

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ciencias Forestales



**CAPACIDAD GERMINATORIA DE DOS ESPECIES DEL GÉNERO
Astrophytum, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL AGUA COMO MEDIO
GERMINATIVO.**

Por

JAIME SÁNCHEZ SALAS

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES**

Noviembre, 2009

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ciencias Forestales
Subdirección de Postgrado

CAPACIDAD GERMINATORIA DE DOS ESPECIES DEL GÉNERO
***Astrophytum* Lemaire (1839) Subfamilia Cactoidea; Tribu Cacteeae,**
MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL AGUA COMO MEDIO GERMINATIVO.

Aprobación de la tesis:

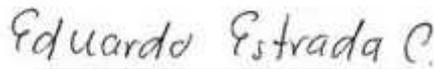
COMITÉ DE TESIS



Dr. Enrique Jurado Ybarra
DIRECTOR



Dra. Marisela Pando Moreno
ASESOR INTERNO



Dr. Eduardo Estrada Castellón
ASESOR INTERNO



Dr. Joel David Flores Rivas
ASESOR EXTERNO

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Introducción.	1
Objetivos.	
General.	3
Específicos .	3
Hipótesis.	3
General.	3
METODOLOGÍA.	4
Colecta y desinfección de semillas.	4
Discriminación de semillas.	4
Unidades experimentales para el estudio de germinación.	4
El género <i>Astrophytum</i> y su origen edáfico.	4
La forma navicular como función para la respuesta germinativa.	5
Diferencias estructurales entre semillas.	5
EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SEMILLAS DEL GÉNERO <i>Astrophytum</i>	5
Prueba de permeabilidad en 50 semillas por especie (Baskin y Baskin, 2001).	5
Registro de la permeabilidad.	7
Cálculo de los niveles de permeabilidad entre especies.	7
Diseño experimental.	7
Análisis estadístico.	7
EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SEMILLAS DE ESPECIES TESTIGO.	
Prueba de permeabilidad en especies testigo.	8
Registro de la permeabilidad.	9
Cálculo de los niveles de permeabilidad entre especies.	9
Diseño experimental.	9
Análisis estadístico.	9
EVALUACIÓN DE LA FLOTABILIDAD EN SEMILLAS DEL GÉNERO <i>Astrophytum</i>.	
Prueba de flotabilidad.	10
Diseño experimental.	11
Análisis estadístico.	11
EVALUACIÓN DE LA FLOTABILIDAD ENTRE ESPECIES TESTIGO Y ESPECIES GÉNERO <i>Astrophytum</i>.	
Prueba de flotabilidad.	11
Diseño experimental.	12
Análisis estadístico.	12
COMPARACIÓN DE LA GERMINACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS Y DOS ESPECIES: <i>A. capricorne</i> (Dietrich) Britton & Rose y <i>A. ornatum</i> (De Candolle) Britton & Rose.	
Tratamientos propuestos para su evaluación.	12
Normalización de porcentajes de germinación Sokal y Rohlf (1995).	12
Cálculo de la velocidad de germinación (T50) entre tratamientos y especies.	13
Sustratos y variantes de inmersión en agua (tratamientos).	14
Comparación múltiple (ANOVA) entre semillas del género <i>Astrophytum</i> y semillas de especies testigo.	14

Condición de los tratamientos.	14
Sustratos.	14
Inmersiones.	15
Especificaciones del diseño experimental por especie.	16
Especificaciones de los tratamientos.	16
Desarrollo experimental.	17
RESULTADOS.	
EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SEMILLAS DEL GÉNERO <i>Astrophytum</i>.	19
EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SEMILLAS DE ESPECIES TESTIGO.	20
Comparación de la permeabilidad del género <i>Astrophytum</i> contra especies testigo.	26
EVALUACIÓN DE LA FLOTABILIDAD EN SEMILLAS DEL GÉNERO <i>Astrophytum</i>.	27
EVALUACIÓN DE LA FLOTABILIDAD EN SEMILLAS DE ESPECIES TESTIGO.	33
Comparación de la flotabilidad del género <i>Astrophytum</i> contra especies testigo.	36
COMPARACIÓN GERMINATIVA ENTRE TRATAMIENTOS Y DOS ESPECIES: <i>A. capricorne</i> (Dietrich) Britton & Rose y <i>A. ornatum</i> (De Candolle) Britton & Rose.	
COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD GERMINATIVA ENTRE TRATAMIENTOS Y ESPECIES: <i>A. capricorne</i> (Dietrich) Britton & Rose y <i>A. ornatum</i> (De Candolle) Britton & Rose.	42
DISCUSIONES.	46
CONCLUSIONES.	50
BIBLIOGRAFÍA.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Forma navicular típica de una semilla del género <i>Astrophytum</i> provocada por la quilla.	5
Figura 2. Estructuras compartidas entre las especies <i>A. capricorne</i> y <i>A. ornatum</i> : hilo (h), capa funicular (cf) y funículo (f).	5
Figura 3. Ejemplificación del diseño experimental para permeabilidad.	6
Figura 4. Semillas de especies testigo: a) <i>Acacia farnesiana</i> , b) <i>Prosopis laevigata</i> , c) <i>Opuntia streptacantha</i> y d) <i>Phaseolus vulgaris</i> .	8
Figura 5. Ejemplificación del diseño experimental para permeabilidad en especies testigo.	9
Figura 6. Semillas del género <i>Astrophytum</i> mostrándola con capa funicular (a) y sin capa funicular para la evaluación de flotabilidad.	10
Figura 7. Ejemplificación del diseño experimental para flotabilidad en especies testigo.	12
Figura 8. Ejemplificación del diseño experimental aplicado para evaluar porcentaje de germinación en dos especies del género <i>Astrophytum</i> .	18
Figura 9. Niveles de permeabilidad entre especies del género <i>Astrophytum</i> .	19
Figura 10. Comportamiento de la permeabilidad por hora entre especies del género <i>Astrophytum</i> .	20
Figura 11. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especies testigo.	21
Figura 12. Semilla de <i>A. farnesiana</i> mostrando pleurograma (línea punteada), a) antes de evaluar permeabilidad y b) durante evaluación mostrando emergencia de excrescencia a las 16 horas.	21
Figura 13. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especie testigo.	21
Figura 14. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especie testigo.	22
Figura 15. Semillas de <i>Phaseolus vulgaris</i> germinadas a las 40 horas de evaluación en permeabilidad.	22
Figura 16. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especie testigo.	23
Figura 17. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especie testigo.	23
Figura 18. Niveles de permeabilidad presentes entre las especies testigo.	24
Figura 19. Comportamiento de la permeabilidad en las primeras ocho horas.	25
Figura 20. Niveles de permeabilidad (%) del género <i>Astrophytum</i> contra especies testigo.	26
Figura 21. Comportamiento de la flotabilidad en semillas de <i>A. capricorne</i> con y sin capa funicular.	27
Figura 22. Flotabilidad en semillas de <i>A. capricorne</i> en semillas con capa funicular (SCCF) y semillas sin capa funicular (SSCF).	28
Figura 23. Posición de las semillas durante evaluación de flotabilidad.	29
Figura 24. Comportamiento de la flotabilidad en semillas de <i>A. ornatum</i> .	29
Figura 25. Pérdida de la posición boyante durante evaluación de flotabilidad en <i>A. ornatum</i> .	30
Figura 26. Efecto de la flotabilidad en semillas con capa funicular (SCCF) por acción de la posición en <i>A. ornatum</i> .	31
Figura 27. Porcentaje de flotabilidad en <i>A. ornatum</i> evaluando ambas condiciones de semillas con y sin capa funicular.	32
Figura 28. Comportamiento de la flotabilidad.	33

Figura 29.	Comportamiento de la flotabilidad.	34
Figura 30.	Flotabilidad entre especies testigo.	35
Figura 31.	Comparación de la flotabilidad en semillas del género <i>Astrophytum</i> contra especies testigo.	36
Figura 32.	Formas de germinación presentes durante la germinación: a) sistema radicular primario, b) hipocótilo y c) embrión embebido.	37
Figura 33.	Comparación del día de inicio de germinación entre tratamientos para la especie <i>A. capricorne</i>.	37
Figura 34.	Comparación del día de inicio de germinación entre tratamientos para la especie <i>A. ornatum</i>.	38
Figura 35.	Comparación del inicio de germinación entre especies del género <i>Astrophytum</i>.	39
Figura 36.	Porcentaje de germinación entre tratamientos para la especie <i>A. capricorne</i>.	40
Figura 37.	Porcentaje de germinación en <i>A. ornatum</i> entre tratamientos. Se encontró diferencia altamente significativa.	41
Figura 38.	Porcentaje de germinación entre tratamientos y especies del género <i>Astrophytum</i>.	42
Figura 39.	Velocidad de germinación entre tratamientos en <i>A. capricorne</i>.	43
Figura 40.	Velocidad de germinación entre tratamientos en <i>A. ornatum</i>.	44
Figura 41.	Comparación de la velocidad germinativa entre especies y tratamientos en especies del género <i>Astrophytum</i>.	45

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Resultados de ANOVA de un factor para permeabilidad entre especies del <i>Astrophytum</i> .	19
Cuadro 2. Resultados de ANOVA de un factor para permeabilidad entre especies testigo.	25
Cuadro 3. Resultados de ANOVA de un factor para permeabilidad entre especies testigo.	26
Cuadro 4. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas sin capa funicular.	27
Cuadro 5. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas con capa funicular.	27
Cuadro 6. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas de <i>A. capricorne</i> con capa funicular (SCCF) contra semillas sin capa funicular (SSCF).	28
Cuadro 7. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas con capa funicular en <i>A. ornatum</i> .	30
Cuadro 8. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas con capa funicular en <i>A. ornatum</i> .	31
Cuadro 9. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad en semillas con capa funicular y sin capa funicular en <i>A. ornatum</i> .	32
Cuadro 10. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad en semillas de especies testigo.	33
Cuadro 11. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad en semillas de especies testigo.	35
Cuadro 12. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad entre semillas del género <i>Astrophytum</i> contra especies testigo.	36
Cuadro 13. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad entre semillas del género <i>Astrophytum</i> contra especies testigo.	39
Cuadro 14. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje de germinación entre tratamientos en <i>A. capricorne</i> .	40
Cuadro 15. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje de germinación entre tratamientos en <i>A. ornatum</i> .	41
Cuadro 16. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje de germinación entre tratamientos en <i>A. ornatum</i> .	42
Cuadro 17. Resultados de ANOVA de un factor para velocidad de germinación entre tratamientos en <i>A. capricorne</i> .	43
Cuadro 18. Resultados de ANOVA de un factor para velocidad de germinación entre tratamientos en <i>A. ornatum</i> .	43
Cuadro 19. Resultados de ANOVA de un factor para velocidad de germinación entre especies del género <i>Astrophytum</i> .	44

AGRADECIMIENTOS

Mi más sentido agradecimiento a cada una de las personas que directa e indirectamente participaron y enriquecieron el documento, pues sin su valiosa colaboración, hubiese sido imposible llegar al final.

Atentamente:

Jaime Sánchez Salas.

INTRODUCCIÓN.

La dispersión de semillas es un proceso activo y dinámico que puede ubicar a las mismas en sitios seguros (Abraham de Noir et al, 2002). Las semillas pueden presentar adaptaciones morfológicas aisladas o acompañadas de otra estructura (arilos, carúnculas) para responder a diferentes condiciones ambientales y medios dispersores (Lindford et al., 1985), o bien, combinar rasgos adaptativos de distintas estrategias (i.e: anemocoria, zoocoria, hidrocoria) para aumentar su dispersión (Abraham de Noir et al., 2002; Lindorf et al., 1985).

Los tipos de dispersión dependen mucho de la familia botánica a la que pertenezca la especie; sin embargo, aún dentro de cada familia pueden existir diversos tipos de dispersión de semillas. Por ejemplo, en la familia Cactaceae el principal tipo de dispersión es la zoocoria (dispersión por animales) tanto interna como externa (Bregman, 1988).

Los modelos de dispersión en cactáceas, están fuertemente asociados a características estructurales, morfológicas o anatómicas del fruto o de las semillas. Por ejemplo, las cactáceas columnares tienen frutos carnosos y llamativos, favoreciendo la ornitocoria y/o la quiropterocoria (Bregman, 1988; Soriano et al., 1999). Frutos carnosos y llamativos son considerados como rasgos evolutivos - adaptativos ocasionados por las aves como estrategia de las plantas para aumentar la detección de sus frutos, advertir acerca de su estado de madurez o para protegerlos de dispersores poco eficientes (Willson et al., 1990, Willson y Whelan 1990, Puckey et al., 1996).

A pesar de que las especies de esta familia son típicas de zonas áridas y semiáridas, algunas de ellas tienen características para ser dispersadas por agua, proceso llamado hidrocoria. La posibilidad de dispersión de semillas por agua en cactáceas era inaceptable (Bregman, 1988); sin embargo, algunas especies que ocurren cerca de ríos (i.e. *Selenicereus whitty*, *Prosopis laevigata*) o géneros (i.e. *Astrophytum*) con especies asociadas a un pasado geológico relacionado con cuencas formadas en el Pleistoceno tardío hace 10,000 años (López, 2004), presentan características

reminiscentes especiales en sus semillas para ser dispersadas por agua (Maiti y Perdome, 2003; Esau, 1976).

Específicamente, los principales caracteres avanzados que debe presentar una semilla para ser considerada como “hidrocórica” es la capacidad de flotabilidad en agua, embriones ligeros y pequeños, hilo prominente, tegumento delgado (Bregman, 1988), la permeabilidad (Casini y Andrews, 1992), así como forma deprimida o de barco y cámaras de aire distribuidas en el tegumento (Barthlott et al., 1997). La cactácea *Selenicereus whitty*, epífita que ocurre en el río Amazonas está adaptada a la hidrocoria; tiene semillas deprimidas en forma de almeja con cámaras de aire distribuidas dorsalmente en el tegumento que al entrar en contacto con el agua provoca que floten (Barthlott et al., 1997).

Además, al menos cuatro de las cinco especies del género *Astrophytum*, las cuales poseen frutos secos, desarrollaron semillas con características morfológicas y anatómicas avanzadas (Maiti y Perdome, 2003; Esau, 1976) similares a las de *Selenicereus whitty*; como por ejemplo forma navicular o de barco (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Henrickson y Johnston, 1997; Elizondo-Elizondo et al., 1994; Barthlott y Hunt, 2000; Sánchez-Salas et al., 2006; Samperio, 2007), presencia de tejido mecánico (colénquima) en la hipodermis que protegen al embrión de golpes contra las rocas (Maiti y Perdome, 2003), hilo prominente y embriones pequeños (Bregman, 1988).

La forma navicular que poseen las semillas del género *Astrophytum* (Bravo-Hollis, Sánchez-Mejorada, 1991; Henrickson y Johnston, 1997; Elizondo-Elizondo et al., 1994; Barthlott y Hunt, 2000; Sánchez-Salas et al., 2006, Samperio, 2007), hace suponer que le permite una dispersión hidroanemocórica o dispersión por agua y viento (Lateur, 2002); sin embargo, no existen estudios que así lo establezcan.

Este género muestra preferencia por los sustratos calcáreos (Sánchez, 2002; Sánchez, 2003; Romero, 2006), condición por la cual es considerado como taxón

calcícola con caracteres filogenéticos avanzados (Del Castillo, 1996) expresados en las plantas y en la principal unidad dispersante, la semilla (Maiti y Perdomo, 2003).

Así, es pertinente evaluar si los caracteres morfológicos y anatómicos que poseen las semillas de este género le permiten germinar inmersas en agua, y si la cantidad de agua influye en la germinación.

Los antecedentes anteriores sirvieron de base para proponer realizar una investigación en las especies *A. capricorne* y *A. ornatum* con los siguientes objetivos:

General:

Evaluar si los caracteres morfológicos y anatómicos que poseen las semillas del género *Astrophytum* le permiten germinar inmersas en agua.

Específicos:

1. Evaluar la permeabilidad en semillas de dos especies del género *Astrophytum*.
2. Evaluar la flotabilidad en semillas de dos especies del género *Astrophytum*.
3. Comprobar si las semillas inmersas en agua presentan mayor y más rápida germinación.

Bajo la siguiente hipótesis:

General:

Las semillas de *A. capricorne* y *A. ornatum* presentan mayor y más rápida germinación en agua.

H₀: $p > 0.05$. Las semillas del género *Astrophytum* no presentan mayor germinación en agua, independientemente de la cantidad.

H₁: $p < 0.05$. Las semillas del género *Astrophytum* presentan mayor germinación en agua, independientemente de la cantidad.

METODOLOGÍA.

Colecta y desinfección de semillas. Las semillas se obtuvieron de poblaciones naturales del estado de Coahuila e Hidalgo, Méx., y fueron colectadas en Octubre del 2008, por lo que presentan las mismas posibilidades de germinación. Los lotes se mantuvieron a temperatura ambiente en bolsas de papel (Moreno et al., 1992). Antes de la siembra, las semillas se desinfectaron con hipoclorito al 10% por cinco minutos y se enjuagaron con agua destilada (Vega-Villasante et al, 1996).

Discriminación de semillas. Las semillas se revisaron en estereoscopio para eliminar las que presentaron deformaciones en el tegumento, deficiente desarrollo o la cámara embrionaria y testas fracturadas.

Unidades experimentales para el estudio de germinación. Constaron de cajas de Petri. Cada unidad experimental contuvo 20 semillas. Cada tratamiento constó de cinco unidades (repeticiones). Se utilizaron un total de 80 unidades para las dos especies y 1600 semillas para las mismas (Sánchez et al. 2006; Samperio, 2007). Se consideró que una semilla había germinado cuando se observó la emergencia de la radícula.

El género *Astrophytum* y su origen edáfico. Los suelos calcáreos albergan una alta diversidad de endemismos (Hernández y Godínez, 1994; Hernández y Bárcenas, 1995) clasificados en diversas categorías de riesgo (Hernández y Godínez, 1994; Hernández y Bárcenas, 1995, 1996; Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000; Hernández et al, 2001) como el género *Astrophytum* Lemaire (1839). Dicho género está considerado como calcícola apomórfico por distribuirse en suelos de origen calcáreo (Del Castillo, 1996). Se considera que los suelos calcáreos crean condiciones más severas de vida en las plantas en comparación a los ambientes áridos silíceos; lo que provoca caracteres apomórficos (avanzados i. e. ausencia de espinas, columnares) en especies xerofíticas (Del Castillo, 1996; Rzedowski, 1955; Whittaker, 1975; Wentworth, 1981) como reflejo de las presiones de selección sobre las funciones que cumple en su ecosistema (Futuyma, 1986).

