



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA

Efecto del tamaño de las semillas en la germinación y supervivencia de las plántulas de dos especies de cactáceas

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRÍA EN BIOLOGÍA

PRESENTA

Biól. Rosa Yazmin Uribe Salazar

Directora: Dra. Cecilia L. Jiménez Sierra

Asesores: Dr. Pedro Luis Valverde Padilla

Dr. Joel David Flores Rivas

16 de marzo de 2016

La Maestría en Biología de la
Universidad Autónoma Metropolitana
Pertenece al Padrón de
Postgrados de Calidad del CONACyT.



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa

Fecha : 15/03/2016
Página : 1/1

CONSTANCIA DE PRESENTACION DE EXAMEN DE GRADO

La Universidad Autónoma Metropolitana extiende la presente CONSTANCIA DE PRESENTACION DE EXAMEN DE GRADO de MAESTRA EN BIOLOGIA de la alumna ROSA YAZMIN URIBE SALAZAR, matrícula 2133801468, quien cumplió con los 190 créditos correspondientes a las unidades de enseñanza aprendizaje del plan de estudio. Con fecha dieciséis de marzo del 2016 presentó la DEFENSA de su EXAMEN DE GRADO cuya denominación es:

EFFECTO DEL TAMAÑO DE LAS SEMILLAS EN LA GERMINACIÓN Y SUPERVIVENCIA DE LAS PLANTULAS DE DOS ESPECIES DE CACTACEAS

Cabe mencionar que la aprobación tiene un valor de 40 créditos y el programa consta de 230 créditos.

El jurado del examen ha tenido a bien otorgarle la calificación de:

aprobada

JURADO

Presidente

DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

Secretario

MTRO. CHIHARU MURATA

Vocal

DR. MIGUEL ANGEL ARMELLA VILLALPANDO

Vocal

DR. PEDRO LUIS VALVERDE PADILLA

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada principalmente a mi chico de campo, a mi fotógrafo a mi compañero de vida y que sin duda forma parte de este trabajo, a mi querido esposo *Ricardo Solorio*. Gracias por estar siempre a mi lado, apoyándome, por toda tu paciencia y por todo el amor que me ofreces día a día... Mi amor, Te amo.

A mis padres *Berta Salazar* y *Armando Uribe*, por todo su apoyo y amor brindado en mi vida y porque gracias a ustedes soy una persona y una bióloga feliz... Los quiero mucho.

A mi abuelito *Tedy* (Teodoro Pérez †), que me enseñó que los genes no te unen como familia sino el amor incondicional, el tiempo, la dedicación y la educación. Gracias por todo lo que me diste. Siempre estás conmigo, te quiero mucho.

A mis hermanos que los quiero, que siempre me apoyan y que me complace tenerlos, *David Uribe*, *Yanelli Uribe* y *Armando Uribe*.

A mis sobrinas lindas, *Sofía Uribe*, *Karol de la Riva* y al *pequeño* que viene en camino, por alegrarme la vida.

A *Elena Bustos*, *Sheila Solorio*, *Erik Solorio*, *Vladimir Flores S.*, *Dominique González S.* y *Dirceu M. Solorio*, por hacerme reír, por quererme y por apoyarme, muchas gracias, saben que son correspondidos.

“HAZ DE TU VIDA UN SUEÑO Y DE TU SUEÑO UNA REALIDAD...”

Antoine de Saint-Exupéry

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es producto del trabajo de la Red Temática CONACyT Áreas Naturales Protegidas (RENANP) y del proyecto: Ecología y Aprovechamientos de los Recursos Vegetales de las Zonas Semiáridas de México (UAM-I; Depto. de Biología a cargo de Cecilia L. Jiménez Sierra).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada a RYUS, para la realización de este estudio (No. de becario 301982).

A la Coordinación de la Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, por los apoyos y financiamientos otorgados.

Al Dr. Miguel Ángel Armella, por su amabilidad y el apoyo constante como coordinador de la Maestría en Biología.

A Ricardo Solorio, por llevarme y ayudarme en campo, por la colecta de frutos, por las fotografías tomadas para este trabajo, por tus ideas, por tu paciencia, por tu tiempo y por estar siempre conmigo.

A la Dra. Cecilia Jiménez Sierra, por creer en mí y darme la oportunidad de seguir con mis estudios, por toda su ayuda, por su amistad, por su confianza, paciencia y por todas sus enseñanzas.

Al Dr. Joel David Flores Rivas, por aceptar ser mi asesor, por su tiempo, por las clases brindadas en el IPICyT, por su amistad y por las aportaciones hechas a este trabajo.

Al Dr. Pedro Luis Valverde, por aceptar ser mi asesor, por su amabilidad, por sus sugerencias, comentarios y aportaciones a esta investigación.

Al Dr. Alejandro Zavala, por aceptar amablemente ser parte del jurado, por sus comentarios y sugerencias a este trabajo.

Al M en R.N., Chiharu Murata, por su amabilidad, por su tiempo y por la ayuda en los resultados de mi trabajo en el ámbito estadístico.

A mis dedicadas chicas de PDI y Servicio Social que son parte importante de este proyecto, Martha Gabriela Hernández Daza y a Angélica Montserrat Macia Quezada, por su gran dedicación, paciencia y buen trabajo con las semillas y plántulas de este trabajo.

A la M. en B. Loraine Matías, Por tu amistad, por las clases brindadas, por haberme llevado a conocer la zona de estudio, por la colecta de frutos, por haberme enseñado la técnica de siembra y por apoyarme siempre.

Al Biól. Alejandro Navarrete, por tu tiempo, por tu ayuda en toda la maestría, por las fotografías tomada a las semillas, pero sobre todo por tu amistad.

Al laboratorio de Ecosistemas Costeros y específicamente a la Dra. Ma. Del Rocío Torres Alvarado, por prestarme las instalaciones del laboratorio para pesar las semillas, así como también al Dr. Francisco Varona, al Hidrobiól. Erick Ponce y a la Hidrobiól. Daniela López.

Al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) por haberme recibido cordialmente y permitido realizar una estancia en las instalaciones de Ciencias Ambientales y cursar la materia de Temas Selectos II.

A la Maestra Rocío Piña, al M.V. José Mora y a Daniel Balderrama por su amabilidad, amistad y permitirnos el acceso al Santuario de Cactáceas de la Reserva Biosfera Barranca de Metztitlán.

