



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Morfología de semillas, germinación y plántulas de
Furcraea longaeva Karw. & Zucc. (Agavaceae)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B i ó l o g a

P R E S E N T A:

LAURA DE LA ROSA.



DIRECTOR DE TESIS:
DR. ABISAÍ JOSUÉ GARCÍA MENDOZA.
2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOJA DE DATOS DEL JURADO

<p>1.DATOS ALUMNO</p> <p>Apellido paterno Apellido materno Nombre Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Carrera</p>	<p>De la Rosa Laura Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología</p>
<p>2. Datos Tutor</p> <p>Grado Nombre Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>2. Datos Tutor</p> <p>Dr. Abisaí Josué García Mendoza</p>
<p>3. Datos Sinodal 1</p> <p>Grado Nombre Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>3. Datos Sinodal 1</p> <p>Dr. Raquel Galván Villanueva</p>
<p>4. Dato Sinodal 2</p> <p>Nombre Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>4. Datos Sinodal 2.</p> <p>Guillermina Murgía Sánchez</p>
<p>5. Datos Sinodal 3.</p> <p>Grado Nombre Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>5. Datos Sinodal 3.</p> <p>M. en C. María de los Angeles Aída Téllez Velasco</p>
<p>6. Datos Sinodal 4.</p> <p>Grado Nombre Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>6. Datos Sinodal 4.</p> <p>M. en C. María Adelaida Ocampo López</p>
<p>Datos trabajo escrito</p> <p>Título Núm. Páginas Año</p>	<p>Morfología de semillas, germinación y plántulas de <i>Furcraea longaeva</i> Karw. & Zucc. (Agavacea) 2010</p>



Waldvegetation auf der Höhe des Cerro de Paxtla (2500 m), südlich von Tehuacan.

AGRADECIMIENTOS.

Muchas gracias al Dr. Abisaí García-Mendoza, por su sabia y valiosa dirección del presente trabajo, pero especialmente gracias por la formación recibida durante la elaboración del mismo, el cual no hubiese concluido sin su infinita paciencia.

Especialmente gracias a la M. en C. Adelaida Ocampo, por sus valiosos consejos y observaciones, siempre acertadas, y su tiempo dispensado incondicionalmente y siempre con entusiasmo, para este trabajo.

A la M. en C. Aída Téllez Velasco, por aquellas largas sesiones de fotografía y tantas observaciones, siempre puntuales y acertadas.

A la Dra. Guillermina Murguía, quien generosamente me guió en la realización de las pruebas histoquímicas en preparaciones temporales.

A la Dra. Teresa Terrazas., de la Universidad Autónoma de Chapingo, por su apoyo, asesoría y fotografías de la superficie de semillas.

Gracias a la M. en C. Berenit Mendoza por su tiempo, dedicación y ayuda para tomar las fotografías en el microscopio electrónico de barrido del Instituto de Biología, UNAM.

Al Laboratorio de Micología del Instituto de Biología UNAM, por el préstamo de equipo para la preparación de los sustratos de germinación.

A la Dra. Silvia Santiago y al Dr. Joaquín Bueno, Colección Nacional de Insectos, Instituto de Biología, U.N.A.M.

Al Dr. Víctor Chávez del Laboratorio de Cultivo de Tejidos del Instituto de Biología UNAM, por permitirme usar parte de sus instalaciones y tomar muchas de las fotografías de este trabajo.

Al Laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias.U.N.A.M., por los análisis de suelos.

Muchas gracias a todos mis compañeros y amigos que con sus palabras y acciones me ayudaron durante la elaboración de este trabajo, en especial a M. en C. Sofia López, Ing. Arturo Ramírez Alpizar y Alejandro Gutiérrez Salazar, por su entusiasmo, compañerismo y apoyo incondicional.

A mis dos instigadores internacionales: Biól. Elizabeth Moreno Gutiérrez y Biól. Eduardo García Cruz, quienes con su valiosa amistad incentivaron persistentemente la conclusión del presente estudio.

RESUMEN.

Furcraea longaeva, Karw. y Zucc, es una especie endémica de México, de distribución restringida y discontinua, poco abundante que crece en el Estado de Oaxaca. Existe poca información de su ciclo de vida, tasa de germinación y viabilidad de las semillas, polinizadores, etc. No se le reconoce hasta el momento gran importancia económica, más allá de ser usada como forraje y algunas veces como jabón por su contenido de saponinas. Con el objeto de contribuir al conocimiento de esta especie, se realizaron estudios que comprenden pruebas de germinación a diferentes temperaturas (10, 15, 20, 25, 30 y 35°C) y exposición a 4 fotoperiodos, pruebas de viabilidad, descripción morfológica de la cubierta seminal, posición del embrión, pruebas histoquímicas y descripción de las plántulas. El análisis de Varianza de la tasa de germinación mostró que la temperatura ($F = 8.077$, $p > 0.0001$) tuvo un efecto significativo en la velocidad y porcentaje de germinación. Los porcentajes de viabilidad (96 %), coinciden con los resultados de germinación obtenidos. En el estudio morfológico de la semilla se describen las macroestructuras (funículo, ala, hilum, arilo), la microestructura (presencia de poros hialinos) y en la ultraestructura los patrones celulares. Las pruebas histoquímicas permitieron describir la forma y posición del embrión y el tipo de material de reserva, así como algunas estructuras internas. Este tipo de estudio aporta caracteres importantes para la biología del grupo.

ABSTRACT

Furcraea longaeva, Karw. y Zucc. (Agavaceae) is an endemic species of Mexico, with limited and discontinues distribution and few abundant, which use to grow in the State of Oaxaca. There's few information about its life's cycle, seed germination rate and viability, polinizadores, etc. Until now not economical importance has been reconized to it although it is used as forage and sometimes as soap for its saponins conteins. With the objective of contributing to the knowlegde of this specie, some studies have been done, such as germination's test (10, 15, 20, 25, 30 and 35 °C) and exposition to 4 fotoperiods, viability's test, coat seed description, embryo position, histochemistry's test, as well as the seedlings description. The Variance test of the germination's rate showed that the temperature ($F = 8.077$, $p > 0.0001$) had a significative efect in the

germination's velocity and percentage. The viability percentage (96%), coincide with the germination's results. In the seed's morphological studies macrostructures are described (funicul, wing, hilium, aril), in the microstructure (hialins poros) and in the ultrastructure cell's pattrons. The histochemistry's test allowed to describe the embryon's shapes and positions, as well as the storage material and some internal structures. This kind of study provides importants characters for the group taxonomy's.

CONTENIDO.

RESUMEN

	Página
1.- INTRODUCCIÓN.	1
Generalidades.	1
Germinación.	1
Mecanismos.	2
Factores y elementos de la germinación.	2
Semillas de la familia Agavaceae.	4
Germinación en Agavaceae.	5
Plántulas.	8
2. JUSTIFICACIÓN.	8
3. ANTECEDENTES.	
Taxonomía.	9
El género <i>Furcraea</i> .	9

Hábitat, clima y vegetación.	12
Usos.	12
Germinación en algunas especies.	12
Plántulas de cotiledón largo	15
4. OBJETIVOS.	17
5. MÉTODOS.	18
6. RESULTADOS.	21
Descripción de la morfología externa de la semilla.	21
Forma.	
Color.	
Textura.	
Superficie y ornamentaciones.	21
Ultraestructura al microscopio electrónico de barrido	23
Tamaño.	26
a) Relación largo, ancho, espesor, ala.	27
b) b)Porcentaje de semillas por tamaño.	28

Descripción de la morfología interna de la semilla	30
Posición del embrión.	30
Material de reserva.	32
Pruebas histoquímicas.	32
Localización de sustancias.	32
Estructuras.	33
Prueba de Viabilidad.	35
Comportamiento de la Germinación.	
Porcentaje de germinación.	37
Análisis de Varianza de la germinación.	38
Distribución de la germinación en el tiempo	39
Tiempo mínimo, medio y máximo de germinación.	41
Descripción de las plántulas.	44
Descripción.	46
Textura	49
Crecimiento.	49
Observaciones en campo.	50

7. DISCUSIÓN.	53
8. CONCLUSION .	59
9.- BIBLIOGRAFÍA	60

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

ÍNDICE DE CUADROS.	Página.
1: Comparación de la respuesta de germinación en varias especies de la familia Agavaceae.	7
2: Comparación de la respuesta germinativa de 9 especies de <i>Furcraea</i> , García-Mendoza (2001).	15
3. Microestructura de la cubierta seminal.	26
4. Valores obtenidos de la medición de 180 semillas.	26
5. Salida de Regresión entre las variables cuantificadas en la medición de semillas.	27
6. Porcentaje de semillas por tamaño.	28
7. Resultados de las pruebas histoquímicas.	32
8. Resultados de la prueba de viabilidad .	35
9. Porcentaje de germinación .	37
10. Análisis de Varianza.	39
11. Registro del tiempo mínimo, medio y máximo de germinación, para las semillas de <i>Furcraea longaeva</i> (AG6058).	42
12: Desarrollo de plántulas de <i>Furcraea longaeva</i> y estructuras.	47

ÍNDICE DE FIGURAS.

1. <i>Furcraea longaeva</i> .	10
2. Hábitat y habito.	11
3. Distribución de <i>Furcraea longaeva</i> en el estado de Oaxaca. Carta de climas.	13
4. Distribución de <i>Furcraea longaeva</i> en el estado de Oaxaca. Carta de vegetación.	14
5. Semillas de <i>Furcraea longaeva</i> .	22
6. Fotos al microscopio electrónico de barrido.	24
7. Comparación de la superficie de la semilla observada en MEB.	25
8. Pruebas histoquímicas	31
9. Prueba de viabilidad.	36
10. Comportamiento de germinación de las semillas con 6 temperaturas y fotoperiodo de 24 h.de luz.	39
11. Comportamiento de la germinación a 6 diferentes temperaturas y fotoperiodo de 12h de luz/12 h. de oscuridad.	40
12. Comportamiento de la germinación a 6 diferentes temperaturas y fotoperiodo de 24 h. de oscuridad.	40
13. Comportamiento de la germinación a 6 temperaturas y fotoperiodo de 14h. de luz/10 h. de oscuridad.	41
14. Plántulas de <i>Furcraea longaeva</i>	45
15. Plántulas de <i>Furcraea longaeva</i> MEXU I.	51
16. Plántulas de <i>Furcraea longaeva</i> en MEXU II.	52

1. INTRODUCCIÓN

Generalidades.

Dentro del ciclo de vida de las plantas con flores, una etapa crucial es la germinación de la semilla, dado que es la etapa más vulnerable del ciclo, esto es doblemente importante en aquellas especies que habitan zonas áridas o con climas extremos.

Las semillas son producto de la fecundación que tiene efecto durante la reproducción sexual de las plantas con flores. Representan una de las fases más importantes de su ciclo de vida y son el resultado de la recombinación genética, además de ser un medio natural para la dispersión, propagación y perpetuación de las especies. Se desarrollan a partir de un óvulo fecundado y en la madurez constan de las siguientes partes: cubierta seminal, esporofito joven parcialmente desarrollado llamado embrión, además de una cantidad variable (a veces ninguna) de endospermo. Cuando proceden de especies silvestres, son menos conocidas que las semillas de plantas agrícolas u hortícolas (Niembro, 1988).

Las semillas de algunas plantas son muy variables (eurispermas); sin embargo, en la gran mayoría de las especies se presentan caracteres morfológicos, anatómicos e histológicos estables (estenospermas), por lo que son utilizadas como elementos de identificación en taxonomía, arqueología, paleobotánica y manejo de fauna silvestre, así como en diversas actividades prácticas relacionadas con el manejo de viveros, jardines botánicos y bancos de germoplasma (Niembro, 1988).

Germinación.

El comportamiento germinativo de las especies posiblemente sea resultado de fuertes presiones de selección, las cuales han llevado a que la germinación ocurra cuando las condiciones ambientales favorecen el establecimiento de las plántulas. El conocer las condiciones ambientales en que se da la germinación, permite conocer algunas de las adaptaciones de las especies para su establecimiento y distribución (González- Zertuche, 1992).

La germinación es la perforación de la envoltura seminal por la radícula debido a la proliferación y alargamiento de las células radiculares (Evenari, 1957). El proceso de germinación consiste en la absorción de agua, la reactivación del metabolismo, así como la iniciación del crecimiento y desarrollo del embrión que se encuentra dentro de la semilla (Bidwell, 1979).

En general las semillas maduran en el interior del fruto, después de la maduración de las mismas y caída de los frutos, la semilla generalmente entra en letargo por un tiempo más o menos largo. Esto implica un período

de desarrollo posterior, el cual se denomina “postmaduración”. Existen muchas especies cuyas semillas poseen diferentes grados de latencia o patrones de germinación multimodal; frecuentemente esta variabilidad fisiológica está relacionada con diferencias en la morfología de la semilla (González-Zertuche, 1992).

En algunas semillas, gran parte del endospermo puede permanecer después de la germinación, encargándose de la nutrición del embrión en desarrollo. En este caso, los cotiledones permanecen en la semilla y funcionan principalmente como órganos absorbentes (Bidwell, 1979).

Mecanismos.

Los principales mecanismos que causan letargo en la semilla o lo prolongan impidiendo la germinación son los siguientes:

- Exigencia de luz.
- Altas temperaturas.
- Ausencia de agua.
- Saco seminal que impide el intercambio gaseoso y de agua.
- Inmadurez del embrión.
- Baja concentración de etileno.
- Ausencia de promotores del crecimiento.
- Presencia de inhibidores químicos.

Cuando se presentan las condiciones requeridas para romper el letargo, el embrión empieza a producir giberelinas y citocininas, necesarias para contrarrestar la acción de los inhibidores del crecimiento e iniciar el proceso de germinación (Bidwell, 1979).

Factores y elementos de la germinación.

Los factores principales que disparan la germinación son: agua, oxígeno, temperatura y luz.

El agua es importante en virtud de que antes de iniciar la germinación, las semillas se encuentran deshidratadas (del 5 al 20 % de su peso total). De hecho, el primer estadio de la germinación se llama imbibición. Al respecto, se tiene conocimiento de que no hay crecimiento sino hasta que se alcanza un cierto nivel crítico de agua. Después de la imbibición, la absorción de agua decrece, la germinación prosigue y empiezan a presentarse procesos irreversibles que llevan al crecimiento y desarrollo del embrión (Bidwell, 1979).

El oxígeno es necesario para la germinación de la semilla, pues el metabolismo durante los estadios iniciales del proceso, pasa de ser anaerobio a aerobio, tan pronto como la testa se rompe y el oxígeno se difunde en su interior (Bidwell, 1979).

La temperatura afecta la capacidad y la tasa de germinación sobre un intervalo definido y característico para cada especie; por lo tanto, hay temperaturas mínimas y máximas para la germinación de las semillas y entre éstas hay un amplio intervalo donde la germinación puede ser alcanzada. La temperatura óptima es aquella a la cual se da el más alto porcentaje de germinación en el tiempo más corto; a ambos extremos de la temperatura óptima, se obtiene una germinación máxima. Las especies pueden tener temperaturas máximas y mínimas ampliamente diferentes y es útil conocerlas para propósitos experimentales, descriptivos y para establecer cuando ocurre el 50% de la germinación, al cual se hace referencia como el GT50 (Bewley y Black, 1985).

La temperatura puede modificar la permeabilidad celular permitiendo el flujo de sustancias necesarias para la germinación; así mismo, modifica las enzimas y sus precursores, los cuales tienen un punto de activación dependiente de la temperatura. Por otra parte, el equilibrio de intermediarios respiratorios pueden ser desfavorables a altas temperaturas o promovidos a bajas temperaturas.

La exigencia de luz asegura que la germinación ocurra solamente en la superficie del suelo o cerca de ella. El pigmento fotosensible es el fitocromo, siendo la luz roja (650 nm) promotora de la germinación y la luz rojo lejano (730 nm) inhibitoria. Quizás este sea un mecanismo que favorece la presencia de un intercambiador para la síntesis de Ácido Giberélico (GA) y Ácido Abscísico (ABA). Se cree que el fitocromo se liga a la membrana celular cuando se ilumina y ahí modula la acción del GA, de modo que el mecanismo de control probablemente esté asociado a membranas celulares (Bidwell, 1979).

Con base en la sensibilidad a la luz, las semillas se clasifican en tres grupos (Côme, 1968):

- a) fotoblásticas positivas (necesitan de luz para germinar).
- b) fotoblásticas negativas (la luz inhibe su germinación).
- c) indiferentes (la luz no es condicionante para la germinación).

Otros factores importantes para la germinación son la edad de la semilla y su morfología. Hay referencia de que algunas sobrevivieron a almacenajes de más de 100 años y aunque la mayoría duran pocos años, algunas sobreviven solamente días o semanas. El almacenaje a bajas

temperaturas obstaculiza parcialmente la absorción de oxígeno, frenando el metabolismo y la autooxidación, alargando de ese modo la vida de la semilla (Bidwell, 1979).

Una vez que la semilla ha germinado, la radícula crece y permite el desarrollo de las partes de la plántula, la formación del cotiledón verde y en la base de este, a través de un poro, empiezan a emerger hojas plumulares. La base del cotiledón está normalmente a nivel del suelo y los remanentes de la semilla son elevados hacia la parte aérea. Con semillas muy grandes el cotiledón puede formar un arco dejando a la semilla pesada nuevamente en el suelo, incluso puede llegar a romperse entre los remanentes de la semilla y el botón plumular (Dahlgren y Clifford, 1982). La diferenciación del tejido vascular ocurre a partir de yemas foliares, formando rastros foliares (vasos vasculares, o cordones foliares) transformándose después en haces vasculares (Bidwell, 1979).

Para el estudio de las plantas se requiere conocer todos sus estadios de vida; dicho conocimiento debe estar sustentado en la obtención de cultivos a partir de semillas bien identificadas. En los trópicos, es de vital importancia el conocimiento de las plántulas debido a la gran mezcla y composición de la vegetación, cuya regeneración depende del crecimiento de las mismas, por lo que se hace necesario su conocimiento para su posible identificación y uso, ya que los estados juveniles de las plantas, son frecuentemente diferentes de las plantas adultas; aún teniendo experiencia en campo es difícil correlacionar las plántulas con adultos de una misma especie.

Las semillas de la familia Agavaceae.

Son negras, por lo general aplanadas, delgadas, rugosas o lisas, brillantes u opacas, el tamaño varía según la especie pero rara vez sobrepasan los dos centímetros de largo, la talla de las más pequeñas puede darse en milímetros. Tienen óvulos anatópos, es decir, el eje de la nucela está invertido quedando el micrópilo cercano al funículo (Dahlgren *et al.*, 1985).

Arnott (1962), realizó un trabajo descriptivo sobre las semillas, germinación y plántulas en *Yucca*, en donde reconoció la existencia de correlación entre el tipo de fruto y las características de la semilla. Además encontró que bajo ciertas condiciones los caracteres que usualmente distinguen semillas de diferentes especies pueden ser modificados por algunos factores como son: tamaño del fruto, posición individual de las semillas en el ovario y presencia o ausencia de constricciones dentro del fruto. Teniendo efectos importantes sobre la morfología de las semillas: el grosor, la textura, la forma, y la presencia y o ausencia de alas, así como la orientación del embrión.

Las semillas maduras de *Yucca* son negras y pueden ser aplanadas o esféricas. En algunas especies son de color mate, en otras brillantes; pero nunca vítreas como en *Beschorneria*. Algunas son ásperas, rugosas y onduladas, otras son lisas. La textura puede estar determinada por dos factores: a) Las ondulaciones largas y pliegues que producen diferentes encogimientos o contracciones dentro de las partes internas y externas de las semillas. b) La forma de la pared superficial de las células que comprenden o incluyen la epidermis de la semilla.

Un ejemplo claro de la utilidad de los caracteres constantes de las semillas en taxonomía es la investigación de Alvarez (1991) quien encontró similitudes en los patrones de incrustación de fitomelano en las semillas de *Furcraea* y *Beschorneria*, además consideró que los tipos de incrustación fitomelánica en las células de la testa seminal en Agavaceae pueden ser valorados como caracteres diagnósticos, pues sus resultados tienen correspondencia con los reportados por Arnott (1962), Verhoek (1975), Alvarez y Köhler (1987) y Alvarez (1986; 1989).

Germinación en Agavaceae.

