de germinación de semillas de espinaca mediante tres tratamientos: el primero fue remoción de la testa; el segundo, remojo en agua y el tercero, remojo de semillas durante cuatro horas en NaOCl al 0.5%, lavándolas durante 15 horas en agua y remojándolas de nuevo en una solución al 0.3% de H₂O₂. Los estudios de germinación en cuatro variedades de espinaca se realizaron a temperatura constante de 18 °C (óptima) o a 30 °C (inhibitoria). A los 18 °C la testa de germinación fue maximizada con ambos tratamientos de hidratación, pero la uniformidad de germinación fue mayor para la semilla sin testa. Por lo tanto, estos tratamientos son recomendados para productores que no tienen la capacidad de mantener temperaturas frías durante la germinación o que no cuenten con los recursos económicos que requiere el enfriamiento de semillas.

Tratamientos con temperaturas

Frecuentemente sea utilizado temperaturas altas como un mecanismo para romper la latencia en semillas. Al parecer estas producen incrementos en la respiración y metabolismo, especialmente en semillas húmedas, cambiando el balance de los componentes intermedio del ciclo respiratorio, aun por otro lado su mantenimiento por tiempo prolongado puede ser desfavorable para la germinación de las semillas.

Sea comprobado que la temperatura tiene un efecto significativo sobre el porcentaje y la velocidad de germinación de semillas. Entre 5 y 15 °C, ambos

parámetros aumentaron con el incremento de la temperatura del cultivo, luego declinan, siendo la temperatura de 30 °C letal para la germinación (Cabello y Camelio, 2002).

Salomao y Mundim (2000), realizaron un trabajo en Brasil para estudiar el efecto sobre la germinación en dos lotes de semilla de *Carica papaya* por deshidratación de las semillas a 25 °C, seguida por exposiciones de las mismas a -20 °C o a -196 °C con o sin tratamientos de ácido giberélico. Estos autores encontraron que en la ausencia del ácido giberélico, la deshidratación incremento la germinación de un lote de semillas cuando el contenido de humedad se redujo de 59% a 6% y 5.3%. La deshidratación a 5.3% o 6.9%, seguida por exposición a temperaturas subcero y tratadas con ácido giberélico fue la combinación de tratamientos más eficaz para mejorar la germinación de las semillas de papaya.

Distribución del sotol en Coahuila

Según Velásquez (1983), en México se han identificado alrededor de 16 especies de sotol (*Dasyllirion* ssp.) repartidas principalmente en terrenos pedregosos, cerriles, calizos y rocosos. Las regiones donde crece naturalmente el sotol, se encuentra entre los 800 a 2400 msnm. Con precipitaciones mínimas de 250 mm, anuales y la máxima de 700 mm, con inviernos secos y veranos suaves.

Las zonas áridas del norte de nuestro país, que forma parte del desierto Chihuahuense, el sotol tiene una distribución de forma amplia. El estado de Coahuila se divide en tres áreas por sus tipos de climas: el occidente muy seco; el centro y sur, en los que se asocian climas desde los muy secos y secos semicálidos de sus bolsones y valle, hasta los semisecos templados y los templados sub-húmedos de las cumbres serranas, con predominancias de climas secos y por último el noreste semiseco y seco con influencia marítima más notoria

(Órnelas, 2004), con una temperatura media anual de 20 a 22 °C., el tipo de vegetación es denominado matorral desértico rosetófilo (Arce *et al*, 2004).

El número de especies de sotol identificados en Coahuila, varía dependiendo de los investigadores, algunos reportan 3 o 4, mientras que otros establecen hasta 6 o 7 especies. Aun que solo dos tienen características y propiedades para ser utilizados en la industria del alcohol: *D. cedrosanum* que es el más común y se encuentra presente sobre todo el centro y sur del estado. Esta especie también se localiza en la laguna, donde está presente el *D. duranguense*, el cual tiene características similares para ser utilizado en la producción de bebidas alcohólicas (López, 2005).

En el Estado de Coahuila hay otras especies presentes que no tienen características adecuadas para la industria del alcohol, pues tanto la planta como la piña son de tamaño más chicas, varias de ellas se desarrollan en zonas muy reducidas o muy específicas, lo que las pondría en riesgo de desaparecer si tuvieran un aprovechamiento intensivo como lo requiere una producción de licor de sotol (Villareal, 2001 citado por López, 2005).

En la zona de los charcos de Figueroa, del Municipio de Ocampo, existe una extensión bastante densa de sotol que se extiende hacia el este y el sur hasta la Sierra hermosa de Santa Rosa y el Puerto de Aura. A 25 kilómetros al oriente de Castaños, Coahuila, costeando con la sierra Madre Oriental, se extiende una gran área de sotol que ocupa extensos lomeríos. En algunas de estas regiones se le ha explotado en vinatas y es probable que se trate de *Dasyilirion cedrosanum* (Trelease, 1911 citado por Órnelas, 2004).

Importancia económica del sotol

Dentro del ámbito de la producción agropecuaria existen dos grandes categorías, los productos tradicionales y los no tradicionales.

- Productos tradicionales. Son aquellos productos ampliamente difundidos, comercializados y consumidos, tanto a nivel nacional como internacionalmente y el precio está establecido en los mercados, es decir desde el punto de vista comercial.
- Productos no tradicionales. Son los productos poco conocidos que no habían ocupado un lugar importante en las exportaciones y/o son cultivos de reciente introducción en la agricultura nacional, pero que juegan un papel importante en el ingreso rural a nivel regional.

El sotol podría considerarse dentro de la clasificación de los productos no tradicionales, aunque los tequilas y mezcales ya son conocidos y comercializados a gran escala tanto a nivel nacional como internacional, el sotol está creciendo su demanda de manera considerable, pero aun se perfila para ocupar estos nichos de mercado.

El sotol está considerado que dentro de las zonas áridas y semiáridas, comienza a tener importancia porque representa una importante fuente de ingreso y empleo para varias comunidades sobre todo a aquellas localizadas en áreas muy marginadas.

El sotol ha tenido muchos y muy variados usos, desde los primeros pobladores en el desierto hasta nuestros días, sin embargo, el propósito de uso no ha cambiado mucho, esto ha sido lo mismo como alimento tanto humano como para ganado, de construcción de casas, bebidas alcohólicas, con fines religiosos y culturales. El sotol es una planta con que existe una alta relación con la vida de las comunidades del desierto. Esta planta, como alimento se utiliza las flores, las cuales se guisan y preparan diferentes platillos (López y Portes, 2002).

Alimento

La parte central del tallo y más tierna del bulbo lo usaron los nativos de Arizona como alimento, los apaches comían los tallos tiernos de las flores, fue usado por los habitantes de las cuevas de los ríos Bravo y Pecos, quienes hacían harina o la cocinaban, se sabe que los Lipanes lo cocinaban en pozos con piedras calientes, a manera de tatema, del centro ya cocido hacían una harina para preparar panecillos o tortas, los Mezcaleros y los Chiricahuas, utilizaban el sotol en la misma forma que la planta del maguey comiendo las partes más tiernas. Los Apaches comían los tallos tiernos de las flores como una legumbre (IMPI, 2002, tomado de Hernández, 2008).