El género *Astrophytum* está formado por cuatro especies endémicas (*A. myriostigma*, *A. asterias*, *A. capricorne* y *A. ornatum*), tres consideradas como amenazadas y una en peligro de extinción (NOM-059-SEMARNAT-2001). Recientemente se descubrió una nueva especie para el género llamada *Digitostigma caput-medusae* (Velazco y Reyes, 2002).

La forma navicular como función para la respuesta germinativa. Se respondió a la interrogante sobre si el género *Astrophytum* manifiesta una mayor respuesta germinativa como efecto de la forma de la semilla (Fig. 1) o de acuerdo al origen de su estrato edáfico (especie calcícola), pues de acuerdo a Flores y Briones (2001) las especies difieren en porcentaje y velocidad de germinación de acuerdo a su forma de vida. Se evaluó en cuál de las dos condiciones germinaron más y más rápido las semillas.

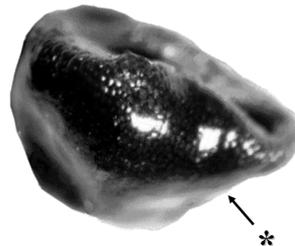


Figura 1. Forma navicular típica de una semilla del género *Astrophytum* provocada por la quilla (*).

Diferencias estructurales entre semillas.

Morfológicamente no presentan diferencia alguna, compartiendo las siguientes estructuras: hilo (h), capa funicular y la forma navicular o de barco (Fig. 2).

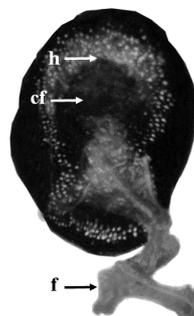


Figura 2. Estructuras compartidas entre las especies *A. capricorne* y *A. ornatum*: hilo (h), capa funicular (cf) y funículo (f).

EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SEMILLAS DEL GÉNERO *Astrophytum*.

Prueba de permeabilidad por especie (Baskin y Baskin, 2001).

Considerando que el medio principal para la evaluación del vigor germinativo se realizaría en agua; como paso previo fue necesario valorar si las especies *A. capricorne* y *A. ornatum* tenían semillas permeables, por lo que se prepararon 20 unidades experimentales de 250 ml, correspondiendo 10 por especie y 50 semillas por especie (Figura 3). A estas unidades se les colocó en el fondo papel filtro embebido con agua del grifo evitando excesos del líquido para evitar resultados erróneos. Dentro de cada unidad experimental se colocaron cinco semillas para registrar valores reales de absorción.

Especies Tratamiento	<i>A. capricorne</i>	<i>A. ornatum</i>
<i>Permeabilidad</i>	5 5	5 5
	5 5	5 5
	5 5	5 5
	5 5	5 5
	5 5	5 5

Figura 3. Ejemplificación del diseño experimental para permeabilidad.

Registro de la permeabilidad.

Se registró el peso seco inicial de 50 semillas por especie. Durante las primeras ocho horas el registro se realizó cada hora con la finalidad de registrar incrementos (gramos) acelerados y repentinos en peso, por considerar que las semillas vienen de un periodo de deshidratación largo por el almacenamiento. Las siguientes mediciones se realizaron en intervalos de ocho hasta que se detuvo el incremento. La evaluación se detuvo hasta las 32 horas de registros debido a que el peso de las semillas en ambas especies ya no incrementó. El registro del peso se llevo a cabo en el laboratorio de química de la FCF-UANL, con la ayuda de una balanza analítica. Un incremento en peso indica que las semillas responden positivamente a la permeabilidad (Bansal et al., 1980).

Cálculo de los niveles de permeabilidad entre especies.

Con el incremento en peso, la semilla se considero como permeable. Por tal motivo fue necesario calcular el incremento final de cada grupo de semillas en ambas especies y se calculó con la siguiente formula de acuerdo a Orozco et al. (2007) y Dubrovsky (1998):

$$[(PF - PI) / PI] * 100$$

Donde: PI = Peso inicial; PF = Peso final.

Este cálculo permite conocer el nivel máximo de almacenamiento de líquido en el tegumento y así establecer qué semilla posee mayor permeabilidad en relación al porcentaje final registrado.

Diseño experimental.

Se llevo a cabo un diseño experimental completamente al azar formado por una factorial de 1 X 2:

Factor	Correspondiente a:
1	Tratamiento
2	Especies utilizadas

Análisis estadístico.

Se realizó un ANOVA con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SEMILLAS DE ESPECIES TESTIGO.

Prueba de permeabilidad en especies testigo. Con la finalidad de evaluar si la respuesta a la permeabilidad es diferente en función de la morfología de las semillas, se seleccionaron tres especies testigo para comparar la absorción contra las dos especies del género *Astrophytum* (Fig. 4). Tres de las especies testigo utilizadas pertenecen a la familia Fabaceae y una a la Cactaceae. Estas especies poseen semillas completamente diferentes en morfología, tamaño y tipo de cubierta. Las especies seleccionadas fueron *Acacia farnesiana*, *Prosopis laevigata*, *Phaseolus vulgaris* y *Opuntia streptacantha*.

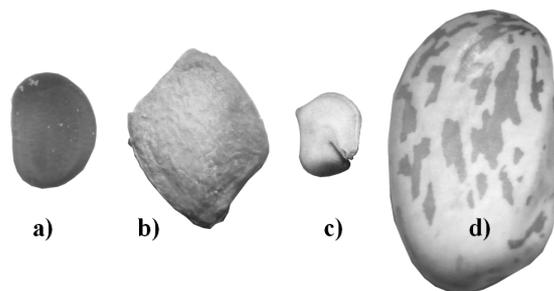


Figura 4. Semillas de especies testigo: a) *Acacia farnesiana*, b) *Prosopis laevigata*, c) *Opuntia streptacantha* y d) *Phaseolus vulgaris*.

Registro de la permeabilidad. Se siguió el mismo procedimiento aplicado en las especies del género *Astrophytum* (Figura 5), considerando que un incremento en peso indicó que las semillas responden positivamente a la permeabilidad (Bansal et al., 1980).

Tratamiento \ Especies	<i>A. farnesiana</i>	<i>Prosopis leavigata</i>	<i>P. vulgaris</i>	<i>O. streptacantha</i>
<i>Permeabilidad</i>	10	10	10	10
	10	10	10	10
	10	10	10	10
	10	10	10	10
	10	10	10	10

Figura 5. Ejemplificación del diseño experimental para permeabilidad en especies testigo.

Cálculo de los niveles de permeabilidad entre especies. Se aplicó el mismo procedimiento que en especies del género *Astrophytum*.

Diseño experimental. Se realizó un diseño completamente al azar formado por una factorial de 3 X 1 de la siguiente manera:

Factor	Correspondiente a:
3	Especies
1	Tratamiento

Análisis estadístico.

Se realizó una ANOVA con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

EVALUACIÓN DE LA FLOTABILIDAD EN SEMILLAS DEL GÉNERO *Astrophytum*.

Prueba de flotabilidad.

Se prepararon dos lotes de 50 semillas cada uno (dos especies) para realizar la evaluación. A uno de los lotes de cada especie se le retiró la capa funicular mientras que otro la conservó (Fig. 6). La eliminación de la capa funicular se realizó con la ayuda de una aguja entomológica a través de estereoscopio, procurando no dañar el embrión ni fracturar la testa. Se colocaron un total de 10 semillas por unidad experimental dando un total de 50 semillas por tratamiento y 100 semillas por especie.

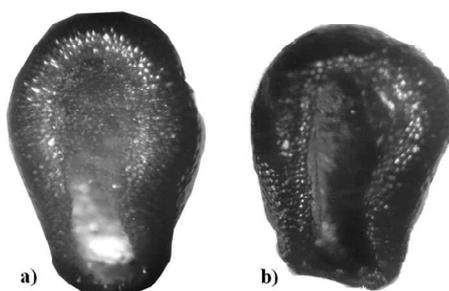


Figura 6. Semillas del género *Astrophytum* mostrándola con capa funicular (a) y sin capa funicular para la evaluación de flotabilidad.

Cada grupo de semillas fue colocado en contenedores de medio litro de agua cada uno. Las semillas se colocaron en el interior de los recipientes procurando hacerlo a una altura mínima entre las semillas y el nivel de agua para evitar que las semillas se sumergieran por efecto de la velocidad de caída. Se colocó el hilo hacia arriba para evitar que el agua entrara a la semilla. Posteriormente en intervalos de una hora, con la ayuda de un contador manual y un cronómetro por vaso se registró el número de semillas y el tiempo al cual se fueron sumergiendo. La evaluación inició cuando se hundió la primera semilla.

Diseño experimental.

Se realizó un diseño completamente al azar formado por una factorial de 2 X 1 X 1 de la siguiente manera:

Factor	Correspondiente a:
2	Especies
1	Semillas con capa funicular
1	Semillas sin capa funicular

Análisis estadístico.

Se realizó un ANOVA con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

EVALUACIÓN DE LA FLOTABILIDAD ENTRE ESPECIES TESTIGO Y ESPECIES GÉNERO *Astrophytum*.

Prueba de flotabilidad. Para poder corroborar que las semillas del género *Astrophytum* están adaptadas a flotar, se utilizaron semillas de otras especies que no presentaran similitud morfológica. Las especies utilizadas fueron: *Prosopis leavigata*, *Acacia farnesiana*, *Phaseolus vulgaris* y *Opuntia streptacantha*. Se siguió el mismo procedimiento que en género *Astrophytum* (Figura 7).

Tratamiento \ Especies	<i>A. farnesiana</i>	<i>Prosopis leavigata</i>	<i>P. vulgaris</i>	<i>O. streptacantha</i>
Flotabilidad	10	10	10	10
	10	10	10	10
	10	10	10	10
	10	10	10	10
	10	10	10	10

Figura 7. Ejemplificación del diseño experimental para flotabilidad en especies testigo.

Diseño experimental.

Se realizó un diseño completamente al azar formado por una factorial de 4 X 1 de la siguiente manera:

Factor	Correspondiente a:
4	Especies
1	Tratamiento

Análisis estadístico.

Se realizó un ANOVA de un factor con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

COMPARACIÓN DE LA GERMINACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS Y DOS ESPECIES: *A. capricorne* (Dietrich) Britton & Rose y *A. ornatum* (De Candolle) Britton & Rose.

Tratamientos propuestos para su evaluación.

Dos de los tratamientos propuestos para la evaluación del vigor germinativo, son los más utilizados (arena y papel filtro), el suelo calizo fue seleccionado debido a que en combinación con el agua destilada produce buenos resultados (Samperio, 2007). Se aplicaron tratamientos que involucraron el agua, con la finalidad de evaluar si la forma navicular de la semilla (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991) es una adaptación para la germinación en agua. Se utilizaron tres tratamientos: 30 y 50 ml de agua y uno de película de agua, manteniendo semillas la capa funicular).

Normalización de porcentajes de germinación Sokal y Rohlf (1995).

Se aplicó una ANOVA con los factores tratamiento y especie, los valores de germinación obtenidos fueron transformados utilizando el arcoseno de la raíz cuadrada de cada dato con el fin de que cumplieran los requisitos de normalidad para la realización de los análisis.

Cálculo de la velocidad de germinación (T50) entre tratamientos y especies.

Para continuar con dinámica de la germinación se evaluó la "T50", considerada como el tiempo transcurrido en días desde que se siembran las semillas hasta que se alcanza el 50% de germinación de las mismas. El tiempo medio de germinación se determina con la siguiente fórmula:

$$t_{50} = \sum G_i / \sum G_1$$

Donde: i = día de germinación, y G_1 = número de semillas germinadas en la unidad experimental al día. Este parámetro es considerado como el de mayor confiabilidad para especies con porcentajes mayores al 50% de germinación (Rossini, 2006)

Sustratos y variantes de inmersión en agua (tratamientos).

Se evaluaron tres sustratos y cuatro tipos de inmersiones que involucraron el agua para la germinación del género *Astrophytum*. Dentro de los sustratos se utilizaron: Arena, suelo calcáreo, y papel filtro; mientras que en las inmersiones fueron considerados: 30 y 50 ml de agua; película de agua con capa funicular y suelo calcáreo a punto de saturación con y sin capa funicular de las semillas.

Comparación múltiple (ANOVA) entre semillas del género *Astrophytum* y semillas de especies testigo.

Una vez que se determinó la existencia de diferencia en las medias entre tratamientos y especies (en semillas *Astrophytum* y especies testigo), se aplicó una prueba Post Hoc asumiendo varianzas iguales mediante la prueba de Tukey con la finalidad de establecer que medias en la permeabilidad, flotabilidad y germinación difirieron entre sí.

Condición de los tratamientos.

Sustratos.-

Arena y papel filtro: por las propiedades de porosidad la arena es considerada como un sustrato de alto nivel hidrófobo. Esta se esterilizó para evitar el desarrollo de hongos lo cual se refleja en los resultados altamente significativos en la germinación (USDA, 2006). Por otro lado el papel filtro es uno de los sustratos mayormente utilizados y recomendados por las reglas de la ISTA (2009) debido a que retienen mayor tiempo la humedad.

Suelo calcáreo o calizo: fue seleccionado debido a que el género *Astrophytum* es calcícola (Del Castillo, 1996). Por otro lado, Samperio (2007) reportó que este tipo de suelo produce excelentes resultados (germinación > 70%).

Inmersiones.-

30 y 50 mililitros: se seleccionaron con la finalidad de evaluar si la característica morfológica de mayor conspicuidad en la semilla, es decir, su forma navicular, respondía en mayor grado al porcentaje y velocidad de germinación en comparación al suelo calcáreo.

Película de agua conteniendo la semilla su capa: mediante esta condición se evaluó el efecto de una ligera lámina o capa de agua producida después de una lluvia intermitente.

Punto de saturación en suelo calizo conteniendo la semilla su capa funicular y sin capa funicular: se utilizó agua aplicada a punto de saturación (i. e. capacidad de carga en caja Petri) en suelo calcáreo o calizo simulando las temporadas de lluvia. Esto con la finalidad de evaluar si las partículas sedimentarias producían algún efecto directo en la germinación e incluso en la flotabilidad de la semilla.

Diseño experimental para germinación. Para evaluar la germinación se realizaron observaciones diarias a partir del segundo día después de la siembra. El registro de la germinación se llevó a cabo durante el transcurso de un mes, tiempo recomendado como máximo para las pruebas de germinación (Baskin y Baskin, 2001). Se realizó un diseño experimental completamente al azar formado por una factorial de 2 X 8, de la siguiente manera (Figura 8):

Factor	Correspondiente a:
2	Especies utilizadas
8	Tratamientos

Especificaciones del diseño experimental por especie.

La evaluación de la germinación contempló:

- 5 unidades experimentales por tratamiento.
- 20 semillas por unidad experimental.
- 100 semillas por tratamiento.
- 800 semillas por especie.
- 1600 semillas en total.
- 40 unidades experimentales por especie (bloque).
- 80 unidades experimentales totales.

Especificaciones de los tratamientos.

Cada uno de los tratamientos estuvo formado por una línea experimental de cinco unidades experimentales (cajas de Petri) que contuvieron 20 semillas, cada uno quedando de la siguiente manera:

1.- Arena: se añadió a las cajas de Petri una capa de arena de un centímetro de espesor, siendo una modificación del método de Cox et al, (1993).

2.- Suelo calizo: las cajas de Petri contenían una capa ligera de sustrato calizo

3.- Papel filtro: se colocó Se colocaron semillas en cajas de Petri sobre papel filtro humedecido. El método se aplicó debido a que se obtienen porcentajes de germinación mayores al 60% (Rioja, 2002).

4.- Película de agua: el fondo de las unidades experimentales fue cubierto ligeramente con una capa de agua. Este método simuló condiciones mínimas de agua por las que atraviesa la semilla en condiciones naturales en una lluvia esporádica, en donde los inhibidores químicos alcanzan a ser lavados (William, 2007).

5.- 30 ml agua: las unidades contuvieron esta cantidad de agua con la finalidad de poder evaluar el efecto positivo o negativo, debido a que cantidades mínimas o máximas pueden inhibir la germinación (Springfield, 1968; Negbi et al., 1966) o a que las sustancias químicas inhibidoras no se laven lo suficiente por lixiviación.

6.- 50 ml agua: se evaluó el efecto bajo el mismo principio que el tratamiento anterior. Las cantidades diferentes simularán las condiciones en precipitación pluvial que en ocasiones se pueden llegar a presentar en los ambientes semi-áridos donde se distribuyen algunas especies del género.

7.- Punto de saturación con sustrato calizo conteniendo la semilla su capa funicular: se avaluó un posible efecto en la germinación conteniendo la semilla su capa funicular.

8.- Punto de saturación con sustrato calizo con semillas sin capa funicular: se avaluó un posible efecto en la germinación en ausencia de la capa funicular de la semilla.

Análisis estadístico (ANOVA de un factor).

Se realizó una ANOVA, siendo los factores los tratamientos y las especies. Se manejó un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Desarrollo experimental.

La evaluación se realizó en el laboratorio de ecología experimental del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.

Tratamiento(s) Especie(s)	Arena	Suelo calizo	Papel filtro	Película de agua	30 ml agua	50 ml agua	Punto saturación s/c funicular	P. saturación c/c funicular
A. m y r i o s t i g m a	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20

Figura 8. Ejemplificación del diseño experimental aplicado para evaluar porcentaje de germinación en dos especies del género *Astrophytum*.

RESULTADOS.

EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SEMILLAS DEL GÉNERO *Astrophytum*.

Existe diferencia significativa (Cuadro 1 y Fig. 9) entre la permeabilidad de ambas especies, siendo *A. capricorne* la que posee mayor permeabilidad ($F= 11.349$ y $P= 0.0034$).

ANOVA PERMEABILIDAD	<i>n</i> (No. Semillas)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor crítico para <i>F</i>
<i>A. capricorne</i>	10	18442.832	9	11.349	4.413
<i>A. ornatum</i>					

Cuadro 1. Resultados de ANOVA de un factor para permeabilidad entre especies del *Astrophytum*.