No existen muchos trabajos sobre la germinación en Agavaceae, los pocos que existen se refieren a la germinación de semillas de *Agave*. Freeman, (1975) encontró que *Agave parryi* no tiene requerimientos de dormancia y germina igual en luz u oscuridad. La temperatura óptima de germinación es cercana a los 25°C y la germinación disminuye progresivamente ante el estrés de agua (-5.0 bars), y cesa a -10 bars. El pH óptimo para germinar se presenta entre 7 a 8, declinando a 8.5.

Así mismo, Freeman *et al.* (1977), en un estudio comparativo de 3 especies xerofíticas (*Agave lechuguilla*, *A. parryi* y *Fouquieria splendens*), estudiadas bajo un diseño de fluctuaciones de temperaturas diurnas para simular la temperatura del suelo durante el verano, reportó que las tres especies germinaron bien a 35 °C, sin embargo, *A. lechuguilla* resultó ser muy sensitiva limitándose completamente su germinación, al rebasar las 10 horas de exposición a 40 °C, mientras que *A. parryi* fue menos sensible a dicha exposición, y aún menos sensible lo fue *F. splendens*. De lo anterior puede inferirse que la temperatura es un factor limitante para la germinación de estas especies, cuando se alcanzan los 40°C.

Valenzuela (1994) menciona que *Agave tequilana* tiene un bajo porcentaje de germinación, crecimiento lento y alta heterogeneidad de plántulas. Sin embargo, no se aclara las condiciones de temperatura, iluminación y sustrato utilizado para la germinación.

Pritchard y Miller (1995) consideran que la temperatura, la luz y la calidad de las semillas tienen influencia en la respuesta germinativa en *Agave americana*, pues los límites mínimo y máximo para la germinación en luz (12 h d⁻¹) estuvieron entre 11°C y 16°C, y entre los 36° y 40°C respectivamente. La germinación máxima ocurrió a temperaturas entre los 21° y 31°C. El Tiempo Mínimo necesario para la Germinación (MTG) fue registrado a los 26°C. En tanto que la reducción del fotoperíodo a 1 minuto de luz blanca por día no afectó significativamente la germinación, pero el Tiempo Mínimo de Germinación (MTG) aumentó considerablemente. Por su parte, la obscuridad dio por resultado una germinación menor y el aumento del MTG. Al inducirse la disminución de la calidad de las semillas, mediante la manipulación de 7 condiciones ambientales, el MTG se redujo progresivamente a los 26 °C.

Barrientos y Villegas (1985) reportan que el porcentaje de germinación es superior al 90% en *Agave sisalana* y *A. atrovirens*, sí se tiene la precaución de coleccionar la semilla en cuanto madure el fruto y se establezcan en una cama de siembra.

Matuda y Piña (1980), refiriéndose a estudios realizados para el género *Yucca*, señalan que los porcentajes de germinación en la mayoría de las especies oscilan entre 60 y 80 %; sin embargo, no hacen alusión clara a las condiciones metodológicas empleadas. La germinación de *Yucca whipplei*, (*Hesperoyucca whipplei*), *Y. parishii*, *Y. caespitosa*, y *Y. percusa* no presentaron diferencias significativas con respecto a la diferencia de edad de las semillas empleadas, sin embargo, el comportamiento germinativo fue inhibido a 40°C, así como también cuando se exponían las semillas durante 5 min. a 110 y 130°C. En los casos de *Yucca* subsp. *parishii* (las semillas más pesadas), y *Y. percusa* (las semillas más ligeras) presentaron los más bajos índices de germinación.

Por otra parte, González-Zertuche (1992) con base en los resultados obtenidos en su investigación del efecto de la temperatura en la germinación de *Manfreda brachystachya*, considera que el comportamiento germinativo de la especie es sensible a la temperatura. Sin embargo, el intervalo de 15°C a 33°C puede considerarse como amplio, y sugiere la no existencia de latencia para esta especie, ya que su germinación está restringida a los meses de agosto a octubre debido a condiciones climáticas.

Las diferencias de germinación encontradas en diferentes géneros y especies de la familia Agavaceae se pueden observar en el Cuadro 1.

ESPECIE	AUTOR	GERMINACION (%)	TEMP. (°C)	T. OPTIMA GERMINACION. (°c)	ALMACENAMIENTO (años)
<i>Yucca</i> (varias especies)	Arnott (1962)	80-90			
<i>Agave parryi</i> Engelm var. <i>parryi</i>	Freeman (1975)	80	25	25	
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Freeman <i>et al</i> (1977).		35	35	
<i>Agave deserti</i> Engelm.	Jordan y Nobel (1979)	27 - 92 - 31	11 -21 - 34	21	
<i>Yucca</i> sp. L.	Matuda y Piña (1980)	60 – 80			
<i>Yucca whipplei</i> subsp. <i>whipplei</i> Torr.	Keeley y Tuffenkian (1984)	48 – 2	25 - 40	25	2 y 1
<i>Yucca whipplei</i> subsp. <i>parishii</i> (M.E. Jones) A.L.Haines	Keeley y Tuffenkian (1984)	72 - 12	25 - 40	25	2 y 1
<i>Yucca whipplei</i> subsp. <i>caespitosa</i> (M.E. Jones) A.L.Haines	Keeley y Tuffenkian (1984)	57 - 11	25 - 40	25	2 y 1
<i>Yucca whipplei</i> subsp. <i>intermedia</i> A.L. Haines	Keeley y Tuffenkian (1984)	49 - 6	25 - 40	25	2 y 1
<i>Yucca whipplei</i> subsp. <i>percusa</i> A.L. Haines	Keeley y Tuffenkian (1984)	41 - 8	25 - 40	25	2 y 1
<i>Agave sisalana</i> Perrine ex Engelm. y <i>A. atrovirens</i> Karw. ex Salm-Dyck	Barrientos y Villegas (1985)	90			
<i>Agave tequilana</i> F.A.C. Weber	Valenzuela (1994)	bajo			
<i>Agave americana</i> L	Pritchard y Miller (1995)				
<i>Manfreda brachystachya</i> (Cav.) Rose	González-Zertuche y Orozco-Segovia (1996)	80 - 100	21-27		
<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore	Martínez-Palacios (1998)	70 -94			
<i>Polianthes</i> (3 especies)	Serrano, <i>et al.</i> (2000)	80 - 100	25	25	
suculentas perennes	Baskin y Baskin (1998)			20-25	

Nota: En la columna Germinación (%), donde aparece más de un valor, cada uno de ellos se corresponde con sus respectivas temperaturas en la columna Temperatura (°C).

Cuadro 1: Comparación de la respuesta de germinación en varias especies de la familia Agavaceae.

Plántulas.

Siguiendo los planteamientos de Boyd (1932), se reconocen tres tipos de plántulas para monocotiledóneas: el primero correspondería a una germinación epigea, mientras que los otros dos son de tipo hipógeo.

En el caso del Superorden Liliflorae es evidente una heterogeneidad en los tipos de plántulas registrados para los diferentes órdenes, siendo de particular interés el Orden Asparagales, el cual no se excluye de esta heterogeneidad, y donde se tienen registrados para *Yucca*, el tipo de plántulas denominado "B", caracterizado por lo siguiente: "Cotiledón no verde, plúmulas (lanceoladas) emergiendo a través de un poro incrustado en la base del cotiledón. En el género *Beaucarnea* de la familia Nolinaceae (Ruscaceae ahora), se registra el tipo "C" de plántulas, que si bien son similares al tipo "B", se diferencian por que las hojas plumulares emergen a través de un collar formado alrededor de la terminación del poro del cotiledón, Dahlgren y Clifford (1982).

Para Arnott (1962), las plántulas jóvenes de *Yucca* consisten en un eje corto, el epicótilo, que es continuo con la vaina basal del cotiledón en dirección hacia arriba y continuo con la raíz primaria hacia abajo. Por lo general, la primera de muchas hojas puede extenderse hacia arriba a través de la ranura de la hoja, pero usualmente puede desarrollar muchas raíces adventicias desde la unión del epicótilo y la radícula. Esa parte superior de la plántula es clorofílica, en tanto que la parte inferior puede ser menos colorida. El tipo exacto de verde es característico para una especie y los rangos van desde un ligero amarillo verde, a un verde oscuro. Esto se notó en las plántulas de *Yucca* que son similares a las de *Agave*, *Hesperaloë* y *Furcraea*.

2. Justificación.

Con base en lo anterior se decidió tomar como objeto de estudio a *Furcraea longaeva*, Karw. & Zucc., especie de la familia Agavaceae, endémica de México y que no tiene estudios sobre su biología de la germinación. *Furcraea longaeva* es una especie de distribución restringida y poco abundante en el estado de Oaxaca, de la que se desconocen la duración de su ciclo de vida, tasa de germinación y viabilidad, polinizadores, fauna asociada, edad reproductiva, asociación micorrizica, cariotipo, plagas y enfermedades. No se le reconoce hasta el momento gran importancia económica, más allá de ser usada como forraje y fuente de saponinas que al mezclarse con el agua forman espuma. Sin embargo, su importancia biológica es grande ya que llega a ser dominante en el matorral rosetofoilo donde habita.

3. ANTECEDENTES

Taxonomía.

El Orden Asparagales fue creado por Huber (1969) con base principalmente en las características del fruto y de la semilla, siendo la característica más constante el colapso del integumento interior (o tegmen) de la cubierta de las semillas maduras, el cual forma una membrana delgada (café o incolora), y la pared externa de la epidermis de la testa está provista con una capa más o menos gruesa de fitomelano que le proporciona el color negro.

El género *Furcraea*.

Furcraea tiene aproximadamente 25 especies que crecen desde el nivel del mar hasta los 3000 m de altitud. Es un género endémico de América, presente entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. Su límite norte es el Estado de Nayarit de donde se continua al sur por Centroamérica hasta Bolivia y quizá Paraguay, incluyendo las islas del Caribe, así como en las islas Galápagos (García-Mendoza, 2000). El área de mayor riqueza está en Chiapas (México) y Guatemala (García-Mendoza, 1995). Algunas especies son cultivadas por la fibra extraída de sus hojas (García-Mendoza y Lott, 1994).

El género tiene un gran potencial económico como productor de fibras, de esta manera ha sido empleado por diversas etnias de América y, con este fin algunas especies se introdujeron a varios países de África y Asia, donde tienen importancia económica (García- Mendoza, 2000).

Furcraea longaeva fue descrita por Karwinski & Zuccarini en 1832. Pertenece a la subfamilia Agavoideae (Dahlgren y Clifford, 1982), de la familia Agavaceae (Endlicher, 1836), familia que pertenece al Orden Asparagales (Huber, 1969) dentro de las monocotiledóneas.

La especie se distingue por sus grandes hojas linear – lanceoladas, suculentas, de color verde oscuro que tienen una relación ancho / largo de 1:9-11; inflorescencias no bulbilíferas con ramas terciarias y cuaternarias (Figs. 1 y 2).

Floración y fructificación. Florece de marzo a mayo, las flores son aromáticas (olor a miel) y producen néctar durante la noche. Los frutos maduran en octubre – febrero. La floración es espectacular, repentina masiva y espaciada por varios años, estando relacionada con la precipitación de años anteriores (García- Mendoza, 2000).

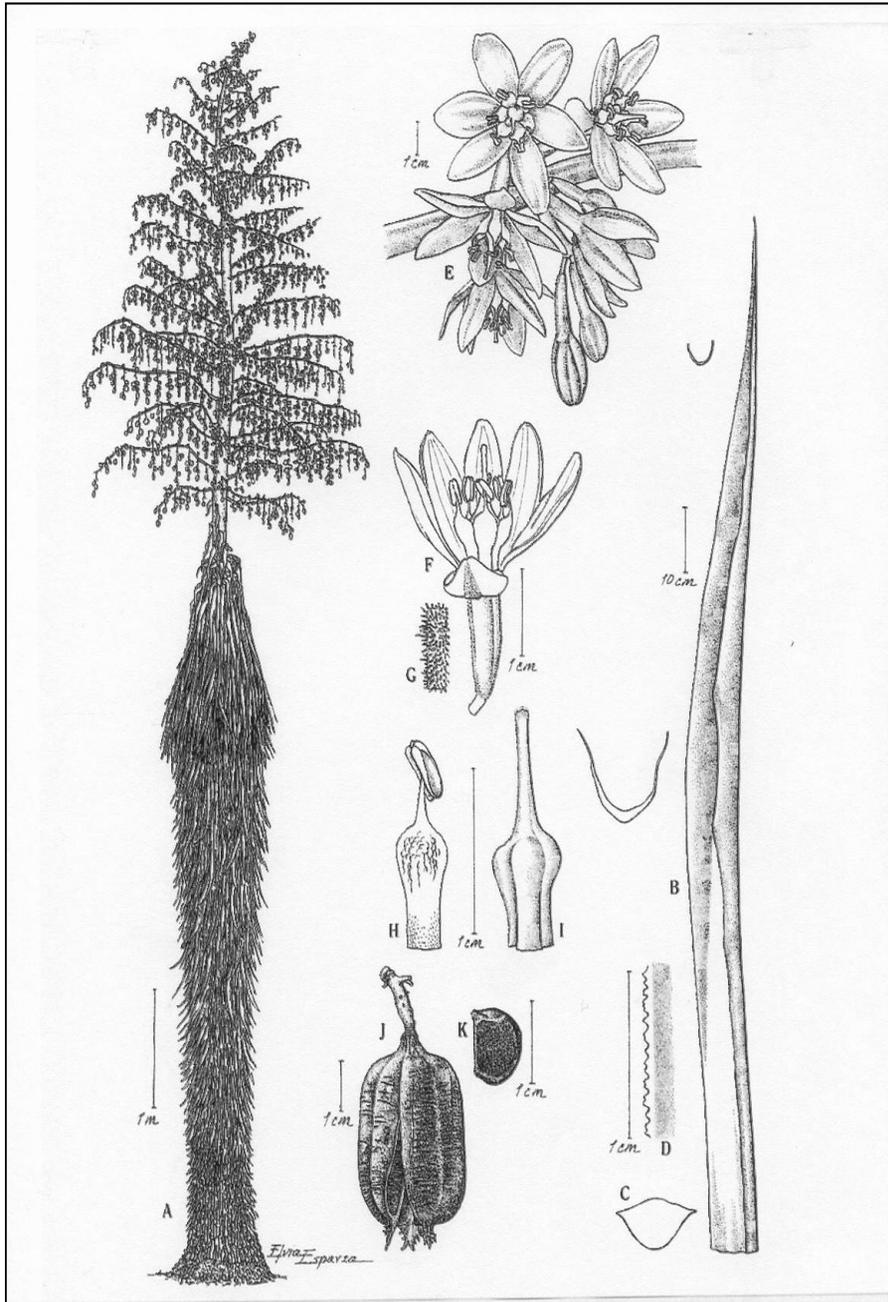


Figura 1. *Furcraea longaeva*. A. Planta con inflorescencia, B. Hoja, C. Secciones transversales, D. Detalle del margen, E. Ramilla terciaria con flores, F. Flor, G. Pubescencia del ovario, H. Estambre, I. Estilo, J. Cápsula, K. Semilla. (Tomado de García-Mendoza, 2001) .



Figura 2. Hábitat y hábito. A. Planta de 7 m en Cerro Paxtla, 2500 msnm. Foto tomada de Purpus (1908). B. Planta, con tronco de 6 m, roseta de aproximadamente 1 m de alto. Dto. Teposcolula, Oaxaca. C. Rama primaria y secundarias con frutos inmaduros. Dto. Teposcolula, Oaxaca. (Foto de García-Mendoza, 1995).

Hábitat, clima y vegetación.

Su distribución se restringe a las altas montañas de Oaxaca y Puebla. Nativa de las montañas de la Mixteca Alta, Sierra Madre del Sur y Sierra de Juárez. En Oaxaca, se desarrolla en los Distritos de: Coixtlahuaca, Miahuatlán, Teposcolula, y Yautepec, mientras que en Puebla crece en el Municipio de Caltepec. Presenta una distribución tipo insular, en altitudes mayores a los 2000 msnm. sobre los parteaguas de las montañas y en cañadas, hondonadas o arroyos intermitentes dentro del área de sotavento de la Sierra Madre del Sur, ya sea formando manchones o en forma solitaria. Parece preferir las peñas donde el suelo es somero. Crece en sitios abiertos del matorral rosetófilo con *Agave*, *Dasylirion* y *Nolina*; en bosques de *Quercus-Pinus* con *Arbutus*, *Brahea* y *Clethra*; en altitudes de 2200-3100 msnm. sobre suelos pedregosos de origen ígneo. (Figs. 3 y 4). En general se encuentra en climas templados (C), que pueden ser desde los más húmedos (w1) a los subhúmedos (w2) de la clasificación de Köppen, modificada por García (1989). Dichos climas se caracterizan por presentar inviernos benignos, donde predominan las plantas mesotermas (Fig. 3).

Usos.

Furcraea longaeva tiene usos domésticos, las hojas machacadas en agua se usan para lavar utensilios y ropa; ya secas se emplean para hacer amarres; las flores se usan como forraje y en los troncos secos se crían abejas, además de ser cultivada como ornamental. (García- Mendoza, 2000).

Nombres comunes: Pescadillo, tehuizote, palma, palmita, palmilla, cedro, yahuindayasi y pita.

Durante las visitas realizadas en 1995-1996 no se observaron plántulas ni tampoco semillas germinando en la zona, quizás debido al sobrepastoreo, la tala y el uso de esta especie como forraje para el ganado caprino y vacuno.

Germinación en algunas especies.

García-Mendoza (2001), realizó un estudio comparativo de respuestas de germinación en nueve especies de *Furcraea*. Las semillas que utilizó provenían de diferentes colectas y tiempos de almacenamiento, siendo particularmente exitosas las de *F. pubescens* (100%), *F. cahum* (95%) y *F. longaeva* (95%), las cuales se caracterizaron por no tener más de un año de almacenamiento (Cuadro 2).

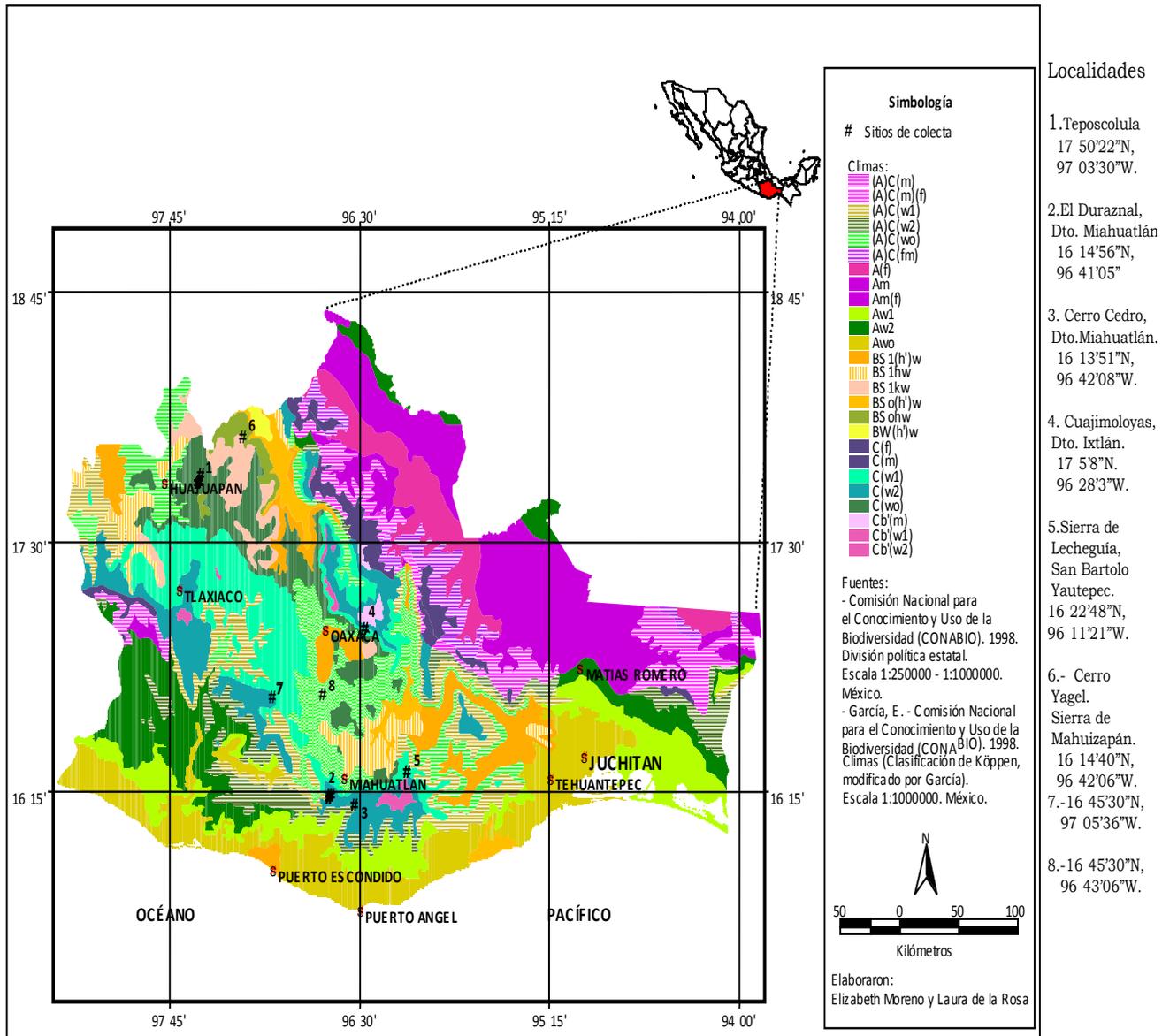


Figura 3. Distribución de *Furcraea longeva* en el estado de Oaxaca. Carta de climas.