Fibra

Las hojas de varias especies del género *Dasyllirion*, debido a las características que presentan sus fibras, se emplean para hacer petates, sombreros, canastas, escobas, sandalias, sopladeros de fuego y muchos otros objetos. Se ha encontrado que la fibra de algunas especies de sotol presentan características para la elaboración de papel (Molina, 1983, tomado de Palma, 2000).

Forraje

Las cabezas o piñas que incluyen las partes centrales de las plantas, junto con las bases de las hojas, del genero *Dasyllirion*, son un buen alimento para el ganado en la época de sequia.

El sotol usado como forraje ha demostrado ser suficiente para mantener al ganado vacuno, incluso el lechero, en buenas condiciones durante periodos prolongados (SEMARNAT, 2001 citado por Hernández, 2008); ya tiene 77.7 % del valor nutritivo del que contiene la alfalfa (Rivera, 1997, citado por Padilla, 2004). El gabazo del sotol ya procesado, generalmente se emplea como alimento de vacas y cabras (Velásquez, 1983).

Ornamentales

Las porciones basales de las hojas de diversas especies de sotol, que por su forma peculiar reciben el nombre de “cucharitas”, se emplea para decorar interiores y exteriores en ranchos y pueblos, particularmente de fiestas religiosas. En algunos estados del norte de México se emplean plantas completas para decorar jardines de plazas, parques, casas, supermercados, escuelas, etc., (Palma, 2000, citado por Hernández, 2008).

Construcciones rusticas

Las hojas de varias especies del genero *Dasyllirion* se emplean escasamente en la construcción de techos de las chozas y los quites de la inflorescencia para entramado de techos y bardas rusticas. Además las plantas se utilizan como

barreras vivientes, las cuales son efectivas en el control de la erosión (Madrigal, 1988, citado por Dzib, 2003).

Aprovechamiento del sotol como bebida alcohólica

La mayoría de los usos del sotol, es de autoconsumo. Sin embargo, el uso más importante de esta planta es que se empleada como materia prima en la fabricación de una bebida alcohólica, al que comúnmente se le denomina sotol, la cual se obtiene cocinando las cabezas y fermentando el jugo, que aunque en menor medida que el mezcal, también es objeto de comercialización.

En los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila, estados dentro de la denominación de origen, es donde regularmente se fabrica el destilado mencionado anteriormente (Norma Oficial Mexicana, 2004).

El procedimiento de elaboración de sotol es similar al del mezcal y constituye una fuente de ingresos más o menos permanente para los trabajadores encargados de surtir la materia y para los que laboran en la producción de la bebida, la mayor parte de la cual se consume en las regiones cercanas a los centros de producción, ubicados en las regiones donde se desarrolla la planta.

El proceso dura varios días y debe destilarse gota por gota, a fin de producir la suavidad y sabor característico de este producto, que lo distingue como bebida de calidad, proceso en el que se jiman las hojas de la cabeza y se llevan a la cocción las piñas maduras obtenidas por 48 horas en hornos de cerámica blanca, posteriormente se pica la piña, mientras que prensas escurren el jugo, el cual se pone a fermentar por 72 horas en levaduras de champaña en un alambique de doble columna, lo que permite separar los azúcares de los alcoholes, logrando

una mayor pureza. Así se elabora el sotol blanco; cuya graduación alcohólica comercial debe ajustarse con agua de dilución (Norma Oficial Mexicana, 2004).

Diariamente se extrae un promedio de 20 piñas o cabezas de sotol, lo que significa una producción mensual de 600 piñas que generalmente es la capacidad de una vinata normal. Para producir un litro de vino se requiere dos piñas que, en promedio cada una pesa aproximadamente 15 kg requiriéndose de 12 a 15 días para la elaboración de la bebida alcohólica, generalmente se cuecen 300 cabezas aproximadamente, lográndose una producción de 150 litros por quemada, misma que se lleva a cabo cada 15 días, con lo que cual se tiene una producción mensual de más o menos 300 litros de sotol (Ortega y Villavicencio s.f. citado por Dzib, 2003).

Zarate (2002), elaboró una tabla de producción de sotol estimado en kilogramos a partir del diámetro de la piña en centímetros con la finalidad de tener una estimación aproximada de su peso, antes del corte, como se muestra en el siguiente Cuadro.

Cuadro 2.1 Tabla de Producción de sotol estimado en kilogramos a partir del diámetro de la piña. (Zarate, 2002)

Diámetro	Peso estimado	Límite inferior	Límite superior
18-20	12.655	10.5788	14.6962
21-25	15.654	12.7738	18.5333
26-30	20.207	17.1471	23.3026
31-35	25.652	22.3578	29.0970
36-40	31.990	28.3086	35.9928
41-45	39.221	34.9393	43.9742
46-50	47.345	42.2802	52.9885
51-55	56.361	50.3823	63.0009
56-60	66.270	59.2764	73.9938
61-60	77.071	68.9776	85.9583

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de producción de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas que pertenece al Departamento de Fitomejoramiento ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México., durante el semestre Agosto – Diciembre del 2010.

La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro se localiza entre las siguientes coordenadas geográficas, a 25° 22" latitud Norte y 101° 00" longitud Oeste y a una altitud de 1742 msnm, tiene una precipitación media anual de 2985 mm y se sitúa a siete kilómetros de la Ciudad de Saltillo, Coahuila.

Material genético

Se evaluaron semillas de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) colectada en el cañón de San Lorenzo, localizado entre las siguientes coordenadas geográficas, a 25° 25' 33" latitud norte y 100° 59' 58" longitud oeste; a una altitud de 2100 m.s.n.m. y a 5 kilómetros al sur del Municipio de Saltillo, Coahuila, durante el mes de enero del 2010. La semilla una vez colectada se limpio hasta eliminar impurezas como: tierra, tallos y restos de planta.

Tratamientos

Se aplicaron catorce tratamientos a base de bioreguladores tales como: Micorriza (0.0125, 0.025 y 0.0375 g/mL), Bacillus Subtilis (100, 75, 50 y 25%), Acido Fúlvico (1500, 2500, 3500, 4500 y 5500 ppm), KNO₃ (1 y 2%) y un testigo con agua, los cuales fueron identificados como muestra el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Tratamientos y dosis aplicados a semillas de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) bajo condiciones de laboratorio, Saltillo 2010.

IDENTIFICACION	TRATAMIENTO	DOSIS
1	Micorriza	0.0125 g/mL
2	Micorriza	0.025 g/mL
3	Micorriza	0.0375 g/mL
4	Bacillus Subtilis	100 %
5	Bacillus Subtilis	75 %
6	Bacillus Subtilis	50 %
7	Bacillus Subtilis	25 %
8	Ácido Fúlvico	1500 ppm
9	Ácido Fúlvico	2500 ppm
10	Ácido Fúlvico	3500 ppm
11	Ácido Fúlvico	4500 ppm
12	Ácido Fúlvico	5500 ppm
13	KNO ₃	0.1
14	KNO ₃	0.2
15	Testigo	Agua Corriente

Antes de aplicar los tratamientos se determinó la viabilidad del material genético para cerciorar que la respuesta fisiológica de la semilla fuera completamente dada por el tratamiento aplicado. Una vez evaluada, se procedió a aplicar los tratamientos en el papel filtro de cada unidad experimental implementando las pruebas de capacidad de germinación, índice de velocidad de emergencia, longitud media de hipocotilo y radícula, donde cada tratamiento se dispuso en 3 repeticiones.