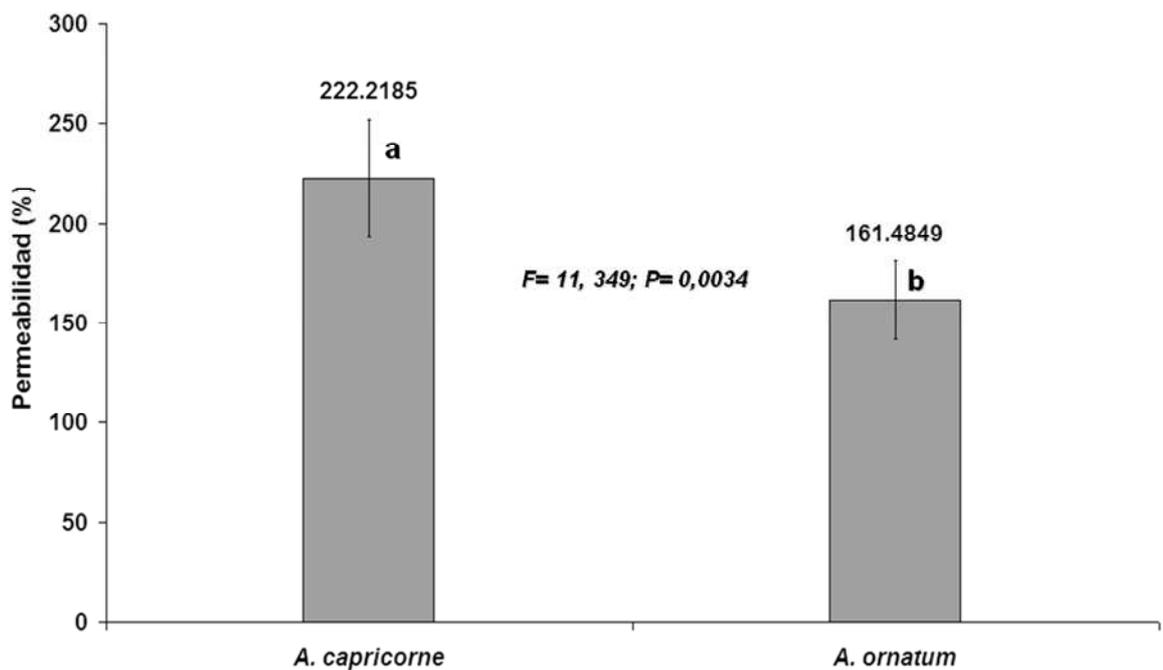


Figura 9. Niveles de permeabilidad entre especies del género *Astrophytum*.

Velocidad de permeabilidad entre especies.

Ambas especies se comportaron de manera similar en cuanto a la velocidad de la absorción, sin embargo, las semillas de *A. ornatum* tienden a recuperar su peso inicial. Esto indica que las semillas después de un periodo de 24 horas pierden el agua acumulada en el tegumento, mientras que las semillas de *A. capricorne* conserva el agua absorbida con una tendencia a mantener por mayor tiempo el agua acumulada (Fig. 10).

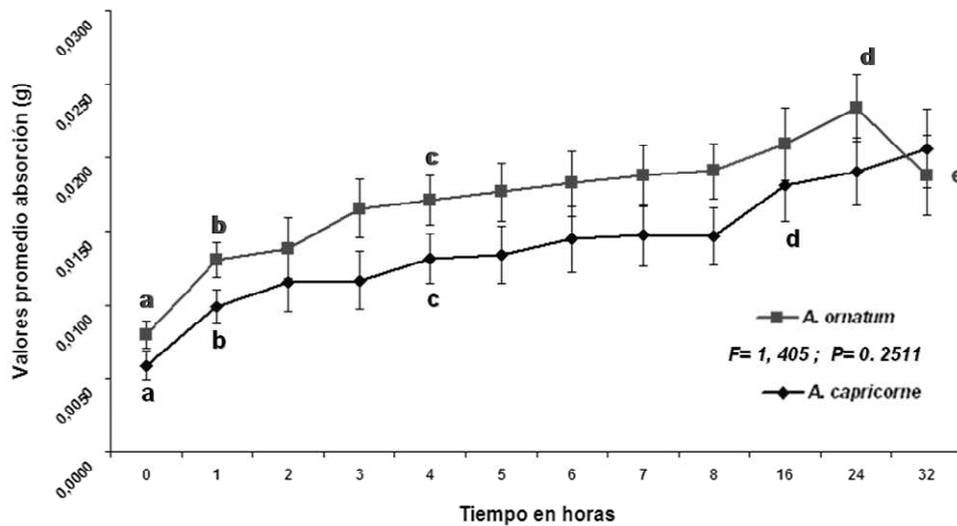


Figura 10. Comportamiento de la permeabilidad por hora entre especies del género *Astrophytum*.

EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SEMILLAS DE ESPECIES TESTIGO.

Velocidad de la permeabilidad en especies testigo.

Las semillas de *Phaseolus vulgaris* presentaron los mayores promedio de permeabilidad y velocidad de la misma ($S^2= 0, 059$), seguidas de las de *A. farnesiana* ($S^2= 0, 0093$), *P. laevigata* ($S^2= 0, 004$) y finalmente *O. streptacantha* ($S^2= 0, 00001$) como lo demuestra la figura 11.

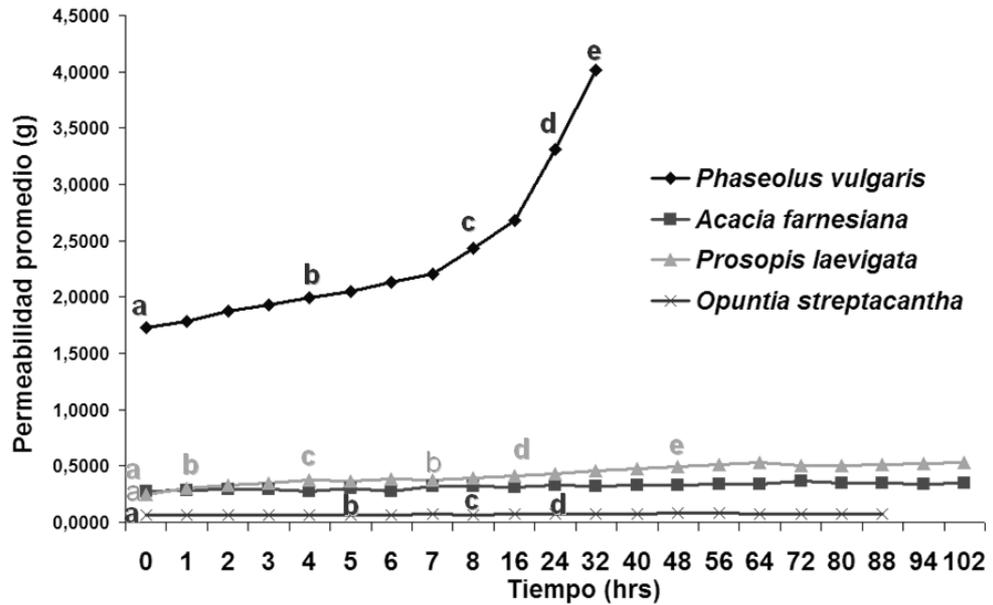


Figura 11. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especies testigo.

Acacia farnesiana.

La especie mostró excrecencia originada a partir del preurograma de la semilla (Fig. 12), así como una velocidad de la permeabilidad irregular (letras diferentes) durante la evaluación (Fig. 13).

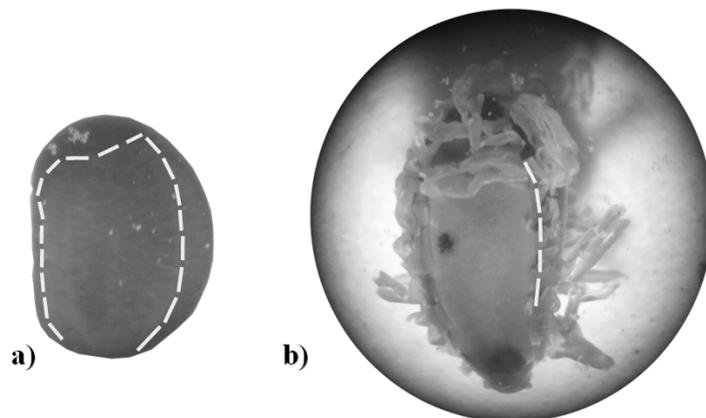


Figura 12. Semilla de *A. farnesiana* mostrando pleurograma (línea punteada), a) antes de evaluar permeabilidad y b) durante evaluación mostrando emergencia de excrecencia a las 16 horas.

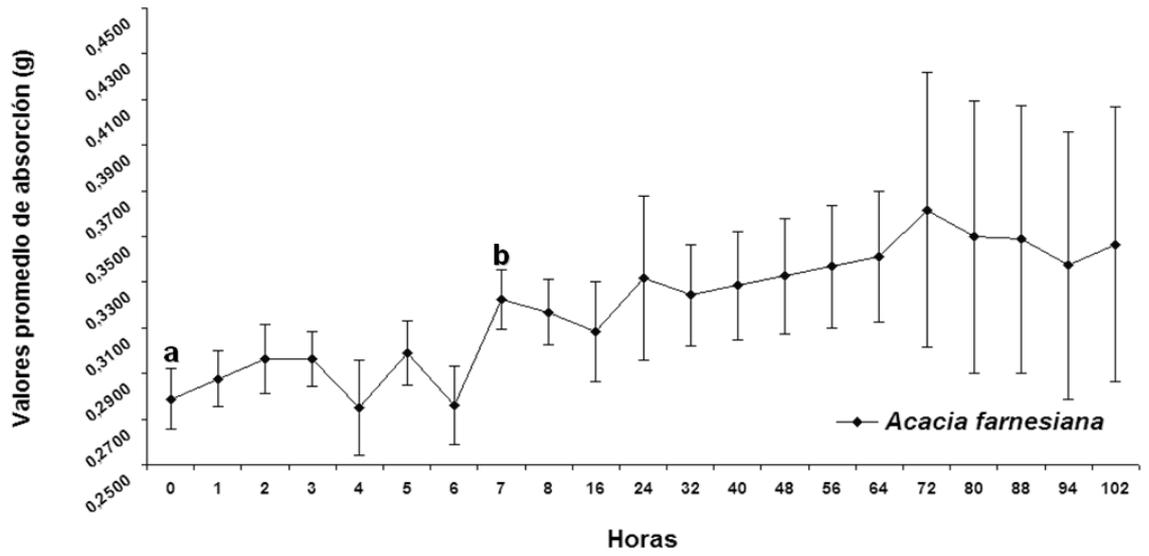


Figura 13. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especie testigo.

Prosopis laevigata.

La velocidad de la permeabilidad en las semillas de esta especie fue constante y ascendente con el incremento del tiempo medido en horas (Fig. 14).

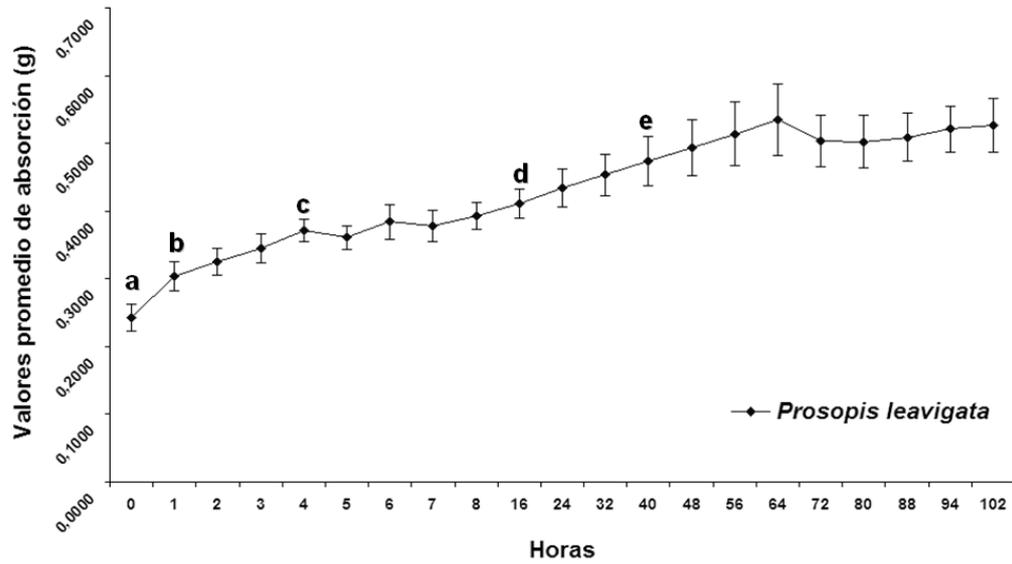


Figura 14. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especie testigo.

***Phaseolus vulgaris*.**

En un periodo de 24 horas de registro en cinco de las diez unidades se presentó una semilla germinada. A las 40 horas el 100% de las semillas germinaron (Fig. 15). La especie presentó una velocidad de permeabilidad constante que incrementó con el transcurso de las horas (Fig. 16).



Figura 15. Semillas de *Phaseolus vulgaris* germinadas a las 40 horas de evaluación en permeabilidad.

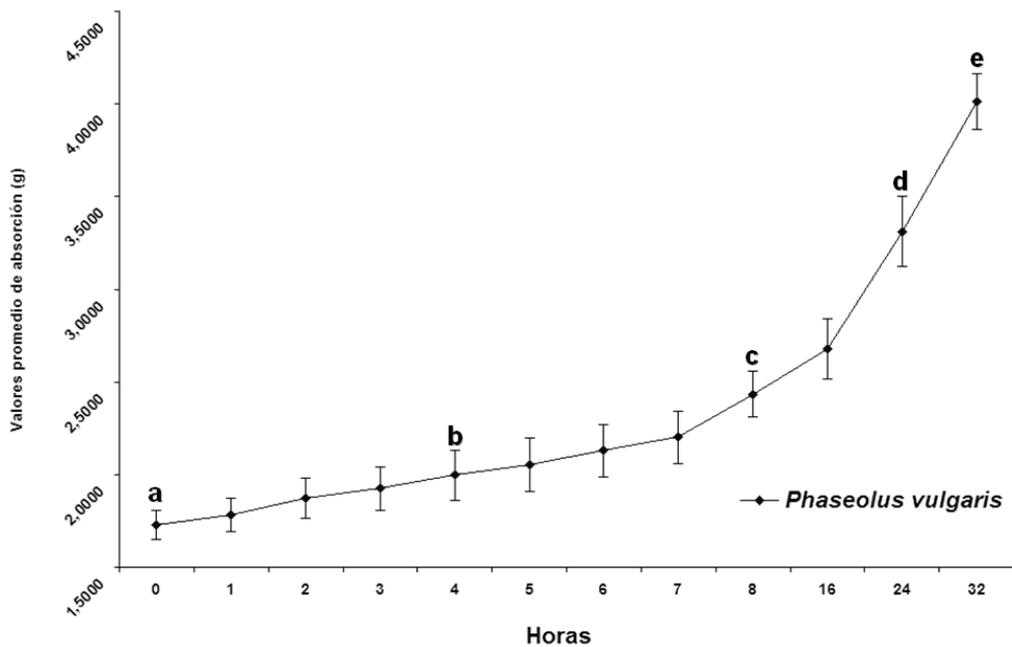


Figura 16. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especie testigo.

***Opuntia streptacantha*.**

La velocidad fue espaciada y mínima (letras diferentes); mostrando un ligero incremento con el transcurso de las horas (Fig. 17).

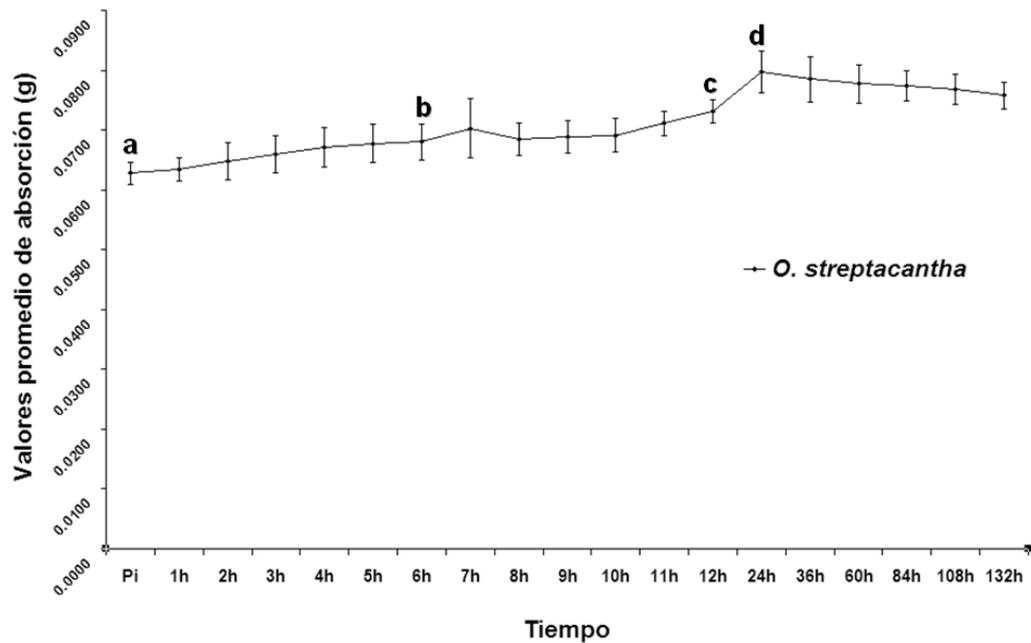


Figura 17. Comportamiento de la permeabilidad por hora en especie testigo.

Comparación de la permeabilidad entre especies testigo.

De acuerdo al procedimiento de Orozco et al. (2007) existe diferencia significativa para la permeabilidad entre las especies testigo ($F= 61.789$, $P= 2,844$; Cuadro 2). *Phaseolus vulgaris* y *Prosopis laevigata* obtuvieron los mayores niveles porcentuales de permeabilidad de las especies testigo; mientras que *A. farnesiana* y *O. streptacantha* por poseer tegumentos coriosos (duros e impermeables) poseen un porcentaje de permeabilidad muy bajo comparado con las anteriores (Fig. 18).

ANOVA PERMEABILIDAD	n (Gpos. Evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (n - 1)	variación entre grupos (F)	Valor critico para F
Especies testigo: <i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Acacia farnesiana</i> <i>Prosopis laevigata</i> <i>Opuntia streptacantha</i>	4	108983.020	3	61.789	2.866

Cuadro 2. Resultados de ANOVA de un factor para permeabilidad entre especies testigo.