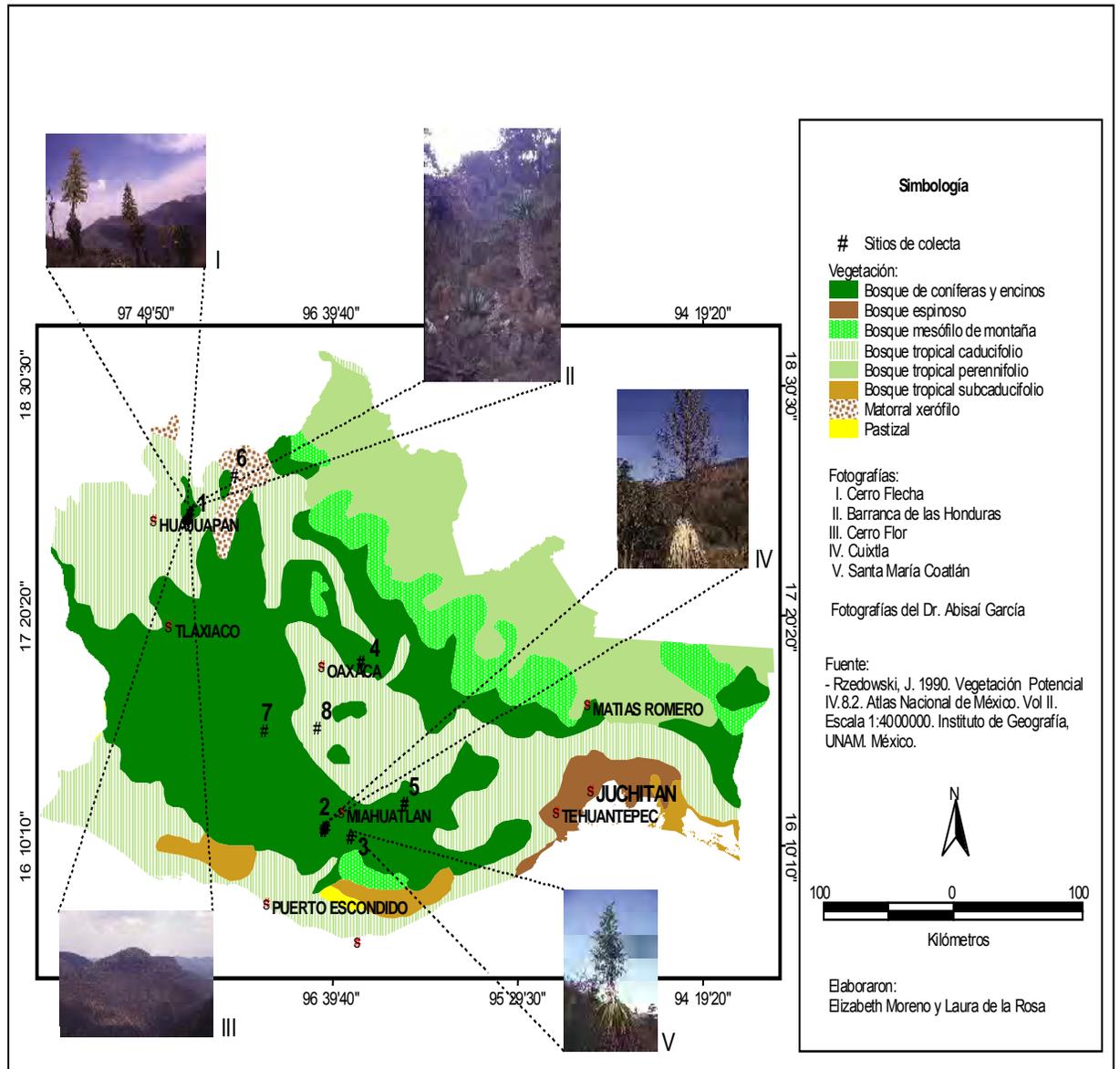


Figura 4. Distribución de *Furcraea longeva* en el Estado de Oaxaca. Carta de vegetación.

ESPECIES	ALMACENAMIENTO (años)	SEMILLAS (N) con Luz	GERMINACIÓN (%)	SEMILLAS (N) en Oscuridad	GERMINACIÓN (%)
<i>F. cahum</i> Trel. AG5587	7	40	100	20	95
<i>F. foetida</i> (L.)Haw. EM s.n.	8	40	0	20	0
<i>F. ixtli</i> García- Mend., P. Dávila & A. Castañeda. AG-3541	11	40	0	20	0
<i>F. ixtli</i> García- Mend., P. Dávila & A. Castañeda. AG-3582	12	40	0	20	0
<i>F. longaeva</i> Karw. & Zucc. AG-6376	2	40	92	20	95
<i>F. macdougallii</i> Matuda. AG5786	5	80	2.5	40	0
<i>F. martinezii</i> García-Mend. & L. de la Rosa. AG-4104	10	40	0	20	0
<i>F. parmentieri</i> (Roezl ex Orgies) García-Mend. AG-6222	2	80	56	40	60
<i>F. pubescens</i> Tod. AG-6371	2	40	100	20	100
<i>F. pubescens</i> Tod. AG-3520	9	80	0	40	0
<i>F. pubescens</i> Tod. GF-930	9	40	0	20	0
<i>F. quicheensis</i> Trel. AG-6299	2	40	45	20	35
<i>F. quicheensis</i> Trel. AG-3563	11	80	0	40	0

Cuadro 2: Comparación de la respuesta germinativa de 9 especies. de *Furcraea*, García-Mendoza (2001).

Plántulas de cotiledón largo.

García-Mendoza (2001), considera que *Furcraea* tiene dos tipos de plántulas, las de cotiledón largo y las de cotiledón corto. A estas últimas pertenecen *F. martinezii*, *F. parmentieri* y *F. longaeva*. Estas plántulas se caracterizan porque:

- 1) La raíz no se desarrolla profusamente.
- 2) Las hojas nacen tardíamente con respecto a las plántulas de cotiledón corto.

- 3) Las hojas son lineares y tienen forma de “v” en sección transversal.
- 4) La cubierta seminal es llevada por el crecimiento del cotiledón a varios centímetros por encima del sustrato.

Es importante realizar pruebas de germinación y viabilidad, puesto que si las condiciones de almacenamiento son inadecuadas, la viabilidad y el buen estado físico de las semillas pueden verse afectados, en tanto que se propician las condiciones para la presencia de plagas. Las pruebas de viabilidad pueden indicar si las condiciones de almacenamiento han sido o no las correctas. Este trabajo intenta conocer la viabilidad intrínseca de la especie, bajo ciertas condiciones de almacenamiento.

Con base en la información anteriormente señalada se planteó la siguiente hipótesis que sustenta este proyecto.

Hipótesis.

Se espera encontrar que las semillas de *Furcraea longaeva* observadas al microscopio presenten caracteres morfológicos constantes. El realizar diferentes pruebas histoquímicas, permitirá conocer parte de esos caracteres así como la posición del embrión. El someter a diferentes temperaturas y fotoperíodos las semillas de *Furcraea longaeva* permitirá conocer el comportamiento germinativo de la especie. Las pruebas de viabilidad confirmarán el buen estado de las semillas empleadas. Se espera obtener plántulas con caracteres uniformes para la especie.

4. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL:

Describir la morfología externa e interna de las semillas, determinar algunos parámetros físicos que disparan la germinación y conocer la morfología de las plántulas de *Furcraea longaeva* Karw. & Zucc. (Agavaceae).

Objetivos particulares:

- 1) Describir la morfología externa de la cubierta seminal.
- 2) Describir la morfología interna de la semilla.
- 3) Efectuar pruebas de germinación con seis diferentes temperaturas.
- 4) Efectuar pruebas de germinación con diferentes fotoperíodos.
- 5) Determinar la viabilidad de las semillas.
- 6) Describir las plántulas.

5. MÉTODOS.

La presente investigación se planteó con base en los resultados de germinación para agaves, obtenidos para especies desérticas por Freeman (1975), Freeman *et al.* (1977), Freeman y Reid (1985), en donde se destaca el papel de la temperatura, pH, fotoperíodo y la no existencia de latencia o dormancia.

El material de trabajo proviene de la muestra colectada el 1° de mayo de 1995 en la Ladera N del Cerro Garabatal, Nopala, Oaxaca, Dto. de Teposcolula, correspondiente al número de colecta AG6058 cuyo respaldo de herbario se encuentra en MEXU.

Las semillas de AG6058, fueron colectadas de la planta, los frutos maduraron a temperatura ambiente y fueron almacenadas durante un mes antes de iniciar las pruebas de germinación, que tuvieron una duración de 6 meses.

Las semillas fueron expuestas a 4 diferentes fotoperíodos y a 6 diferentes temperaturas. Se consideró la presencia de radícula como indicador de germinación. En las pruebas de viabilidad se utilizó tricloruro de tetrazolio como recomienda Thomson (1979) e I.S.T.A. (1985).

En correlación con los datos que se obtuvieron en las diferentes pruebas efectuadas se determinó, si las condiciones de almacenamiento eran adecuadas.

Objetivo 1:

Morfología externa.

Se consideraron los siguientes parámetros: largo, ancho, volumen, color, derivados epidérmicos y ornamentaciones de la superficie. Se escogieron 180 semillas al azar. Las observaciones de la testa se hicieron utilizando un microscopio estereoscópico y las mediciones se hicieron con un vernier digital marca Mitutoyo, Md CD-6"p. Se tomaron fotografías de la superficie de la semilla al microscopio electrónico de barrido (15 kv x 160), en el Lab. de Anatomía de la Universidad Autónoma de Chapingo y en el Microscopio Electrónico de Barrido (HITACHI S-2460N) del Departamento de Botánica del Instituto de Biología de la U.N.A.M., donde 10 semillas seleccionadas al azar de AG6058 se montaron en "strubs" portaobjetos de aluminio y se bañaron en oro-paladio con el ionizador EMITECH K550. Las microfotografías del MEB fueron registradas en película Kodak T MAX 100. Para la descripción de la microestructura de la testa de la semillas se utilizó el criterio de Barthlott (1981).

Objetivo 2.

Morfología interna.

Se consideraron: la posición del embrión y presencia o ausencia de material de reserva. Se seleccionaron 10 semillas al azar, que fueron incluidas en parafina (Paraplast Tissue Embedding médium Reoerde No 8889-501006, Oxford, Labware, USA). Se utilizó micrótopo de deslizamiento para obtener cortes transversales y longitudinales de 7 y 9 μ , el montaje se realizó mediante agua y grenetina en porta objetos numerados, utilizando safranina y verde rápido (metilcelosolve) para facilitar el contraste de estructuras. Posteriormente, se hicieron pruebas histoquímicas en el material de reserva a fin de conocer sus características particulares con base en la propuesta de López-Curto *et al.* (1998) para carbohidratos solubles, insolubles, lípidos y proteínas. Dichas pruebas se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Citología de la Facultad de Ciencias, U.N.A.M.

Objetivo 3 y 4.

Pruebas de germinación.

Las semillas fueron expuestas a seis diferentes temperaturas (10°, 15°, 20°, 25°, 30°, y 35°C). Para cada temperatura se consideró además:

- a) exposición a fotoperíodos de 12 horas luz, 12 horas oscuridad.
- b) 10 horas luz por 14 horas de oscuridad.
- c) luz constante.
- d) oscuridad constante.

Cada experimento tuvo 3 réplicas y en cada uno se emplearon cajas petri de 12 cm de diámetro con medio de cultivo agar 0.5 Normal, (pH neutro). Cada caja contenía 10 semillas escogidas al azar y desinfectadas previamente con un fungicida al 5 % (Captán) Posteriormente fueron colocadas en una cámara de germinación de la marca Precision Scientific, Inc, modelo 818 en donde se expusieron a las diferentes temperaturas y fotoperíodos mencionados. Los conteos se hicieron cada 24 hrs. durante 20 días.

Objetivo 5.

Viabilidad de las semillas almacenadas.

Con el fin de corroborar la viabilidad, 50 semillas fueron embebidas en tricloruro de tetrazolio, (Thomson, 1979) e I.S.T.A. (1985). Se tomaron

fotografías. El trabajo se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos, del Jardín Botánico, U.N.A.M.

Objetivo 6.

Descripción de plántulas.

Las plántulas obtenidas de las pruebas de germinación, fueron transplantadas a un sustrato de una mezcla en proporción 1:1:1 de tierra de hoja, tierra negra y tepojal, de pH 7. regándose con agua del grifo cada tercer día. Cada mes se registró la aparición de hojas, y talla máxima alcanzada, hasta la presencia de 5 hojas, siguiendo el criterio de Arnott (1962), que considera que cuando los individuos presentan dicho número de hojas dejan de juzgarse como plántulas.

6. RESULTADOS.

Descripción de la morfología externa de la semilla.

Forma.

Las semillas de *Furcraea longaeva* se encuentran contenidas en cápsulas triloculares y tricarpelares en dos filas paralelas por lóculo. Las semillas son planas y de poco grosor, presentando características asimétricas debido a que el margen locular es recto, mientras que el margen septal se curva gradualmente, de manera que se extiende de la región del micrópilo a la calazal, además de darle una forma lunular a la semilla. (Fig. 5, A y B)

En algunas semillas permanece el funículo, siendo constante la presencia de un ala periférica y doble, arilo de color café e hilum blanquecino. En algunas ocasiones no son visibles todas las estructuras mencionadas porque pueden estar ocultas, plegadas o sobrepuestas en las partes de la cubierta seminal, sobre todo si se trata de semillas que se encuentran en los extremos inferior o superior del fruto (Fig. 5, F).

Color.

El color de la testa es negro brillante; mientras que, las semillas abortivas presentaron un color amarillo pálido, el cual correspondió al número 5y8/2 en la Guía Munsell Soil Color Charts, 1992 (Fig. 5). El color amarillo se presentó en semillas que no presentaron arilo, aunque eran semejantes en forma a las semillas negras.

Textura.

Al microscopio estereoscópico las semillas son de testa lisa y suaves al tacto, aunque aquellas de tallas más pequeñas presentaron un aspecto rugoso. Menos de diez semillas de entre 6 y 7 mm presentaron en la cubierta pequeñas arrugas únicamente detectadas con el microscopio estereoscópico.

Superficie y ornamentaciones.

La superficie posee un aspecto brillante un tanto vítreo. Con el microscopio óptico no fue posible distinguir alguna ornamentación. En general, las células de la superficie son isodiamétricas, planas y presentan una acumulación de fitomelano que les da la coloración negra. Así mismo, las observaciones al microscopio estereoscópico permitieron observar algunos poros hialinos, hilum blanquecino y arilo café con micrópilo (Fig. 5.G).

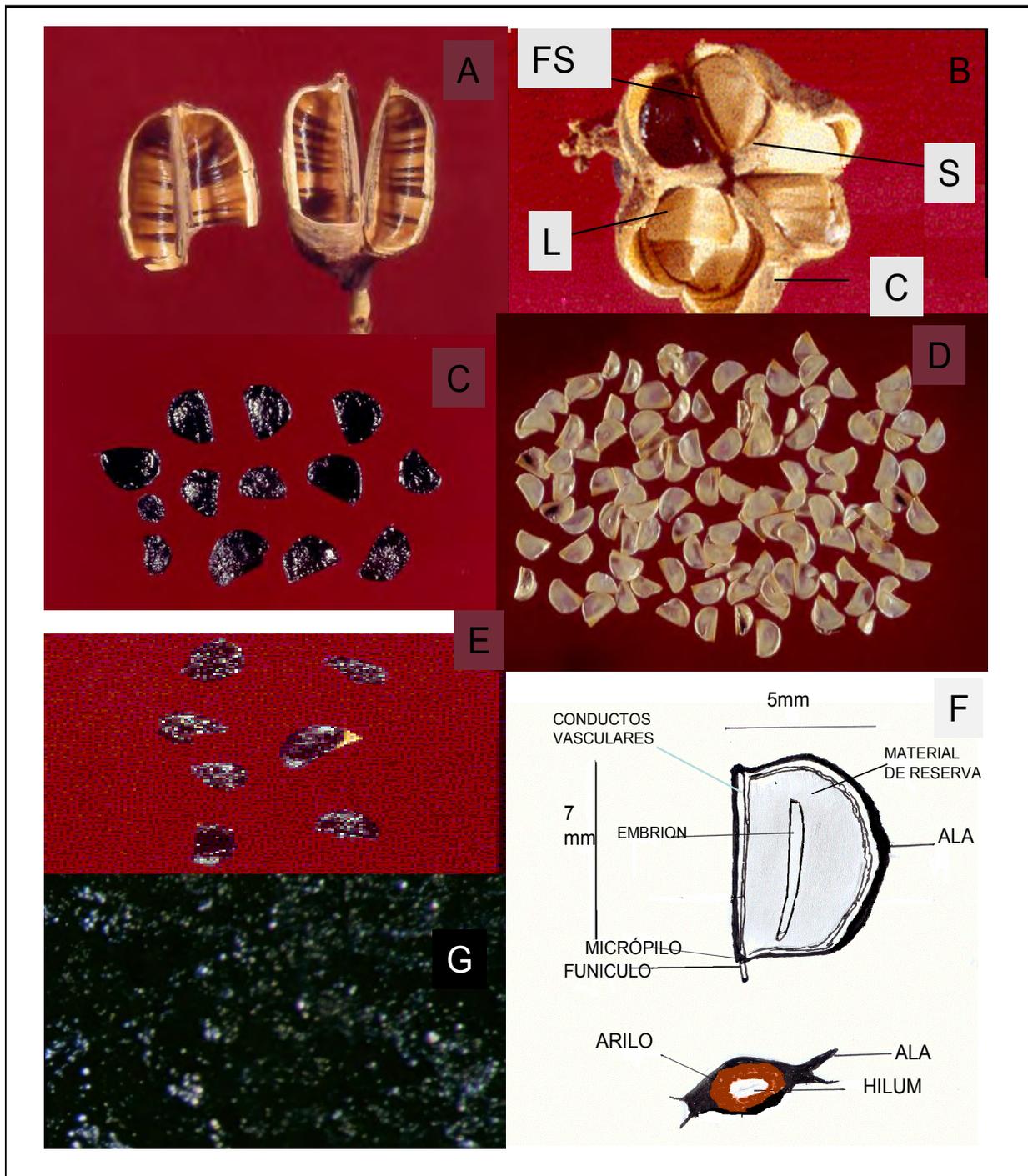


Figura 5. Semillas de *Furcraea longaeva*. A. Fruto vacío; B. Cápsula con semillas; C. Semillas; D. Semillas abortivas; E. Semillas plegadas, rugosas y de apariencia amorfa; F. Esquema de las partes de la semilla; al microscopio estereoscópico. F5. 5.0X0X = 0.2083; Se observa el aspecto vítreo de la superficie y algunos poros hialinos. (L = lóculo, S = septo, FS = falso septo)

Ultraestructura al microscopio electrónico de barrido.