A la UMA “El Viejo Cactus” en Metztitlán por el recorrido en sus instalaciones y por la explicación del proceso de siembra de las semillas.

A la Dra. Roció Zarate, por tu amistad, por tu ayuda y por orientarme en la cuestión estadística, cuando aún no sabía para donde ir y cuando más lo necesite.

A la M. en B. Erika Arroyo, por tu amistad, por estar conmigo en los buenos y malos momentos, por orientarme y por hacer mi estancia en el laboratorio muy amena.

A la Biól. Karen Brito Castrejón, por tu amistad, por tu apoyo y por enseñarme lo básico en el tema de JMP.

A la M en C. María Del Carmen Herrera por la accesibilidad para la obtención de las fotografías de las semillas a través del microscopio estereoscópico, en el laboratorio de Biología y Ecología de Artrópodos.

Al D.G. Carlos de la Riva por tu tiempo y por la modificación de la figura de la estructura de la semilla.

A la Dra. Claudia Barbosa por aceptar darme la clase de Temas Selectos III sobre Microscopía Electrónica de Barrido y al Dr. José Sepúlveda por su ayuda y por las facilidades otorgadas para usar el Microscopio Electrónico de Barrido y tomar las imágenes a las semillas.

A mi grupo de amigos ñoños de la maestría a los Biólogos: Leonardo Paz, Jessica Miguel, Laura González, y Alejandro Navarrete, por su apoyo incondicional, amistad y por hacer que la maestría sea de buenos recuerdos y especial.

Y por último y no menos importante, a todos mis familiares y amigos que siempre tuvieron un mensaje de cariño, de apoyo, de ánimo y que algunos de ellos me dieron la gran sorpresa de su visita por el laboratorio:

A mis padres, a mis tíos Luis Uribe y Francisca Álvarez, a Luis A. Uribe, a la Ing. en Sist. Aurora Morales, al IBI. Osvaldo Coronado, a la Biól. Magali Arellanes, a la Dra. Pilar Carbó, al Dr. Marco Sánchez, a la Biól. Ana Medina, a la Dra. Jhoana Díaz Larrea, al M. en C. Gerardo López Ortega, a la Biól. Ángeles González, a la Biól. Ivonne Escamilla, al Biól. Mixtli Reyna, al Biól. Mar. Francisco Muñoz, a la Psic. Tania Mirón, a la Ped. Luisa Castillo, a la Biól. Brenda Mancera, al Biól. Alberto Molotla, a la Biól. Janet Franco y a la Biól. Rosario Vega.

A todos ustedes infinitamente gracias...

Contenido

Página

11	<i>I. RESUMEN</i>
12	<i>II. ABSTRACT</i>
13	<i>III. ANTECEDENTES</i>
14	<i>IV. JUSTIFICACIÓN</i>
15	<i>1. INTRODUCCIÓN</i>
15	1.1. Importancia de las cactáceas
16	1.2. Semillas de cactáceas
19	1.3. Germinación
21	1.4. Poliembrionía
21	1.5. Quiescencia, latencia y viabilidad en las semillas
22	1.6. Supervivencia de plántulas de cactáceas
23	1.7. Crecimiento de plántulas de cactáceas
25	<i>2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</i>
25	<i>3. HIPÓTESIS</i>
26	<i>4. OBJETIVOS</i>
26	4.1. Objetivo General
26	4.2. Objetivos específicos
27	<i>5. MÉTODO</i>
27	5.1. Especies de estudio
33	5.2. Área de estudio
34	5.3. Colecta de frutos
35	5.4. Características morfométricas y peso de las semillas

37	5.5. Germinación de las semillas bajo condiciones controladas
37	*Hidratación
38	*Desinfección
38	*Siembra
40	5.6. Seguimiento de las plántulas
42	6. RESULTADOS DE <i>Echinocactus platyacanthus</i>
42	6.1. Morfometría de las semillas de <i>Echinocactus Platyacanthus</i>
47	6.2. Características de tamaño y peso de las semillas por fruto
50	6.3. Germinación de las semillas
55	6.4. Supervivencia de plántulas
59	6.5. Crecimiento de las plántulas
64	7. RESULTADOS DE <i>Astrophytum ornatum</i>
64	7.1. Morfometría de las semillas de <i>Astrophytum ornatum</i>
69	7.2. Características de tamaño y peso de las semillas por fruto
72	7.3. Germinación de las semillas
76	7.4. Supervivencia de las plántulas
80	7.5. Crecimiento de las plántulas
84	8. DISCUSIÓN
91	9. CONCLUSIONES
94	10. BIBLIOGRAFÍA
102	11. ANEXO

I. RESUMEN

A través de esta investigación se determinó la variabilidad en el tamaño y el peso de las semillas producidas por *Echinocactus platyacanthus* y *Astrophytum ornatum*, en una población por especie y el efecto de estas características sobre los procesos de germinación, de supervivencia y de crecimiento de las plántulas en los primeros meses de vida, bajo condiciones controladas. Se colectaron 31 frutos maduros de distintos individuos, de las poblaciones seleccionadas, ambas ubicadas dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (Hgo.). Se trabajó con 1620 semillas de la primera especie y 1500 de la segunda. Las semillas fueron medidas y pesadas individualmente; conservando su identidad, se sembraron en cajas de Petri con agar y las plántulas fueron trasplantadas a almácigos con tierra para cactáceas. Se encontró una amplia variación en los tamaños y pesos de las semillas de ambas especies, tanto a nivel poblacional como dentro de cada fruto. En lo que se refiere a *E. platyacanthus*, no se encontró efecto del tamaño o del peso de las semillas sobre su probabilidad de germinación, en el tiempo de inicio de la germinación o la supervivencia de las plántulas, pero ambas variables (tamaño y peso) se encontraron correlacionadas con la longitud de las plántulas. Además en esta especie se observó poliembrionía. Para *A. ornatum*, se encontró que las semillas ligeras presentan mayor probabilidad de germinación e inician su germinación más tardíamente que las semillas más pesadas y que las semillas con mayor peso tienden a presentar plántulas de mayor longitud y con mayor supervivencia.