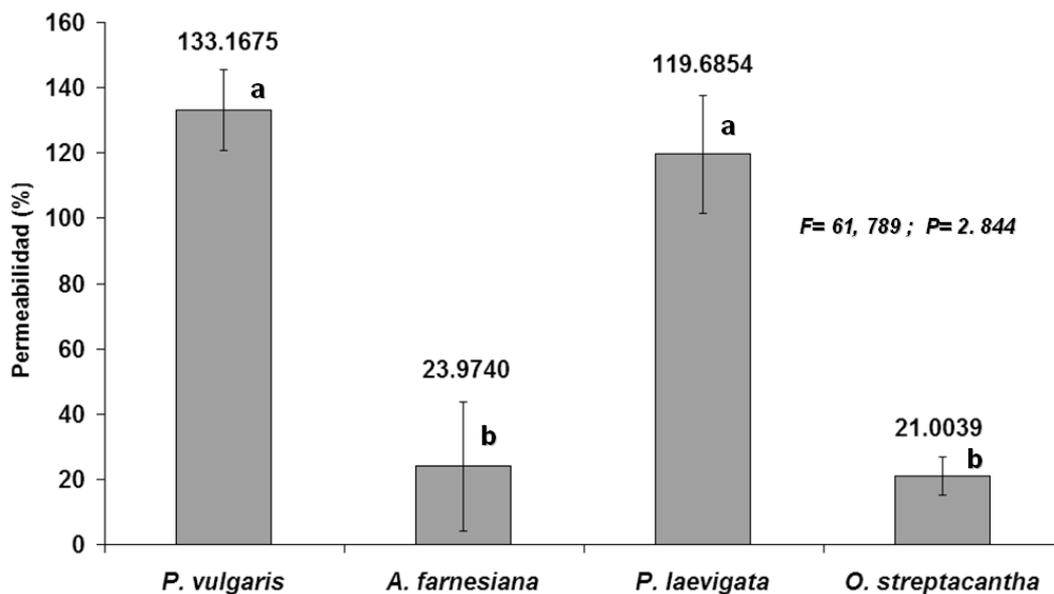


Figura 18. Niveles de permeabilidad presentes entre las especies testigo.

Permeabilidad de semillas a las ocho horas.

Los niveles de permeabilidad en las dos especies del género *Astrophytum* fueron similares durante las primeras ocho horas (Figura 19) y al final (*A. capricorne* 151.1697%; $F = 127.491$ y $P = 1.267$ y *A. ornatum* 142.2502%; $F = 127.491$ y $P = 1.267$). Las especies testigo se comportaron de manera diferente al final de la evaluación. A las ocho horas de evaluación las semillas de *O. streptacantha* presentaron una mayor permeabilidad (63.9523%; $F = 127.491$ y $P = 1.267$), seguidas de *P. vulgaris* (40.7759%; $F = 127.491$ y $P = 1.267$); *A. farnesiana* (13.8727%; $F = 127.491$ y $P = 1.267$) y *P. laevigata* (8.9794%; $F = 127.491$ y $P = 1.267$).

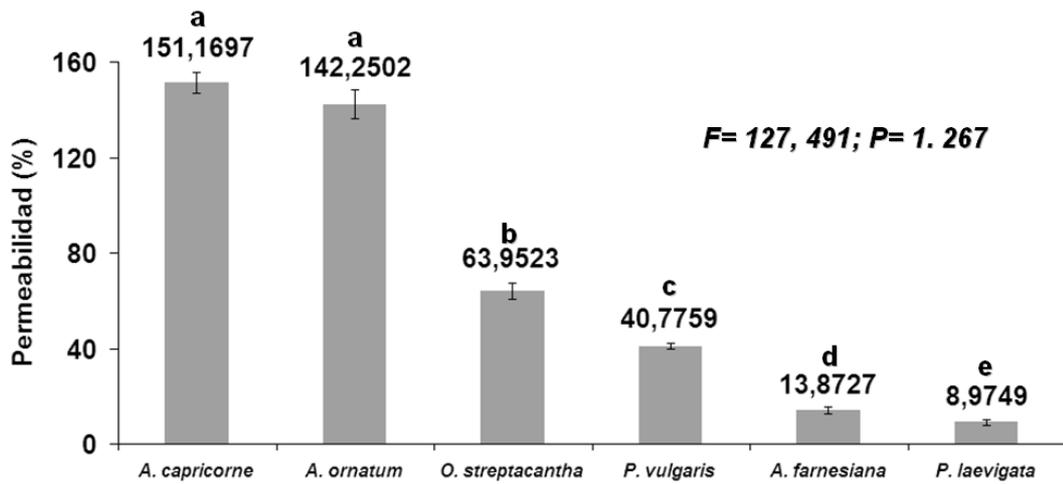


Figura 19. Comportamiento de la permeabilidad en las primeras ocho horas.

Comparación de la permeabilidad del género *Astrophytum* contra especies testigo.

Se encontró diferencia significativa (Cuadro 3, Fig. 20) en la permeabilidad del género *Astrophytum* contra las especies testigo ($F = 66. 661, P = 3, 4422$).

ANOVA PERMEABILIDAD	<i>n</i> (Gpos. Evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor critico para <i>F</i>
Género <i>Astrophytum</i> Vs especies testigo	6	311177.2787	5	66. 661	2.386

Cuadro 3. Resultados de ANOVA de un factor para permeabilidad entre especies testigo.

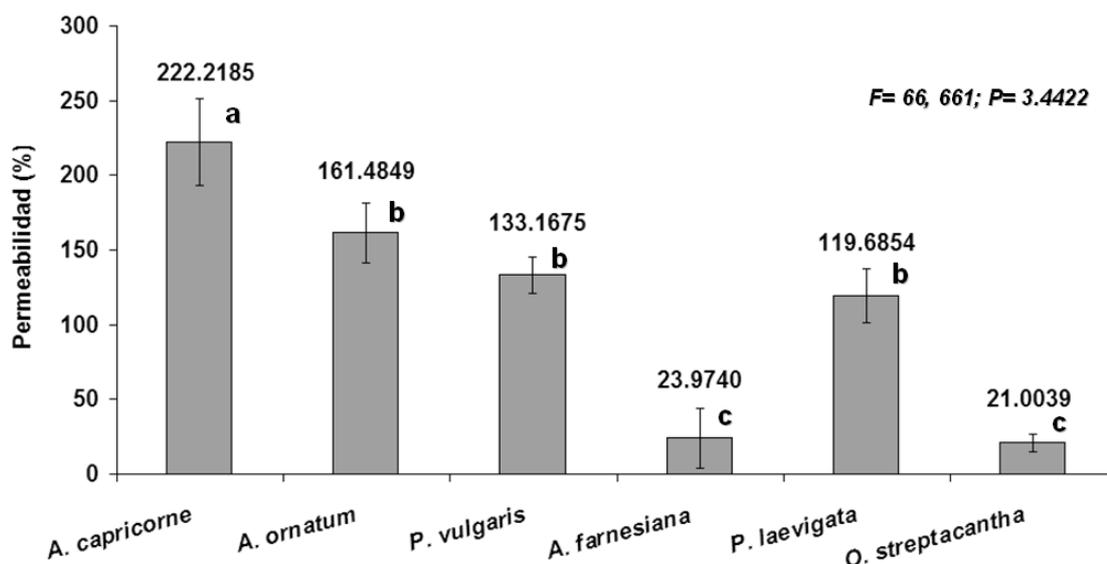


Figura 20. Niveles de permeabilidad (%) del género *Astrophytum* contra especies testigo.

EVALUACIÓN DE LA FLOTABILIDAD EN SEMILLAS DEL GÉNERO *Astrophytum*.

Evaluación de flotabilidad de *A. capricorne* con y sin capa funicular.

Se encontraron diferencias significativas (Cuadro 4 y 5) entre las semillas con capa funicular (SCCF: $F= 7.569$ y $P= 7,272$) y sin capa funicular ($F= 5.648$, $P= 5,016$). Las semillas sin capa funicular se hundieron más rápido en comparación con las semillas que conservaron la capa funicular (Fig. 21).

ANOVA FLOTABILIDAD	<i>n</i> (No. hundimientos)	Suma de cuadrados	Grados de libertad ($n - 1$)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor critico para <i>F</i>
<i>A. capricorne</i>	10	37.62	9	5.648	2.124

Cuadro 4. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas sin capa funicular.

ANOVA FLOTABILIDAD	<i>n</i> (No. hundimientos)	Suma de cuadrados	Grados de libertad ($n - 1$)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor critico para <i>F</i>
<i>A. capricorne</i>	11	108.727	10	7.569	2.053

Cuadro 5. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas con capa funicular.

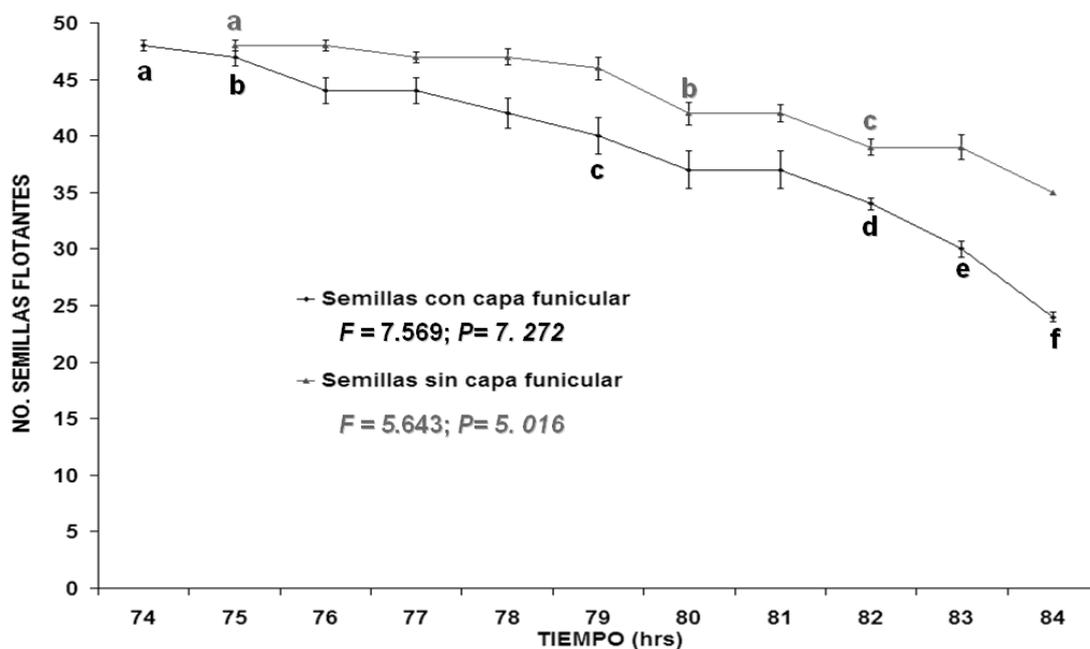


Figura 21. Comportamiento de la flotabilidad en semillas de *A. capricorne* con y sin capa funicular.

Flotabilidad de semillas con capa funicular contra semillas sin capa funicular.

Se encontraron diferencias significativas en flotabilidad (Cuadro 6). Las semillas a las que se les eliminó la capa funicular mostraron una mayor flotabilidad (Fig. 22) en comparación con las que la conservaron ($F= 14.235$ y $P= 0,005$).

ANOVA FLOTABILIDAD	<i>n</i> (Gpos. Evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor critico para <i>F</i>
<i>A capricorne</i>					
SCCF					
Vs					
SSCF	2	12.1	1	14.235	5.317

Cuadro 6. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas de *A. capricorne* con capa funicular (SCCF) contra semillas sin capa funicular (SSCF).

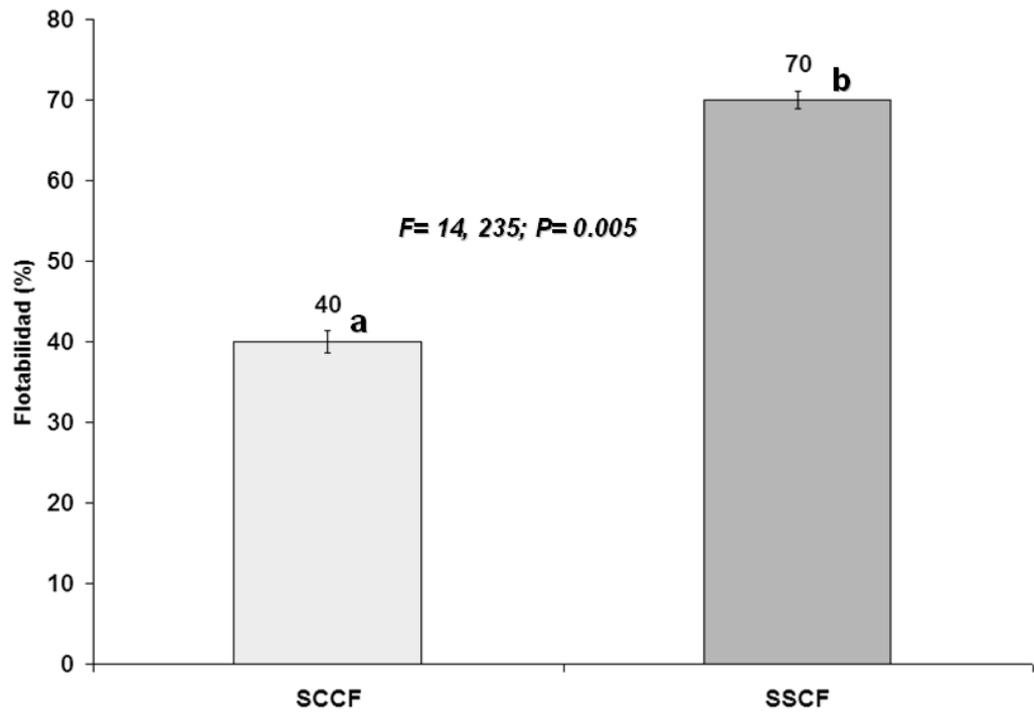


Figura 22. Flotabilidad en semillas de *A. capricorne* en semillas con capa funicular (SCCF) y semillas sin capa funicular (SSCF).

Posición de semillas durante evaluación en *A. capricorne*.

Para ambas condiciones durante la evaluación, las semillas conservaron la posición boyante de flotabilidad (barco), considerando que *A. capricorne* posee semillas con forma navicular adecuada (Fig. 23).

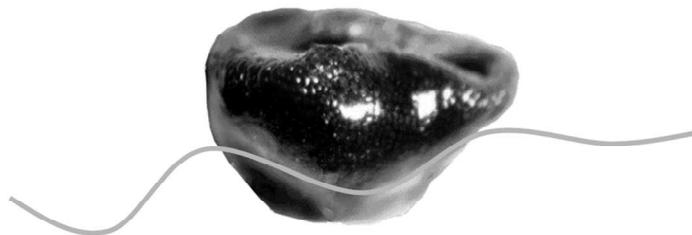


Figura 23. Posición de las semillas durante evaluación de flotabilidad. Se considera de forma navicular adecuada por mantener la posición boyante (la línea simula el nivel del agua en recipiente).

Evaluación de flotabilidad de *A. ornatum* con y sin capa funicular.

Para el caso de las semillas sin capa funicular no se obtuvieron datos de hundimiento, ya que el 100% de las semillas flotaron. Así, se realizó un ANOVA únicamente a semillas con capa funicular, encontrando nulidad significativa ($F= 0.692$ y $P= 0, 6776$) para la flotabilidad en éstas (Cuadro 7). Esto indica que pueden mantener la capa o no y las semillas flotarán de igual forma, sin embargo, la flotabilidad disminuye con forme la semilla se encuentra en el agua (Fig. 24)

ANOVA FLOTABILIDAD	<i>n</i> (No. hundimientos)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor crítico para <i>F</i>
<i>A ornatum</i> SSCF	8	4	7	0. 692	2. 312

Cuadro 7. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas con capa funicular en *A. ornatum*.

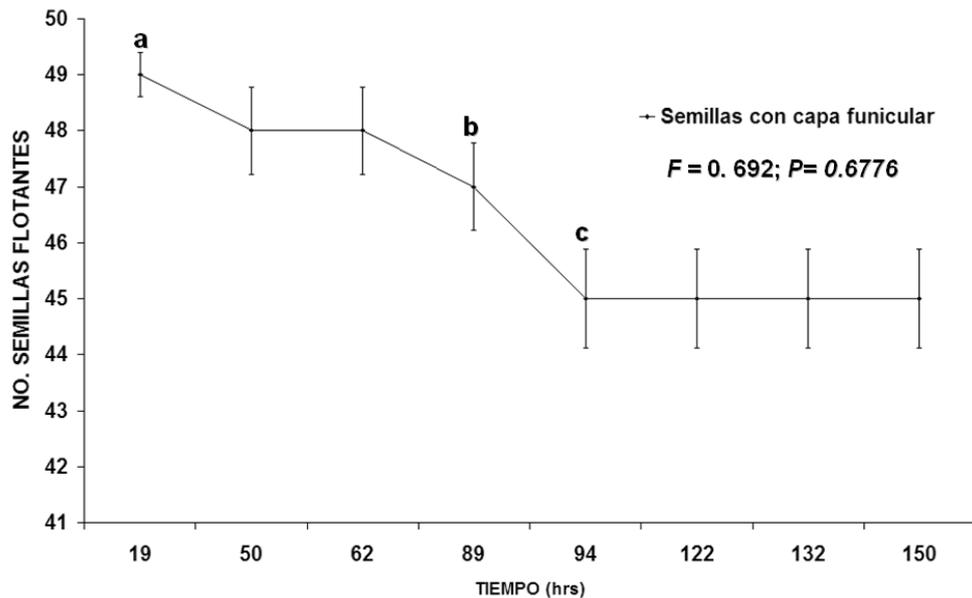


Figura 24. Comportamiento de la flotabilidad en semillas de *A. ornatum*.

Posición de semillas durante evaluación.

Solo las semillas con capa funicular (SCCF) perdieron la posición boyante (posición de barco), por lo que se realizó un ANOVA para evaluar si la flotabilidad es afectada por la posición de las semillas. Se encontraron diferencias significativas (Cuadro 8), ya que las semillas con forma anormal (ladeadas Fig. 25) con capa funicular tienen mayor flotabilidad (Fig. 26) y por consecuencia su hidro-dispersión aumentará.

ANOVA FLOTABILIDAD SEMILLAS CON CAPA FUNICULAR (SCCF)	<i>n</i> (Gpos. evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor critico para <i>F</i>
<i>A ornatum</i>					
1) Posición boyante (Normal)					
2) Perdida posición (Anormal)	2	50	1	9.388	3.238

Cuadro 8. Resultados de ANOVA de un factor para flotabilidad en semillas con capa funicular en *A. ornatum*.

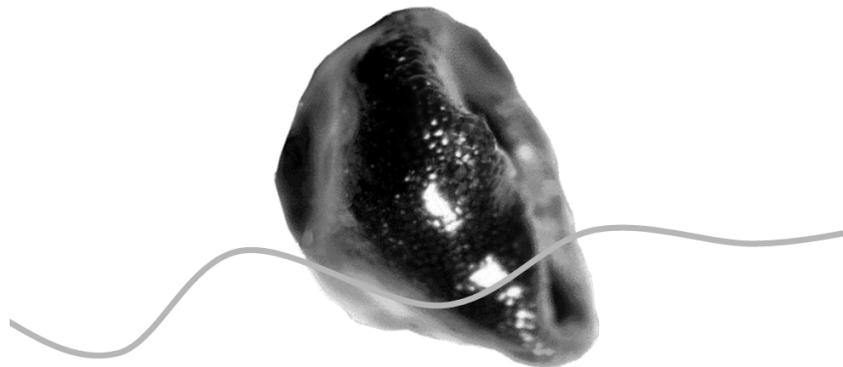


Figura 25. Perdida de la posición boyante durante evaluación de flotabilidad en *A. ornatum* (la línea simula el nivel de agua en recipiente).