Las observaciones al microscopio electrónico de barrido (Figs. 6 y 7), permitieron distinguir las siguientes características:

1.- La estructura primaria es de contorno celular pentagonal, algunas veces elongado, especialmente en las partes planas de la semilla. Dada la curvatura de la pared exterior celular anticlinal, se observó una apariencia papilosa y / o convexa. Paredes anticlinales rectas, el relieve del margen celular fue acanalado en la superficie de la semilla, pero se observó elevado en la región del micrópilo (Fig. 6, D), pues fue fácil apreciar el engrosamiento de paredes celulares, plegamientos de la superficie, así como reminiscencias del arilo.

2.- Los límites entre uniones celulares anticlinales son menores a una micra. Se pudo observar la presencia de poros sobre la superficie de la semilla. (Fig. 6G). Este es posiblemente un carácter taxonómico importante para la especie. Por lo que sería necesario, realizar estudios de microestructura de la testa en *Furcraea*, para determinar las diferencias en los poros encontrados por Alvarez (1991) (Fig. 7).

3.- Cerca del arilo, es evidente la presencia de un engrosamiento de las paredes celulares periclinales, así como plegamiento e inclusiones de algunas paredes.

4.- El fitomelano se observó como secreción epicuticular, de distribución uniforme y constante, pese a los plegamientos de la propia semilla. La estructura secundaria (el relieve fino de la pared celular) se presentó liso.

Alvarez (1991), cita para algunas especies de los géneros *Beschorneria* y *Furcraea* células isodiamétricas, ligeramente alargadas, de 30 -120 μ ; con paredes anticlinales finas, rectas o algo curvadas, con incrustación fina de color amarillo dorado y poros hialinos finos de menos de 1 μ , además de estriaciones en la superficie. Tales características las denominó "Tipo *Beschorneria*".

En la figura 7, se observan las diferencias encontradas por Alvarez (1991), en los patrones de incrustación fitomelánica para *Furcraea hexapetala* y *Furcraea macrophylla*. La descripción de las estructuras observadas coincide con los criterios utilizados por Barthlott (1981) y Elizondo *et al.* (1994).

Al comparar la superficie de *Furcraea longaeva* con los resultados de Alvarez, (1991), para géneros como *Agave* y *Yucca*, las incrustaciones de fitomelano en *F. longaeva* son completamente diferentes por su forma papilosa o / y convexa que se aprecian claramente en las figuras 6 y 7.

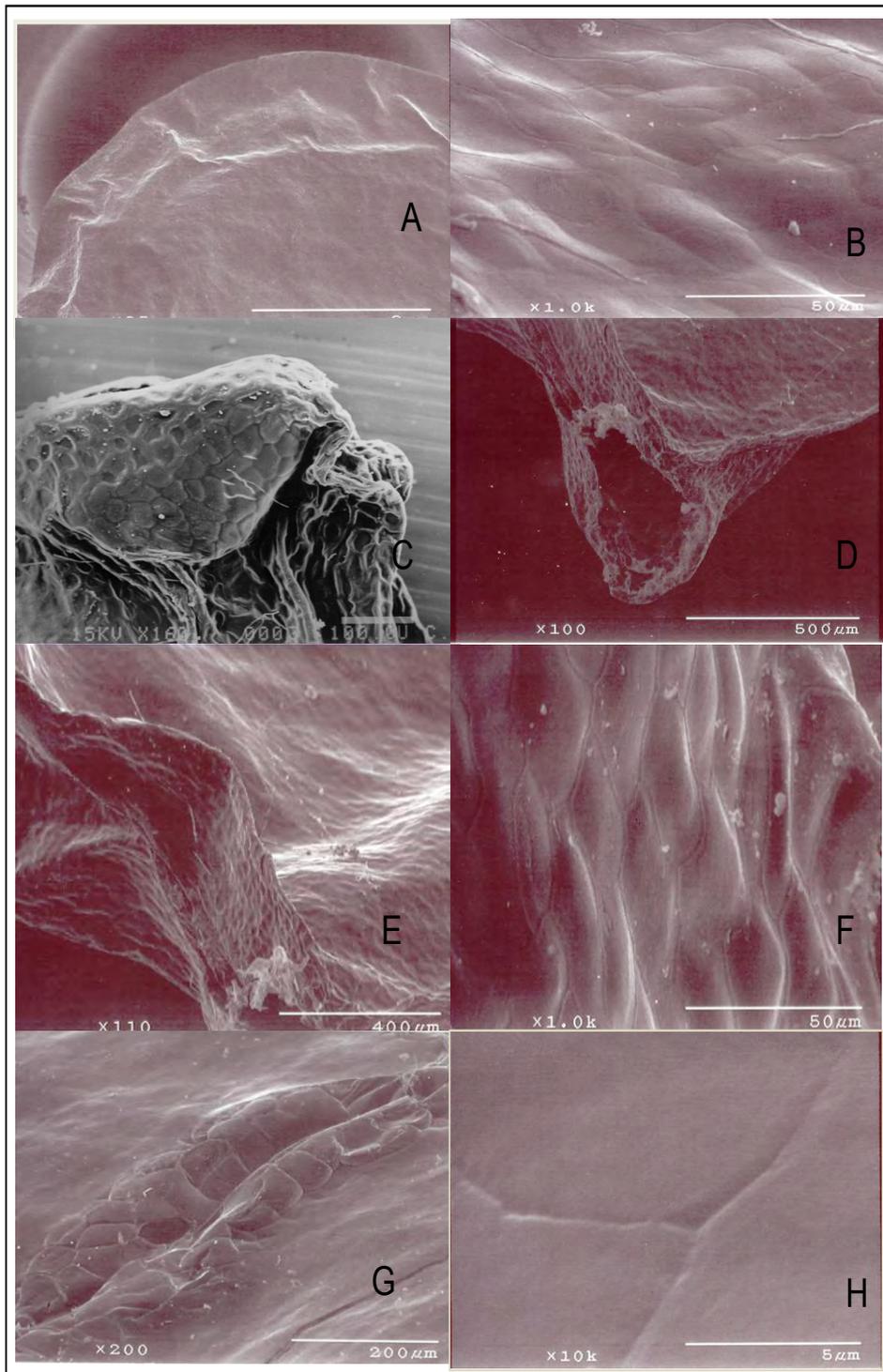


Figura 6. Fotos al microscopio electrónico de barrido.; A. ala; B. superficie de la semilla; C. micrópilo, con engrosamiento de paredes celulares y plegamientos en la superficie; D. micrópilo con restos del arilo E. inicio de la doble ala de la semilla. F. células en domo de la superficie. G. poro, H. unión celular menor a dos micras.

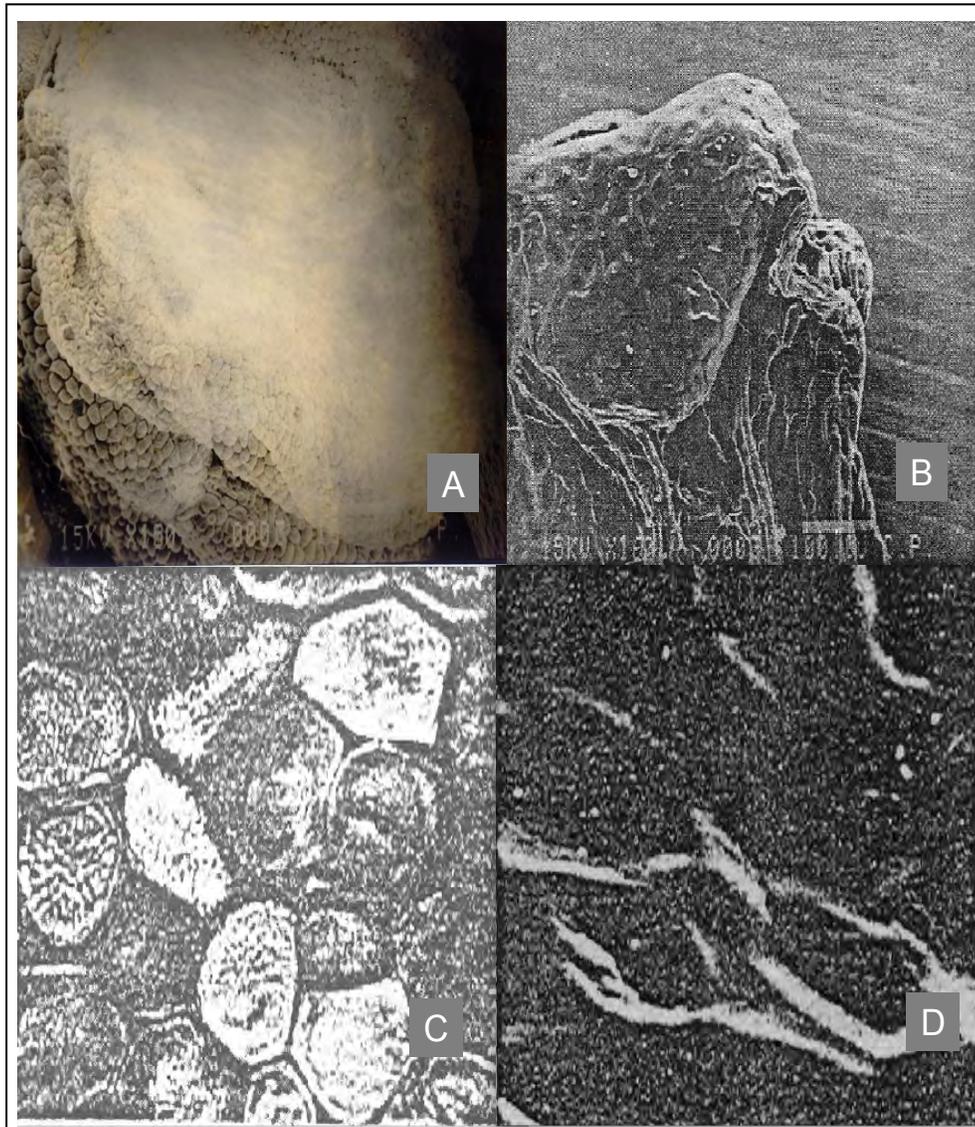


Figura 7: Comparación de la superficie de la semilla observada en ME B.; A. superficie. B micrópilo, donde se observa la forma de domo de las células. C, *Furcraea hexapetala* MO x 400 y D. *Furcraea macrophylla* MEB 1000(F), donde C y D, son fotos tomadas de Alvarez, 1991.

Curiosamente en los patrones de fitomelano de *Asparagus acutifolius* (Asparagaceae) se observaron similitudes en sus células domáticas e isodiamétricas con *F. longaeva*. Se concuerda con Barhlott (1981) que los caracteres epidérmicos están ligeramente influenciados por condiciones ambientales y su alta diversidad estructural provee valiosos criterios para su uso en sistemática. Las características de ultraestructura se resumen en el Cuadro 3:

Estructura Primaria				
	Contorno de la célula	Paredes anticlinales	Relieve del margen celular	Curvatura de la pared anticlinal
Superficie de la semilla	Isodiamétrica pentagonal, algunas veces elongada. Presencia de poros.	Rectas	Acanalado	En forma de domo
Región cercana al arilo y micrópilo	Isodiamétrica, pentagonal	Rectas	Elevado con depositaciones o engrasamientos, en paredes periclinales con inclusiones.	Domo, pero algunas veces cóncavas

Cuadro 3, Microestructura de la cubierta semina.

Tamaño.

Se midieron 180 semillas de la especie (Cuadro 4):

	LARGO	ANCHO	ESPESOR	ALA
	Mm	mm	Mm	Mm
Media (Promedio)	9.69	7.09	0.74	1.461
Mediana	9.8	7.27	0.7	1.43
Moda	10.1	6.85	0.6	1.23
Varianza	1.3	1.03	0.3	0.10
Desviación Estándar	1.1	1.01	0.17	0.32
Valor Mínimo	4.97	3.83	1.3	0.8
Valor Máximo	12.3	8.61	0.4	2.22

Cuadro 4. Valores obtenidos de la medición de 180 semillas.

En el cuadro 4 el largo corresponde a la distancia máxima entre el arilo y la zona que corresponde a la cálaza, el ancho se entiende como la distancia máxima entre el margen recto y el margen curvo opuesto. (Fig. 5). Las semillas midieron de 4.97 a 12 mm de largo, pero fueron más abundantes las de 10 (moda) y 9 mm con promedio de 9.69 mm. Seguidas de las de 8, 11, y 7 mm; los casos extremos fueron aquellas semillas con 12, 6, 5 y 4 mm. El ancho de las semillas estuvo entre 3.83 a 8.61 mm,

con una media de 7.09 mm de ancho. El grosor varia de 0.4 – 1.3 mm con promedio de 0.74 mm de espesor.

De las mediciones realizadas se obtuvieron los siguientes valores de correlación lineal entre las variables cuantificadas (Cuadro 5).

a) Relación largo, ancho, espesor, ala.

Salida de Regresión	Largo/ Ancho	Largo/ Espesor	Largo/ Ala	Ancho/ Espesor	Ancho/ Ala	Espesor/ Ala
Constante	1.146	1.666	0.343	1.316	0.629	1.77
Err. Std. de V Est.	0.739	0.139	0.292	0.156	0.297	0.312
R al cuadrado	0.477	0.384	0.171	0.219	0.14	0.052
Número de Observaciones	180	180	180	180	180	180
Grados de Libertad	178	178	178	178	178	178
Coficiente (s)	.614	-0.1	0.115	-0.08	0.117	-0.42
Err. Std. de Coe.	.03	0.006	0.012	0.007	0.013	0.081

Cuadro 5. Salida de Regresión entre las variables cuantificadas en la medición de semillas.

La variable largo fue seleccionada y utilizada para establecer el parámetro de los tamaños que se observan en los cuadros 4 y 5, dado que presenta los valores más altos para la R al Cuadrado (0.477) al relacionarse con la frecuencia absoluta de semillas según el ancho y espesor. Sin embargo, el índice de correlación entre estas últimas variables y el largo muestran una relación que no es lineal.

Si tomamos en consideración los valores expuestos para la variable largo en el cuadro 4, se puede observar cómo la media (9.69 mm) más menos la desviación estándar (1.14) encierra los valores comprendidos entre 8.224 y 10.84 mm de largo, lo que significa el 76.84 % de las semillas, superan el 68% característico de una distribución normal, según lo expuesto por Lipschutz (1968), De la Parra (1984) y Salgado (1992). Además presenta un ligero sesgo positivo, ya que el largo de la semilla tiende a incrementarse.

Se observó un ligero sesgo positivo en la distribución de la variable largo y la posición de la Media (9.69 mm), Mediana (9.8 mm) y Moda (10.1 mm).

Cuando coinciden los rangos de 8.224 - 10.84 mm de largo y 6 a 7 mm de ancho, la frecuencia es mas alta. Así mismo, las colas de distribución de ambas variables presentaron los valores más bajos, por lo que es evidente una correlación entre variables, aunque ésta no sea lineal. Esta relación también se presentó cuando se consideraron las variables largo y espesor; pero en este caso, el espesor de las semillas presentó un sesgo negativo en su distribución al relacionarlo con el largo, debido a que cuando se incrementa el largo de la semillas el espesor disminuye y cuando la semillas es menos larga el espesor aumenta. Estas semillas pueden ser aquellas que se encontraban en los extremos de las cápsulas y su frecuencia es muy baja.

Las mediciones del ala muestran un comportamiento casi constante para los valores obtenidos para esa variable, cuadro 4. Debido a ello es probable que su valor de R al cuadrado fue el menor en todas las comparaciones realizadas entre variables (0.052). Por lo tanto, su relación no es lineal, ni depende del espesor, largo o ancho, ya que su comportamiento parece ser casi independiente. Por lo que sería interesante comparar las dimensiones del ala en *Furcraea longaeva* y semillas de otras especies del mismo género, (cuadro 4).

b) Porcentaje de semillas por tamaño.

La posición de las semillas en el fruto determina su tamaño. En el Cuadro 6 se muestra la frecuencia de semillas estudiadas según su tamaño, en donde el valor máximo fue de 10 mm, seguido de la de 9 mm, siendo el valor mínimo para 4.97 y 5.94 mm. Por lo que se puede inferir la posición de estas semillas en los extremos del fruto, dada que su frecuencia fue de 2. También se observa como el ancho se incrementó en función del largo, mientras que el espesor de la semilla disminuyó a medida que el largo y ancho se incrementaron.

TAMAÑO	LARGO	ANCHO	ESPEJOR	ALA	PORCENTAJE
mm	mm	mm	mm	mm	%
4	4.97	3.83	1.33	6.8	0.21
5	5.94	3.83	1.59	1.88	0.21
6	6.71	4.76	1.07	1.21	1.68
7	7.61	5.45	0.97	1.34	6.32
8	8.58	6.79	0.84	1.32	16.63
9	9.46	6.97	0.78	1.37	30.11
10	10.42	7.49	0.67	1.53	34.95
11	11.44	8.18	0.614	1.78	8.63
12	12.14	8.733	0.6433	2.0566	1.26

NOTA: El tamaño está dada por el largo.

Cuadro 6. Porcentaje de semillas por tamaño.

El porcentaje para cada una de las tamaños según su largo, se representa en el cuadro 6 donde el 64% de las semillas medidas fueron de 9-10 mm, a las cuales les precedieron aquellas semillas incluidas en el tamaño de 8 a 8.99 mm con un porcentaje del 16.63 %; las de 12, 11, 6, 5, y 4 mm no alcanzaron el 10%.

Los resultados obtenidos en *Furcraea longaeva*, de las observaciones hechas al microscopio óptico y electrónico coinciden con las suposiciones de Arnott (1962), quien asoció la apariencia vítrea de las semillas de *Furcraea* a las células planas y a la regularidad de la unión entre ellas, las cuales son finas. Asimismo, se observaron algunos poros, como lo señaló Álvarez (1991) para el género.

Dado el comportamiento de las variables largo, ancho y espesor, así como los parámetros obtenidos en los cuadros 4, 5 y 6, puede considerarse que: la forma asimétrica de la semilla se debe a una resistencia desigual de las paredes del fruto y a la expansión plástica de las semillas, ya que cuando los óvulos inician su diferenciación son simétricos.

El margen del septo de la semilla es más curvo que el locular debido a la redondez y rigidez de las paredes del septo y del falso septo respectivamente, (Arnott, 1962 y Villanueva, 1986).

Cuando analizamos la variable ala, podemos darnos cuenta que se trata de una constante, cuadros 4, 5 y 6; debido a ello es probable que su valor de R al cuadrado fue el menor en todas las comparaciones realizadas entre variables. Por lo tanto, su relación con ellas no es de tipo lineal, ni depende del espesor, largo o ancho, ya que su comportamiento parece ser casi independiente. Por lo que sería interesante comparar las dimensiones del ala en *Furcraea longaeva* y semillas de otras especies del mismo género.

Apariencia interna.

Posición del embrión

De acuerdo con la clasificación de Morfología interna de semillas de Martin (1946) seguida por Dahlgren & Clifford (1982), la posición del embrión de *F. longaeva* pertenece a la División Axilar, Subdivisión Linear, central-axilar, su forma recta, y que es varias veces más largo que ancho, dando una apariencia linear.

El embrión de *Furcraea longaeva* es blanquecino, longitudinal de posición vertical (98% de las semillas observadas) o ligeramente oblicuo al eje que va del hilum a la cálaza (2 % de las semillas); de aproximadamente 1 mm. de ancho, su grosor no parece variar mucho longitudinalmente, a excepción de los extremos terminales que son redondeados. En el embrión se observaron dos tipos de meristemas: uno apical lateral del tipo manto-centro y el meristemo radicular en el extremo inferior del cuerpo del embrión en dirección al hilum. En corte transversal, el embrión presenta un aspecto cilíndrico o elíptico (Fig. 8, 1 y 2).

En cuanto al grado de desarrollo del embrión, quizás la presencia de los meristemas y lo señalado por González (1992), pudiese indicar que el embrión se encontraba desarrollado al momento de la dispersión de la semilla.

La posición del embrión en *Furcraea longaeva* es paralela (98%) y con menor oblicuidad (2%) a lo reportado por Arnott (1962) y Villanueva (1986) para *Yucca*, donde el embrión tiene una orientación oblicua (en un 68% de las semillas) o paralela (32%) al eje cálaza-hilo. Esta particularidad fue enfatizada ya antes por Trelease (1902) y Arnott (1962), quien señaló que la orientación oblicua es una característica importante del grupo *Yuccae*. Quizás en trabajos posteriores este planteamiento pueda ser corroborado como característica distintiva entre géneros o grupos de la familia.

Por otra parte, entre *Furcraea longaeva* y las especies estudiadas por Arnott (1962) y Villanueva (1986), no parece existir diferencia en la redondez o la apariencia elíptica del embrión en corte transversal.