Parámetros evaluados

Viabilidad

Esta variable se evaluó en dos tiempos, uno determinando la viabilidad inicial de la semilla recién estudiada, y otro considerando la viabilidad de la semilla en la prueba de capacidad de germinación con la aplicación de los tratamientos. Donde la metodología para evaluar la viabilidad del primer tiempo, se realizó conforme a las reglas internacionales ISTA (2009), determinando las semillas viables y no viables, en tres repeticiones de 25 semillas, sometidas a imbibición en agua corriente durante 24 horas en un tubo de ensayo de vidrio de 15 X100 mm.

Posteriormente se cortaron las semillas en forma longitudinal, con ayuda de una navaja de un solo filo sujetando la semilla con unas pinzas punta roma, dejando los cotiledones visibles y colocados en tubos de ensayo por repetición; cada tubo se aplicó una solución de 3, 4, 5 Trifenil Cloruro de Tetrazolio a una concentración del 1 %, envolviendo el tubo con papel de aluminio para cubrir de la luz la reacción; para acelerar la reacción los tubos se colocaron en una incubadora marca "SHEL LAB (SL)" a $35 \pm 1^\circ \text{C}$ por un tiempo de hora y media; y posteriormente se evaluó el número de semillas viables a través de la tinción roja intensa en los cotiledones y no viables cuando no presentan coloración (no existe cambio de color en los cotiledones) como se muestra el ejemplo (Figura 3.1), y para obtener el porcentaje, los resultados obtenidos se multiplicaron por cuatro.

En el segundo tiempo se consideró la suma de las plántulas normales y las anormales como semillas viables y semillas sin germinar como no viables dentro de la prueba de capacidad de germinación que más adelante se describe.

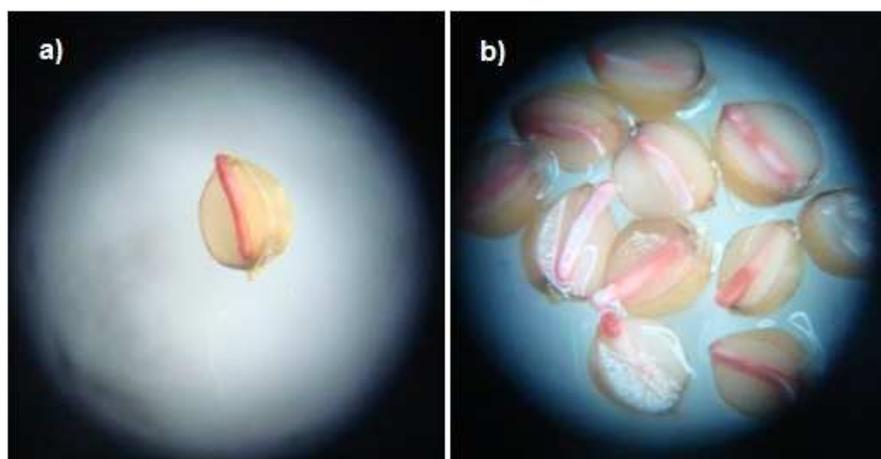


Figura 3.1 Ejemplo de una prueba de viabilidad con 3, 4, 5 Trifenil cloruro de Tetrazolio, a) Semilla de sotol viable; b) Semillas de sotol no viables.

Capacidad de germinación

Se realizó conforme a las Reglas internacionales ISTA (2009), sembrando 25 semillas en caja petri de vidrio de 13 x 20 sobre papel filtro Watman No.1 humedecido con 10 mL de cada tratamiento, teniendo cuatro cajas por tratamiento, considerando cada caja una repetición, una vez sembrada la semilla se identifico cada tratamiento con su respectiva repetición; se llevó a una cámara de germinación marca MARK III LAB-LINE a una temperatura de 25 ± 1 °C.

Se aplicaron 5 mL de cada tratamiento para mantener la humedad de cada caja; se realizó la evaluación a los 21 días de la siembra considerando plántulas normales, plántulas anormales y semillas sin germinar conforme a las reglas de la AOSA (1992).

Plántula normal

Se considero como plántula normal a aquellas que median tres veces el tamaño de la semilla, tanto la raíz como el hipócotilo.

Plántula anormal

Todas las semillas que mostraron presencia de raíz y/o hipócotilo, pero que la longitud de cada una era menos de tres veces el tamaño de la semilla se considero como plántula anormal y en estas no se evaluó LMH y LMR.

Semillas sin germinar

Se consideraron a todas aquellas que se mantuvieron intactas sin mostrar rompimiento de la testa, durante los 21 días de evaluación.

Vigor

La evaluación del vigor de la semilla con la aplicación de los tratamientos se determinó mediante las pruebas de índice de velocidad de emergencia, longitud de hipócotilo y longitud de radícula basadas por Maguirre (1962).

Índice de Velocidad de Emergencia (IVE)

Para la evaluación de esta variable, se sembraron 25 semillas en caja petri humedecido con 10 mL de cada tratamiento, como en la prueba de capacidad de germinación en cuatro repeticiones por tratamiento, identificando el tratamiento y repetición por cada caja; las cuales fueron llevadas a una cámara de germinación marca MARK III LAB-LINE a una temperatura de 25 ± 1 °C; al igual que en la CG se aplicaron 5 mL de cada tratamiento para mantener la humedad en unidad experimental. La evaluación de la prueba se realizó, registrando el número de semillas germinadas por día hasta llegar al total de 21 días de la prueba males y semillas sin germinar conforme a las reglas de la AOSA (1992).

Este parámetro revelo la capacidad que tuvieron las semillas para emerger en un periodo de tiempo determinado. El IVE se obtuvo contando diario las semillas emergidas durante 21 días después de la siembra. Considerando la ruptura de la testa como semilla emergida. Para calcular su valor se utilizo la siguiente formula de acuerdo con Maguirre (1962).

$$\text{IVE} = \sum \text{No.P/D} + \dots + \text{No.P/D}$$

Donde:

IVE = Índice de Velocidad de Emergencia

No.P = Numero de plantas emergidas

D = Días después de la siembra

Longitud Media del Hipócotilo (LMH) y Longitud Media de Raíz (LMR)

Para la evaluación de estas variables se consideraron las plántulas normales de las pruebas de capacidad de germinación e índice de velocidad de emergencia, descritas anteriormente.

Para determinar LMH se utilizó una regla de 20 cm, midiendo cada plántula de cada caja (repetición) por tratamiento, desde el nudo seminal hasta terminar los cotiledones, y mediante la suma de todas las medidas por repetición se dividió entre su número de plántulas para calcular el promedio dado en centímetros.