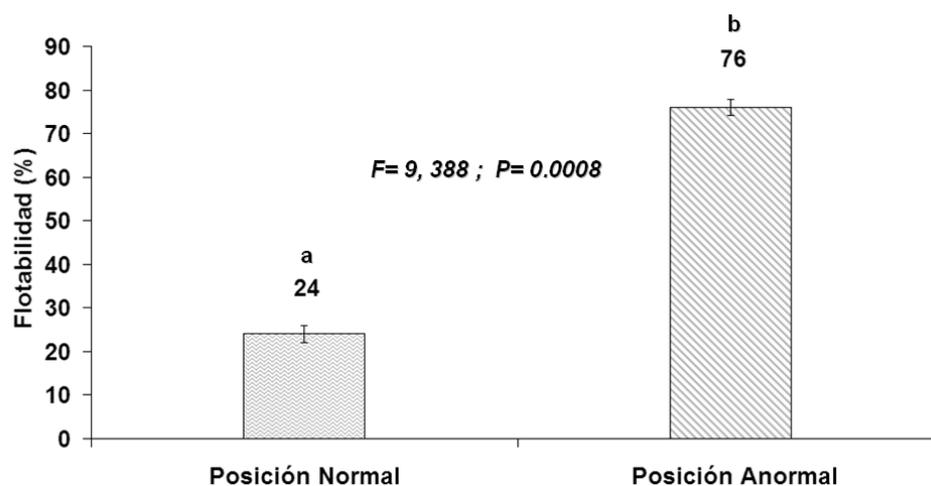


Figura 26. Efecto de la flotabilidad en semillas con capa funicular (SSCF) por acción de la posición en *A. ornatum*.

Porcentaje de flotabilidad en semillas con y sin capa funicular.

Se encontró diferencia significativa marginal entre ambas condiciones (Cuadro 9), pues en semillas con capa funicular se obtuvo un 90% de flotabilidad (90.8765 ± 89.1235) mientras que para las semillas sin capa funicular el 100% flotaron (Fig. 27).

ANOVA FLOTABILIDAD	<i>n</i> (Gpos. Evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor crítico para <i>F</i>
<i>A ornatum</i>					
SSCF	2	2.5	1	5	5.317

Cuadro 9. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad en semillas con capa funicular y sin capa funicular en *A. ornatum*.

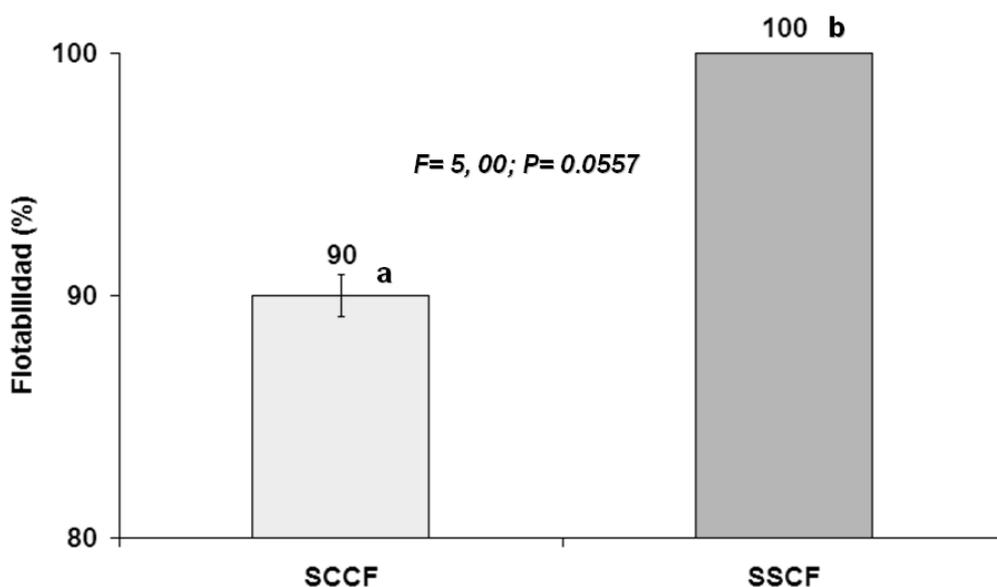


Figura 27. Porcentaje de flotabilidad en *A. ornatum* evaluando ambas condiciones de semillas con y sin capa funicular.

EVALUACIÓN DE LA FLOTABILIDAD EN SEMILLAS DE ESPECIES TESTIGO.

Las especies *Phaseolus vulgaris* y *Acacia farnesiana* se hundieron inmediatamente, por lo que no se registraron datos. *Prosopis laevigata* y *Opuntia streptacantha* mostraron semillas flotantes. Se encontró diferencia significativa (Cuadro 10) para flotabilidad en *P. laevigata* ($F = 3.115, P = 0.0002$) y que en conjunto con el gráfico de intervalos de confianza mostraron que la especie presentó una velocidad continua en hundimientos conforme pasaron mayor tiempo las semillas en el agua. (Fig. 28). De igual forma fue para *O. streptacantha* ($F = 14.235$ y $P = 4.0999$). Sin embargo, la flotabilidad de semillas disminuye drásticamente en periodos mayores a 70 horas (Tabla 14 y Fig. 29).

ANOVA FLOTABILIDAD	<i>n</i> (No. hundimientos)	Suma de cuadrados	Grados de libertad ($n - 1$)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor crítico para <i>F</i>
<i>Prosopis laevigata</i>	19	198.357	18	3.115	1.741*
<i>O. streptacantha</i>	19	149.5	18	4.664	1.787

Cuadro 10. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad en semillas de especies testigo. (*) Diferencia altamente significativa.

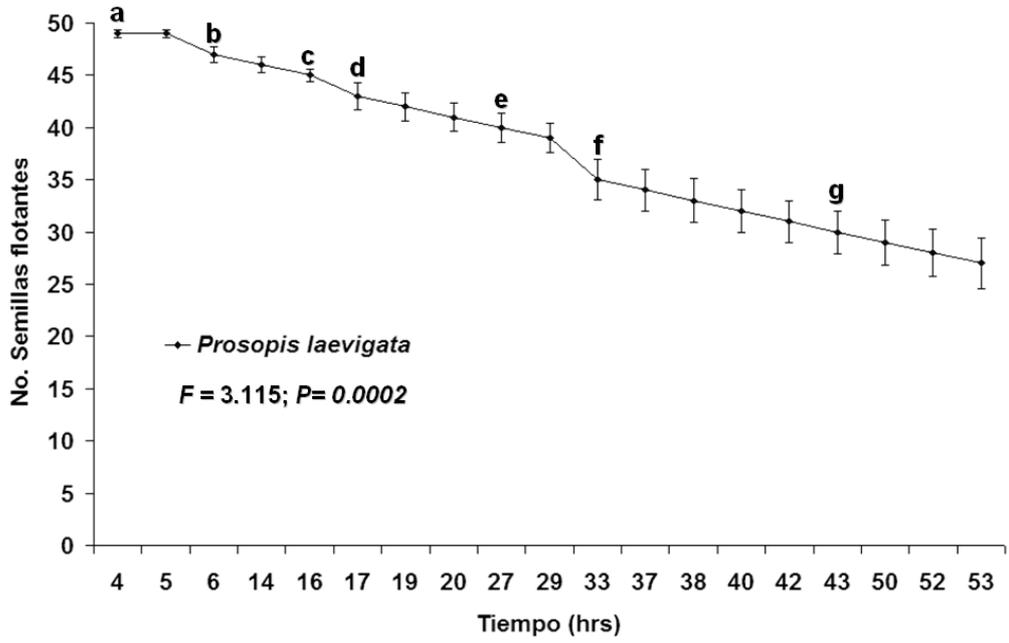


Figura 28. Comportamiento de la flotabilidad.

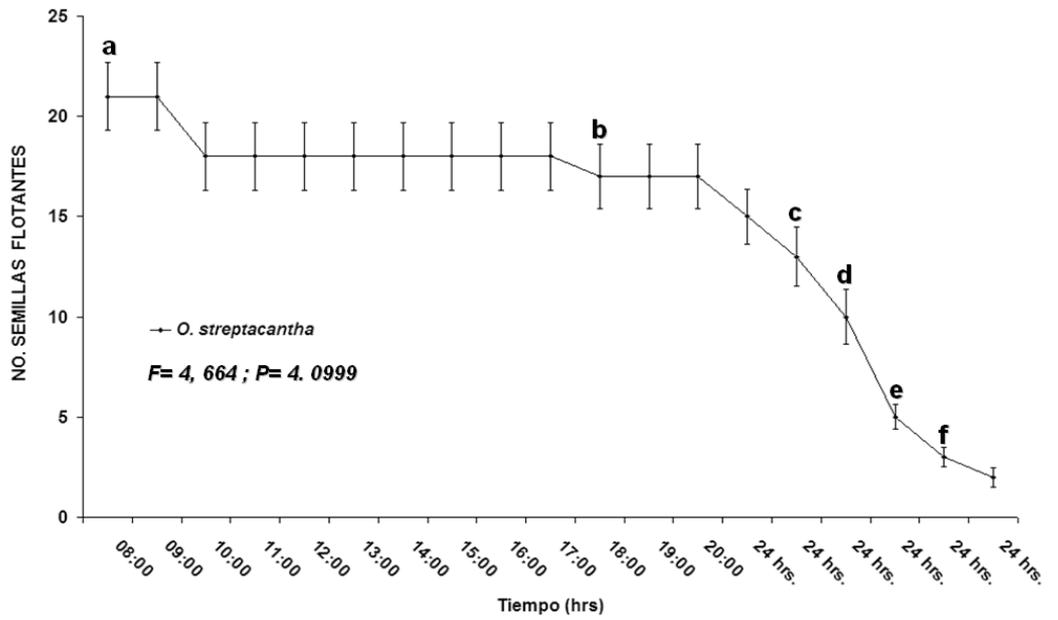


Figura 29. Comportamiento de la flotabilidad.

Comparación de la flotabilidad entre especies testigo.

Las semillas de *P. laevigata* poseen un nivel alto de flotabilidad ($F= 15.432$, $P< 0.0043$) en comparación con las de *O. streptacantha* (Cuadro 11, Fig. 30).

ANOVA FLOTABILIDAD	<i>n</i> (Gpos. Evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor crítico para <i>F</i>
<i>Prosopis laevigata</i>	2	62.5	1	15.432	5.317*
<i>O. streptacantha</i>					

Cuadro 11. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad en semillas de especies testigo. (*) Diferencia altamente significativa.

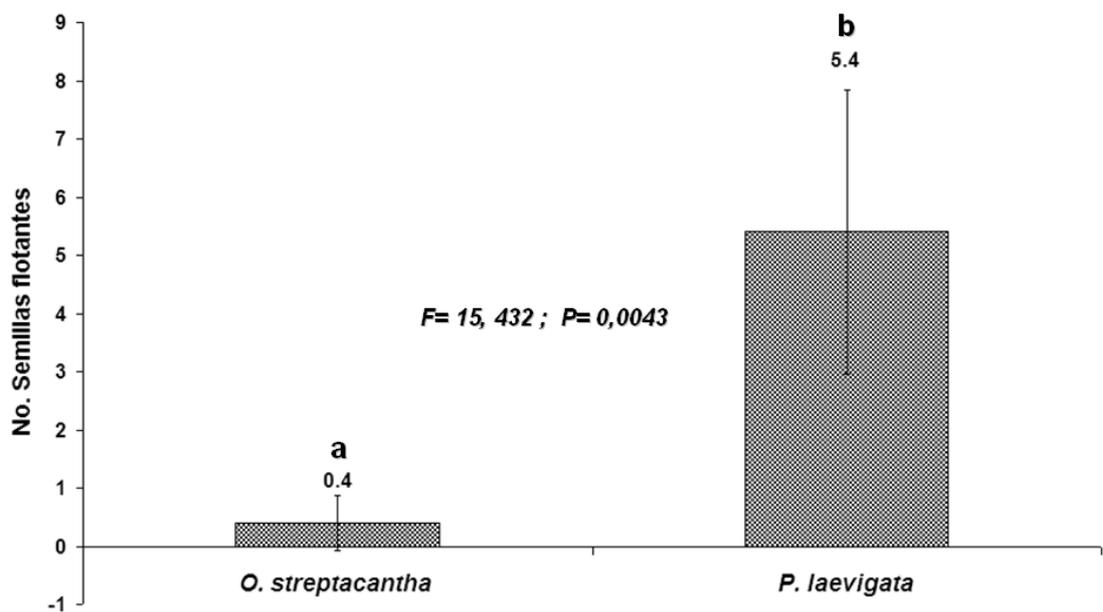


Figura 30. Flotabilidad entre especies testigo.

Comparación de la flotabilidad del género *Astrophytum* contra especies testigo.

Solo la especie testigo *P. laevigata* posee semillas aptas para su flotabilidad (Cuadro 12), sin embargo, el porcentaje de flotabilidad del género *Astrophytum* es superior (Fig. 31).

ANOVA FLOTABILIDAD	<i>n</i> (Gpos. Evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor critico para <i>F</i>
Género <i>Astrophytum</i> Vs Especies testigo	6	308.566	5	27.226	2.620

Cuadro 12. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad entre semillas del género *Astrophytum* contra especies testigo.

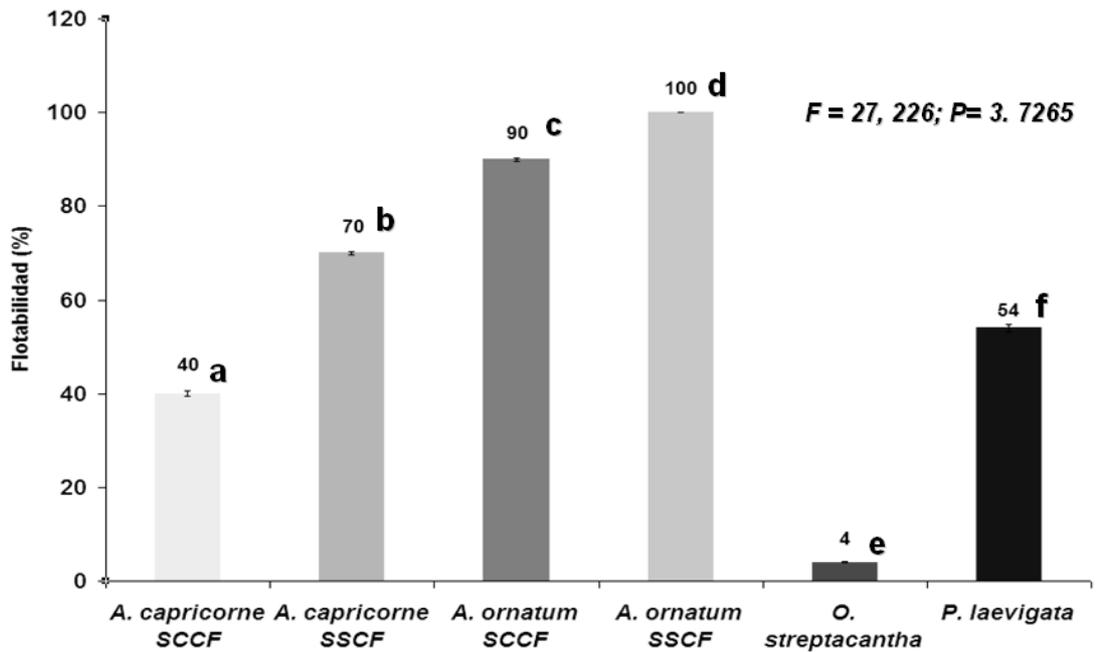


Figura 31. Comparación de la flotabilidad en semillas del género *Astrophytum* contra especies testigo.

COMPARACIÓN GERMINATIVA ENTRE TRATAMIENTOS Y DOS ESPECIES: *A. capricorne* (Dietrich) Britton & Rose y *A. ornatum* (De Candolle) Britton & Rose.

Se observaron tres formas de germinación en el género *Astrophytum* (Fig. 32). Los datos fueron expresados como porcentaje de semillas germinadas durante el periodo de incubación o el tiempo máximo en el que la germinación se detuvo.

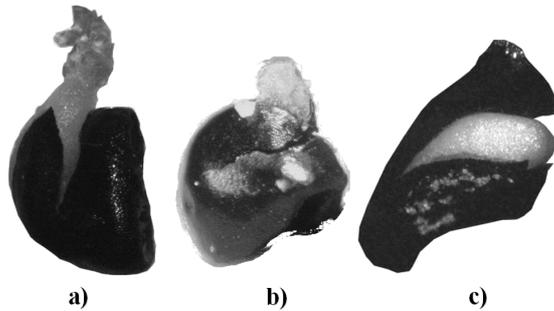


Figura 32. Formas de germinación presentes durante la germinación: a) sistema radicular primario, b) hipocótilo y c) embrión embebido.

Tiempo de inicio de germinación en *A. capricorne*.

El tratamiento de suelo y papel filtro registraron el menor tiempo en días para el inicio de la germinación respecto al resto de los tratamientos evaluados, pues germinaron al primer y segundo día respectivamente (1.7046 ± 0.2954 y 2.7046 ± 1.2953). El resto de los tratamientos germinaron al tercer día (3.7046 ± 2.2954) tal y como se puede observar en la figura 33.

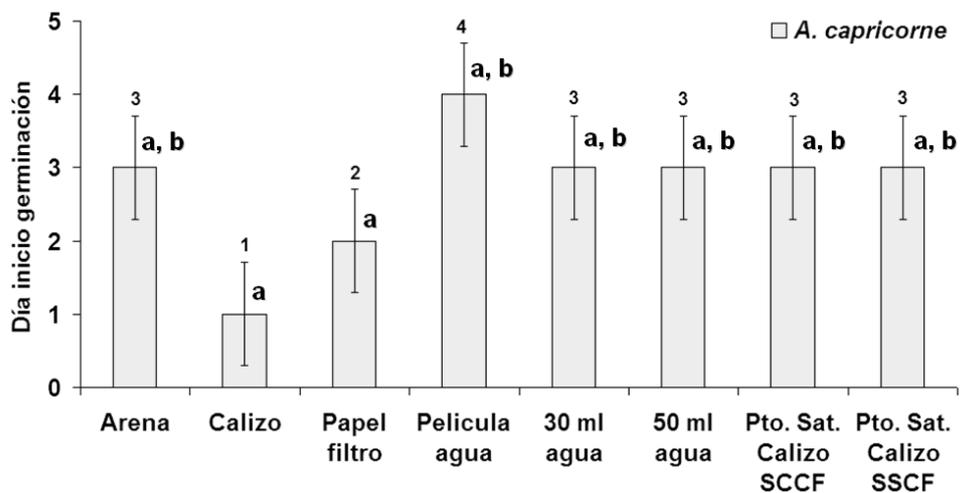


Figura 33. Comparación del día de inicio de germinación entre tratamientos para la especie *A. capricorne*.