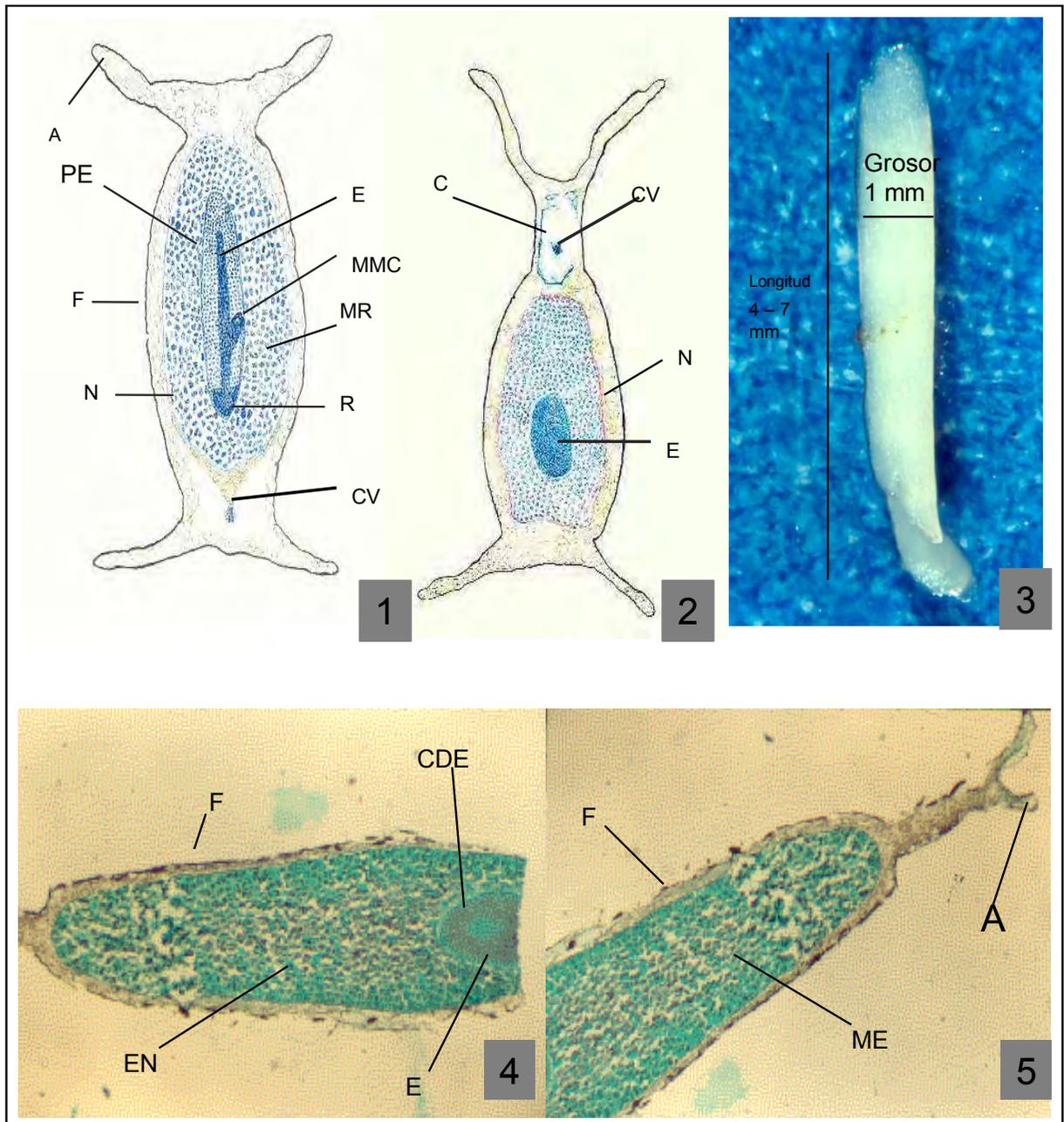


Figura 8. Pruebas histoquímicas 1. Corte longitudinal de la semilla; 2. Corte transversal; 3. Embrión; 4. Corte transversal, (tinción: safranina verde rápido, MO 10X); 5. Corte transversal de semilla, (tinción: safranina verde rápido, MO 10X);. A = ala, C = cálaza, CDE = cuerpo del embrión, CV = conductos vasculares, E = embrión, EN = endospermo, F = cubierta de fitomelano, ME = material ergástico, MMC = meristemo manto - centro, MR = material de reserva, N = nucela, PE = pared embrión, R = meristemo radicular.

Material de reserva.

El endospermo de la semilla es liso y sin grumos, ligeramente pigmentado de color crema, con aspecto translúcido, uniformemente distribuido al interior de la semilla y rodeando al embrión. En el caso de *Furcraea longaeva* fue evidente la abundancia del material de reserva y su superioridad en cantidad, con referencia al cuerpo del embrión.

Existe una gran diferencia entre el endospermo ruminado que encontró Arnott en *Yucca* y el material de reserva liso presente en *F. longaeva*. Su aseveración de que las semillas ruminadas nunca poseen ala, concuerda con la diferencia del endospermo, ya que para la especie en estudio, fue evidente la presencia de un ala periférica y bifurcada o doble.

Pruebas histoquímicas.

Las pruebas para carbohidratos insolubles, solubles, proteínas y lípidos para *Furcraea longaeva* fueron de tipo cualitativo, realizadas conforme a lo recomendado por López-Curto *et al.* (1998). Todas las semillas analizadas dieron reacción positiva (Cuadro 7).

COMPUESTO QUIMICO	REACTIVO UTILIZADO	REACCION	COLOR
Carbohidratos Insolubles	Ácido Peryodico-Reactivo de Shiff	Positiva	Magenta
Carbohidratos Solubles	Lugol	Positiva	Morado-Negro
Lípidos solubles	Rojo de aceite	Positiva	Naranja
Proteínas	Azul Mercurio de Bromofenol	Positiva	Azul-Verde
Proteínas - Carbohidratos Insolubles	Azul Negro Naftol- Ácido Peryodico-Reactivo de Shiff	Positiva	Azul - Magenta

Cuadro 7. Resultados de las pruebas histoquímicas.

Localización de sustancias.

Los carbohidratos solubles, se presentaron en paredes celulares y como parte del material ergástico, dentro de las células del embrión y del material de reserva de la semilla. Los carbohidratos insolubles son parte de las paredes celulares, nucela y, también como parte del material ergástico, dentro de las células del embrión y del material de reserva de la semilla. En cambio, las proteínas: forman parte de los tejidos del embrión, el material de reserva, membranas y aleuronas. La técnica empleada de azul mercurio de bromofenol permitió observar también una apreciable cantidad de rafidios en material de reserva. Lo que es un carácter anatómico importante.

Una prueba adicional de safranina-verde rápido, se usó para diferenciar tejidos, se observaron células tetragonales o “cuadradas”

alrededor del embrión, al parecer tienen un papel divisorio del material de reserva de la semilla. La técnica también permitió observar que el endospermo posee células con núcleos grandes. Su reacción fue sobre el embrión y la nucela (Fig.8, 4 y 5).

La reacción positiva a la identificación de carbohidratos, lípidos y proteínas en la semillas, indicó la presencia de varias formas de alimento para el embrión; Para el caso de *Furcraea*, hasta el momento no se tenía conocimiento de pruebas histoquímicas del material de reserva en las semillas. Dichas pruebas podrían ser más completas a fin de identificar aquellas enzimas, proteínas y nucleoproteínas, que son activas o inactivas metabólicamente.

Estructuras.

Las pruebas histoquímicas en cortes de 7 y 9 micras y tinción de safranina verde rápido, (fig. 8, 4 y 5. MO 10X), permitieron observar estructuras, tales como:

- Epidermis de 4 a 8 capas de células con fitomelano depositado en forma plana y constante.
- Doble ala.
- Residuos del arilo, probablemente con taninos.
- Existencia de conductos vasculares en la periferia de la semilla.
- Nucela.
- Cavidad del embrión.
- Embrión.
- Células cuadradas y pequeñas separando al embrión del material de reserva.
- Células del embrión más pequeñas e isodiamétricas que las del material de reserva.
- Paredes celulares.
- Meristemo apical.
- Meristemo radicular.
- Rafidios.

La función de la testa en *F. longaevea* evidentemente es proporcionar una unidad espacial y funcional a la semilla, así como proteger al embrión de la depredación, ya que posee un capa externa de fitomelano que además le da cierto grado de dureza y resistencia. También se puede considerar a la testa como un medio de dispersión dada la existencia de alas.

Las reservas nutritivas en la semilla pueden encontrarse en las células de diferentes tejidos, como el endospermo y la nucela en semillas

albuminosas, y el embrión en todas las semillas. Estas reservas mantienen al esporofito hasta que se convierte en autótrofo, gracias a un proceso fotosintético, Kramer y Kozłowski (1979), Bidweell (1979), Bewley y Black (1985), Esau (1982) y Niembro (1988).

Es necesario entender a las pruebas histoquímicas como una herramienta más para la identificación de semillas, aunque es importante recordar que si la composición química de las semillas esta determinada genéticamente, la cantidad relativa de los varios constituyentes de la semilla son o están influenciadas por el régimen ambiental y por la vía de alimentación de la semilla de la planta madre, Kramer y Kozłowski (1979).

En el caso de la familia Agavaceae, específicamente para *Yucca periculosa*, Villanueva (1986) determinó dos tipos de cuerpos en el embrión y uno en el endospermo, como lo señalan también Horner y Arnott (1965) en Villanueva (1986). Además consideró a los lípidos, proteínas y el polisacárido de la pared engrosada del endospermo, como sustancias de reserva para la germinación, haciendo énfasis en el abundante contenido de lípidos en el endospermo y en el embrión, por lo que sugirió a la especie como promisoría para la extracción de aceites. La abundancia de cuerpos , significaron para él, un recurso alimenticio para los humanos y animales, con un valor nutritivo elevado. Aunque reconoció la presencia de otras sustancias que pueden ser nocivas.

Prueba de viabilidad.

La prueba de viabilidad y las observaciones generales se resumen en el Cuadro 8.

Durante la prueba de viabilidad fue posible visualizar la posición del embrión y su forma, (fig. 10). Como era de esperarse la reacción positiva al tetrazolium fue mayor alrededor del embrión. La mayoría de las semillas, presentaron un color rojo muy brillante. Puede apreciarse mayor tinción en la parte media del embrión; seguramente esto concuerda con la intensa actividad del meristemo manto centro referenciado anteriormente, probablemente debido a las horas de imbibición y el estímulo consecuente.

	Observaciones
Apariencia Externa	Lisa, blanquecina.
Existencia de Material de Reserva	En 13 observaciones no se presentó y en 7 fue escaso.
Material de Reserva reacción al Tetrazolium con coloración.	Presente en 96 %, algunos casos color naranja, en otros rojo más intenso.
Presencia de Material de Reserva colapsado.	3 casos.
Presencia de Embrión	Presente en 100% de las semillas.
Embrión completo	Presente en 96% de las semillas.
Alteraciones del Embrión en parte apical, media o terminal.	1 Sin extremo terminal (N=6). 2. Parte media ondulada (N=1). 3. Protuberancia esférica en la parte apical (N=4). 4. Protuberancia esférica en la parte media (N=2). 5. Embrión dividido en dos desde su parte media (N=1). 6. Extremo terminal doble (N=1)
Coloración del Embrión	Siempre blanca.

Cuadro 8. Resultados de la prueba de viabilidad.

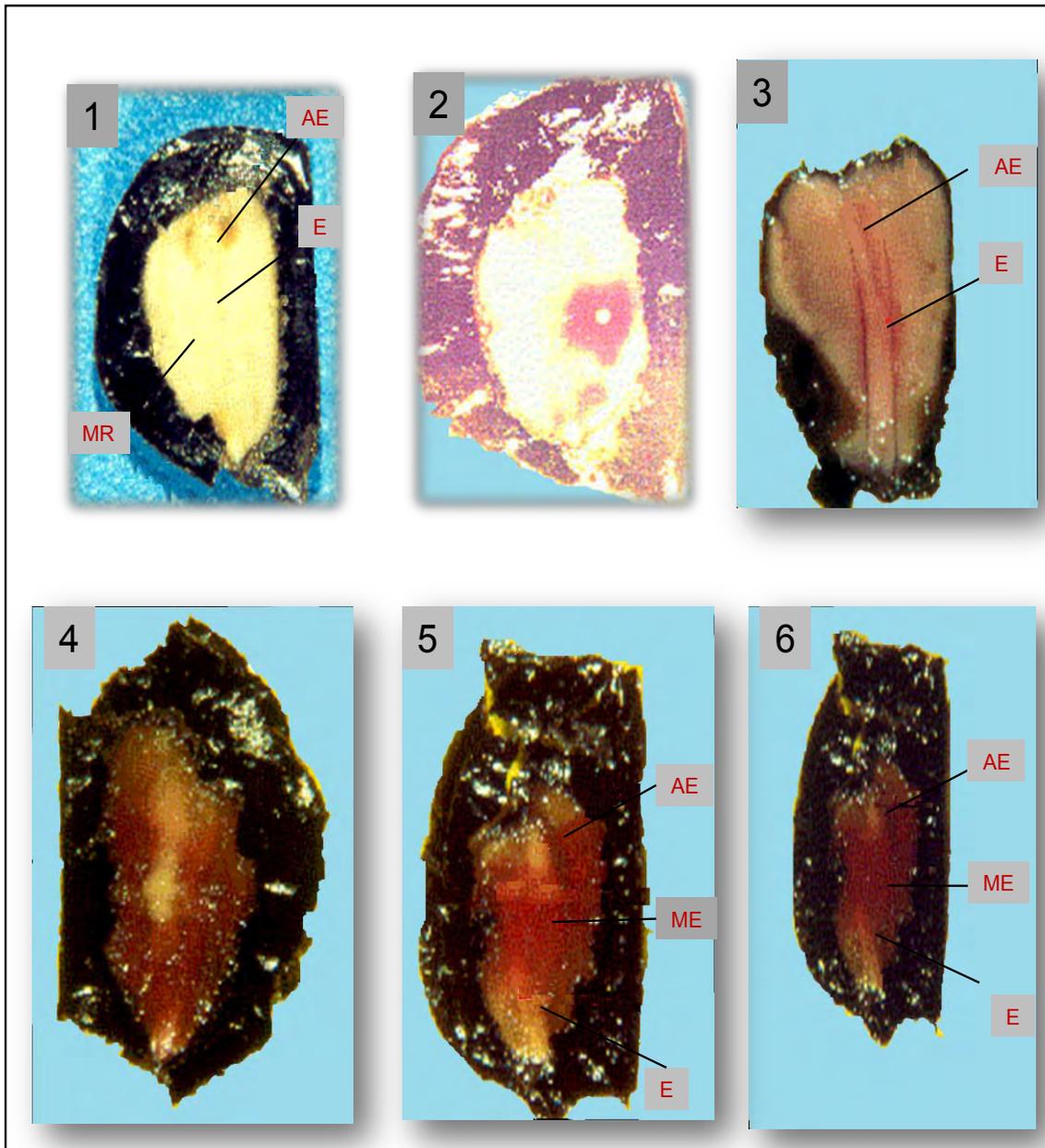


Figura 9. Prueba de viabilidad. 1. Sin reacción al tetrazolium; 2. Reacción limitada dentro del material de reserva y cercana al embrión; 3. Con reacción baja (color naranja tenue). Obsérvese la mayor pigmentación hacia el cuerpo del embrión; 4. Reacción positiva; 5. Reacción positiva; 6. Coloración rojo brillante del material de reserva. (AE = ápice embrión, E = embrión, ME = parte media del embrión, MR = material de reserva. y E = embrión).

Comportamiento de la germinación.

Porcentaje de germinación.

Los resultados sobre germinación se presentan por temperaturas ascendentes en el cuadro 9.

Temperatura (°C)	Fotoperiodo (hrs.)	Germinación (%)
10°C	24 hrs de luz.	66.6
	12 hrs. de luz / 12 hrs. oscuridad.	83.3
	24 hrs. de oscuridad	80
	14 hrs. de luz / 10 hrs. de oscuridad	96.6
15°C	24 hrs. de luz.	80
	12 hrs. de luz / 12 hrs. de oscuridad.	100
	24 hrs. de oscuridad	86.6
	14 hrs. de luz / 10 hrs. de oscuridad	83.3
20°C	24 hrs. de luz.	90
	12 hrs. de luz / 12 hrs. de oscuridad.	93.3
	24 hrs. de oscuridad.	100
	14 hrs. de luz / 10 hrs. de oscuridad	93.3
25°C	24 hrs.de luz.	100
	12 hrs. de luz / 12 hrs. de oscuridad.	96.6
	24 hrs. de oscuridad.	100
	14 hrs. de luz / 10 hrs. de oscuridad	100
30°C	24 hrs. de luz.	96.6
	12 hrs. de luz / 12 hrs. de oscuridad.	93.3
	24 hrs. de oscuridad	96.6
	14 hrs. de luz / 10 hrs. de oscuridad	93.3
35°C	24 hrs. de luz.	76.6
	12 hrs. de luz / 12 hrs. de oscuridad.	93.3
	24 hrs. de oscuridad.	83.3
	14 hrs. de luz / 10 hrs. de oscuridad	56.6

Cuadro 9. Porcentaje de germinación.

Las semillas obtenidas de frutos que tuvieron dehiscencia en el laboratorio y fueron almacenadas durante un mes, se obtuvo el 100% de germinación a los 25°C, en fotoperiodos de 14 h luz/ 10 h oscuridad y 24 h de oscuridad. También se alcanzó el 100% a 10 y 15°C con fotoperiodos de 14 h luz / 10 h osc. y 12 h luz /12 h oscuridad. Valores cercanos (80% y 96%) se alcanzaron en un rango de temperatura de 10 a 35°C en fotoperiodos de oscuridad 24 h., 12 h de luz / 12 h de osc., 14 h luz / 10 h oscuridad, así como a los 15, 20 y 30°C con fotoperiodo de 24 h. de luz El 76.6% de la germinación se obtuvo a los 35°C en un fotoperiodo de luz 24 h, siendo el menor porcentaje de germinación el de 56% para la misma temperatura en fotoperiodo de 14 h luz / 10 h oscuridad. A 10°C se observaron valores de germinación de 66% a 96%, como se puede observar en el cuadro 9.

F. longavea no presentó diferencias en el comportamiento germinativo, teniendo incluso altos porcentajes de germinación aún a temperaturas extremas de 10 ó 35°C, lo cual coincidió con los resultados obtenidos en la prueba de viabilidad aplicada.

Se observó una rápida germinación y aparentemente no presentaron dependencia a la iluminación o fotoperiodos aplicados. Su germinación no presentó latencia y fue tolerante a las 6 temperaturas empleadas, por lo que se apreció que *Furcraea longavea* es una especie tolerante a 10° y 35°C sin inhibir su germinación, ya que se obtuvieron porcentajes de germinación que superaron siempre el 36%.

Las temperaturas con mayor porcentaje de germinación concordaron con la descripción del hábitat, al coincidir con las temperaturas de los climas templados con lluvia en verano (Cw), por lo que su tolerancia adaptativa a las condiciones de temperatura extrema (10° y 35°C), pueden ser el resultado de su adaptación a un hábitat, que aunque presenta un régimen de lluvias posterior a la liberación de semillas, también presenta temperaturas muy bajas por la gran altitud.

Análisis de Varianza de la germinación.

Con el análisis de varianza se comprobó el efecto significativo de la temperatura en la respuesta de germinación para las semillas provenientes de frutos que tuvieron dehiscencia en el laboratorio. (cuadro 10). La temperatura tuvo un valor estadístico de $F = 3.869$ y $P < 0.016$. A diferencia de los valores obtenidos para Fotoperiodo donde $F = 0.151$ y $P < 0.703$.

FUENTE	S. de C.	G. L.	C. M.	F	P
TEMPERATURA	0.489	5	0.098	3.869	0.016
FOTOPERIODO	0.004	1	0.004	0.151	0.703
ERROR	0.430	17	0.025		

Cuadro 10. Análisis de Varianza. Donde se utilizó el fotoperiodo como covariable. F = valor del estadístico, ns =no significativo $P > 0.10$, P = probabilidad, S de C. = suma de cuadrados., G. L. = grados de libertad; C. M. = cuadrado medio.

Distribución de la germinación en el tiempo.