Para el caso de LMR se determino considerando nuevamente las mismas plántulas normales de las pruebas y midiendo desde el nudo seminal hasta el término de la raíz principal, calculando el promedio y expresado en centímetros.

Diseño experimental

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se analizaron mediante el lenguaje y ambiente estadístico R (R Core Team, 2010), se utilizó un diseño experimental completamente al azar con quince tratamientos y tres repeticiones cada uno, bajo el siguiente modelo estadístico:

Modelo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable observada

μ = Media general

α_i = Efecto de Tratamiento

E_{ij} = Error experimental

i = 1,2,.....,15 Tratamientos

j = 1,2,.....3 repeticiones

RESULTADOS Y DISCUSION

Viabilidad

En la prueba de viabilidad inicial en la muestra de semillas de sotol, se obtuvo un 85 % de semillas viables y un 15 % de no viables, como se muestra en la Figura 4.1, indicando que la semilla posiblemente esté en el límite de considerarla de buena calidad fisiológica ya que para la comercialización de semillas o en estudios sobre la germinación, según el SNICS lo recomendado debe ser un mínimo de 85 % (Flores, 2004 citado por Manuel *et al.*, 2007).

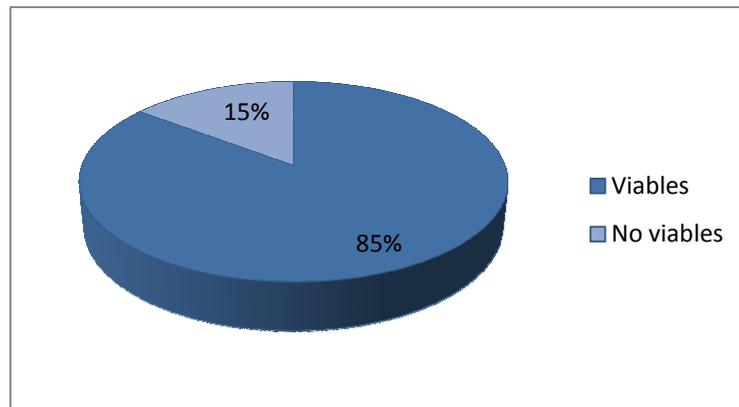


Figura 4.1 Porcentaje de viabilidad inicial en la muestra de semillas de sotol, *D. cedrosanum*, viables y no viables, 2010.

En el presente estudio se esperaba que la semilla tuviera una viabilidad por arriba de este valor; sin embargo existen durante la vida de la semilla muchos factores que afectan ligera o totalmente la calidad de la semilla como lo menciona Philpott (1981), uno de ellos, es la edad de la semilla que conforme aumenta se va

perdiendo su viabilidad y más cuando su almacenamiento no es el adecuado como menciona Pidi (1981).

Otro factor que puede interferir en la viabilidad de la semilla es el tiempo de maduración de la misma, es importante mencionar que la semilla no tiene el máximo poder germinativo al madurar el fruto, sino tiempo después, cuando la semilla acumula el máximo peso seco, máximo poder germinativo y vigor, a lo que se conoce como, madurez fisiológica (Thomson, 1979), posteriormente desciende hasta llegar a cero.

Calderón (2004), trabajó con semillas de sotol, *D. cedrosanum* Trel., de tres semanas de ser cosechadas, y obtuvo un 77 % de germinación con ácido sulfúrico a 75 ppm, y un 67% de germinación con la aplicación de ácido sulfúrico a 150 ppm. Por otro lado, Palma (2000), trabajo con semillas de sotol, *Dasyliirion spp*, con un periodo de almacenamiento de 2 años y concentraciones altas de ácido sulfúrico a 15 %, menciona que la germinación se llega a incrementar hasta un 92 %.

Cuando se realizó este trabajo, la edad de la muestra era de 9 meses. Por lo anterior es posible deducir que la edad pudo ser el factor que haya intervenido notablemente en el resultado.

Otros de los factores son el manejo inapropiado de la colecta, las condiciones y el equipo utilizado durante el manejo físico de la semilla antes de ser almacenada; lo cual es necesario comentar que la colecta del material en estudio fue realizado en el mes de enero del 2010 y por recomendaciones del INIFAP (2003), la mejor época de cosecha de semilla de *D. leiophyllun* en poblaciones naturales es de octubre a diciembre; aunque no se trato de la misma especie, pero sí de la misma

familia y género por lo que se puede deducir que no fue la época apropiada para la colecta de la semilla.

Viabilidad en los tratamientos

En Análisis de varianza (ANVA) en la variable viabilidad con la aplicación de tratamientos, no hubo ninguna diferencia significativa, como se muestra en el Cuadro 4.1; teniendo un coeficiente de variación de 7.97 %; sin embargo, existió una diferencia numérica entre los tratamientos, donde el T7 (*Bacillus subtilis* a 25 %) obtuvo una viabilidad de 97.3 % como se muestra en la Figura 4.1, seguido de T1 (Micorriza a 0.0125 g/mL) y T12 (Ácido Fúlvico a 5500 ppm) con un 94.7 y 93.3 % respectivamente. En el caso del Testigo, resultó con un 89.3 % de semillas viables y por último se encontró al tratamiento T14 (KNO_3 a 0.2 %) quien presentó el menor porcentaje de viabilidad de 77.3 %, indicando una baja respuesta fisiológica.

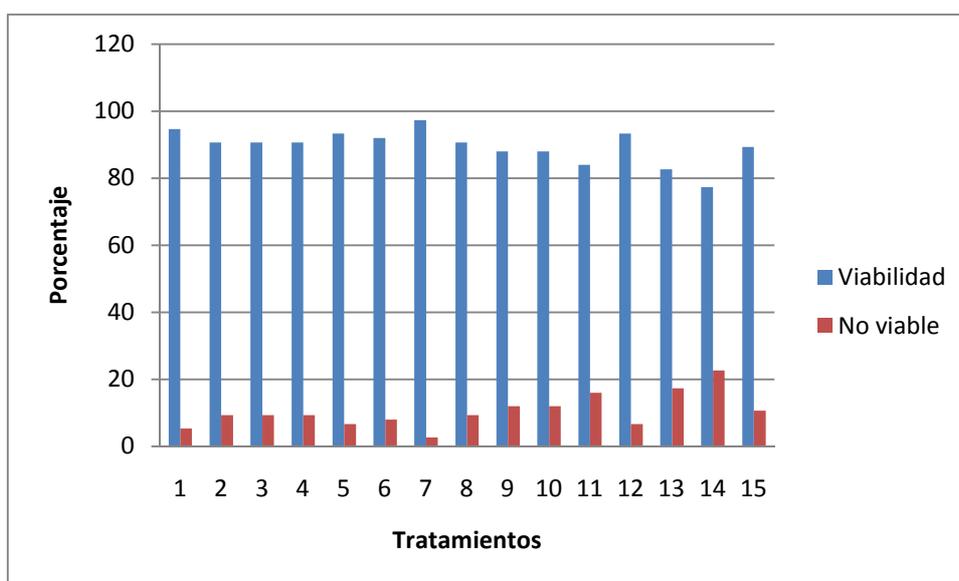


Figura 4.2 Porcentaje de la Viabilidad en semillas de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.), viables y no viables, aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, Saltillo, 2010