II. ABSTRACT

Through this research the variability in the size and weight of the seeds produced by *Echinocactus platyacanthus* and *Astrophytum ornatum* in a population by species and the effect of these characteristics on the processes of germination, survival and growth is determined seedlings in the first months of life, under controlled conditions. Were collected 31 ripe fruits of different individuals, selected populations, both located within the Reserva Biosfera Barranca de Metztitlán (Hgo.). We worked with 1620 seeds of the first species and 1500 of the second. The seeds were measured and weighed individually; they retain their identity, were seeded in Petri dishes with agar and seedlings were transplanted seedlings with soil for cacti. A wide variation was found in the size and weight of seeds of both species, both at the population level and within each fruit. As regards *E. platyacanthus*, no effect on the size and weight of the seeds on the probability of germination, the start time of germination and seedling survival was found, but both variables (size and weight) are correlated with the length seedling. Also in this species it is observed polyembryony. To *A. ornatum* it found that light seeds are most likely germination and begin to germinate belatedly than the heavier seed, and finally, the seeds tend to have greater weight with increased survival seedlings and seedlings are longer.

III. ANTECEDENTES

Se ha reportado que en las cactáceas se presentan semillas de distintos tamaños dentro de un mismo fruto (Ayala- Cordero *et al.*, 2004; Sánchez-Salas *et al.*, 2006). Estas diferencias representan variaciones en la cantidad de nutrimentos disponibles para el embrión lo cual puede afectar el éxito de la germinación (Sánchez-Salas *et al.*, 2006). Estudios en algunas especies de leguminosas, muestran que las semillas más grandes presentan mayor capacidad que las pequeñas para emerger y germinar cuando están enterradas en suelo (Brown *et al.*, 2003). En general se ha reportado que las semillas grandes germinan más tardíamente que las semillas pequeñas, tanto dentro de una especie (Tungate *et al.*, 2002) como entre especies, que poseen semillas de diferentes tamaños (Teketay y Granstrom, 1997). Esto puede explicarse debido a que las semillas pequeñas se embeben o se humedecen con mayor rapidez que las grandes. Además se cree que las semillas pequeñas pueden penetrar fácilmente a través de grietas del suelo y llegar más fácilmente a micrositios húmedos que favorecen su germinación (Kikuzawa y Koyama, 1999).

En cactáceas, existen pocos trabajos en los cuales se relacione el tamaño de las semillas con sus tasas de germinación. Sin embargo, se ha reportado, por ejemplo, que las semillas pequeñas de la cactácea columnar, *Stenocereus beneckeii* (C.Ehrenb.) Buxb, presentan una rápida tasa de germinación, aunque su tasa de germinación es igual al de las semillas de mayor tamaño (Ayala-Cordero *et al.*, 2004). Para *Astrophytum myriostigma* Lemaire (cactácea toneliforme) en experimentos de germinación controlada con semillas de cuatro años de edad, se

encontró que las semillas pequeñas presentan una mayor velocidad y mayor tasa de germinación, que semillas más grandes (Sánchez-Salas *et al.*, 2006).

Considerando semillas de un mismo fruto podríamos aproximarnos a evaluar el éxito de las mismas a través de la estimación de algunos parámetros como son las tasas de germinación y la velocidad de germinación, así como la supervivencia de las plántulas durante sus primeros meses de vida.

IV. JUSTIFICACIÓN

En este trabajo se tomaron como modelo de estudio dos especies de cactáceas: *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto y *Astrophytum ornatum* (D.C), las cuales habitan en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (Hgo.). Mi interés se enfocó en determinar la variación en el tamaño y en el peso de las semillas dentro y entre frutos de una población por especie y determinar si éstas afectan los procesos de germinación y de supervivencia de las plántulas durante sus primeros meses de vida, bajo condiciones controladas. Las especies estudiadas son endémicas y se encuentran en alguna categoría de riesgo, por lo que, los conocimientos producidos en este estudio podrán ser de utilidad para entender las estrategias adaptativas que presentan las cactáceas y comprender la dinámica de las poblaciones naturales de este grupo de plantas.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Importancia de las cactáceas

Las cactáceas son plantas conspicuas que caracterizan el paisaje de las zonas áridas y semiáridas de México. Son vegetales xerófitos, generalmente provistos de espinas y adaptados a vivir en condiciones de extrema aridez. La familia es originaria del continente Americano y se distribuye desde Canadá hasta la Patagonia, siendo México un centro de diversificación y de endemismos de esta familia (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999). Este endemismo ha sido favorecido por las condiciones peculiares de la historia geológica, así como por la topografía y la latitud del país, lo cual, ha propiciado la presencia de una gran diversidad de climas y de regiones contiguas aisladas. La alta diversidad de cactáceas en nuestro país está representada por 66 géneros y 596 especies, de las cuales el 75% son endémicas (Goettsch *et al.*, 2015). Las cactáceas se caracterizan por ser plantas perennes y suculentas con areolas. Las areolas son meristemas especializados que se distribuyen en los tallos y que pueden dar origen a nuevas estructuras vegetativas (hojas, espinas, cerdas, pelos) o reproductivas (flores y frutos) (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991a; Jiménez-Sierra y Reyes, 2003).

Debido a que no existen cultivos de muchas cactáceas, estas son extraídas directamente de su ambiente natural. Aunado a esto, existen constantes cambios en sus ambientes naturales y muchas poblaciones se han reducido o han desaparecido, y hoy en día resulta alarmante el número de especies de cactáceas mexicanas que se encuentran en alguna categoría de riesgo de extinción. La Norma Oficial Mexicana (NOM- 059-SEMARNAT-2010) enlista 255 taxones, el Libro Rojo de la

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, incluye 140 y la Convención sobre Comercio de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre (CITES), enlista 41 taxones (Apéndice I) y el resto de las cactáceas están consideradas dentro del Apéndice II (Arias *et al.*, 2005; Jiménez-Sierra, 2011, Goettsch *et al.*, 2015).

1.2. Semillas de cactáceas

Al igual que las semillas de otras dicotiledóneas, las semillas de las cactáceas presentan dos cotiledones. En las semillas pueden distinguirse tres estructuras principales: el **embrión**, el **endospermo** y la **cubierta seminal o testa** (Figura A), (Barthlott y Voit, 1979). Adicionalmente, en algunas especies de cactáceas se puede presentar un **funículo** en la periferia de la semilla cubriéndola parcial o totalmente conformando un **arilo** duro o carnoso (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2013). El embrión es el esporofito joven, formado tras las primeras divisiones del cigoto, el cual dará origen a una nueva planta.