Se muestran gráficas de germinación acumulada (Figs. 10 – 13) Donde es posible observar los porcentajes de germinación alcanzados a través del tiempo, la comparación del comportamiento germinativo de las semillas empleadas, así como los tiempos mínimos, medios y máximos de respuesta de germinación en cada fotoperiodo.

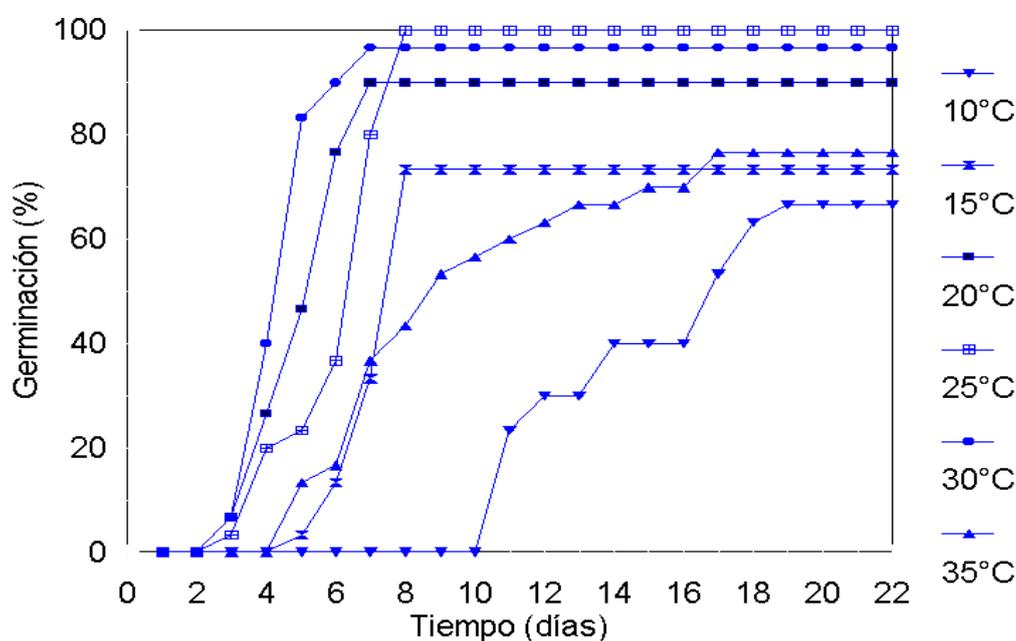


Figura10. Comportamiento de germinación de las semillas con 6 temperaturas y fotoperiodo de 24 h.de luz.

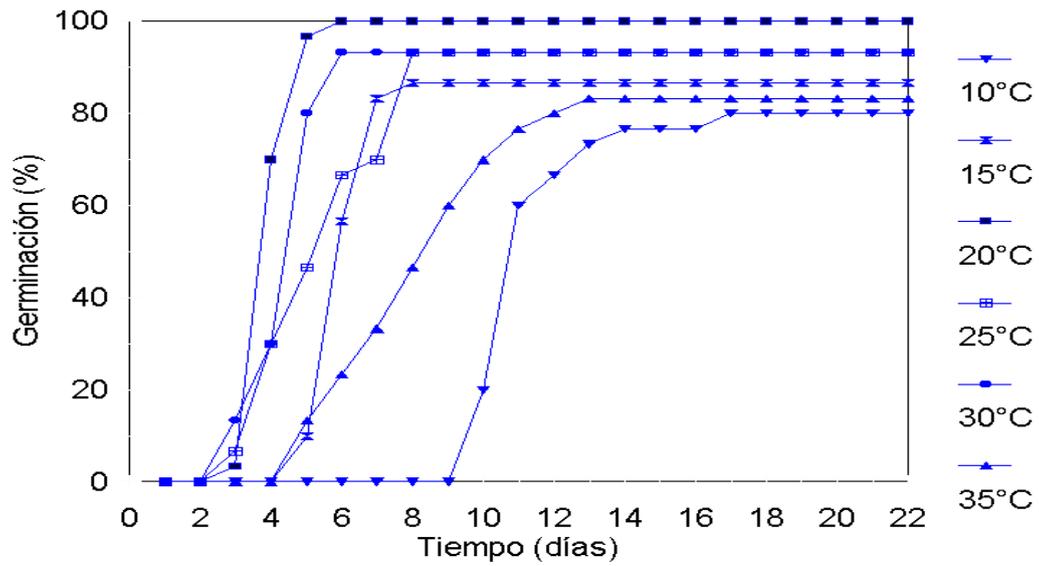


Figura 11. Comportamiento de la germinación 6 temperaturas y fotoperiodo de 12h de luz/12 h. de oscuridad.

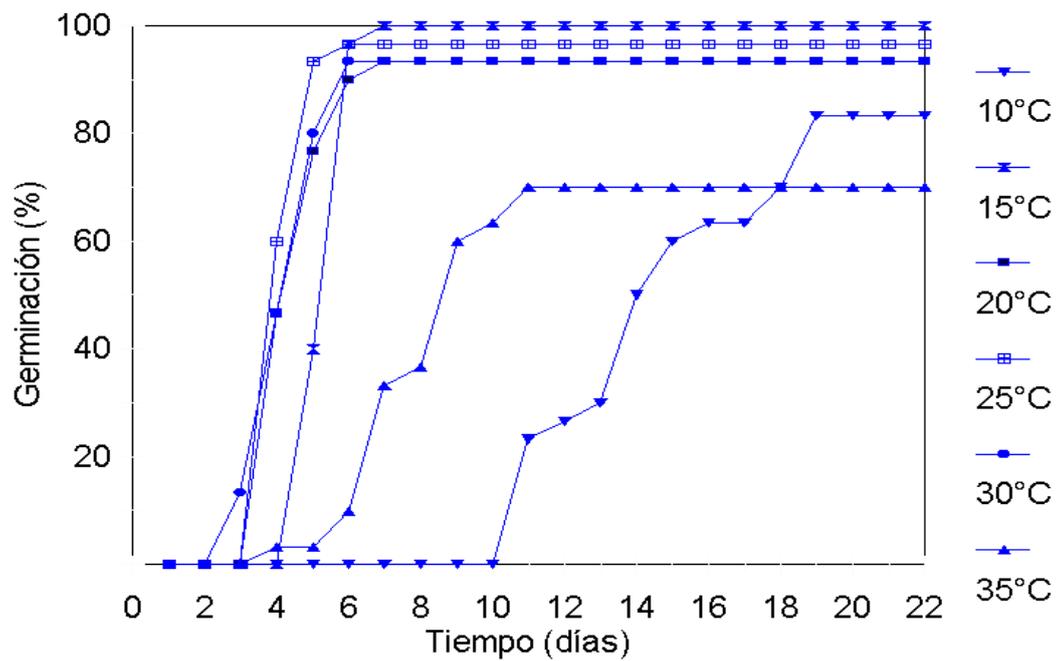


Figura 12. Comportamiento de la germinación a 6 diferentes temperaturas y fotoperiodo de 24 h. de oscuridad.

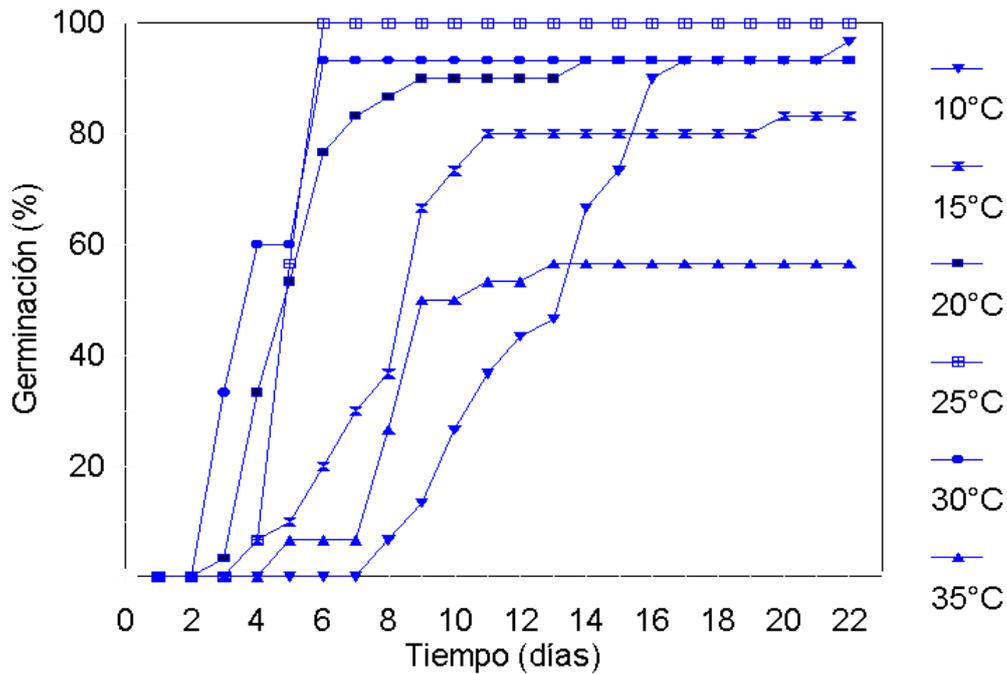


Figura 13. Comportamiento de la germinación a 6 temperaturas y expuestas a fotoperiodo de 14h. de luz/10 h. de oscuridad.

Tiempo mínimo, medio y máximo de germinación.

La temperatura óptima es aquella en la cual se da el más alto porcentaje de germinación en el tiempo más corto; a ambos extremos de la temperatura óptima, se obtiene la germinación máxima y no debe confundirse con los tiempos mínimo, medio y máximo de germinación.

El tiempo mínimo de germinación, es aquel que es necesario para empezar la germinación. Como se muestra en el Cuadro 11 y las figuras 10 -13, el tiempo mínimo para iniciar la germinación a 10° C fue de 8 a 11 días para los fotoperíodos empleados.

Esto es, en la figura 10, se observa el inicio de la germinación a 10 °C al onceavo día de haberse iniciado la prueba. Mientras que en la figura 11, el tiempo mínimo fue de 10 días, para la misma temperatura. En la figura 12, el tiempo mínimo para iniciarse la germinación a 10°C fue de 11 días, mientras que en la figura 13, el tiempo mínimo fue de 8 días. El cuadro 11 resume el comportamiento germinativo de *Furcraea longaeva* en todos los fotoperíodos y temperaturas empleadas.

Tiempo Medio de Germinación es aquel en el que se alcanza el 50% de la germinación, esta dado en unidades de días y a sus colas o extremos de este valor se encuentra el Tiempo mínimo y máximo.

El tiempo Máximo de Germinación es aquel en el que se observable máximo de eventos en el tiempo, esto es: los días que se tarda en alcanzar la máxima germinación.

	LUZ 24 H	LUZ 12 H / OSC 12H	OSCURIDAD 24 H.	LUZ 14 h / OSC 10 H.
TEMP. (° C)	T. MIN. G. T. M. G. T. MAX. G			
10	11 15 19	10 13 17	11 15 19	8 16 22
15	5 6 8	5 6 8	5 6 7	2 11 20
20	3 5 7	3 4 5	4 5 7	3 9 14
25	3 5 8	3 5 8	4 5 6	4 5 6
30	3 5 6	3 4 5	3 4 5	3 4 5
35	5 12 17	5 9 13	4 7 11	5 9 13

Cuadro 11. Registro del tiempo mínimo, medio y máximo de germinación, para las semillas de *Furcraea longaevea* (AG6058).

a) Tiempos Mínimos de Germinación.

En la Cuadro 11. Se observa como el tiempo Mínimo de Germinación fluctuó entre 2 y 11 días para todas las temperaturas empleadas; los valores de 8 – 11 se presentaron a los 10°C. Pese a ello, los porcentajes de germinación fueron superiores al 60% a esa temperatura.

A los 35°C, los valores oscilaron entre 4 y 5 días; aunque se trata de una temperatura extrema dentro del estudio y que obtuvo 76%, 93%, 83% y 56% de germinación.

b) Tiempo Medio de Germinación.

El Tiempo Medio de Germinación fue entre 4 – 16 días, siendo 16 y 12 los valores que se presentaron a los 10 y 35°C, respectivamente. Es evidente como en estas temperaturas extremas los tiempos medios se

retrasaron. Sin embargo, a los 30°C los días necesarios para alcanzar el 50% de germinación fueron de 4 a 5 días, siendo el fotoperiodo de luz 24 hrs. el que presentó el valor de 5, los otros 3 fotoperiodos presentaron el valor de 4. A los 25 °C, el valor obtenido para todos los fotoperíodos fue 5. Mientras que a los 20°C el tiempo Medio de Germinación fue de 4-9, siendo el fotoperiodo de 12 hrs. luz / 12 hrs. oscuridad el que presentó el valor de 4. El fotoperiodo de 14 hrs. de luz /10 hrs.de oscuridad presento el valor 9, que es el más alto para esa temperatura. A los 15°C se observan los valores para el tiempo medio de germinación entre 6-11, coincidiendo nuevamente con el fotoperiodo 14 hrs. luz / 10 hrs. oscuridad el valor más alto para esa temperatura.

c) Tiempo Máximo de Germinación.

Los valores fluctuaron entre 5 y 22, pero a los 10° y 15°C con el fotoperiodo de 14 h luz / 10 oscuridad, hay un aumento a 22 y 20, respectivamente, o bien, un retraso para alcanzar el tiempo Máximo de Germinación.

Cuando a los 15°C se observaron valores de 7 – 20, siendo el fotoperiodo de oscuridad el que presento el valor de 7 y 8 para los fotoperiodos de luz 24 hrs. y 12hrs. luz / 12 hrs. oscuridad.

A 20°C los valores fueron de 5 – 14, siendo el fotoperiodo de luz 12 hrs /oscuridad 12 hrs el que presenta el valor de 5, los fotoperíodos de Luz 24 hrs y oscuridad 24 hrs, presentaron el valor de 7, siendo nuevamente el fotoperiodo 14 hrs. luz / 10 hrs. oscuridad el que presento el valor 14, por lo que nuevamente se retrasa el máximo de germinación en ese fotoperiodo.

Mientras que a los 25°C, los valores fueron de 6 – 8, siendo el fotoperiodo de luz 12 hr / 12 hrs. oscuridad el que presentó el valor de 8. Sin embargo a los 30°C los tiempos Máximos de germinación presentaron valores de 5 – 6, con lo que es evidente que la temperatura en los cuatro fotoperíodos aceleró la germinación. Siendo el fotoperiodo de luz 24 hrs. el que tuvo el valor de más alto.

Otra temperatura donde las semillas presentaron un retraso en alcanzar el máximo de germinación fue 35°C con valores de 11 - 17, que aunque presentó buenos porcentajes de germinación, no fueron los más altos. Con ello se comprueba lo dictado por los análisis estadísticos, respecto a que la temperatura es la variable más influyente en el comportamiento germinativo. Cabe señalar que los tiempos Máximos de *Furcraea longaeva* a 35°C, hacen suponer que se trata de una especie con una amplia tolerancia a condiciones extremas de temperatura.

Descripción de las Plántulas.

La descripción de las plántulas se realizó con base en las descripciones que para el género *Furcraea* hizo García-Mendoza (2001). Quien a su vez emplea la terminología y descripciones de Tillich (1995). El autor describe plántulas de cotiledón largo y cotiledón corto, ubicándose *Furcraea longaeva* en el primer grupo.

El desarrollo de las plántulas se estudió durante 5 meses después de emergida la radícula, de acuerdo con el criterio de Arnott (1962) para *Yucca*, que determinó el surgimiento de la 5° hoja y la edad de 5 a 5.5 meses como límite para ser considerada plántula (Fig. 15). Por su parte, Jordan y Nobel (1979), para *Agave deserti* consideraron como plántulas los individuos de 1 año de edad, aunque las hojas verdaderas se reconocen después de los 30 días y los cotiledones permanecen activos por cerca de 70 días. En el caso de *Furcraea longaeva*, el cotiledón permanece activo y la hiperfilia continua presente hasta los 2.5 meses (50%). Es evidente la etapa de crecimiento exponencial de la plántula de *Furcraea longaeva* con la permanencia del cotiledón. La hiperfilia desapareció a los 3 meses de emergida la plántula en el 99 % de los casos.

La germinación de las semillas fue homogénea y es notoria la constante del ancho en las hojas que fue de 5 mm en promedio, aún en plántulas enanas o en aquellas en que se retrasó el surgimiento de las hojas. Las hojas que surgen son lineares, verdes, lanceoladas, suaves, recurvadas, con margen finamente serrado y en forma de “v” (en corte transversal).

Arnott (1962) sugiere que el color de las hojas en plántulas es de importancia taxonómica, por lo que en este trabajo se determinó en las plántulas obtenidas durante las pruebas de germinación y se corroboró mes con mes, hasta la edad de 5 meses, para confirmar su coloración y posibles cambios. Para determinar la coloración se utilizó la guía de color Pantone.

El color verde para *Furcraea longaeva* fue homogéneo, los colores verde 574 y 575v, para el haz y envés respectivamente, aunque en algunas plántulas el envés fue 371. Sin embargo, cabe señalar que en plántulas de crecimiento lento el color fue 371c por el haz y 375v para el envés. Este color fue comparado con otras plántulas del género.

En general las plántulas de *Furcraea longaeva* presentaron las características ya señaladas por García-Mendoza (2001) y por Tillich (1995). Según Tillich (1995) el cotiledón puede subdividirse morfológicamente en la base de la hoja e hiperfilia (parte superior). El término hiperfilia fue tomado por este autor de Weberling (1989). Siguiendo la clasificación de Tillich (1995), *Furcraea longaeva* presentó un cotiledón del tipo H, haustorial y unifacial, asimilando la hoja en la base del mismo, vaina cotiledonar en García-Mendoza (2001), y al tipo E, que

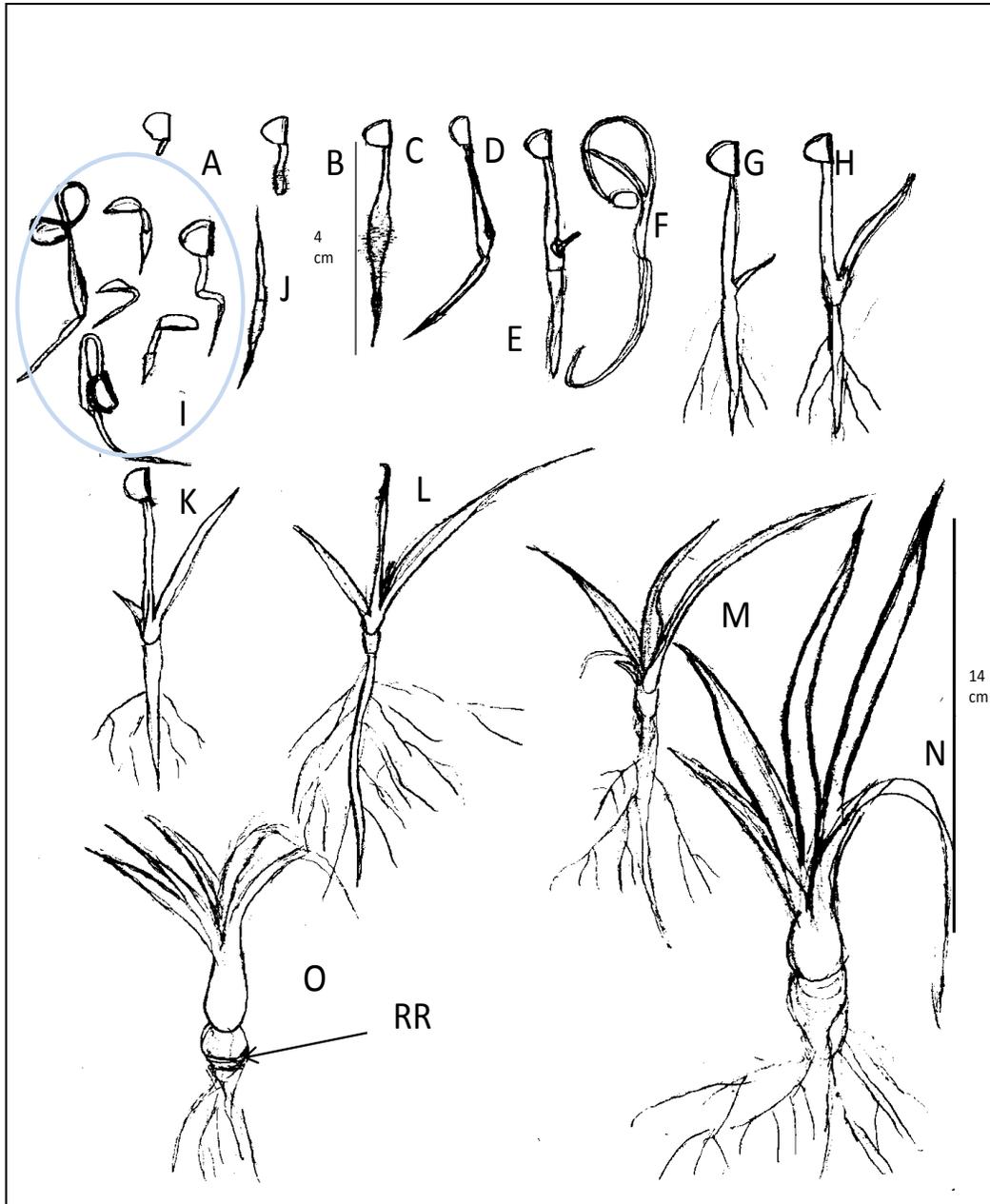


Figura 14. Plántulas de *Furcraea longaeve*. A. Plántula de 1 día. B. Plántula de 1 día con hiperfilia, epicótilo fotosintético e hipocótilo con collar de tricomas; C. Plántula con engrosamiento en la unión de epicótilo, hipocótilo; D. Plántula con pequeña protuberancia en donde posteriormente se desarrollará la abertura por donde surgirá la primera hoja plumular; E. Plántula con ojal o ranura mostrando el surgimiento de la primera hoja plumular; F. Plántula con hoja lanceolada; G y H. Plántulas de un mes; I. Posiciones presentadas por la hiperfilia antes de adoptar la posición completamente vertical, debido al peso de la testa; J. Epicótilo e hipocótilo son cilíndricos y presentan extremos en punta; K. Plántula de 2 meses; L. Individuo de 3 meses; M. Plántula de 4 meses, presentando una disposición helicoidal de las hojas; N. Individuo de 5 meses con 5 hojas; O. Individuo de 5 meses con un marcado desarrollo de cormo y raíces retráctiles (RR).

fue tubular, de eje primario elongado, collar, unifacial asimilando la hiperfilia y vaina cotiledonar. La raíz primaria y rizoides están presentes en las plántulas de *Furcraea longaeva*, muy similares a los tipos F y A, según la clasificación de Tillich (1995), las cuales se caracterizan de la siguiente forma: A por su robustez y ramificaciones características de *Yucca aloifolia*. Y el tipo F que se caracteriza por presentar un collar restringido a estrecho o fino de forma linear entre el cotiledón y la raíz primaria. Dominando más el tipo F, sobre el tipo A. Todo ello concuerda con las afirmaciones de García-Mendoza (2001), sobre la especie.