Tiempo inicio de germinación en *A. ornatum*.

El tratamiento de punto de saturación con suelo calizo con semillas sin capa funicular inició la germinación al segundo día (3.0101 ± 0.9899), seguido de los tratamientos punto saturación con suelo calizo con semillas con capa funicular, papel filtro, suelo calizo y arena al tercer día (4.0100 ± 1.9899) y finalmente el tratamiento de película de agua que inició la germinación al quinto día (6.0100 ± 3.9899), tal y como lo muestra la figura 34.

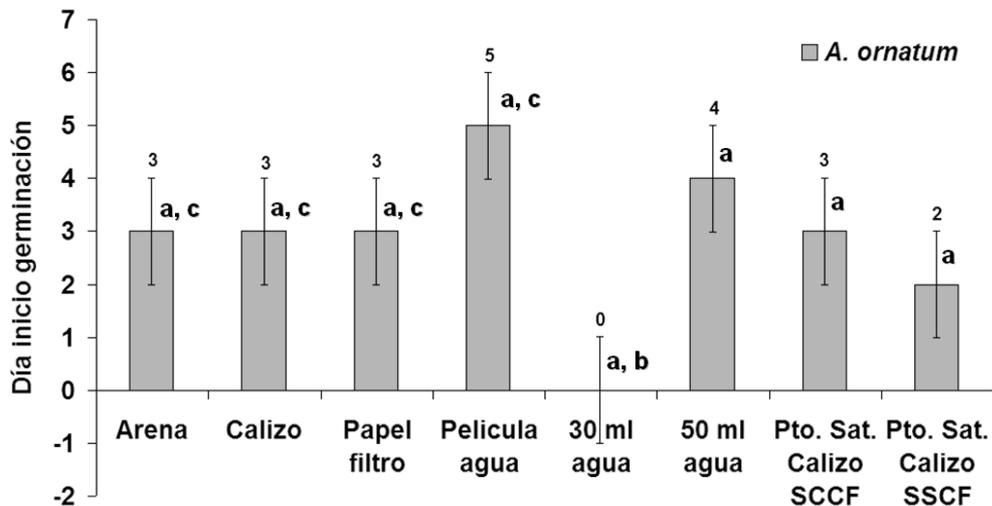


Figura 34. Comparación del día de inicio de germinación entre tratamientos para la especie *A. ornatum*.

Comparación del tiempo de inicio de la germinación entre especies.

Los resultados mostraron que no existe diferencia entre tratamientos para el inicio de la germinación (Cuadro 13) ya que los tratamientos se comportaron de manera similar. La mayoría de los tratamientos iniciaron la germinación al segundo y tercer día de la siembra. Por otro lado, los únicos tratamientos que resultaron ser diferentes para el inicio de germinación fueron suelo calizo y papel filtro. Este último y para el caso de *A. ornatum* no se registraron datos debido a que no hubo germinación (Fig. 35).

ANOVA INICIO GERMINACIÓN	n (Gpos. Evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (n - 1)	variación entre grupos (F)	Valor critico para F
<i>A. capricorne</i> <i>A. ornatum</i>	2	0.0267	1	0.1993	4.600

Cuadro 13. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje flotabilidad entre semillas del género *Astrophytum* contra especies testigo.

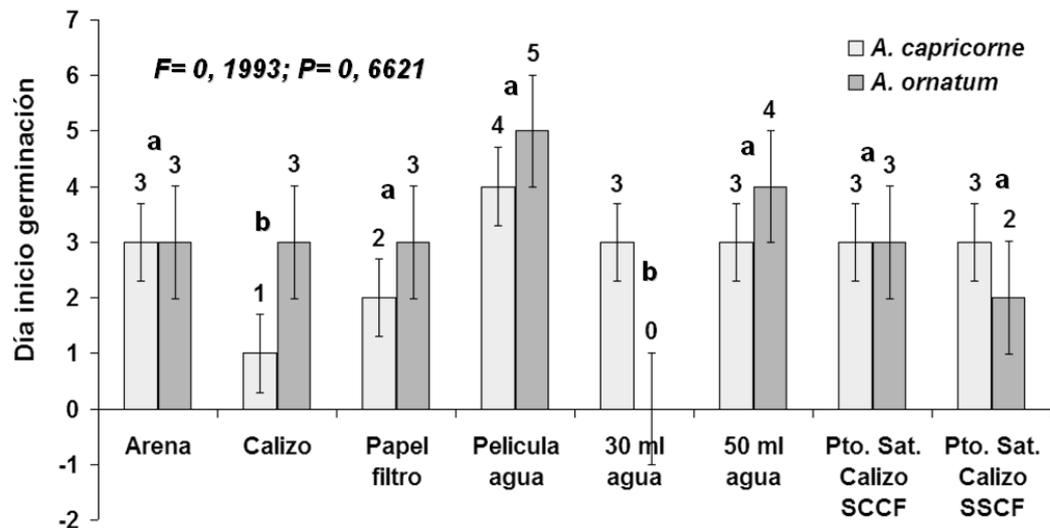


Figura 35. Comparación del inicio de germinación entre especies del género *Astrophytum*.

Porcentaje de germinación entre tratamientos en *A. capricorne*.

Se encontró diferencia altamente significativa (Cuadro 14) en el porcentaje de germinación obtenido para cada tratamiento ($F= 5,0910$; $P= 0.0005$). El mayor porcentaje de germinación se obtuvo en el papel filtro, seguido del tratamiento de punto de saturación en suelo calizo en semillas con capa funicular. El menor porcentaje se obtuvo en el tratamiento de película de agua (Fig. 36). El resto de los tratamientos obtuvieron porcentajes mayores al 70%, lo cual es considerado como un buen porcentaje.

ANOVA GERMINACIÓN (%)	<i>n</i> (Tratamientos evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor critico para <i>F</i>
<i>A. capricorne</i>	8	0.2437	7	5.091	2.312*

Cuadro 14. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje de germinación entre tratamientos en *A. capricorne*. Se encontró diferencia altamente significativa (*).

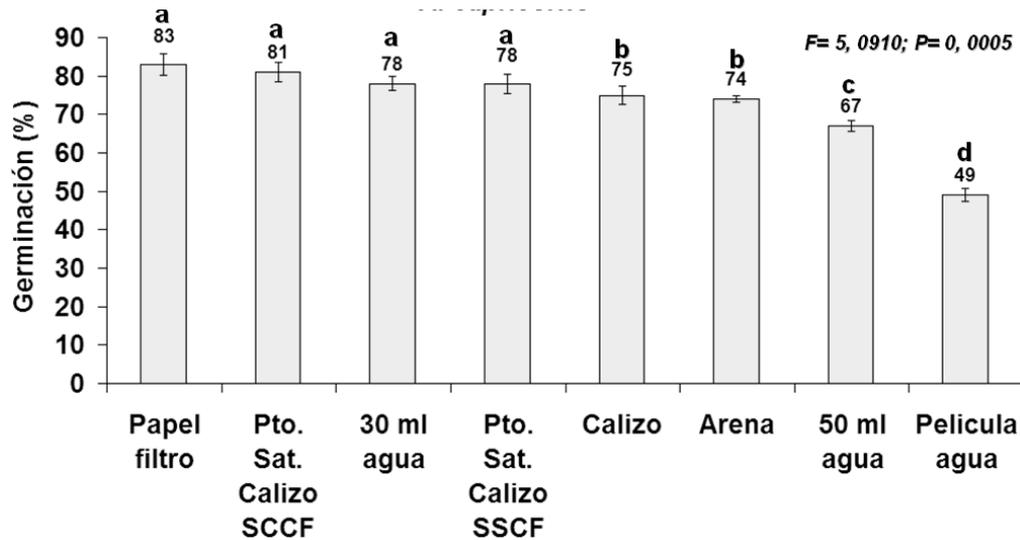


Figura 36. Porcentaje de germinación entre tratamientos para la especie *A. capricorne*.

Porcentaje de germinación entre tratamientos en *A. ornatum*.

Se encontró diferencia significativa (Cuadro 15) en cuanto al porcentaje de germinación obtenido para cada tratamiento ($F= 6, 6608$; $P= 0.0001$). El mayor porcentaje de germinación lo obtuvo el papel filtro, seguido del tratamiento de punto de saturación en suelo calizo en semillas con capa funicular. El menor porcentaje se obtuvo en el tratamiento de 30 ml agua, mientras que el resto de los tratamientos no alcanzaron el 30% de germinación. El sustrato calizo fue el único tratamiento en el cual no se presentó germinación (Fig. 37).

ANOVA GERMINACIÓN (%)	<i>n</i> (Tratamientos evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor crítico para <i>F</i>
<i>A. ornatum</i>	7	6.356	6	6.660	2.445*

Cuadro 15. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje de germinación entre tratamientos en *A. ornatum*. Se encontró diferencia altamente significativa (*).

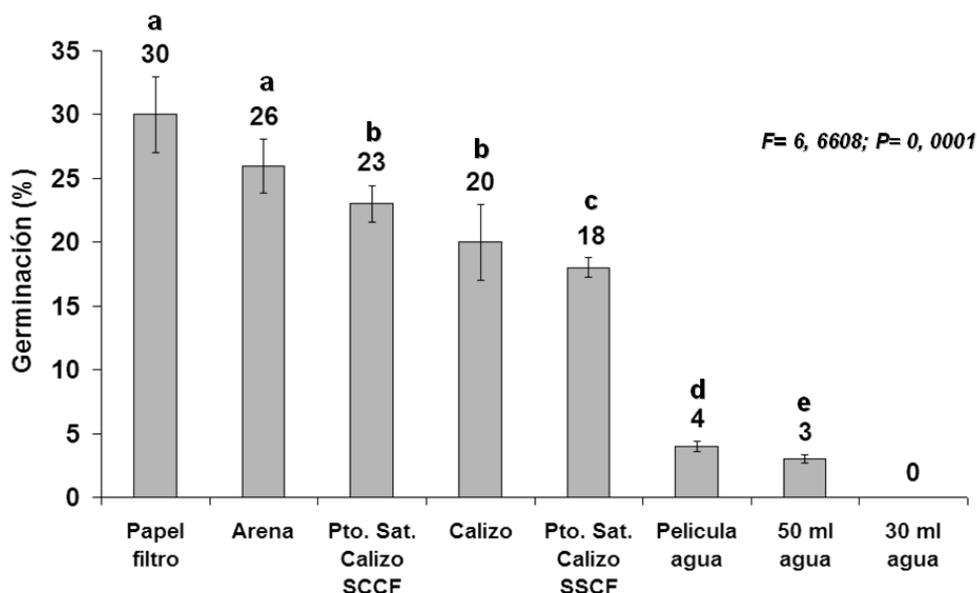


Figura 37. Porcentaje de germinación en *A. ornatum* entre tratamientos. Se encontró diferencia altamente significativa.

Porcentaje de germinación entre tratamientos y especies.

Se encontró diferencia significativa entre especies (Cuadro 16), donde *A. capricorne* obtuvo los mayores porcentajes de germinación (Fig. 38) que pasaron el 70% con excepción de película de agua y 50 ml de agua al obtener 49 y 67% respectivamente. En el caso de *A. ornatum*, los niveles porcentuales de germinabilidad alcanzaron mínimamente el 30% con el tratamiento de 30 ml agua. El resto de los tratamientos alcanzaron hasta un 26% de germinación. Solamente el tratamiento de suelo calizo no presentó germinación, mientras que el de punto de saturación en suelo calizo con semillas sin capa funicular y película de agua, alcanzaron el 3 y 4% de germinación respectivamente.

ANOVA GERMINACIÓN (%)	<i>n</i> (Tratamientos evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor crítico para <i>F</i>
<i>A. capricorne</i> Vs <i>A. ornatum</i>	16	32.839	15	29.986	1.825*

Cuadro 16. Resultados de ANOVA de un factor para porcentaje de germinación entre tratamientos en *A. ornatum*.

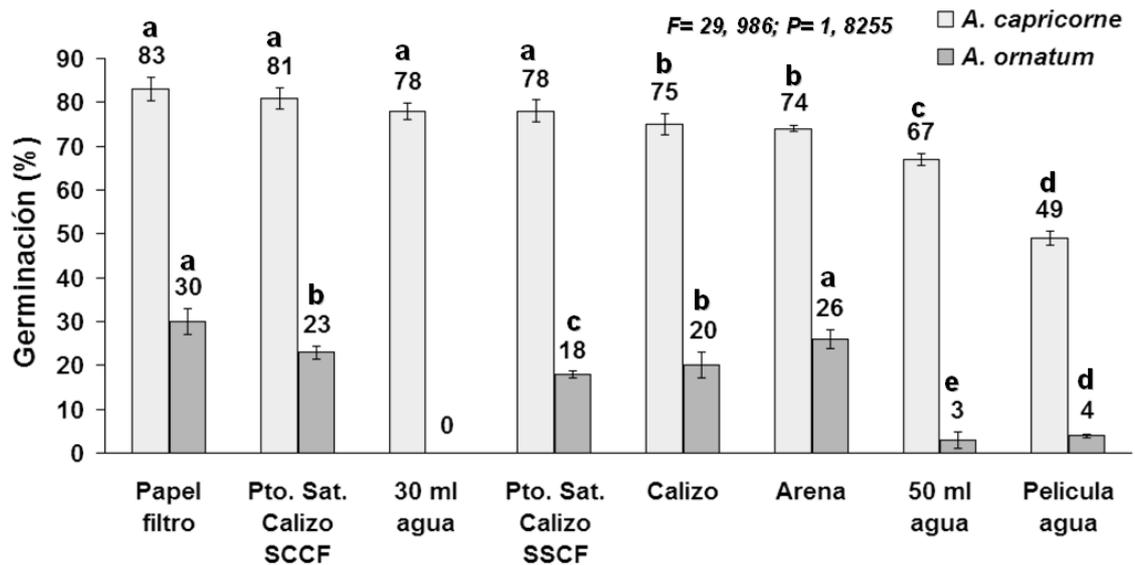


Figura 38. Porcentaje de germinación entre tratamientos y especies del género *Astrophytum*.

COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD GERMINATIVA ENTRE TRATAMIENTOS Y ESPECIES: *A. capricorne* (Dietrich) Britton & Rose y *A. ornatum* (De Candolle) Britton & Rose.

Velocidad de germinación "T50" en *A. capricorne*.

La velocidad germinativa se consideró como el tiempo en días que tarda la semilla en el tratamiento para alcanzar el 50% de germinación. Los resultados mostraron que existe diferencia significativa para la velocidad de germinación (Cuadro 17). El tratamiento punto saturación en semillas sin capa funicular fue el que menor tiempo se llevo en completar el 50% de germinación, mientras que película de agua y 50 ml lo duplico en tiempo (Fig. 39).

ANOVA VELOCIDAD GERMINATIVA	<i>n</i> (Tratamientos evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor crítico para <i>F</i>
<i>A. capricorne</i>	8	0.348	7	5.218	2.312*

Cuadro 17. Resultados de ANOVA de un factor para velocidad de germinación entre tratamientos en *A. capricorne*. Se encontró diferencia altamente significativa (*).

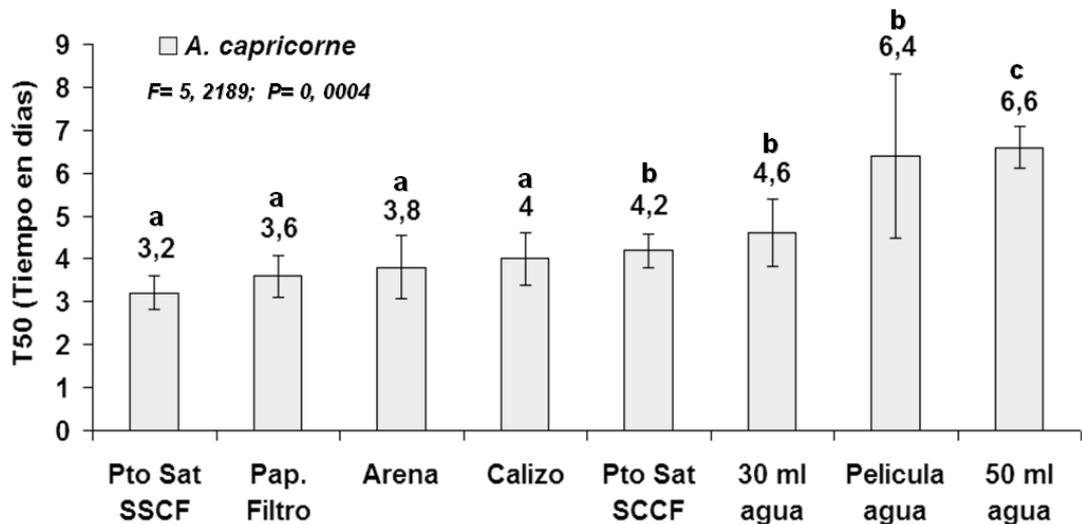


Figura 39. Velocidad de germinación entre tratamientos en *A. capricorne*.

Velocidad de germinación "T50" en *A. ornatum*.

Se encontró diferencia significativa para la velocidad de germinación del tratamiento (Cuadro 18) papel filtro contra el resto ya que fue el que mayor tiempo tardo para alcanzar el 50% de germinación. El resto de los tratamientos presento nulidad significativa por presentar comportamiento similar (Fig. 40).

ANOVA VELOCIDAD GERMINATIVA	<i>n</i> (Tratamientos evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor crítico para <i>F</i>
<i>A. ornatum</i>	8	2.927	7	5.431	2.312*

Cuadro 18. Resultados de ANOVA de un factor para velocidad de germinación entre tratamientos en *A. ornatum*. Se encontró diferencia altamente significativa (*).