Las reservas nutritivas de las semillas se encuentran principalmente en el endospermo y en especies más primitivas en el perispermo, estos tejidos son carnosos y almacenan nutrimentos durante el desarrollo de la semilla (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2013).

La cubierta seminal se forma durante el desarrollo de la semilla, a partir de los tegumentos maternos del óvulo; el interno forma el **tegmen** y el externo a la **testa**.

La función principal de las cubiertas de la semilla, es otorgar protección mecánica y regular las interacciones del interior de la semilla con el medio ambiente físico, como

lo son la toma de agua, el intercambio de gases y de solutos. También puede formar estructuras que ayudan y facilitan a la dispersión de la semilla por distintos vectores abióticos y bióticos (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2013) (Figura A).

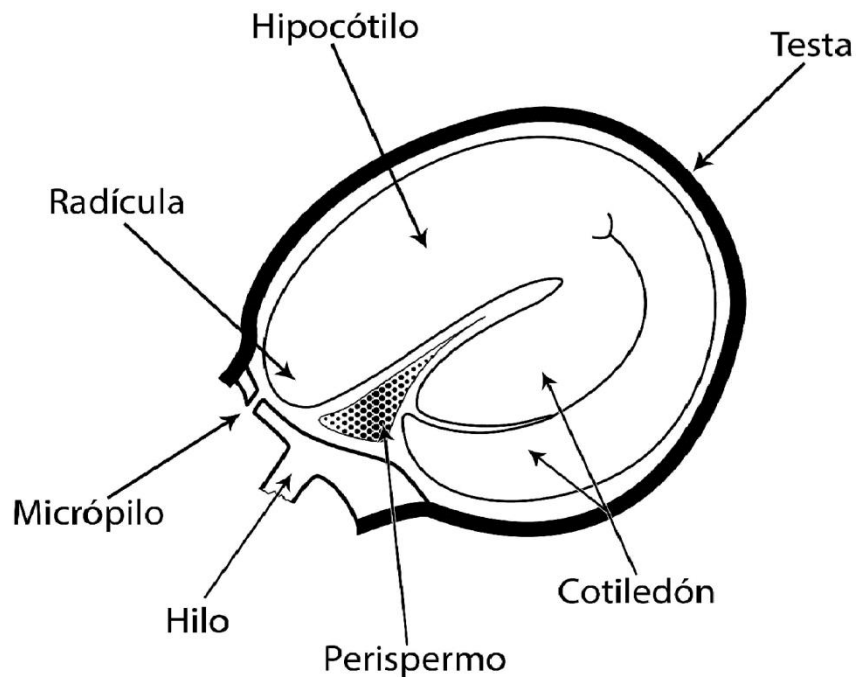


Figura A. Principales estructuras de las semillas de las cactáceas (Modificado de Barthlott y Voit, 1979).

Las semillas de las cactáceas, presentan una gran variedad de formas, tamaños, estructuras, colores de testas, características de los embriones y de los tejidos almacenadores de sustancias nutritivas (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991a) (Figura B; Tabla 1).



Figura B. Diversidad de formas y tamaños de las semillas de cactáceas. De izquierda a derecha semillas de: *Opuntia pilífera*, *Astrophytum ornatum*, *Ariocarpus kotschoubeyanus* y *Thelocactus leucacanthus*.

Tabla 1. Comparación de semillas de cuatro especies de cactáceas en tamaño, color y forma.

Especie	Tamaño medio de la semilla (mm)	Color de la testa	Forma
<i>Opuntia pilífera</i>	5	Gris-amarillenta	Discoidal
<i>Astrophytum ornatum</i>	3.5	Café-rojiza	Navicular
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	2	Negra	Ovoide
<i>Thelocactus leucacanthus</i>	1	Café claro	Ovoide-globosa

1.3. Germinación

La germinación constituye un proceso que inicia con la absorción de agua y culmina con la emergencia de la radícula a través de las cubiertas de la semilla (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2013).

El inicio de germinación depende de la hidratación de la semilla, y en este proceso pueden distinguirse tres fases: **Fase I. Imbibición, Fase II. Estacionaria y Fase III. Elongación y Crecimiento.**

La primera fase (Imbibición), se caracteriza por la entrada de agua a la semilla, la cual depende de las relaciones hídricas que se crean entre la semilla y el suelo, donde es importante el potencial hídrico Ψ de ambos ambientes. Un componente de este es el potencial mátrico Ψ_m , el cual representa la capacidad de retención de agua en los tejidos de la semilla y de los componentes del suelo, (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2013). En esta fase también se inicia la reparación del material genético, de las mitocondrias y de cualquier otro daño que pudiera haber ocurrido en la etapa de deshidratación (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2013).

En la segunda fase (Estacionaria), el contenido de agua de las semillas aumenta poco o se mantiene estable, por lo que se establece un equilibrio entre el potencial hídrico de la semilla y su microambiente. Se movilizan las sustancias de reserva y se produce la elongación de las células de la radícula. Además, se incrementan las giberelinas así como la síntesis de enzimas hidrolíticas (α -amilasa, β -amilasa) (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2013).

La tercera fase (Elongación y Crecimiento), se presenta cuando los contenidos de agua internos de la semilla y los del ambiente son adecuados para la germinación, están asociados con la expansión y el crecimiento del embrión y la protrusión de la radícula a través de las cubiertas de la semilla, continuando con la fase de crecimiento de la plántula (Figura C) (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2013).