Descripción.

Furcraea longaeva presentó germinación epigea y plántulas de desarrollo rápido y homogéneo. El cotiledón fue fotosintético, cilíndrico y ahusado. En los primeros días fue evidente que la relación hiperfilia- raíz primaria fue de crecimiento similar, en todos los fotoperiodos y temperaturas aplicadas durante la germinación. Se pudo observar esta proporcionalidad de longitud y grosor, especialmente durante el 1° y 2° mes de mediciones. Incluso en las plántulas obtenidas del fotoperiodo oscuridad, donde los individuos presentaron elongación, se conservó la misma proporcionalidad de hiperfilia - raíz primaria. Muchas de las plántulas obtenidas conservaron esta proporción de crecimiento de la raíz primaria con respecto al largo de las hojas aún después de 5 meses de haber sido germinadas (Fig. 15).

La vaina cotiledonar se diferenció en los primeros días al ensancharse la base de la hiperfilia 2 mm en promedio durante el primer mes y aparecer posteriormente el brote de la primer hoja. La aparición de pelos radiculares es temprana y rápida, muchas veces al segundo día después de germinar. Y aunque se trata de un cotiledón fotosintético fue altamente dependiente de la presencia del saco seminal, pues este funge como órgano de absorción. Cuando la testa se perdió la plántula tornó su desarrollo lento siendo más sensible a la deshidratación.

La hojas de las plántulas son lineares o lanceoladas de posición helicoidal, por lo que rápidamente se forma la roseta. Después de los 70 días la mayoría de las plántulas han perdido el cotiledón con la testa o algunas que han retrasado el desarrollo de sus hojas lo conservan algún tiempo más. La textura de las hojas es lisa. Cuando aparece la 5ª hoja se empieza a desarrollar un borde serrado muy diminuto. El desarrollo de las plántulas se resume en el Cuadro 12 de la siguiente manera:

ESTRUCTURAS	EDAD (meses)					
	Menos de un mes	1 mes	2	3	4	5
Testa	+	+	+(presente en el 50% de los individuos)	Perdida	No	No
Hiperfilia	+	+	+	- en el 99.99%		
Radícula	+	+	+	+		
Raíz primaria	+	+		+	engrosada	+ y raíces retráctiles de tonos purpúreos.
Collar	+	+	No apreciable	No apreciable.	No obs.	No obs.
Pelos radicales de menos de 1 mm de largo	+	+	+	+	+	+
Raíces secundarias				+	+	+
Raíces terciarias				+	+	+
Brote de la primera hoja		Sí, 50% (1 mm)	+	+		
1ª hoja			+(5.7-13.8 cm)	+(2-11.6 cm)	3-10.1 cm	3.6-14.5 cm
2ª hoja			+	+(2-11.1cm)	1.2 – 11.2 cm	5.2-17.4
3ª hoja			+	+(1.6-11.6cm)	1.3 -11.3 cm	2.4-11.3 cm
4ª hoja				+(0.5-9.3cm)	1.2 -10.4 cm	4.1-14.7 cm
5ª hoja				+, N= 3 (3.4-6.3 cm)	0.8 – 16.3 cm	
Promedio de hojas			1.8 cm	3.37cm	4.5 cm	
Número mínimo y máximo hojas			1-3 cm	2-4 cm	2-6 cm	
Bulbo		Ligeramente diferenciado	engrosado	Blanquecino en la base	+	+

Nota: dónde +, indica presencia y - ausencia

Cuadro 12: Desarrollo de plántulas de *Furcraea longeva* y estructuras.

Edad:

Un mes.

Las plántulas presentan raíz primaria y raíces secundarias, hiperfilia de entre 1.25 y 8 cm de largo, fotosintética con presencia de la testa, engrosado en la parte basal y diámetro de 1 - 3mm. Posteriormente se diferenciò en la vaina cotiledonar, radículas entre 0.7 - 9.9 cm de largo, siendo las más grandes las pertenecientes al fotoperiodo de oscuridad 24 hrs. Presencia de brote de la primera hoja el 50% de las plántulas (4.88 mm en promedio de largo). Cuando se encontró contaminación con hongos no se desarrollaron raíces secundarias, después del transplante (Fig.14)

Dos meses

La cubierta seminal se conserva en el 50 % de las plántulas. La radícula y la hiperfilia fotosintética sigue presente. El número máximo de hojas 3, número mínimo de hojas 1, el promedio fue 1.8 hojas. En las plántulas de esta edad, la primera hoja fue de 5.7 - 13.8 cm de largo por 3 -11 mm de ancho. Las hojas suelen ya tener forma linear - lanceolada y de desarrollo helicoidal.

Tres meses.

Las plántulas no presentan la testa de la semilla, ni la hiperfilia, presentan raíz primaria con ramificaciones secundarias y terciarias. Tienen en la raíz primaria, nuevas estructuras, que hacen suponer una raíz retráctil.

Las medidas de las primeras hojas fueron de entre 2 - 11.6 cm de largo y de 2 a 7 mm de ancho, la segunda fue de 2 - 11.1 cm de longitud y de 4 - 7 mm de ancho, la tercera hoja osciló de 1.6 - 11.6 cm de largo el ancho fue de 3-10 mm, mientras que la cuarta hoja fue de 0.5 a 9.3 cm 3-6 mm de ancho.

El promedio de hojas fue de 3.37, siendo el valor máximo 4 y 2 el mínimo. Sólo 3 individuos presentaron 5 hojas a los 3 meses La quinta hoja fue de 3.4 -6.3 cm de longitud y de 3-4 mm de ancho.

4 meses.

El promedio de hojas fue de 4.5, el bulbo se puede observar completamente diferenciado, blanquecino en la base y con raíces retráctiles que lo mantienen fijo a el sustrato. Las raíces altamente diferenciadas hasta terciarias.

La primera hoja mide de 3 a 10.1 cm de longitud, con un promedio de 6.48 cm. La segunda hoja mide de 1.2 – 11.2 cm de longitud y 7.86 cm en promedio. Tercera hoja de 1.3 a 11.3 cm y un promedio de 6.35 cm de longitud. 4ª hoja de 1.2 -10.4 cm y 5.4 cm en promedio de longitud. 5ª hoja, de 0.8 a 16.3 cm y promedio de 7.9 cm de largo. Varios ejemplares a los 4 meses de edad tuvieron la 5ª hoja y 4 individuos presentaron el surgimiento de la 6a hoja.

5 meses.

El tamaño de las hojas osciló entre los siguientes valores, 1ª hoja de 3.6 a 14.5 cm de largo, 2ª hoja de 5.2 – 17.4 cm , 3ª hoja de 2.4 - 11.3 cm, 4ª hoja de 4.1 – 14.7 cm y 5ª hoja de 1.3 a 17.8 cm de largo.

Muchas de las plántulas de cinco meses no habían desarrollado aún el brote de la 5ª hoja cuando fueron medidas, por lo que se tuvieron que extender las mediciones hasta el sexto mes.

6 meses.

Las plántulas se caracterizaron por presentar ya la 5ª hoja que fluctuó entre los 16.3 y 18.3 cm de largo. Algunos individuos presentaron incluso la 6ª, con lo que se concluyeron las mediciones hasta este estadio.

El margen serrado se observó en la mayoría de las hojas.

En la figuras 16 y 17 se observan las plántulas herborizadas.

Textura.

Las hojas de las plántulas presentaron siempre una superficie lisa, uniforme y suave al tacto. Así mismo no se observó la formación de mucrón, pero sí un margen serrado muy fino en el sexto mes. No hubo variación en el color determinado con Pantone a través del tiempo y después se herborizaron algunos ejemplares. En el caso de *F. longaeva*, se presentó el color amarillento en los borde las hojas cuando éstas eran reemplazadas.

Crecimiento.

El crecimiento de las hojas en las plántulas no fue siempre uniforme. Esto es, la primera hoja no superó los 11.5 cm de largo ni tampoco fue inferior a los 6.5 cm de longitud, sin embargo, si presentó la menor longitud una vez comparadas a los 6 meses, pues la 2ª hoja fluctuó entre los 11.6 cm y 14. 5 cm de largo, siendo notorio que el valor máximo en la 1ª hoja es cercano al valor mínimo de la 2ª. En el caso de la 3ª hoja

que fue de 11.5- 20.6, sigue siendo notoria esa relación con los valores expuestos por la longitud de la 1ª hoja.

Sin embargo, esa relación cambió para los valores de la 4ª hoja que fueron de 16.5 – 18.9 y para la 5ª hoja de 16.3 -18.3, la 6ª hoja fue de 16.5 cm de largo, lo que hace suponer en una diferencia de crecimiento entre los valores máximos, pero también en una posible relación anatómica y entre las hojas que presentan casi el mismo valor mínimo de longitud. Quizá en estudios posteriores estas diferencias puedan ser explicadas mejor. El promedio de ancho de todas las hojas fue de 5 mm.

Observaciones en campo:

La floración de *Furcraea longeva* ha sido asociada a años muy lluviosos por los pobladores de las localidades donde habita. De ser así eso aseguraría una relación de humedad propicia para el desarrollo de la plántula. Pese a que *Furcraea longeva* puede tener más de 500 frutos por individuo no se observó el establecimiento de plántulas en campo, quizá por sobrepastoreo de la zona, aún no se conoce una especie nodriza asociada, pero es probable que 1 ó varias especies funjan como tales, por ejemplo *Hechtia glomerata* que forma colonias impenetrables.



**HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)
PLANTAS DE MÉXICO**

Furcraea longaeve Karw. & Zucc.
AGAVACEAE
Det. A. García-Mendoza, 2003.

Plántula de un mes de edad, germinada a 30°C y luz 24 hrs., proveniente de las semillas colectadas en Oaxaca por AG6058. Fecha de germinación 3 de marzo de 1996.

Ejemplar cultivado en suelo 1:1:1 (tierra de hoja, tepojal, tierra negra), pH 7 y a temperatura ambiente

Individuo con hiperfilia de más de 2 cm de largo, raíz primaria y collar definido.

Ejemplar con 3 copias.

Col. Laura De la Rosa 47.
junio 2003.



**HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)
PLANTAS DE MÉXICO.**

Furcraea longaeve Karw. & Zucc.
AGAVACEAE
Det. A. García-Mendoza, 2003.

Plántula de 4 meses, germinada a 10°C, proveniente de la colecta AG6058 del 1° de mayo de 1995.

Ejemplar cultivado en suelo 1:1:1 (tierra de hoja, tepojal, tierra negra), pH 7 y a temperatura ambiente

Ejemplar con tres hojas acaules, helicoidales, tallo en forma de corno y raíz primaria con porción retráctil.

Col. Laura De la rosa. 8.
23 de junio de 2003

15. Plántulas de *Furcraea longaeve* MEXU I.



**HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)
PLANTAS DE MÉXICO**

Furcraea longaeva Karw. & Zucc.

AGAVACEAE

Det. A. García-Mendoza, 2003.

Plántula de 3 meses, germinada a 10°C , 14 horas luz /10 horas oscuridad, semilla proveniente de la colecta AG6058.

Ejemplar cultivado en suelo 1:1:1 (tierra de hoja, tepojal, tierra negra), pH 7 y a temperatura ambiente

Individuo con 2 hojas lanceoladas, acaules, helicoidales, corno raíz primaria y laterales.con rizoides.

Col. Laura De la Rosa. 3.

14 de noviembre 1995.



**HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)
PLANTAS DE MÉXICO**

Furcraea longaeva Karw. & Zucc.

AGAVACEAE

Det. A. García-Mendoza, 2003.

Plántula de 4 meses de edad, germinada a 20°C, 12 horas luz / 12 horas oscuridad. Poveniente de las semillas colectadas por AG 6055 el 30 de abril de 1995.

Ejemplar cultivado en suelo 1:1:1 (tierra de hoja, tepojal, tierra negra), pH 7 y a temperatura ambiente

Individuo con 6 hojas lanceoladas, acaules de posición helicoidal. Tallo en forma de corno, raíz primaria y laterales.

Col. Laura De la Rosa. 34.

23 de junio de 2003.

16. Plántulas de *Furcraea longaeva* en MEXU II.

7. DISCUSION.

La morfología externa de las semillas de *Furcraea longaeva* es similar a otras especies del género *Furcraea*, analizados por Alvarez (1991) y Arnott (1962). Algunas características que se reportan por primera vez son: presencia de arilo café-dorado, hilum blanquecino, ala doble, poros, límites entre uniones celulares anticlinales menores a una micra, células con ornamentaciones en forma de domos, Cerca del arilo, es evidente la presencia de un engrosamiento de las paredes celulares periclinales, así como plegamiento e inclusiones de algunas paredes.

La estructura primaria fue de contorno celular pentagonal, algunas veces elongado, especialmente en las partes planas de la semilla. Dada la curvatura de la pared exterior celular anticlinal, se observó una apariencia papilosa y / o convexa. Paredes anticlinales rectas, el relieve del margen celular fue acanalado en la superficie de la semilla, pero se observó elevado en la región del micrópilo, engrosamiento de paredes celulares, plegamientos de la superficie, así como reminiscencias del arilo. La estructura secundaria (el relieve fino de la pared celular) se presentó liso.

La función de la testa en *F. longaeva* evidentemente es proporcionar una unidad espacial y funcional a la semilla, así como proteger al embrión de la depredación, ya que posee una capa externa de fitomelano que además le da cierto grado de dureza y resistencia. También se le puede considerar la testa como un medio de dispersión dada la existencia de alas.

La infrutescencia de *Furcraea longaeva* es muy ramificada, llegando incluso a 88 ramas por individuo y abundante en frutos. Las observaciones de frutos de individuos en campo y la frecuencia de semillas por fruto ha llevado a estimar una producción de semillas cercana a 50 000 por individuo, si se aplica el criterio de Delgado - Valerio (1994). La capacidad de producción de semillas es el límite biológico máximo de semillas que es capaz de producir un fruto. Se cuantificaron las semillas de 20 frutos escogidos al azar y que hicieron dehiscencia en el laboratorio, las semillas fluctuaron entre 165 - 207 fértiles y abortivas, aunque la P de semillas fértiles fue de 0.3 por fruto. Eso parece estar estrechamente relacionado con la biología de la especie, dado que es una especie monocárpica con floraciones espaciadas por de más de 10 años.

Material de reserva:

Aunque todas las pruebas histoquímicas realizadas fueron positivas, fue evidente la gran cantidad de proteínas sobre la cantidad de lípidos encontrados en el material de reserva. La presencia de rafidios en el material de reserva, es un carácter típico de la especie.

Las reservas nutritivas en la semilla pueden encontrarse en las células de diferentes tejidos, por ejemplo: endospermo y nucela en semillas albuminosas, y embrión en todas las semillas. Estas reservas mantienen al esporofito hasta que se convierte en autótrofo, gracias a un proceso fotosintético, Kramer & Kozlowski (1979), Bidwell (1979), Bewley & Black (1985). Esau, (1982), Niembro (1988).

Sin embargo, el carácter cualitativo de las pruebas efectuadas para *Furcraea longaeva* impiden determinar grados de abundancia entre carbohidratos, lípidos y proteínas ya que no se tomó en cuenta el análisis cuantitativo de los mismos en el presente trabajo.

Para el caso del género *Furcraea*, es la primera vez que se tiene conocimiento de pruebas histoquímicas del material de reserva. Dichas pruebas podrían ser más completas a fin de identificar aquellas enzimas, proteínas y nucleoproteínas, que son activas o inactivas metabólicamente.

Es necesario entender a las pruebas histoquímicas como una herramienta más para la identificación de semillas, aunque es importante recordar que sí la composición química de las semillas esta determinada genéticamente, la cantidad relativa de los varios constituyentes de la semilla son o están influenciadas por el régimen ambiental y por la vía de alimentación de la semilla de la planta madre Kramer y Kozlowski (1979).

Embrión.

La posición del embrión en *Furcraea longaeva* es paralela (98%) y con menor oblicuidad (2%) al eje cálaza – hilum, que lo reportado por Arnott (1962) y Villanueva (1986) para *Yucca*, donde el embrión tiene una orientación oblicua (en un 68% de las semillas) o paralela (32%) al eje cálaza-hilo. Esta particularidad fue enfatizada ya antes por Trelease (Arnott, 1962), quien señaló que la orientación oblicua es una característica importante del grupo Yuccaceae.

La redondez o la apariencia elíptica del embrión en corte transversal fue reportada por Arnott (1962) y Villanueva (1986), para algunas especies del género *Yucca*. *Furcraea longaeva*, parece no mostrar diferencias en esta característica.

Smirnova (1965) en Villanueva (1986) señala las características estructurales más importantes en la sistematización de las semillas de las plantas con flor:

- a) relación entre el tamaño del embrión y el eje vertical de la semilla (Em/S).
- b) el tipo de tejido nutritivo en la semilla madura.
- c) el grado de desarrollo del embrión al momento de dispersión.
- d) la función de los cotiledones.

En el caso de *Furcraea longaeva* es evidente la abundancia del material de reserva y su superioridad en cantidad con referencia al cuerpo del embrión (4:1). En cuanto al grado de desarrollo del embrión, quizás la presencia de los meristemos y lo señalado por González-Zertuche (1992), pudiese indicar que el embrión se encuentra desarrollado al momento de la dispersión de la semilla.

Durante las pruebas de viabilidad, las semillas utilizadas se hidrataron rápidamente evidenciándose así la presencia de una cubierta permeable, por lo cual no se realizó la escarificación. Sin embargo, fue importante hacer la prueba de viabilidad para verificar la presencia del embrión vivo, el cual lo estuvo en un 96% de los casos observados.

Germinación y relación con el hábitat.