En lo que respecta a la variable no viables en el ANVA no mostro ninguna diferencia entre los tratamientos, como se observa en el Cuadro 4.1, con un CV de 67.98 %, donde la respuesta es inversamente proporcional a la de semillas viables, por lo tanto existe numéricamente diferencia entre los tratamientos, resultando con mayor porcentaje de semillas no viables a T14 (KNO₃ a 0.2%) con un 22.66 %, seguido por T13 (KNO₃ a 0.1 %) con un 17.33 %, seguido por T11 (Ácido Fúlvico a 4500 ppm) con un 16 %. Los mejores resultados se obtuvieron con T7 (Bacillus subtilis a 25 %) con un 2.66 %, seguido por T1 (Micorriza a 0.0125 g/mL) con un 5.33 % y el T12 (Ácido Fúlvico a 5500 ppm) con un 6.66 %. En el caso del testigo arrojó un resultado con mayor porcentaje de semillas no viables (10.6 %), que en comparación con algunos tratamientos con bioreguladores a ciertas concentraciones.

Cuadro 4.1 Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficiente de variación en la variable de viabilidad en semillas de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010

Fuentes de variación	Grados de libertad		
	Viabilidad	No viable	
Tratamientos	14	76.85NS	76.85NS
Error	30	50.84	50.84
Coeficiente de variación (%)		7.97	67.98

NS = No significativo

Capacidad de germinación

Plántula Normal

En el ANVA para la variable plántulas normales, no existió diferencia significativa entre los tratamientos, teniendo un CV de 30.54 % como muestra el Cuadro 4.2, sin embargo numéricamente se encontró que algunos tratamientos obtuvieron altos valores de germinación dando plántulas normales, como T5 (Bacillus subtilis a 75 %) y T8 (Ácido Fúlvicos a 1500 ppm) ambos con 78.7 %, seguidos del T7 (Bacillus subtilis a 25 %) con un 72 % de germinación como se observa en la Figura 4.3.

Cuadro 4.2 Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficiente de variación en las variables de capacidad de germinación en semillas de sotol (*Dasyliion cedrosanum* Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010

Fuentes de variación	Grados de libertad	Plántulas Normales	Plántulas Anormales	Semillas Sin Germinar
Tratamientos	14	617.65NS	364.85NS	76.85NS
Error	30	316.09	230.04	50.84
Coeficiente de variación (%)		30.54	48.47	67.98

NS = No significativo; Plántulas normales (capacidad de germinación); Plántulas anormales y Semillas sin germinar (muerta, fresca o latente)

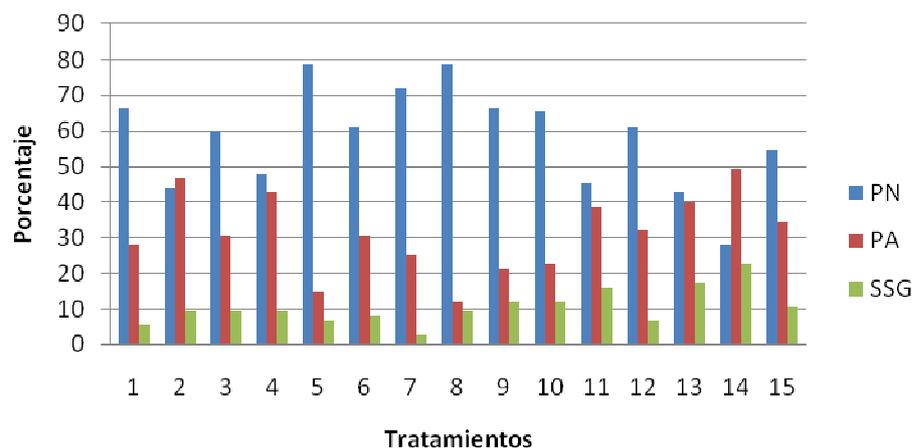


Figura 4.3 Comportamiento de la capacidad de germinación en semillas de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.), aplicando bio reguladores en condiciones de laboratorio, Saltillo, 2010

Los tratamientos que mostraron menores resultados son el T14 (KNO_3 al 0.2 %) con un 28 %, seguido por el T13 (KNO_3 al 0.1 %) con un 42.67 %, seguido por T2 (Micorriza al 0.025 g/mL) con un 44 %, como se observa en la misma Figura 4.3, donde el Testigo quedo ubicado entre los tratamientos con menor porcentaje de plántulas normales, ocupando el decimo lugar con un 54.67 %.

Plántula Anormal

La variable de Plántula Anormal no mostro ninguna diferencia significativa en el ANVA, tiene un CV de 48.47 % como se observa en el Cuadro 4.2, pero al igual que las medias de las PN tiene una diferencia numérica como se expresa la Figura 4.3, el resultado más alto lo obtuvo el T14 (KNO_3 a 0.2 %) con un 49.33 %, seguido por T2 (Micorriza al 0.025 g/mL) con un 46.67 %, seguido con T4 (Bacillus subtilis al 100 %) con un 42.67 %, como vemos el porcentaje de plántulas anormales en estos tres primeros valores casi alcanza el 50 % anormalidad.

Por otro lado los tratamientos que expresaron menor porcentaje de plántulas anormales se describen a continuación, T8 (Ácido Fúlvico a 1500 ppm) con un 12 %, seguido por T5 (Bacillus subtilis a 75%) con un 14.67 % y seguido por T9 (Ácido Fúlvico a 2500 ppm) con un 21.33 %. El testigo se ubico en el sexto lugar con mayor plántula anormal con un 34.67 %.

Semilla Sin Germinar

La variable Semilla Sin Germinar en el ANVA no mostró ninguna diferencia significativa, teniendo un CV de 67.98 % como señala el Cuadro 4.2. Sin embargo se tuvieron diferencias numéricas entre los tratamientos, resultando con el mayor porcentaje de semillas sin germinar T14 (KNO₃ al 0.2 %) con un 22.66 %, seguido con el T13 (KNO₃ al 0.1 %) con un 17.33 % y seguido el T11 (Ácido Fúlvico a 4500 ppm) con un 16 % como indica la Figura 4.3. En cambio los tratamientos que expresaron mayor porcentaje de germinación y menor en semillas sin germinar como se mencionó fueron T7 (Bacillus subtilis a 25 %) con un 2.66 %, T1 (Micorriza al 0.0125 g/mL) con un 5.33 % T12 (Ácido Fúlvico a 5500 ppm) con un 6.66 %; mientras que el Testigo fue uno de los que obtuvo mayor porcentaje en semillas sin germinar teniendo un 10.66 % mostrado en la misma Figura.