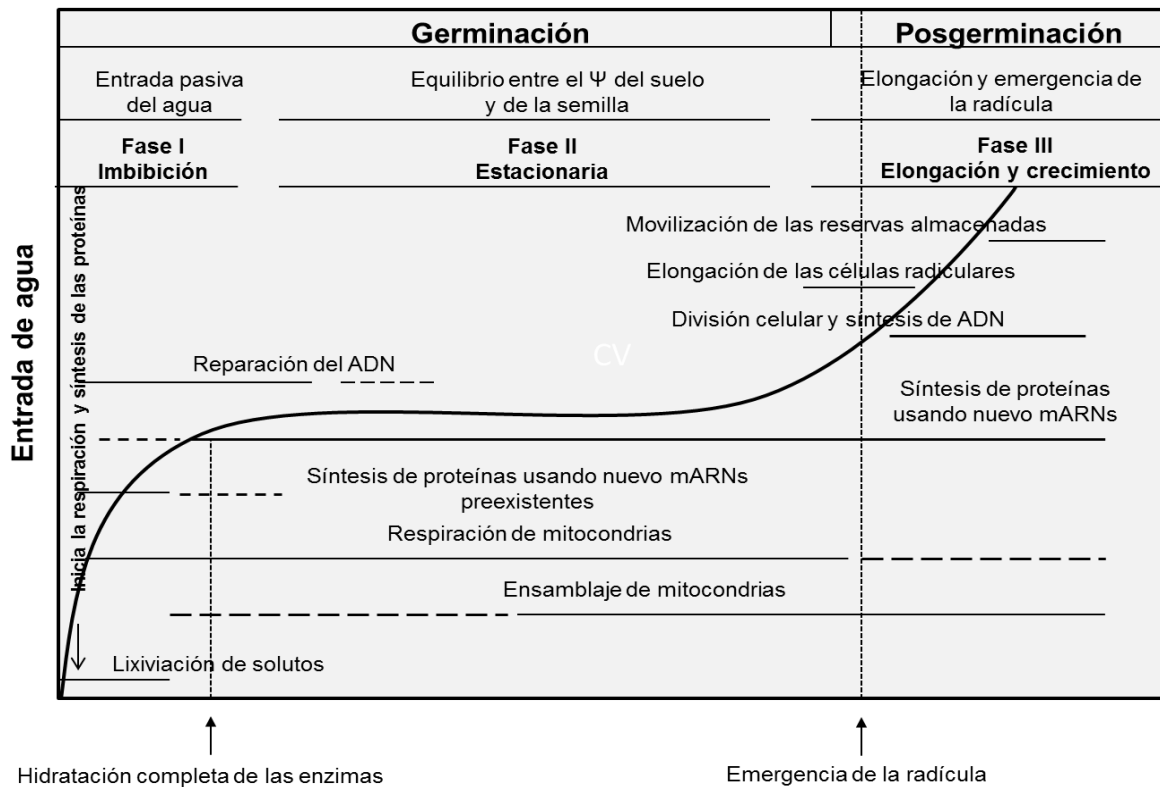


Figura C. Fases de la imbibición de las semillas, para cada fase se señalan los cambios bioquímicos y el momento en que la radícula es visible (germinación). (Modificado de Márquez *et al.*, 2013).

1.4. Poliembrionía

Generalmente, las semillas contienen un solo embrión, pero ocasionalmente, las semillas de algunas especies poseen dos o más embriones, los cuales cuando emergen a través de la germinación, producen dos o más plántulas en una misma semilla, a este fenómeno se le conoce como poliembrionía (Márquez-Guzmán, 2013).

En las cactáceas se ha observado la poliembrionía, en varias especies del género *Opuntia* (Romo-Campos *et al.*, 2010). Se cree que este fenómeno puede ser causado, por variaciones extremas de temperatura (altas o bajas), así como variaciones extremas de humedad (Batygina y Vinogradova, 2007).

1.5. Quiescencia, latencia y viabilidad en las semillas

Generalmente las semillas de los cactus suelen enfrentarse a entornos ambientales adversos, antes y durante la germinación, por lo que este proceso se logra solo cuando se presentan las condiciones más favorables (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yañes 2000). En las semillas de cactáceas se han reportado fenómenos de quiescencia y de latencia, los cuales pueden visualizarse como adaptaciones que permiten a las semillas tener éxito dentro de los ambientes donde se encuentran.

La **quiescencia**, es un estado de reposo superficial de las semillas, debido a la ausencia de una o más variables ambientales adecuadas, como por ejemplo, agua, luz, temperatura u oxígeno. Este estado de reposo desaparece cuando los requerimientos ambientales son provistos (Márquez-Guzmán *et al.*, 2013).

La **latencia**, es un estado de reposo en la semilla debido a un bloqueo físico y/o metabólico inherente a la semilla. Este estado de reposo continúa aun cuando la semilla está en presencia de condiciones de humedad, oxígeno, temperatura y luz adecuada para la germinación (Márquez-Guzmán *et al.*, 2013).

Otro factor importante al estudiar la dinámica de las semillas de las cactáceas, es su **viabilidad** (propiedad de estar viva), la cual está relacionada con la longevidad o tiempo de vida de semilla (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes 2000). La conservación de la viabilidad de las semillas a través del tiempo posibilita la formación de bancos o depósitos de semillas en el suelo, los cuales funcionan como un reservorio de genes (Baskin y Baskin, 2014; Roberts, 1972).

Estos bancos pueden ser permanentes, cuando las semillas se acumulan en el suelo por más de un año, o temporales, cuando las semillas se acumulan por sólo algunos días, semanas o meses (Márquez Guzmán *et al.*, 2013).

1.6. Supervivencia de plántulas de cactáceas

La fase de **plántula**, es la etapa más vulnerable en el ciclo de vida de las cactáceas. Estas necesitan de microhábitats favorables, los cuales frecuentemente se encuentran a la sombra de otras especies vegetales (Valiente-Banuet *et al.*, 1991a; Valiente-Banuet *et al.*, 1991b; Mandujano *et al.* 1996; Godínez-Álvarez *et al.* 2003; Flores *et al.* 2004). Para el caso de las cactáceas la presencia de plantas nodrizas y de islas de fertilidad son factores determinantes para la supervivencia de las plántulas de muchas especies, ya que en ambientes desprotegidos con alta radiación

solar y mayor temperatura, las tasas de mortalidad se incrementan (Flores y Jurado, 2003). Tanto el éxito de la germinación como el establecimiento de plántulas son claves para la determinación de la distribución de las planta a nivel local y regional (Valiente-Banuet *et al.*, 1991a; Valiente-Banuet *et al.*, 1991b; Mandujano *et al.*, 2002; Jiménez-Sierra y Jiménez-González, 2003; Flores *et al.*, 2004).

1.7. Crecimiento de plántulas de cactáceas

Dentro del ciclo de vida de una planta, el crecimiento es un proceso que empieza desde la germinación de la semilla, el desarrollo vegetativo, la reproducción (floración y fructificación) hasta la senescencia del individuo (García-Campusano y Collazo-Ortega, 2013).