Las semillas de *F. longaeva* son liberadas en primavera. Su dispersión comienza en esa estación y termina ya avanzado el verano. Quizás el viento pueda estar involucrado en la dispersión de semillas, dada la existencia de ala.

Los resultados de germinación obtenidos mostraron que las semillas estaban suficientemente maduras para su germinación al momento de su dispersión y no presentaron latencia o dormancia una vez salidas del fruto, lo cual coincide ampliamente con el cambio de la estación primavera – verano, y por consiguiente, con el incremento de humedad ambiental.

Podríamos suponer que durante la primavera la temperatura ayuda a la maduración de los frutos, mientras que la rápida germinación puede estar influenciada por la gran cantidad de arcillas presentes en el suelo, pues éstas son altamente hidrófilas. El régimen de lluvias asociado al verano y la gran tolerancia a bajas temperaturas (10°C) no son inhibidores de la germinación, y aunque pueden retrasar el Tiempo Máximo de Germinación, no lo nulifican. Esto puede estar asociado a la altitud a la que se localiza la especie, en donde son comunes los descensos de temperatura. El comportamiento de germinación a los 35°C, presentado por la especie en estudio, muestra que es sumamente tolerante a temperaturas extremas.

Debido a que *F. longaeva* dispersa sus semillas, permaneciendo éstas sobre la superficie del suelo, ya sea integradas a algunas partículas del mismo, o bien, entre las rocas durante algún tiempo, es posible que estén expuestas a fluctuaciones de temperatura ambiental muy amplias, también de ahí puede explicarse su gran tolerancia a temperaturas extremas. En todas las pruebas efectuadas, la temperatura óptima de germinación se presentó a los 25°C. Sin embargo, se obtuvieron altos porcentajes de 15° a 30°C, sin importar el fotoperiodo aplicado.

Dicho comportamiento en la germinación coincide con lo encontrado para *A. deserti*, pues la luz tampoco pareció ser necesaria para estimular la germinación en los estudios realizados por Jordan y Nobel (1979) para *A. deserti*. Pritchard y Miller (1995), encontró que *A. americana* era muy poco sensible a la iluminación.

Sólo a 35°C se presentó un descenso de los porcentajes de germinación. se obtuvieron porcentajes de 36, 60 y 70. Aún con los resultados obtenidos, no fue posible determinar si la fluctuación de temperaturas durante el día o la noche podrían afectar el comportamiento germinativo de la especie en estudio, tal como aconteció con *Agave lechuguilla* o *A. parryi*, (Freeman *et al.* 1977). Sería interesante realizar estudios con fluctuaciones de temperatura para conocer su influencia en la germinación de la especie.

Furcraea longaeva no presentó dormancia. Su comportamiento concuerda con lo expuesto por Baskin y Baskin (1998), para las plantas de origen tropical, arbustos de zonas áridas con un 61 % de no-dormancia. Según el autor, debido al decremento en la precipitación y temperatura, (incremento de la distancia desde el ecuador) asociado al aumento de la latitud dentro de la región tropical/subtropical, la no-dormancia decrece y la dormancia se incrementa. Sin embargo, el incremento de no-dormancia en arbustos y matorrales es más alto cuando se comparan con el bosque perennifolio, el bosque caducifolio, las estepas y desiertos fríos, así como las zonas árticas, regiones en donde la no-dormancia decrece, paralelamente a los decrementos de precipitación y temperatura.

Furcraea longaeva coincide con los porcentajes de germinación obtenidos para *Furcraea pubescens* (100 %), *F. cahum* (95%) y *F. longaeva* (95%) por García - Mendoza (2001). La germinación de semillas de la especie en estudio mostró mayores porcentajes de germinación de los registrados para *Yucca*, (Arnnott, 1962), *Agave parryi*, (Freeman, 1975), *Agave lechuguilla*, Freeman *et al.* (1977), *Agave deserti*, (Jordan y Nobel, 1979), y varias especies de *Yucca* estudiadas por Keeley y Tufenkian, (1984) y *Agave americana*, Pritchard y Miller, (1995). Valores de germinación cercanos a los porcentajes obtenidos en *F. longaeva*, fueron registrados para *Agave sisalana* y *A. atrovirens* por Barrientos y Villegas (1985), *Manfreda brachystachya*, González (1992), Eguiarte. *et al.* (1999) y *Polianthes*, Serrano *et al.* (2000).

La identificación, limpieza y etiquetado de semillas fue realizado en condiciones de laboratorio, para las semillas de *Furcraea longaeva*, pero las semillas no utilizadas de la muestra y de otras especies de Agavaceae y del mismo género se almacenaron según las recomendaciones de Ocampo-López, A., (com. Per.), para su conservación *ex situ*, Algunas de esas semillas, pertenecen a los datos

de germinación obtenidos por García-Mendoza (2001), en las pruebas de germinación para varias especies del género *Furcraea*.

Muchas de esas semillas almacenadas sufrieron refrigeración por varios meses previamente haber sido conservadas en los frascos con sílica. Es muy probable que las semillas conservadas de esta manera hayan sido estimuladas por el descenso de la temperatura y su posterior exposición a la germinación, dados los éxitos en la respuesta de germinación reportada por García-Mendoza (2001).

Sin embargo, las muestras de semillas más antiguas manejadas por García-Mendoza (2001), no presentaron germinación, muy probablemente debido a que pasaron mucho tiempo conservadas a temperatura ambiente en bolsas de papel y posteriormente conservadas en los frascos con sílica y germinadas varios meses después.

La razón fisiológica de la semilla, por la cual debe someterse a desecación se explica de la siguiente manera:

Ya que las semillas de cubierta permeable generalmente exhiben un proceso de germinación en 3 fases: I la imbibición, II la activación de la germinación *sensu stricto* III fase de crecimiento. Y si el potencial hídrico es suficientemente bajo para prevenir la emergencia de la radícula, no ocurrirá la primera fase de germinación y esta se extiende indefinidamente (Bradford, 1995).

Del estudio de las plántulas no sólo se obtuvo información sobre su descripción morfológica, sino también permitió reconocer algunos atributos ecológicos para su establecimiento, los cuales mostraron signos adaptativos fisiológicos muy importantes, como la capacidad fotosintética de la hiperfilia, cuando la cantidad de material de reserva no es tan abundante como en *Yucca*. La presencia de raíz retráctil y su disposición helicoidal en hojas son importantes para su establecimiento dentro del hábitat.

La presencia de raíz retráctil así como sus ramificaciones son importantes, pues concuerda ampliamente con el trabajo de Tillich, (1995), quien distinguió por sus fuertemente desarrolladas y ramificadas raíces primarias a las plántulas de las familias basales de Asparagales: Philesiaceae, Luzuriagaceae, Convallariaceae, Asparagaceae, Ruscaceae, Dracnaceae, Agavaceae y Phormiaceae. Un factor importante en la naturaleza para el establecimiento de las plantas es la presencia de plantas nodrizas, no identificadas aún. Jordan y Nobel (1979) señalaron la importancia de las plantas nodrizas en el establecimiento de plántulas de *Agave deserti*, así como la precipitación y temperatura pueden ser determinantes para el éxito en el establecimiento de los individuos, la temperatura del suelo y el desarrollo de las raíces por las plántulas dependió también de los factores meteorológicos. La importancia del desarrollo de biomasa por

parte de la planta fue crucial para su sobrevivencia, pues de ella dependió la sobrevivencia de plántulas de *Agave deserti*.

Es probable que el establecimiento de las plántulas en campo esté asociada a la abundante precipitación de algunos años, lo cual podría facilitar el establecimiento de las plántulas en campo. Las plántulas deben desarrollar suficientes tejidos de reserva para su sobrevivencia (Jordan y Nobel, 1979) En el caso de *Furcraea longaeva*, el rápido desarrollo de raíces primaria y secundarias pueden favorecer en mucho su establecimiento en campo y la diferenciación rápida de un cormo, puede sugerir la capacidad de almacenamiento de agua y reservas en sus tejidos, que ayudarán a su establecimiento.

8. CONCLUSION.

Este estudio contribuye al conocimiento de la biología de *Furcraea longaeva*, sobre todo en la morfología externa e interna de la semilla. Los caracteres morfológicos constantes encontrados en la estructura primaria y secundaria de la superficie de la testa, son mencionadas por primera vez para la especie. Los poros, células en forma de domo, arreglos celulares y patrones de incrustación fitomelánica encontrados podrían ser de importancia taxonómica.

Las semillas de esta especie no presentan dormancia. La especie mostró un comportamiento germinativo sensible a los cambios de temperatura, pero que no inhiben la germinación.

Los tiempos mínimos de germinación (GMT) y máximos (GMAXT), muestran que la especie es altamente tolerable a temperaturas extremas, quizás asociadas a su hábitat.

La respuesta de germinación proporcionó información importante para el manejo del germoplasma de la especie dentro del banco de semillas. Su tolerancia a diferentes temperaturas y los análisis de varianza demuestran su independencia con los fotoperíodos aplicados, lo que hace suponer, que un descenso en la temperatura de incubación y la deshidratación por gel serían suficientes para su almacenamiento a largo plazo.

Se sugirió la deshidratación con gel de sílice para un futuro banco de germoplasma, pues es un método de deshidratación que permite conservar diásporas a temperatura ambiente.

La obtención de plántulas, nos permitió observar una germinación epigea y plántulas de cotiledón largo, tal como lo reportó para la especie García-Mendoza (2001). El significado ecológico de la morfología de las plántulas estuvo ligado a su capacidad de dispersión y su hábitat

Perspectivas de estudio.

Conocer el ciclo fenológico de la especie es importante para poder proponer un plan de manejo para el aprovechamiento sustentable y conservación de *Furcraea longaeva*.

Análisis cromosómico, ontogenia de la semilla, ciclo de vida, polinizadores, fauna asociada, velocidad de crecimiento, anatomía, ecología de sus poblaciones, son algunos de los estudios que se hacen necesarios para un mejor conocimiento de la especie y conservación de la misma.

BIBLIOGRAFIA

- Anónimo. 1992. *Munsell Soil Color Charts*. Macbeth Kollmorgen Instrumente Corporation. New York.
- Álvarez, Z.A. 1986. Las inflorescencias en Agavaceae. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 7(2):3-14.
- Álvarez, Z.A. y E. Köhler. 1987. Morfología del polen de Agavaceae y algunos géneros afines. *Grana* 26:25-46.
- Álvarez, Z.A. 1989. Morfología y anatomía floral de las Agavaceae. *Revista del Jardín Botánico Nacional*. 9(3):37-55.
- Álvarez, Z.A. 1991. Patrones de incrustación fitomelánica de la cubierta seminal en algunos miembros del Orden Asparagales. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 12:81-96.
- Anderberg, A.L. 1969. *Atlas of Seeds and small fruits of Northwest-European plant species. with morphological descriptions*. Swedish Museum of Natural History, Stockholm.
- Arnott, H.J. 1962. The seed, germination and seedling of *Yucca*. *University of California Publications in Botany* 35 (1):1-164.
- Barthlott, W. 1981. Epidermal and seed surface characters of plants: systematic applicability and some evolutionary aspects. *Nordic Journal of Botanic* 1:345-355.
- Barrientos, B.P.F. y M.A. Villegas. 1985. Métodos de propagación de Agaves. En: Cruz, C., L. Del Castillo, M. Robert y N.R. Ondarza. Eds. *Biología y aprovechamiento integral del Henequén y otros Agaves, Yucatán*, pp. 91-98. Centro de Investigación Científica de Yucatán. México.
- Baskin, C.C. y J.M. Baskin. 1998. *Seeds biogeography and evolution of dormancy and germination*. Academic Press, San Diego, California.
- Bewley, J.D. y M. Black. 1985. *Seed physiology of development and germination*. Plenum Press. New York.
- Bidwell, R.G.S. 1979. *Fisiología Vegetal*, AGT. México, D.F.
- Bradford, K.J. 1995. Water Relation in seed germination. En: J. Kigel y G. Galili *Seed Development and Germination*. pp. 351-396. Marcel Dekker. New York.
- Bridson, G. y R.E. Smith. 1991. *Botanico-Periodicum-Huntianum/supplementum*. Hunt Institute for Botanical Documentation, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
- Boyd, L. 1932. Monocotyledonous seedlings. *Transactions and Proceedings Botanical Society of Edinburg* 31:1-224.
- Carlquist, S. 1982. The use of Ethylenediamine in softening hard plant structures for paraffin sectioning. *Stain Technology* 57(5):311-317.
- Côme, D. 1968. Problèmes de Terminologie Posés par la germination et ses obstacles. *Bulletin Société France Physiologie Végétal* 14 (1):3-9.
- Dahlgren, M.T.R. y T.H. Clifford. 1982. *The Monocotyledons: A comparative Study*. Academic Press. Orlando, Florida.

- Dahlgren, M.T.R., T.H. Clifford y P.F. Yeo. 1985. *The Families of the Monocotyledons*. Springer-Verlag, Berlin.
- Danilova, M.F., E.N. Nemirovich-Danchenko, G. A. Komar y M. M. Lodkina. 1995. The Seed structure of Monocotyledons. En: Rudall, P. J., Cribb, P.J., Cutler, D.F., y C.J. Humpries. Eds. *Monocotyledons: systematics and evolution*, pp. 461-472, Royal Botanic Garden, Kew.
- De la Parra, M.A. 1984. *Nociones de Estadística*, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Delgado-Valerio, P. 1994, Evaluación de la capacidad productiva y eficiencia de semillas para tres especies del género *Pinus* (*P. montezumae* Lamb., *P. pseudostrobus* Lind. y *P. leiophylla* Schl. y Cham.) en la zona boscosa de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michocán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 54:267-274.
- Eguiarte, F. L., J. Larson-Guerra, J. Núñez-Farfán, A. Martínez-Palacios, K. D. Santos y H. T. Arita. 1999. Diversidad filogenética y conservación: ejemplos a diferentes escalas y una propuesta a nivel poblacional para *Agave victoriae-reginae* en el desierto de Chihuahua, México. *Revista Chilena de Historia Natural* 72:475-492.
- Elizondo, E.J., J.R. Valdés, S.M. Arias y S.L. Hatch. 1994. Micromorfología de las semillas de algunas especies de la Tribu Cactaeae (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 39:59-67.
- Endlicher, I.L. 1836 – 1840. *Generum plantarum secundum ordines naturales*. Leipzig. Vindobonae.
- Esaú, K. 1982. *Anatomía de las plantas con semilla*. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.
- Evenari, M. 1957. Les problèmes physiologiques de la germination. *Bulletin Société France Physiologie Végétal* 3(4):105-124.
- Freeman, C.E. 1975. Germination responses of a New Mexico population of Parry agave (*Agave parryi*, Engelm. var. *parryi*) to constant temperature, water stress, and pH. *The Southwestern Naturalist* 20: 69-74.
- Freeman, C. E., R. S. Tiffany y H.W. Reid. 1977. Germination responses of *Agave lechuguilla*, *A. parryi*. and *Fouquieria splendens*. *The Southwestern Naturalist* 22: 195-204.
- Freeman, C.E. y H.W. Reid. 1985. Aspects of the reproductive biology of *Agave lechuguilla* Torr. *Desert Plant* 7:75-80.
- García – Mendoza, A.J., y E. J. Lott. 1994. Agavaceae. En: Davidse, E G., M. Sousa, y A.D. Chater. Eds. *Flora Mesoamericana* 6:35 -47. México D.F.
- García – Mendoza, A.J. 1995. Riqueza y endemismos de la Familia Agavaceae en México. En: Linares E., P. Dávila, F. Chiang, R Bye., T. Elias. Eds. *Conservación de plantas en peligro de extinción: Diferentes enfoques*, pp. 59-83, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- García – Mendoza, A.J. y R. Galván. 1995. Riqueza de las familias Agavaceae y Nolinaceae en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 56: 7-24.
- García – Mendoza, A.J. 2000. Revisión Taxonómica de las especies arborescentes de *Furcraea* (Agavaceae) en México y Guatemala. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 66: 113-129.

- García - Mendoza, A.J. 2001. Revisión del Género *Furcraea* (Agavaceae). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 342 pp.
- González-Zertuche. L.A.M. 1992. Métodos de Análisis para el Estudio de la Germinación de *Manfreda brachystachya* (Cav.) Rose, Fam. Amaryllidaceae. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 60 pp.
- González-Zertuche, L. y A. Orozco-Segovia. 1996. Métodos de análisis en la germinación, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58:15-30.
- Huber, H. 1969. Die Sammenmerkmale und Verwandtschaftsverhältnisse der Liliiflorae. *Mitteilungen der Botanisch Staatssammlung München* 8:219-538.
- I.S.T.A. (International Seed Testing Association) 1985. Seed Science and Technology. *International Rules for Seed Testing* 13:299- 315.
- Jordan, P.W. y P.S. Nobel. 1979. Infrequent establishment of seedlings of *Agave deserti* (Agavaceae) in the Northwestern Sonoran desert. *American Journal of Botany* 66:1079 - 1084.
- Keeley, J.E. y A.D. Tufenkian. 1984. Garden Comparison of Germination and Seedling Growth of *Yucca whipplei* subspecies (Agavaceae). *Madroño* 31(1):24 - 29.
- Kramer, J.P. y T.T. Kozlowski. 1979. *Physiology of Woody Plants*. Academic Press. London.
- Lipschutz, S. 1968. *Teoría y Problemas de Probabilidad*. McGraw-Hill. México, D. F.
- López-Curto, M. L., G. J. Márquez y S.G. Murguía. 1998. *Técnicas para el Estudio del Desarrollo en Angiospermas, Libro de Laboratorio*. Laboratorio de Citología Vegetal, Departamento de Biología, Facultad. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Martin, A.C. 1946. Internal Morphology of Seeds. *American Midland Naturalist* 36:513-660.
- Martínez-Palacios, A. 1998. Evaluación genética y demográfica de *Agave victoriae reginae* T. Moore y su aplicación del cultivo de tejidos para su conservación. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 40 pp.
- Matuda, E. y L.I. Piña. 1980. *Las plantas mexicanas del género Yucca*. Serie Fernando de Alva Ixtlilxochitl. Colección Miscelánea. Toluca, Estado de México.
- Niembro, R.A. 1988. *Semillas de Árboles y Arbustos, Ontogenia y Estructura*. Limusa. México, D.F.
- Pritchard, H. W., y A. P. Miller. 1995. The effects of constant temperatures, light and seed quality on the germination characteristics of *Agave americana*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 57:11-14.
- Salgado, U.I.H. 1992. *El Análisis Exploratorio de los Datos Biológicos, fundamentos y aplicaciones*. MARC-Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Serrano, C.H., E.C. Solano y L.A. Ocampo. 2000. Morfología de semillas, germinación y desarrollo postemergente de 3 especies del género *Polianthes*. L. (Agavaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 66:55-65.
- Snijman, D.A. y H.P. Linder. 1996. Phylogenetic relationships, seed characters and dispersal system evolution in Amaryllideae (Amaryllidaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 83:362-386.

- Tillich, H.J. 1995. Seedlings and systematics in monocotyledons. En: Rudall, P. J., Cribb, P. J., Cutler, D. F., y C. J. Humpries. Eds. *Monocotyledons: systematics and evolution*, pp. 303-352, Royal Botanic Garden, Kew.
- Thomson, J.R. 1979. *Introducción a la Tecnología de las Semillas*. Ariabsa. Barcelona.
- Trelease, W. 1902. The Yuccaeae. *Report Missouri Botanical Garden* 13:27-133
- Ullrich, B. 1991. El complejo *Furcraea longaeva* Karwinsky et Zuccarini. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 36(3):56-61.
- Valenzuela, Z.A.G. 1994. *El Agave Tequilero: su cultivo e industrialización*. Monsanto. Guadalajara, México.
- Verhoek, S. 1975. A Study of the Tribe Poliantheae (including *Manfreda*) and Revision of *Manfreda* and *Prochnyanthes* (Agavaceae). Ph. D. Thesis. Cornell University Michigan.
- Villanueva, G.E. 1986. *Anatomía de la semilla madura de Yucca periculosa, Baker, (Agavaceae) y ontogenia de su tejido de reserva*, Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 55 p.
- Weberling, F. 1989. *Morphology of flowers and inflorescences*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Woodhouse, M.R., G. J. Williams, y Nobel, S. P. 1980. Leaf Orientation, Radiation and Nocturnal acidity increases by the CAM plant *Agave deserti* (Agavaceae). *American Journal of Botanic* 67(8):1179-1185.