Vigor

Índice de Velocidad de Emergencia

Los resultados del ANVA para esta variable mostró una alta diferencia significativa entre los tratamientos, con un CV de 17.69 % como se muestra en el Cuadro 4.3; lo cual indica que en al menos un tratamientos se comporto diferente entre ellos; por lo que se realizó una prueba de comparación de medias mostrando que precisamente uno de los tratamientos con Ácido Fúlvico (T11) formo el primer grupo estadístico A, mientras que T5, T8, T9, T10 y T12 AB, el grupo estadístico ABC se conformo por T1, T2, T3, T4, T6, T7 y T15, el grupo BC

por T13 y el grupo C por T14 como lo muestra la Figura 4.4; sobresaliendo los tratamientos T11, T10 y T12 que son Ácidos Fúlvicos a 4500, 3500, 5500 ppm obteniendo los mayores índices de emergencia con 20.9, 19.6 y 19.5 plántulas/día, confirmando el efecto positivo en la promoción fisiológica de la semilla al aplicar Ácido Fúlvico; que a diferencia de otro autor (Dzib, 2003), aplicando ácido giberélico como promotor en *D. cedrosanum* Trel obtuvo valores muy bajos de emergencia, sin embargo esta diferencia pudiera deberse primeramente porque se trata de otro tratamiento y otra la semilla tenía un mes de haber sido cosechada.

Cuadro 4.3 Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficiente de variación en las variables de viabilidad y vigor en semillas de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010

Fuentes de variación	Grados de libertad	Índice de velocidad de emergencia	Longitud media de hipocotilo	Longitud media de radícula
Tratamientos	14	36.37**	0.27 ^{NS}	1.56*
Error	30	7.77	0.56	0.76
Coeficiente de variación (%)		17.69	27.98	28.86

** = Altamente significativo al 1% de probabilidad, * = Significativo al 0.05 % de probabilidad, NS = No significativo

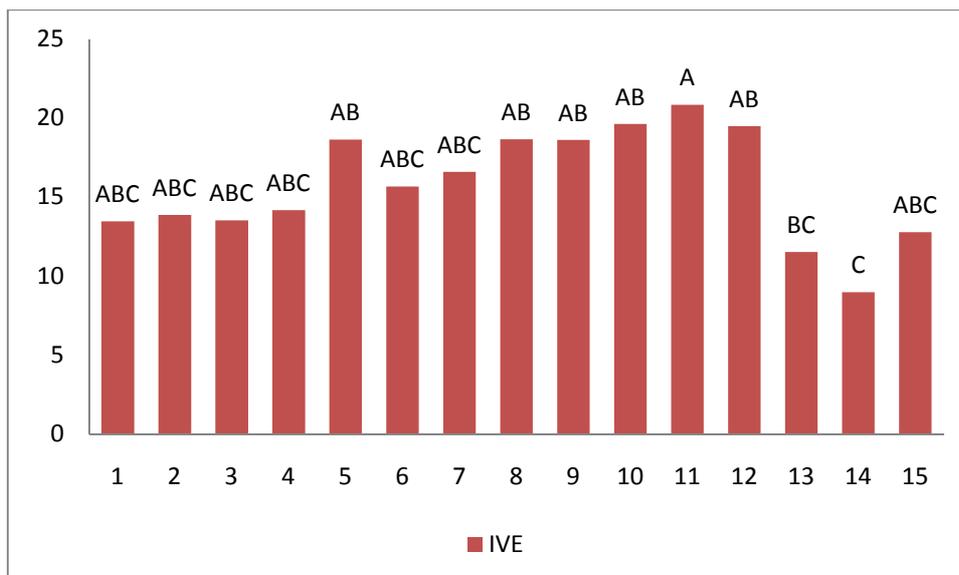


Figura 4.4 Comportamiento del índice de velocidad de emergencia en semillas de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010

En la Figura 4.4, se puede observar que los tratamientos que obtuvieron un menor IVE y que formaron los tres últimos grupos estadísticos fueron el T15 (Testigo con 12.77 plántulas/día) y los tratamientos con aplicación de KNO_3 , donde T13 y 14 presentaron 11.53 y 8.96 plántulas/día; que podemos mencionar que la aplicación de este compuesto le afecta negativamente a la fisiología de la semilla de esta especie y en el testigo, se confirma que la semilla no solo es baja su viabilidad sino que también es lenta su emergencia por lo que necesita ser aplicado un tratamiento para su óptima emergencia.

Longitud Media del Hipócotilo

Para la variable LMH en el vigor de la semilla, se encontró que en el ANVA existió ninguna diferencia significativa, con un CV de 27.98 % (Cuadro 4.3); y como se observa en la Figura 4.5, al comparar las medias generales de los tratamientos se observó muy poca diferencia; donde T7 (*Bacillus subtilis* a 25 %) obtuvo la mayor longitud de hipócotilo con 3.04 cm, seguido de T10 (Ácido Fúlvico a 3500 ppm) con 3.02 cm y T9 (Ácido Fúlvico a 2500 ppm) con 3.01 cm. En cambio T15

(Testigo), presentó uno de los valores más bajos de crecimiento con 2.42 cm, seguido de T11 (Ácido Fúlvico a 4500 ppm) y de T14 (KNO₃ a 0.2%) con 2.32 y 2.04 cm de LMH.

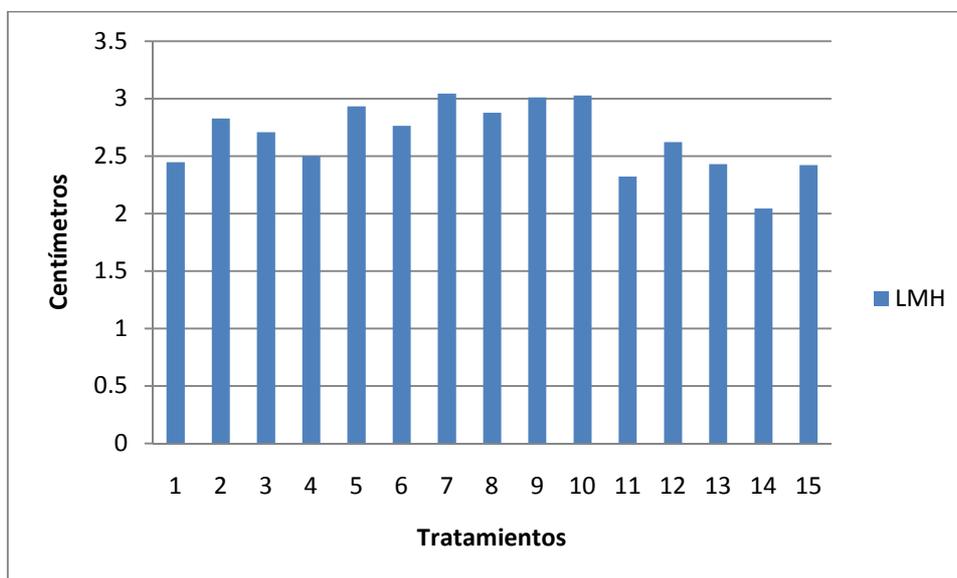


Figura 4.5 Comportamiento de la longitud media de hipocotilo en semillas de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010.