El crecimiento es el incremento en tamaño o volumen de un individuo, como resultado de la división y expansión celular y puede evaluarse a través de una serie de mediciones en diferentes tiempos de las longitudes o diámetros de un órgano (tallo, hojas o raíces) o de un organismo. Otra manera de evaluar el crecimiento es a través de la determinación de los pesos frescos o pesos secos de ciertos órganos o de los organismos completos a través del tiempo (García-Campusano y Collazo-Ortega, 2013).

Este crecimiento puede ser determinado o indeterminado, en el primer caso se presenta un crecimiento limitado por el cese de la actividad meristemática, donde diferentes órganos de la planta (tallos, hojas, etc.) después de alcanzar cierto tamaño límite, envejecen y mueren. El crecimiento indeterminado, es un crecimiento indefinido debido a la actividad continua de los meristemas vegetativos (laterales y

apicales) que también reemplazan células muertas o dañadas, como sucede en los tallos y las raíces de los vegetales (Srivastava, 2002; García-Campusano y Collazo-Ortega, 2013).

Como ya se mencionó, la fase de plántula en las cactáceas es muy vulnerable, lo cual se refleja en las tasas altas de mortalidad (Mandujano *et al.*, 2010). Esto se debe sobre todo a que los escasos recursos con los que cuentan las plántulas, son destinados principalmente hacia el crecimiento a costa de la protección contra patógenos y herbívoros. El riesgo de mortalidad se incrementa en especies que viven en ambientes con gran cantidad de radiación solar, altas temperatura y escasas de agua, como sucede en los ambientes semidesérticos, donde se desarrollan la mayor parte de las cactáceas (Mandujano *et al.*, 2011). Esta vulnerabilidad dificulta el establecimiento de las plántulas y ocasiona un cuello de botella dentro del ciclo de vida de estas plantas (Valiente-Banuet 1991a, 1991b; Mandujano *et al.* 1996; Godínez-Álvarez *et al.* 2003; Flores *et al.* 2004). Cuando los individuos pasan a la etapa juvenil la estrategia de asignación de los recursos individuales se invierten, destinando un gran porcentaje de su energía y recursos hacia la protección a costa del crecimiento.

Cuando los individuos alcanza un tamaño determinado que varía según la especie, llega a la madurez y comienza la fase de reproducción, en la cual se convierten algunos meristemos vegetativos en meristemos reproductivos, y se producen las flores, que al ser adecuadamente polinizadas darán origen a los frutos, los cuales, contendrán las semillas que darán origen a los individuos de la siguiente generación (Srivastava, 2002; García-Campusano y Collazo-Ortega, 2013).

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cómo es la variación en el tamaño y el peso de las semillas dentro y entre los frutos de una población para cada una de las especies estudiadas?
2. ¿Las diferencias de tamaño y del peso de las semillas afectan la germinación, la supervivencia y el crecimiento de las plántulas en sus primeros meses de vida?

3. HIPÓTESIS

- a) Dentro de una especie, es probable que las semillas pequeñas germinen más rápido que las semillas más grandes, debido a que las primeras se embeben más rápidamente.
- b) Si se presentan diferencias significativas en la germinación entre semillas grandes y pequeñas o entre semillas ligeras y pesadas dentro de una misma especie, es probable que esto indique una respuesta diferencial en las estrategias de reproducción de la planta y de la dispersión de las semillas.
- c) Esperamos que las plántulas originadas de las semillas más grandes sean más vigorosas y por lo tanto que presenten una mayor tasa de supervivencia que las plántulas obtenidas de semillas más pequeñas, debido a que las semillas grandes aportan una mayor cantidad de nutrientes al embrión.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Estimar la influencia del tamaño y del peso de las semillas de *Echinocactus platyacanthus* y de *Astrophytum ornatum* sobre las tasas de germinación, supervivencia y crecimiento de sus plántulas, bajo condiciones controladas.

4.2. Objetivos específicos

- Cuantificar el número de semillas/fruto en una población de *Echinocactus platyacanthus* y una de *Astrophytum ornatum*.
- Caracterizar la morfometría y el peso de las semillas seleccionadas
- Evaluar el efecto del tamaño y el peso de las semillas en la germinación bajo condiciones controladas.
- Evaluar si el tamaño y el peso de las semillas influyen en la sobrevivencia de las plántulas en sus primeros meses de vida.
- Evaluar si el tamaño y el peso de las semillas influyen en el crecimiento (longitud) de las plántulas en sus primeros meses de vida.

5. MÉTODO

5.1. Especies de estudio

a) *Echinocactus platyacanthus*.

E. platyacanthus es una cactácea que presenta tallo globoso, subgloboso o gruesamente columnar, hasta toneliforme, crecen lentamente, cerca de un siglo necesitan para adquirir su forma adulta, los cuales pueden medir entre 50 cm y 2 m de altura y 40 a 80 cm de diámetro (Figura D). Llegan a pesar varias toneladas (Jiménez-Sierra, 2008). Son de color verde oscuro a glauco, en las formas jóvenes presentan bandas horizontales de color rojizo purpúreo, el ápice es hundido, con lana amarillenta. Las costillas son gruesas y duras. Las flores son diurnas y de color amarillo muy intenso (Figura E). El fruto es seco de 5 a 7 cm de longitud, y conserva adheridos los restos secos del perianto (Figura F). Las semillas miden en promedio 2.5 mm de longitud (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991b). La especie es endémica de México. Se distribuye en Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo león, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Figura G) y es considerada por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de Protección especial (Pr) y se encuentra en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES).



Figura D. Individuo adulto de *Echinocactus platyacanthus* en Metztitlán (Hgo.).



Figura E. Flor y botones florales de un ejemplar de *Echinocactus platyacanthus* en Metztitlán (Hgo.).



Figura F. Fruto maduro de *Echinocactus platyacanthus*, con restos del perianto.



Figura G. Mapa de distribución de *Echinocactus platyacanthus* (Guzmán *et al.*, 2003).

b) *Astrophytum ornatum*.

A. ornatum, es una cactácea que presenta un tallo al principio esférico, después columnar, llegando a medir hasta cerca de 2 m de altura; el ápice está hundido con lana blanca o amarillenta, epidermis de color verde claro, oscuro o grisáceo, con estigmas regularmente abundantes en plantas jóvenes, que cubren más o menos la superficie o faltan completamente, con 8 costillas rectas o espiraladas, altas y agudas (Figura H), presenta flores cercanas al ápice, de color amarillo canario (Figura I), los frutos son globosos de 2.5 a 3 cm de longitud (Figura J), las semillas en promedio miden entre 2.5 a 3 mm de longitud, con testa negra y brillante con forma navicular. Es endémica de México y se distribuye en los estados de Guanajuato, Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí (Figura K), (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991b). El estatus de conservación de esta especie es Amenazada (A) de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 y se encuentra en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES).