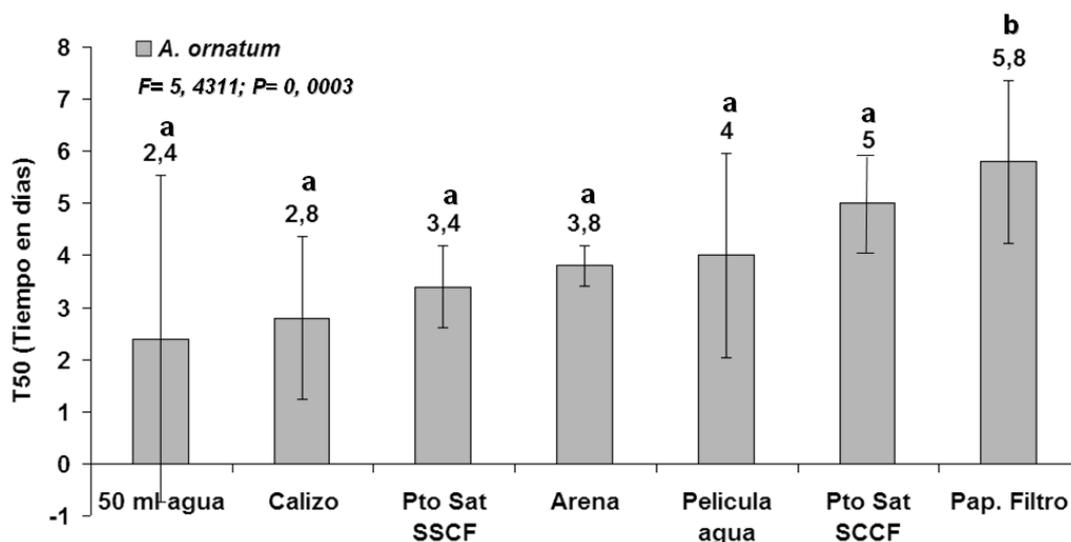


Figura 40. Velocidad de germinación entre tratamientos en *A. ornatum*.

Velocidad de germinación “T50” entre especies.

Se encontró diferencia significativa (Cuadro 19) en los tratamientos de papel filtro, 30 y 50 ml de agua. Para el caso de los tratamientos restantes la velocidad no fue significativa (Fig. 41). La efectividad del tratamiento está en función del vigor germinativo y del tiempo en que tarde en alcanzar el 50% de germinación por la especie y para el tratamiento.

ANOVA VELOCIDAD GERMINATIVA	<i>n</i> (Tratamientos evaluados)	Suma de cuadrados	Grados de libertad (<i>n</i> - 1)	variación entre grupos (<i>F</i>)	Valor critico para F
<i>A. ornatum</i>	16	3.478	15	8.562	1.825
Vs					
<i>A. capricorne</i>					

Cuadro 19. Resultados de ANOVA de un factor para velocidad de germinación entre especies del género *Astrophytum*.

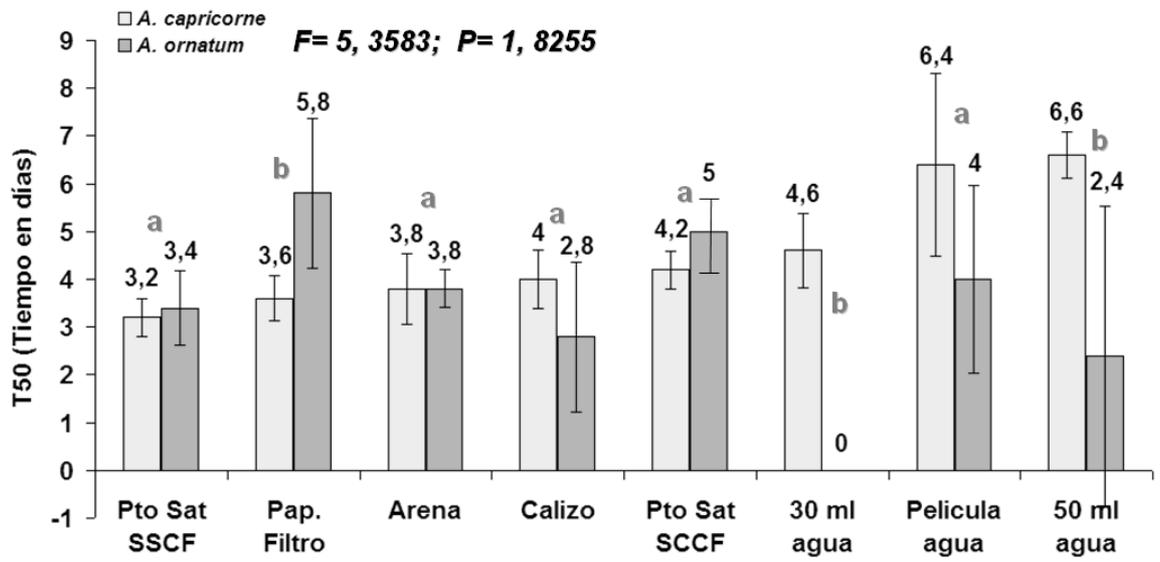


Figura 41. Comparación de la velocidad germinativa entre especies y tratamientos en especies del género *Astrophytum*.

DISCUSIÓN.

Las semillas de *Astrophytum* estudiadas fueron altamente permeables y tuvieron las características básicas sugeridas por Casini y Andrews (1992) para serlo, es decir i) poseen arreglos estructurales externos para captura y almacenamiento de la humedad del ambiente y ii) presentan una cubierta tegumentaria rodeada de una gran cantidad de poros. Sin embargo, se encontraron diferencias entre especies, pues las semillas de *A. capricorne* tuvieron mayor permeabilidad que las de *A. ornatum*, probablemente debido a que las semillas de la primera especie visualmente parecen poseer una hipodermis mas porosa que la de la segunda.

La condición de alta flotabilidad registrada en semillas de *Astrophytum* se relaciona con su forma navicular (Bravo-Hollis, Sánchez-Mejorada, 1991; Elizondo-Elizondo *et al.*, 1994; Barthlott *et al.*, 1997; Henrickson & Johnston, 1997; Barthlott & Hunt, 2000; Lateur, 2002), con el hilo prominente (Bregman, 1988) y con el tejido flotante presente en el tegumento (Augsburger, 1983; Barthlott *et al.*, 1997; López, 2001). La flotabilidad es un mecanismo único de especies pertenecientes a humedales (Soons, 2006). Por lo tanto, podría pensarse que la alta flotabilidad registrada en semillas de *Astrophytum* se debe a que el género *Astrophytum* (i. e. *A. myriostigma*) en su pasado geológico a estado asociado a serranías que bordearon cuencas hidrológicas de grandes extensiones formadas en el Pleistoceno tardío (Romero 2006) y después de la última glaciación (López 2004).

Quizá los niveles de permeabilidad de las especies testigo se deban al tamaños de las semillas que tienen, pues Harper *et al.*, (1970); Teketay y Granstrom. (1997); Kikuzawa y Koyama, (1999) mencionaron que a mayor tamaño de la semilla, absorben más agua.

La presencia de tegumentos coriosos (duros impermeables) o cubiertas tegumentarias como las reportadas por Flores y Engelman, (1976) y Aguilar (2003) también intervienen en la permeabilidad. La permeabilidad en *Opuntia tomentosa* aumenta considerablemente cuando se les elimina la cubierta funicular llamada

“sobre” (Aguilar 2003). En *Astrophytum* no se encontraron estas cubiertas, pero sí en *Opuntia streptacantha*. En *Acacia farnesiana* el tegumento corioso es impermeable (Flores y Engelman, 1976).

La forma de la semilla ha sido reportada como factor que aumenta o disminuye la permeabilidad. Harper y Benton (1966); Harper, Lovell y More (1970); Gutterman, (1994) y Kigel (1995) mencionaron que en semillas largas y globosos la permeabilidad es mínima debido a que tienen una menor superficie de contacto con el sustrato. En el caso de semillas de *Astrophytum*, tienen una quilla (Barthlott y Hunt, 2000) que les da la forma de barco y las mantiene en posición boyante en el agua o en la tierra, manteniendo siempre en contacto ambos lados de la semilla con el sustrato (agua o suelo) donde se distribuyen los poros. Esto quiere decir, que la alta permeabilidad en *Astrophytum* aument aumenta por la forma y posición boyante de “barco” que le proporciona la quilla.

Bregman (1988) sugirió que el género *Astrophytum* posee una alta capacidad de flotabilidad por tener las mejores propiedades de flotación dentro de la familia Cactaceae, entre las que se encuentran semillas relativamente grandes con embriones pequeños, “hilum” prominente con presencia o ausencia de una delgada capa o tejido funicular y una capa tegumentaria fina. En esta última estructura, se observó con microscopía electrónica que contiene dos niveles de porosidad tegumentaria que rodean por completo la testa. Esta porosidad también fueron observadas por Barthlott *et al.*, (1997) en semillas de la cactácea *Selenicereus whitty* se determinó que son células muertas distribuidas dorsalmente en el tegumento. Estas funcionan como cámaras de aire y en conjunto con la forma de almeja incrementan significativamente su flotabilidad al entrar en contacto con el agua. Es probable que a mayor volumen de tejido esponjoso en la semilla (cámaras de aire) por reducir el volumen del embrión, éstas floten más tiempo (Farji *et al.* 2004). Así, parece que la alta flotabilidad en este género, se debe a que la hipodermis está completamente formada de tejido esponjoso que rodea en su totalidad el tegumento y a los embriones pequeños (Bregman 1988).

Se considera que el tiempo de flotabilidad es un carácter adaptativo en semillas con dispersión hidrocórica, debido a que un mayor tiempo de flotación incrementa la eficiencia de la dispersión (Williamson et al., 1999; Williamson y Costa, 2000; López, 2001). Las semillas de *Astrophytum* tienen un mecanismo de dispersión altamente efectivo, pues mostraron periodos de flotación superiores a las 800 horas. A mayor tiempo de flotabilidad se incrementan la probabilidad de ser depositadas en sitios óptimos de humedad para su germinación y establecimiento.

Van den Broek et al. (2005) sugieren que las variaciones pluviales en zonas desérticas producen efecto sobre la flotabilidad en las diferentes especies, pues encontraron que las semillas provenientes de sitios inundados flotan más tiempo en comparación a las provenientes de prados. De acuerdo con los autores, la alta flotabilidad registrada en *Astrophytum* posiblemente se deba a que tres de sus cuatro especies se encuentran asociada a escorrentías (Romero, 2006) para poder dispersarse hacia nuevos sitios que cumplan con el *preferendum* crítico según Rapoport (1975) para su germinación y establecimiento.

Solamente dos especies testigo presentaron semillas con flotabilidad. *Prosopis laevigata* presenta semillas de flotabilidad intermedia que posiblemente se deba a que es una especie asociada a vegetación riparia (Villarreal et al., 2006). Además, sus semillas tienen forma de almeja, lo cual le ayuda incrementar su flotabilidad como lo determinó Barthlott et al. (1997) en la especie *Selenicereus whitty* y un tegumento duro que dificulta la permeabilidad e incrementa la flotabilidad como lo determinó Soons (2006). Mientras que la especie *Opuntia streptacantha* registró semillas con baja flotabilidad, posiblemente por tener semillas de mayor peso. Es probable que la poca flotabilidad se debe a que tiene un tegumento duro llamado sobre funicular reportado en *Opuntia tomentosa* por Aguilar (2003) que retarda el paso del agua, a que es muy similar a la forma de almeja (Barthlott et al., 1997) y la presencia de algún tipo de gases internos como los reportados por Soons (2006) en *Iris pseudacorus*.

López (2001) considera que las especies distribuidas en los ambientes que llegan a inundarse (i. e. *Anacardium excelsum*) considerablemente (i. e. como las escorrentías donde se distribuyen especies del género *Astrophytum*), no se presenta germinación temprana debido a que no es acompañada por la producción de plántulas con tallos de rápido crecimiento que puedan colocar y mantener su tejido fotosintético por encima del nivel del agua antes de la inundación. Sin embargo, las especies aquí estudiadas registraron una germinación temprana (entre el tercer y quinto día) acompañadas de una velocidad germinativa similar, y aunque no producen plántulas con tallos de rápido crecimiento, estas poseen hipocótilos adaptados a estar sumergidos y flotar en agua por hasta dos meses después de su germinación (Obs. Pers). Por lo tanto ambas características de las semillas que favorecen la flotación y su supervivencia luego de la germinación, pueden ser consideradas como los factores de mayor importancia por promover el establecimiento exitoso en especies de sitios inundables (López 2001) o con cierto grado de inundación como los sitios donde se distribuye el género *Astrophytum*.

CONCLUSIONES.

Se acepta la hipótesis nula (H_0) de que las semillas de las dos especies del género *Astrophytum* no presentan mayor ni más rápida germinación en agua, independientemente de la cantidad utilizada.

La aplicación del agua como medio germinativo, no es indispensable para que las semillas de las especies evaluadas germinen más rápido y en mayor porcentaje, pero si efectiva en comparación a tratamientos muy costosos (i. e. agar, hormonas de crecimiento) y que no se relacionan con el ambiente ecológico al que están expuestas las semillas.

La forma navicular de las semillas en especies del género *Astrophytum*, es una característica utilizada específicamente para la dispersión por el tipo de microrelieve en el que se distribuyen (escorrentías), que además esta adaptada a soportar periodos prolongados de inmersión en agua sin sufrir daño alguno.

El género *Astrophytum* como respuesta ecológicamente retarda por periodos prolongados de hasta tres meses la germinación sin presentar problemas posteriores de algún tipo de latencia (i. e. química o fisiológica) por lo que una vez presentes las condiciones idóneas (i. e. humedad, luz, temperatura) esta reactiva el proceso.

BIBLIOGRAFÍA.

Abraham de Noir, S. Bravo y R. Abdala. 2002. Dispersal mechanisms in some woody native species of Chaco Occidental and Serrano. *Quebracho* 9: 140-150

Aguilar A. 2003. Caracterización de la semillas de 403 variantes de nopal (*Opuntia* spp.) y sus implicaciones agroindustriales. Bachelor Thesis, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

Alcaraz-Ariza, J. F. 2009. Geobotánica Tema 5: Polinización y dispersión. Universidad de Murcia, España. Disponible from URL: <http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema05.pdf>

Álvarez, G. & C. Montaña. 1997. Germinación y supervivencia de cinco especies de Cactáceas del Valle de Tehuacán: implicaciones para su conservación. *Act. Bot. Mex.* 40:43-58.

Alvarez, P.J.C.; Krzyzanowski, F.C. Mandarino, J.M.G. and J.B. Franca-Neto. 1997. Relationship between soybean seed coat lignin content and resistance to mechanical damage. *Seed Science and Technology* 25(2): 209-214.

Anónimo, 2009. Dispersión – Diseminación. Disponible from URL: <http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema05.pdf>

Arredondo, G. A. 2001. Programa Nacional de Cactáceas Ornamentales. Campo Experimental Palma De la Cruz, S.L.P., INIFAP-CONACYT. **Available from: URL_ http://www.inifap.conacyt.mx.progs_a/forestal/prog_cactaceas.html**

Arredondo, G. A., y Camacho M. F. 1995. Germinación de *Astrophytum myriostigma* (Lemaire) en relación con la procedencia de las semillas y temperatura de incubación. *Cact. Suc. Mex.* 40: 34-38.

Augsburger, C. 1983. Seed dispersal of the tropical tree, *Platypodium elegans*, and the escape of its seedlings from fungal pathogens. *J. Ecol.* 71:759-771.

Baloch HA, DiTomasso A, Watson AK. 2001. Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. *Seed Sci. Res.* 11: 335-343.

Bansal, R. P., Bhati, P. R. y Sen, D. N. 1980. Differential specificity in water imbibition of Indian arid zone seeds. *Biol. Plant.* 22: 327-331.

Barthlott, W. & Hunt, D. 2000. Seed-diversity in the Cactaceae subfam. Cactoideae. *Succulent Plant Research*. Volume five. P 19, 49 and 115.

- Barthlott, W., Stefan Porembski, Manfred Kluge, Jörn Hopke y Loki Schmidt. 1997.** *Selenicereus wittii* (Cactaceae): an epiphyte adapted to Amazonian Igapó inundation forests. P1. Syst. Evol. 206:175-185.
- Baskin, C., Baskin J.M. (Eds.) 2001.** Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. San Diego: Academic Press. P. 8.
- Baskin, C.C.. 2003.** Breaking physical dormancy in seeds- focussing on the lens. New Phytologist 158:285-303.
- Benítez, H. y Dávila. P. 2002.** Las Cactáceas Mexicanas en el contexto CITES. Biodiversitas. Boletín bimestral de la comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Año 6, No. 40. pp. 8-11.
- Bewley, J. D. 1997.** Seed germination and dormancy. Plant Cell. 9: 1055-1066.
- Bewley, J. D. and Black, M. 1978.** Physiology and Biochemistry of seed. Vol. I. Development germination and growth. Springer Verlag.
- Billings W. D. 1968.** Las plantas y el ecosistema. Herrero. México D. F. 168 p.
- Bradbeer, J. W. 1988.** Seed dormancy and germination. Chapman & Hall. New York. 146 pp.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. R. 1991.** Las Cactáceas de México Vol. II. Universidad Nacional Autónoma de México. P. 91 – 102.
- Bregman, R. 1988.** Forms of seed dispersal in Cactaceae. Act. Bot. Neerl. 37(3). p. 395-402.
- Britton, N. L. And Rose J. N. 1920.** The Cactaceae. Descriptions and Illustrations of Plants Of the Cactus Family Vol. III y IV, 2nd Edition., Published in Canada by General Publishing Company. 183 p.
- Cabello, A. y Botti, C. 1987.** Estudio de germinación en *Drimys winteri* Forst. (canelo). Ciencias Forestales 5(1):21- 30.
- Carrera, M. J. n. d. Mecánica de fluidos (6):** El principio de Pascal y Arquímedes. Universidad Técnica Federico Santa María. Sede Viña del Mar. p. 110.
- Casini, C. and Andrews, C. 1992.** Water absorption of Soybean (*Glycine max* (L) Merr.) seeds with different levels of permeability and different sizes. Symposium Abstracts, XXIII International Seed Testing Congress. Buenos Aires, Argentina 2-4 November 1992.
- Chachalis, D. and M.L. Smith. 2001.** Seed coat regulation of water uptake during imbibition in soybean (*Glycine max* (L Merr.). *Seed Science and Technology* 29:401-412.
- Colombo Speroni, F y M. de Viana. 2000.** Requerimientos de Escarificación en Semillas de Especies Autóctonas e Invasoras. Ecología Austral 10: 123-131.

CONVENTION ON INTERNATIONAL TRADE IN ENDANGERED SPECIES OF WILD FAUNA AND FLORA. 2007. Appendice II. Valid from 13 september. Available from URL: <http://www.cites.org>

Coops, H. and G. van der Velde. 1995. Seed dispersal, germination and seedling growth of six helophyte species in relation to water-level zonation. *Freshwater Biology*. 34, 13 – 20.

Corona N. V. & V. M. Chávez. 1982. Cultivo de cactáceas en medios asépticos. *Cact. Suc. Mex.* 27:17-22

Cox, J. R, De Alba-Ávila A, Rice RW, Cox J. N. 1993. Biological and physical factors influencing *Acacia constricta* and *Prosopis velutina* establishment in the Sonoran Desert. *Journal of Range Management*, 46:43-48.