Longitud Media de la Radícula

En el ANVA en la longitud media de raíz, mostró diferencia significativa entre los tratamientos y reflejo un CV de 28.86 %, como indica el Cuadro 4.3. Lo que indica que al menos uno de los tratamientos arrojó diferencia al compararlos entre ellos; por lo que se hizo una comparación de medias en el cual se logró identificar la tendencia de los tratamientos, donde T2 (Micorriza a 0.025 g/mL) resultó con la mayor longitud con un 4.82 cm, seguido de T7 (Bacillus subtilis a 25 %) y T6 (Bacillus subtilis a 50 %) con 3.78 y 3.43 cm cada uno. En el caso del Testigo obtuvo un promedio en su longitud 3.37 cm; marcando una de las más altas longitudes junto con los anteriores, lo cual marca un aspecto que realmente la

aplicación de tratamientos en este especie hace favorable su crecimiento como se muestra en la Figura 4.6. Posiblemente el efecto positivo tanto de las Micorrizas y *B. subtilis* al aumentar el crecimiento de la radícula, se deba nuevamente a los compuestos que resultan de su metabolismo como ya sea mencionado anteriormente, como es la simbiosis a que tienen lugar las raíces de las plantas con los hongos y el efecto positivo que pueda aportar la liberación de subtilisina de las microorganismo *B. subtilis*.

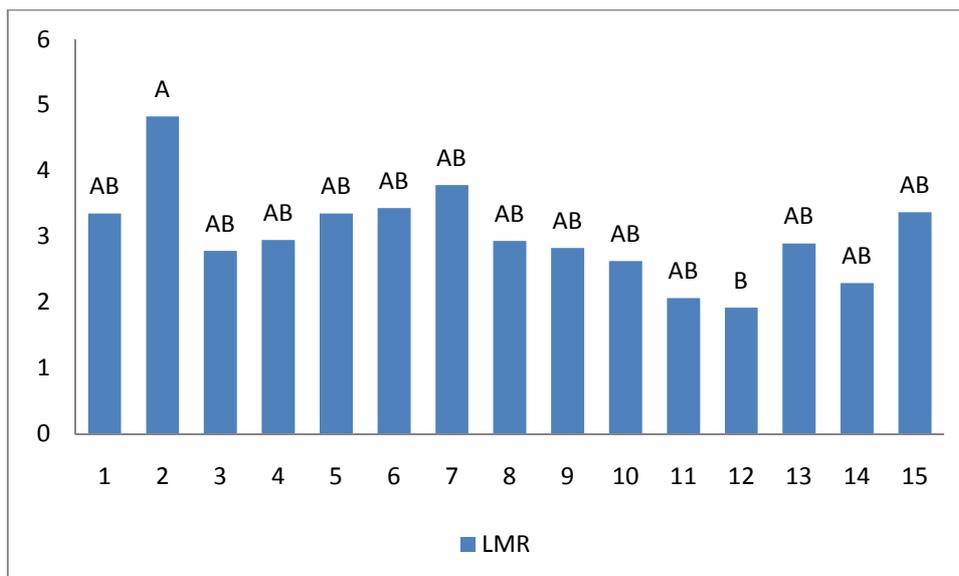


Figura 4.6 Comportamiento de la longitud media de radícula en semillas de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.), aplicando bioreguladores en condiciones de laboratorio, 2010

Mientras que los tratamientos T14 (KNO_3 a 0.2%) con 2.29 cm, seguido por T11 (Ácido Fúlvico a 4500 ppm) con 2.06 cm y T12 (Ácido Fúlvico a 5500 ppm) con 1.92 cm mostrados en la misma Figura resultaron con la menor longitud de raíz. Lo cual no coincide, para el caso de los Ácidos Fúlvicos, con el trabajo de Schnitzer y Poapts (1967), que demostraron que los Ácidos Fúlvicos estimulan la iniciación de la raíz en hipócotilos de frijol (*P. vulgaris*). Schnitzer y Poapts 1967 y Orlov, 1995 postularon que los grupos carboxilos y oxhidrilos fenólicos y alcohólicos de los Ácidos Fúlvicos son los responsables de la influencia en la raíz de los hipócotilos como un resultado de su actividad quelatante. Lo que nos

queda claro que los Ácidos Fúlvicos son buenos estimulantes en el crecimiento de la raíz, pero a ciertas concentraciones provocan un efecto antagonico en las semillas.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, se llego a las siguientes conclusiones:

- El Ácido Fúlvico a concentraciones elevadas promovió el IVE significativamente, aumentando los índices de emergencia y confirmo el efecto positivo de estas moléculas orgánicas en la promoción fisiológica de la semilla. Por otro lado, el Nitrato de Potasio (KNO_3) principalmente a concentraciones de 0.2 %, pero también a 0.1 % causa un efecto negativo, disminuyendo considerablemente la velocidad de emergencia de plántulas por día.
- En los tratamientos aplicados, la dosificación es una característica primordial a considerar, ya que puede revertir el resultado en los diferentes parámetros evaluados.

LITERATURA CITADA

- AOSA. 1992. Handbook on Tetrazolim Testing. Contrubution No. 32 to the Handbook on seed Testing, U.S.A.
- Arce, G. L.; R. J. Valdés; O. A. Valdés; D. A. Gallegos y G. E. R. Calderón. 2004a. Rompimiento de latencia en semillas de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) mediante escarificación física y ácido sulfúrico. Ciencia Forestal en México, 29(95): 496-500.
- Arce, G. L.; R. J. Valdés; O. A. Valdés; Del T. A. Gallegos y V. G. Padilla. 2004. Pruebas de germinación de semillas de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) utilizando extractos secos de lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr.) bajo condiciones de laboratorio. Ciencia Forestal en México, 29(95): 492-495.
- Bush, W., Shepard D. y G. McGlure. 2000. Enhancement of seed germination in common carpetgrass and centipedgrass seeds. HortScience, 35(4): 769-770.
- Cabello, A. y M. E. Camelio. 2002. Germinación de semillas y producción de plantas de Maitén (*Maytenus boaria* Mol.) Depto. de Silvicultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile.
- Calderón, G. E. R. 2004. Rompimiento de Latencia en Semillas de Sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) mediante Escarificación Física y Química. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

- Castellano M, E. y G. J. J Vergara. 1983. El Sotol Agricultura de Zonas Áridas. Chapingo. México.
- Copeland, L. O. y M. B. McDonald. 1985. Principles of seed science and Technology. 2^a Edition Mcmillan Publishing Company EUA. 321 p.
- Douglas, J. E. 1982. Programa de semillas. Guía de planeación y manejo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, Colombia. Pp. 123-163.
- Dzib, C. M. E. 2003. Rompimiento de latencia en semillas de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) utilizando algunos métodos físicos y químicos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
- Fariñas, M. J., G. Aguilar y A. Silva. 1997. Escarificación química de semillas de tres especies de Centrosoma para Sabanas bien drenadas. Zootecnia tropical. 15(2): 221-237.
- Hartmann, H. T., D. E. Kester y F. T. Davies. 1990. Plant Propagation. Principals and Practices Fifth. Ed. Prentice Hall N. J. USA.
- Hartmann, H. T. y D. E. Kester. 1988. Propagacion de Plantas. México, D.F. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. 760 p.
- Instituto Nacional Investigación Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1989. Establecimiento, Manejo y Producción de Cuatro Especies de Gramíneas, Forrajeras para Coahuila. Folleto para Productores N°5 Pp. 27.
- Instituto Nacional Investigación Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2003. Técnica para mejorar la calidad de la semilla de sotol (*Dasyilirion* spp.).Fichas tecnológicas sistema productivo.