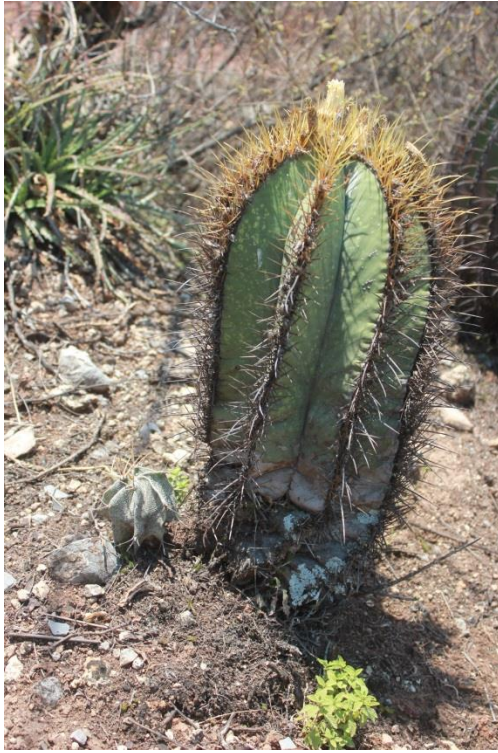


Figura H. Individuo juvenil (izquierda) y adulto (derecha) de *Astrophytum ornatum*;
Metztlán (Hgo.).



Figura I. Flores de *Astrophytum ornatum*.



Figura J. Extracción de un fruto maduro de *Astrophytum ornatum*.



Figura K. Mapa de distribución de *Astrophytum ornatum* (Tomado de Guzmán *et al.*, 2003).

5.2. Área de estudio

Los frutos de ambas especies fueron colectados de poblaciones que se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM).

La RBBM, se localiza al Este de la región central del estado de Hidalgo. Forma parte del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Oriental y el Altiplano mexicano, por esta razón la RBBM presenta una variabilidad ambiental y una alta diversidad y riqueza de flora y fauna. Presenta una topografía accidentada con pendientes pronunciadas y escarpadas, la altitud varía entre 1000 y 2000 m.s.n.m. El clima es seco semicálido con lluvias en verano. La temperatura media anual oscila entre los 18 y 22°C, y la precipitación anual es menor a los 600 mm. La reserva presenta diversos tipos de vegetación: Bosque tropical caducifolio, Bosque de coníferas, Matorral xerófilo, Matorral Crasicaule, Pastizal y Vegetación ribereña. El Matorral xerófilo, es el tipo de vegetación más extenso. El Matorral crasicaule es el tipo de vegetación en las localidades de colecta, representado principalmente por la presencia de viejitos, (*Cephalocereus senilis* (Haw.) Pfeiff), y otras especies de cactáceas que son parte de la fisonomía del paisaje, junto con arbustos, herbáceas y espinosas (CONABIO, 2003) (Figura M).

En la Figura L, se muestra la ubicación de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán.



Figura L. Reserva Biosfera Barranca de Metztitlán (polígono gris, círculo gris municipio de Metztitlán), en el estado de Hidalgo (polígono naranja) (modificado de travelbymexico.com).

5.3. Colecta de frutos

La colecta de frutos se realizó durante la época de fructificación de cada especie, colectando 31 frutos/especie, cada uno de distintas plantas.

Los frutos de *E. platyacanthus* se colectaron el 20 de julio de 2013, en la localidad de Buena Vista y para el caso de *A. ornatum* los frutos se colectaron el 24 de mayo del 2014, en la localidad Santuario de Cactáceas, ambas localidades pertenecientes a la RBBM (Figura M).

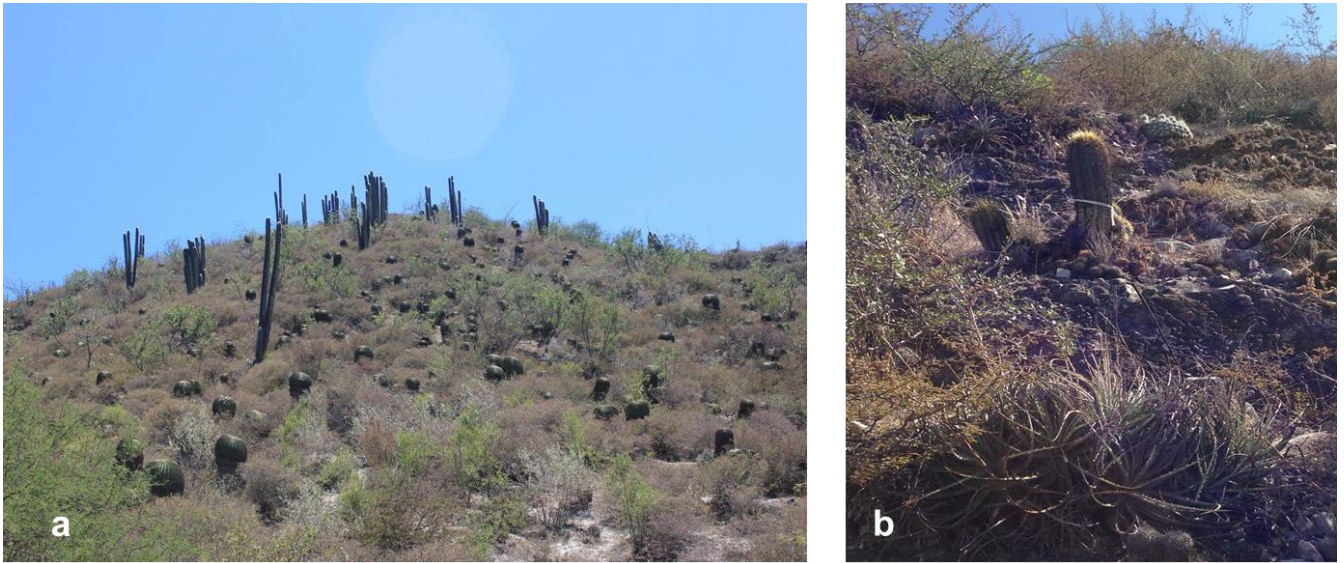


Figura M. Lugar de colecta de frutos: a) Buenavista (*Echinocactus platyacanthus*) b) Santuario de Cactáceas (*Astrophytum ornatum*). (Fotos a y b Ricardo Solorio).