D'Auberrete, R; Z. Piñero; E. García & M. A. Figarella. 2006. Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de cinco especies de cactáceas (*Opuntia ficus indica*, *Pilosocereus moritzianus*, *Stenocereus griseus*, *Cereus deficiens* y *Cereus hexagonus*) del estado de Lara. Simposio - Taller Experiencias en Agroforestería ejecutadas o en proceso por el INIA. Venezuela. 13-17 pp. Disponible from URL: http://ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/agroforesteria/articulos%20pdf/daubeterre_ram_on_2.pdf

De la Rosa-Ibarra M. y García, H. 1994. Estimulación de la germinación de cinco especies de cactáceas consideradas en peligro de extinción. *Phyton – Internacional Journal of Experimental Botany* 56, 147–150

Del Castillo, F. R. 1986. Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix*. *Cact. Suc. Mex.* 3:5-10.

Del castillo, F. R. 1996. Ensayo sobre el fenómeno calcícola-calcífuga en cactáceas mexicanas. *Cact. Suc. Mex.* XLI. P. 3 – 10.

Dubrovsky, J. G. 1996. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. *Am. Jour. Bot.* 83: 624-632.

Dubrovsky, J. G. 1998. Discontinuous hydration as a facultative requeriment for seedgermination in two cactus species of the Sonoran Desert. *Jour. Bot. Soc.* 125:33-39.

Elizondo Elizondo, J., Valdés Reyna, J., Arias Montes, S. A. y Hatch, L. S. 1994. Micromorfología de las semillas de algunas cactáceas de la tribu CACTEAE (Cactaceae). *Cact. Suc. Mex.* XXXIX. p. 59 – 67.

Ellis, R. H. and E. H. Roberts. 1978. Towards and rational basis for testing seed quality. In P. D. Hebblethwaite (ed). *Seed production*. 605 – 636. Butterworth, London.

Esau, K. 1976. *Plant Anatomy*. John Willey & Sons, Inc., New York.

Farji-Brener, G. A., Sandra Durán, Alejandro Valerio, Estela Herbas, Mario Castañeda, José Ochoa & Mónica Romo. 2005. La semilla de *Campsiandra angustifolia* (Fabaceae:Caesalpinioideae) como un reflejo de las presiones selectivas sobre su dispersión y establecimiento. *Rev. biol. trop* v.53 n.1-2.

Flores, J. y Briones, O. 2001. Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: effects of soil water potencial and temperature. *Journal of Arid Environmental* 47:485-497

Flores, M. E. y Engelman, M. E. 1976. Apuntes sobre la anatomía de las semillas de cactáceas. I. Desarrollo y estructura. *Rev. Biol. Trop.* 24 (2): 199 – 227.

Futuyma, D. J. 1986. *Evolutionary Ecology*. Sinauer, Massachusetts.

García C. H. y De la Rosa Y. M. 1992. Efecto del ácido giberélico en la germinación de cuatro especies de cactáceas consideradas en peligro de extinción. Resumen del XII Coloquio de Investigación de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM. México. Resumen 160.

Glass, E. Charles. 1998. *Guide to the Identification of Threatened Cacti of México*. Vol. 1. CONABIO. CANTE.

Godínez, H.1991. Propagación de Cactáceas por semilla: una experiencia para su cultivo y conservación. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de México. p. 70.

Gomes, V., Madeira, J.A., Wilson Fernandes, J., Lemos Filho J.P. 2001. Seed dormancy and germination of sympatric species of *Chamaecrista* (Leguminosae) in a rupestrian field. *Int. J. Ecol. Env. Sci.* 27: 191-197.

Gómez-Hinostrosa C, Hernández H.M. 2000. Diversity, Geographic distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, Mexico. *Biodiv. Cons.* 9: 403-418.

Greene, D. & E. Johnson. 1993. Seed mass and dispersal capacity in wind-dispersed diaspores. *Oikos* 67: 69-74.

Gutterman, Y. 1993. *Seed germination in desert plants*. Springer. Berlin-Heidelberg

Gutterman, Y. 1994. Strategies of seed dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *Botanical Review*, 60:373-425.

Harper JL, Lovell P, Moore, K.G. 1970. The shapes and sizes of seeds. *Annu. Rev. Ecol. Systemat.* 1: 327-356.

Harper JL, Lovell P, Moore, K.G. 1970. The shapes and sizes of seeds. *Annu. Rev. Ecol. Systemat.* 1: 327-356.

- Harper, J.L. & R.A. Benton. 1966.** The behaviour of seeds on the surface of water supplying substrates. *Journal of Ecology* 54, 151-166.
- Harper, J.L., Lovell, P., Moore, K.G. 1970.** The shapes and sizes of seeds. *Annu. Rev. Ecol. Systemat.* 1: 327-356.
- Henrickson J. and Johnston C. M. 1997.** A flora of the Chihuahuan Desert Region. Edition 1. 2. Vol. 1. Publisher by James Henrickson pp. 2500.
- Hernández H. M, Godínez H. 1994.** Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Bot. Mex.* 26: 33-52.
- Hernández H. M, Gómez-Hinostrosa C, Bárcenas R.T. 2001.** Diversity, spatial arrangement, and endemism of Cactaceae in the Huizache area, a hot spot in the Chihuahuan Desert. *Biodiv. Cons.* 10: 1097-1112.
- Hernández H. M. and Bárcenas R. T. 1995.** Endangered cacti in the Chihuahuan Desert. I. Distribution patterns. *Cons. Biol.* 9: 1176-1188.
- Hunt, D. 1999.** CITES. Cactaceae Checklist, 2nd ed. Royal Botanic Gardens, Kew and International Organization for Succulent Plant Study (IOS).
- International Seed Testing Association – ISTA. 2009.** Capitulo 5. Ensayo de germinación. Disponible from URL: http://www.senasa.gob.pe/servicios/intranet/capacitacion/cursos/curso_nacional_semilla/semillas/6-7.pdf
- Jones, R.H. et al. 1994.** Woody plant regeneration in four floodplain forests. *Ecological Monographs*, 64: 345-367
- José Á. Villarreal Q., Miguel A. Carranza P., Eduardo Estrada C. y Andrés Rodríguez G. 2006.** Flora riparia de los ríos Sabinas y San Rodrigo, Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana.* 75: 1- 20.
- Kigel, J. 1995.** Seed germination in arid and semiarid regions, In Kigel, J., Galili, G. eds. *Seed development and germination.* New York: Marcel Dekker Inc., 645- 699.
- Kikuzawa K, Koyama H. 1999.** Scaling of soil water absorption by seeds: an experiment using seed analogues. *Seed Sci. Res.* 9: 171-178.
- Lateur, A. 2002.** Las semillas y los frutos. Palma de Mallorca. Disponible en el URL: http://www.sinix.net/paginas/sargaweb/secciones/cactus_llavors.htm
- Leishman M, Wright IJ, Moles AT, Westoby M. 2000.** The Evolutionary Ecology of Seed Size. En Fenner M (Ed.) *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd ed. Cabi. Wallingford, RU. pp. 31-57.

- Lindorf, H; L. Parisca y P. Rodriguez 1985.** Botánica. Clasificación, Estructura y Reproducción. Universidad Central de Venezuela. Ediciones de la Biblioteca. Caracas.
- López, O.R. 2001.** Seed flotation and postflooding germination in tropical terra firme and seasonally flooded forest species. *Functional Ecology*, 15: 763-771.
- López-Corrujedo, H. 2004.** Variabilidad especial y temporal de los sistemas de dunas en el suroeste de Coahuila, México. Tesis de Maestría. Facultad de Agricultura y Zootecnia –Universidad Juárez del Estado de Durango. Venecia, Dgo.
- Lorite, J. Mario Ruiz-Girela & Jorge Castro. 2007.** Patterns of germination in Mediterranean mountains: study on 37 endemic or rare species from Sierra Nevada SE Spain. *Candollea* 62(1): 1-12.
- Maiti, R. K. and Perdome, V. H. 2003.** Comparative anatomy of stems of six species of *Astrophytum* (Cactaceae): a preliminary study. *Crop. Res.* 25 (1): 153 – 158.
- Mandujano, M.C., C. Montaña, M. Franco, J. Golubov y A. Flores-Martínez. 2001.** Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* 82: 344-359.
- Martínez – Solis, J., L. Galan-Ramirez, J. E. Rodriguez-Perez and M.G. Pena-Ortega. 2005.** Efecto de la Temperatura y Tamaño de Semilla en la Germinación y Vigor en Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 48:44-47.
- McDonald, M.R.; Vertucci,C.W. and E.E. Ross. 1988.** Seed coat regulation of soybean seed imbibition. *Crop Science* 28:987-992.
- McLemore, F. B. 1965.** Pentane Flotation for Separating Full and Empty Longleaf Pine Seed. *Forest Science*. Volume 11, number 2. p. 242 – 243.
- Méndez – Natera, J., L. Ysavit Marcano, J. Merazo. 2007.** Uso del Agua Caliente para Evaluar la Calidad de Semillas de Maíz (*Zea mays* L.). *Revista Tecnológica ESPOL*, Vol. 20, N. 1, 229-236.
- Méndez, E. y Perez – González, B. S. 2008.** Germinación de *Echinopsis leucantha* (Cactaceae). I- Efectos de temperatura y concentraciones de calcio. *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo XL. N° 2. Año. P. 91 – 96.
- Milberg P, Anderson L, Elfverson C, Regnér S. 1996.** Germination characteristics of sedes differing in mass. *Seed Sci. Res.* 6: 191-197.
- Montejo – Valdés, A. L., Jorge A. Sánchez y Bárbara Muñoz. 2005.** Dormancy and germination in *Talipariti elatum* seeds. *Botanica Complutensis* 29: 57-62.
- Moreno N, López JJ, Arce L. 1992.** Aspectos sobre la germinación de *Echinomastus mariposensis* Hester. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 37: 21-27.

Muro – Pérez, G. 2006. Efecto de la altitud y las propiedades químicas y físicas del suelo en el desarrollo de *Astrophytum myriostigma* Lemaire (1839). Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico Agropecuario. pp. 125.

Navarro, M. C. y González, E. M. 2007. Efecto de la Escarificación de Semillas en la germinación y crecimiento de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton & Rose (Cactaceae). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. Zona s Á r i da s 11(1). Disponible from URL: <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art14.pdf>

Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Publicada el Miércoles 6 de marzo de 2002 en la Segunda sección del DIARIO OFICIAL DE LA DEFERACIÓN.

Orozco-Segovia, A. J. Márquez-Guzmán, M. E. Sánchez-Coronado, A. Gamboa de Buen, J. M. Baskin and C. C. Baskin. 2007. Seed Anatomy and Water Uptake in Relation to Sed Dormancy in *Opuntia tomentosa* (Cactaceae, Opuntioideae). *Annals of Botany*. 99: 581- 592.

PUCKEY, H.L., A. LILL y D.J. O'DOWD. 1996. Fruit color choices of captive Silvereyes. *Condor* 98(4):780-790.

Quintero J, G. Peña y G. 1997. Evaluación de tratamientos pregerminativos en guayabo Cas (*Psidium friedrichsthalianum* Berg-Niedenzu). II. Utilización de capa vegetal y humus como sustrato. Universidad del Zulia. Facultad de Agronomía. Disponible en el URL: http://www.revfacagronluz.org.ve/v16_s/v167z011.html

Rapoport, E. H. 1975. Areografía, estrategias geográficas de las especies. Fondo de Cultura Económica. 105 p.

Rioja-Paradela, T. M. Y Romero-Méndez U. 2002. Efecto del remojo sobre el potencial reproductivo sexual de *Astrophytum myriostigma* Lem. (CACTACEAE) en condiciones controladas. *Nakari*. Vol. XIII. No. 2. pp. 21-34.

Rob Bregman and Peter Graven. 1997. Subcuticular secretion by cactus seeds improves germination by means of rapid uptake and distribution of water. *Annals of Botany* 80: 525 – 531.

Rodríguez, H. B. y Gómez L. F. 1994. Evaluación de cinco tratamientos pregerminativos en tres especies de cactáceas ornamentales. Memorias del Encuentro Nacional sobre Tecnologías Alternas para el Aprovechamiento de los Recursos Bióticos de Zonas Áridas. UACH-URUZA. pp. 26.

Rodríguez, H. B. y Gómez L. F. 1994. Evaluación de cinco tratamientos pre-germinativos en tres especies de cactáceas ornamentales. Memorias del Encuentro Nacional sobre Tecnologías Alternas para el Aprovechamiento de los Recursos Bióticos de Zonas Áridas. UACH-URUZA. pp. 26.

Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments*. 44:85 – 104.

Rojas-Aréchiga, M, A. Orozco-Segovia y C. Vázquez-Yanes. 1997. Effect of light on germination of seven species of cacti from the Zapotitlan Valley in Puebla, México. *Journal of Arido Environments* 36: 571-578.

Rómero – Méndez, U. 2006. Modelo probabilístico de la distribución geográfico – espacial de la cactácea *Astrophytum myriostigma* Lem. (1839) en la sierra El Sarnoso, Durango México. Tesis de maestría. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. pp 66.

Rossini-Oliva, S., B. Valdés, M. C. Andrés, F. Márquez Campón & M. Bueso López. Sin Año. Germinación de las semillas en algunas especies Americanas de Fabaceae y Bignoniaceae cultivadas en Sevilla, España. *Lagascalía* 26: 119-129

Roth, I. 1987. Stratification of a Tropical Forest as Seen in Dispersal Types. Task for Vegetation Science 17. Dr. W. Junk Publishers. Dordrecht, Boston, Lancaster. 325 Pp.

Rzedowski, J. 1955. Notas sobre la flora y vegetación del estado de San Luis Potosí. II. Estudio de las diferencias florísticas y ecológicas condicionadas por ciertos tipos de sustrato geológico. *Ciencia* 15: 141 – 158

Samperio-Ruíz, O. D. 2007. Evaluación de la efectividad de 11 tratamientos para la germinación de la cactácea amenazada *Astrophytum capricorne* (A. Dietr.) Britton & Rose (Cactaceae), de acuerdo al tamaño de semilla y tipo de sustrato. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez del Estado de Durango. Escuela Superior de Biología. Pp. 105

Sánchez - Salas, J., Flores – Rivas, J., Muro – Pérez, G y Romero – Méndez, U. 2007. Morfometría y procesos germinativos de la cactácea amenazada: *Astrophytum myriostigma* Lemaire (1839). Datos sin publicar.

Sánchez – Salas, J., Flores –Rivas, J. y Martínez – García, E. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire. (CACTACEAE), especie amenazada de extinción. *Interciencia*. VOL. 31 Nº 5 p. 371 – 375.

Sánchez, S. J., y Romero, M. U. 2003. Listado de la flora cactológica de la sierra El Sarnoso, Durango, México. *Nakari*. Vol. XIV, Núm. 2. p. 27 - 36.

- Scarano, R. F., Tânia S. Pereira and Giselle Rôças. 2003.** Seed germination during floatation and seedling growth of *Carapa guianensis*, a tree from flood-prone forests of the Amazon. *Plant Ecology* 168: 291–296.
- Schneider, R., & R. Sharitz. 1988.** Hydrocory and regeneration in a bald cypress-water tupelo swamp forest. *Ecology* 69: 1055-1063.
- Simerda, B. 1990.** Effective ways of propagating Endangered Cacto. *British Cactus and Succulent Journal* 8: 9-12.
- Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 1995.** Biometry. Third edition. W.H. Freeman and Company, New York, New York, USA. 887 pp.
- Soons, M. B. 2006.** Wind dispersal in freshwater wetlands: Knowledge for conservation and restoration. *Applied Vegetation Science* 9: 271-278
- Soriano, J. P. María Elena Naranjo, Carlos Rengifo, Mariana Figuera, María Rondón y R. Leonardo Ruiz. 1999.** Avian consumers of columnar cacti fruits in the semiarid enclave of Lagunillas, Merida, Venezuela. *Sociedad Venezolana de Ecología. ECOTROPICOS* 12(2):91-100.
- Streng, D.R. et al. 1989.** Woody seedlings dynamics in a east Texas floodplain forest. *Ecological Monographs*, 59: 177-204. *Systemat.* 1: 327-356.
- Teketay, D. y Granstrom, A. 1997.** Germination ecology of forest species from the highlands of Ethiopia. *J. Trop. Ecol.* 13: 805-831.
- Tungate KD, Susko DJ, Rufty TW. 2002.** Reproduction and offspring competitiveness of *Senna obtusifolia* are influenced by nutrient availability. *New Phytol.* 154: 661-669.
- USDA. 2006.** Preocupación acerca del recurso de calidad del suelo: Hidrofobicidad. Natural Resources Conservation Service - NRCS Soil Quality Institute. Disponible from URL: <http://soils.usda.gov/sqi/>
- Van den Broek, T., van Diggelen, R. & Bobbink, R. 2005.** Variation in seed buoyancy of species in wetland ecosystems with different flooding dynamics. *J. Veg. Sci.* 16: 579-586.
- Vega-Villasante, F., Nolasco H, Montaña C, Romero-Schmidt H, Vega-Villasante E. 1996.** Efecto de la temperatura, acidez, iluminación, salinidad, irradiación solar y humedad sobre la germinación de la semilla *Pachycereus pecten-aboriginum* “cardón barbón” (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 41:51-61.
- Villavicencio-Gutiérrez, E. E., Villegas-Monter, A., Arellano-Ostoa, G. y Vargas-Hernández, J. 1999.** Desarrollo de brotes in Vitro de *Astrophytum myriostigma* Lem. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. Tomo XLIV. Año. 44. No. 2. p. 49-55.

Wentworth, T. R. 1981. Vegetation on limestone and granite in the mule mountains, Arizona. *Ecology*: Vol. 62, No. 2. pp. 469 – 482.

Whittaker. R. H. 1975. *Communities and ecosystems*. Mac-Millan. New. York.

Willan, R. L. 2007. Guía para la manipulación de semillas forestales. Centro de Semillas Forestales de DANIDA. ISBN 92-5-302291-4. Available from URL: <http://www.fao.org/DOCREP/006/AD232S/ad232s00.htm#>

Williamson B., F. Costa & C. Minte Vera. 1999. Dispersal of Amazonian trees: hydrochory in *Swartzia polyphylla*. *Biotropica* 31: 460-465.

Williamson, B. & F. Costa. 2000. Dispersal of Amazonian trees: hydrochory in *Pentaclethra macroloba*. *Biotropica* 32: 548-552

WILLSON, M.F. y C.J. WHELAN. 1990. The evolution of fruit color in fleshy-fruited plants. *The American Naturalist* 136:790-809.

WILLSON, M.F., D.A. GRAFF y C.J. WHELAN. 1990. Color preferences of frugivorous birds in relation to the colors of fleshy fruits. *Condor* 92:545-555.