- Katzman, S. L., G. A. Taylor y W. R. Langhans. 2001. Seed enhancements to improve spinach germination. *HortScience*, 36(5): 979-981.
- Khan, A. A. 1997. *The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination*. The Sevier/North Holland Biomedical Press. Pp. 30-50 USA
- Krieg, D. R. y S. N. Bartee. 1975. Cotton seed density. Associated germination and seedling emergence properties. *Agrom. Juor.* 67(3). 343-347. USA.
- Ladyman, J. A. R. (s.f.). *Dasyilirion wheeleri* S. Watson. *Agavaceae. Sotol* [en línea]. Disponible en <http://www.fs.fed.us/global/iitf/pdf/shrubs/Dasyilirion%20wheeleri.pdf#xml=http://www.fs.fed.us/cgi-bin/texis/searchallsites/search.allsites/xml.txt?query=dasyilirion&db=allsites&id=424ccb100>.
- López, B. L. A. 2005. El sotol en Coahuila, potenciales y limitaciones en: *Bebidas y regiones. Historia e impacto de la cultura etílica en México*. Contreras D.C. y Ortega, I. Ed. Plaza y Valdés, CoEd. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: Autónoma de Yucatán: Consejo para la Cultura y la Artes de Nuevo León. México. Págs.173.
- 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.
- Madrigal, L. R. 1988. *Introducción al tejido de células, tejidos y órganos vegetales*. Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológica. México. D.F.
- Maguirre, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop science, Madison*, v.2, p.176-177, 1962
- Manuel, I. R., M. A. Gil, V. B. Ramírez, S. J. H. Hernández y M. Bellon. *Calidad Física y Fisiológica de Semilla de Maíz Criollo Almacenada en Silo*

Metálico y con Métodos Tradicionales en Oaxaca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 30(1): 69-78, 2007.

Martínez, M. 1979. *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*, 3ª. reimp. 1994. Ed. Fondo de Cultura Económica. México. pp. 9, 10,11, 834, 1101.

Melgoza C. A. y T. J. S. Sierra.2003. Contribución al conocimiento y distribución de las especies de *Dasyilirion* spp. (Sotol) en Chihuahua, México. *Rev. Ciencia Forestal en México*, 93(28):25-40

Moreno M.E. 1996. El Análisis Físico y Biológico de las Semillas Agrícolas. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. Pp. 106.

Norma Oficial Mexicana. 2004. (Nom-159-SCFI-2004). Bebidas Alcohólicas-Sotol-Especificaciones y Métodos de Prueba. 29 Págs.

Orlov, D. S. 1995. Humic Substances of the Soil General Theory of Humification A. A. Balkema, Publishers, Old Post, Road, Brookfield, TV. USA.

Órnelas, I. P. 2004. Monografía del sotol. Monografía de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

Palma, E.J.I. 2000. Bases para la propagación de sotol (*Dasyilirion* spp.) vía in Vitro y por semillas. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Secretaria de investigación y Postgrado. Universidad Autónoma de Chihuahua. Cd. Delias, Chihuahua; México.

Panfleto Agrícola del Sol. 1999. Guatemala. Número de Registro 96-21.

Pérez, G. F. and Duran J. M. 1990. The Effect of Gibberelic acid on Germination of *Onopodorum nervosum*. Seeds. *Seed Science and Technology*. Vol. 18: 83-88. The Netherlands.

- Pidi, N. 1981. La multiplicación de las Plantas. Editorial de Vecchi. Barcelona, España.
- Potts, H. E. 1997. Semillas, Desarrollo, Estructuras y Función. Curso Sobre Producción de Semillas. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- Ramos, N. 1978. Factores que influyen en la germinación del pasto (*Brachiaria decumbens* stapf). Universidad Nacional-Instituto Colombiano Agropecuario (UN-ICA). Tesis de Maestría en Ciencias. Bogotá, Colombia. 128 p.
- Romahn de la Vega, C. F. 1992. *Principales productos forestales no maderables de México*. J. M. Rodríguez S. (Edit.). Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 22.
- Ruiz, O. M. 1979. Tratado Elemental de Botánica. Editorial ECLALSA. México, D.F.
- Salomao, N. A. y C. R. Mundim. 2000. Germination of papaya seed in response to desiccation, exposure to subzero temperatures, and gibberelic acid. HortScience, 35(5): 904-906.
- Sánchez, Y. P. y Ramírez M. V. 2006. Tratamientos Pregerminativos en Semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) Dc. Rev. Fac. Agron. (Luz), 23:257-272.
- Schnitzer, M. and P. Poapts. 1967. Effects of a soil humic compound on root initiation. Nature. 2134. 598-599.
- Strickland, R. W., C. Siro and C. Brisbane. 1976. Seed Production and Testing Problem in Tropical and Subtropical Pasture Species. Proc int. Seed tests Ass. Vol. 36(1):189-199. The Netherlands.

- Thomson, J. R. 1979. Introducción a la Tecnología de Semillas. Ed. Acribia Zaragoza, España. Pp. 301.
- UAN. 2006. *Conociendo el sotol*. Universidad autónoma de Coahuila. México. (en línea). Disponible en <http://www.uadec.mx/hub.cfm?FuseAction=simplee.especies.603>
- Valdez, O. A. 1998. La Latencia en Semillas Forrajeras. Memoria para el Curso de Producción de Semillas Forrajeras. UAAAN, México.
- Vázquez, S. Q. 2001. Combinación y concentración de reguladores de crecimiento para el enraizamiento de sotol (*Dasyilirion leiophillum* Engelm. Ex Trelease) in vitro. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad Autónoma de Chihuahua. Cd. Delias, Chihuahua; México.
- Velásquez, C.R. 1983. El Sotol. Agricultura de zonas áridas. Chapingo, México.
- Villarreal, Q. J. A. 2001. Listado Florísticos de México. XXIII. Flora de Coahuila. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F.
- Willian, R. L. 1991. Guía para la Manipulación de Semillas Forestales, Estudio con Especial Referencia a los Trópicos. FAO Montes 20/2 502 p.
- Zarate, L. A. 2002. "Poblaciones y su condición: Estudio Regional del Sotol" Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Gobierno del Estado de Coahuila. México.
- Zulay, F.V. 1998. Efecto del almacenamiento y Tratamiento con ácido sulfurico en semillas de *Brachiaria dictyoneura*. Zootecnia tropical. 16(2):277-286.