5.4. Características morfométricas y peso de las semillas

Los frutos colectados de ambas especies, fueron llevados al laboratorio en bolsas individuales de papel estraza. Las semillas de cada fruto fueron extraídas manualmente y cuantificadas.

Se tomaron semillas al azar de cada fruto (60 semillas para *E. platyacanthus* y 50 semillas para *A. ornatum*). El número total de semillas por especie fue de 1620 para *E. platyacanthus* y de 1500 para *A. ornatum*.

A cada semilla se le determinó: a) peso (mg), con la ayuda de una balanza analítica (OHAUS, analytical standard AS 120) y b) tamaño: largo, ancho, perímetro (mm) y área (mm²) usando el programa Image J. (versión 1.48i) (Rasband, 2007), a partir de las imágenes planas escaneadas de los lotes de semillas. Se decidió que el área de

las semillas fuera la variable de tamaño para este trabajo, por considerar que en el área están integradas las otras tres variables de tamaño ya mencionadas.

Para obtener las imágenes de las semillas, éstas fueron escaneadas en lotes de 60 semillas por cada fruto para *E. platyacanthus* y 50 semillas por fruto de *A. ornatum* (EPSON Perfection V370 photo), usando una película de hule cristal con perforaciones circulares de 6 mm de diámetro, sobre el escáner, lo cual permitió escanear los lotes de semillas sin perder su identidad. Las imágenes obtenidas fueron limpiadas quitando las sombras alrededor de la semilla con ayuda del programa Paint (versión 6.1) (*E. platyacanthus*) y con corel PHOTO-PAINT 12 (versión 12.0.0) (*A. ornatum*) y las imágenes limpias (Figura N), fueron analizadas directamente con el programa Image J.

Posteriormente las semillas fueron guardadas en bolsas de estraza individuales hasta su siembra. La distribución de las variables morfométricas antes señaladas y la correlación existente entre ellas se analizaron con el programa estadístico JMP (versión 8, SAS Institute, Inc. 2009).

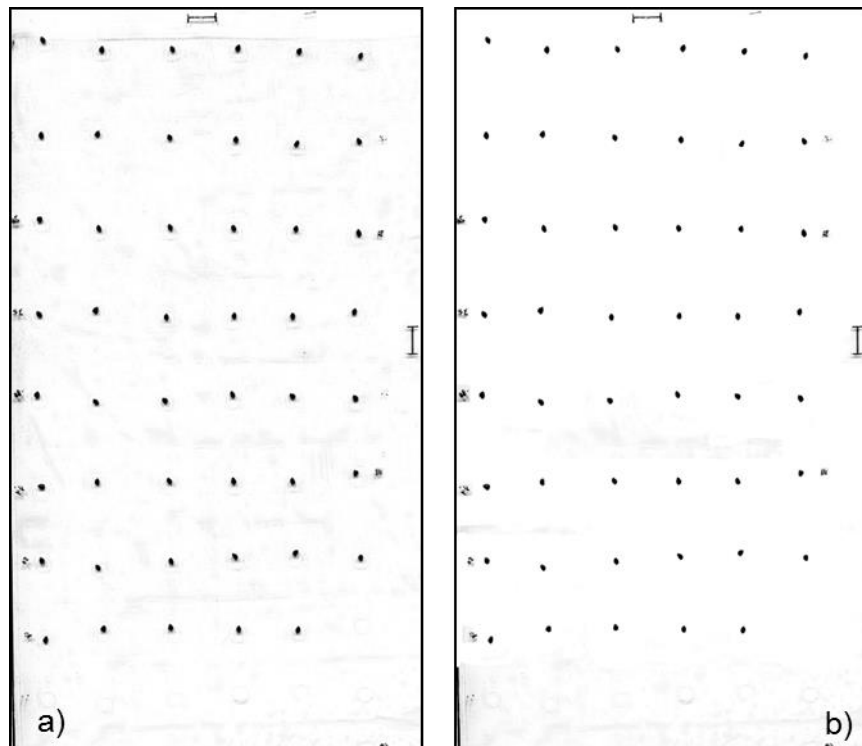


Figura N. Imágenes escaneadas de las semillas de *E. platyacanthus*: a) imagen original con sombra, y b) imagen sin sombras.

5.5. Germinación de las semillas bajo condiciones controladas

Para realizar los experimentos de germinación se emplearon las semillas que previamente habían sido identificadas individualmente (procedencia del fruto y registro de sus datos morfométricos). La metodología de siembra se ajustó a lo señalado por Reyes (2009):

Hidratación

Cada semilla fue colocada en una cuenca de los almácigos (LANDMARK PLASTIC 200: charolas de 54 cm x 28 cm x 5 cm, con 200 orificios cuadrados abiertos de 2.5 x

2.5 cm de lado y 5 cm de profundidad) previamente sellada con silicón comercial (Forte®) y con una base de papel filtro para café (Melitta). Las semillas fueron sometidas a un pre tratamiento térmico con agua destilada estéril a 50°C permaneciendo en ella por 24 horas y posteriormente enfriado a temperatura ambiente (Figura P, a).

Desinfección

Se realizaron dos procesos de desinfección:

- a) En cada cuenca se añadió hipoclorito de sodio comercial (Cloralex) al 10% (1 ml) por 10 minutos.
- b) Una vez desinfectadas las semillas se sumergieron con su respectivo papel filtro (para no perder la identidad de la semilla) en una charola de plástico transparente de 55 cm x 30 cm x 5 cm con una solución de fungicida (Captan Bayer (50 pH): 5 g/500 ml de agua destilada estéril) hasta cubrir las semillas, durante 10 minutos (Figura P, b).

Siembra

La siembra se realizó en el laboratorio en condiciones estériles. Las semillas se sembraron en cajas Petri esterilizadas de 100 mm de diámetro y 15 mm de profundidad, usando como sustrato agar bacteriológico (Bioxon) al 10% en agua destilada.

Para cada especie por separado, en cada caja Petri se colocó una semilla de cada fruto (27 para *E. platyacanthus* y 30 para *A. ornatum*). De tal forma que la caja Petri número uno contuvo todas las semillas con identidad uno de cada fruto, la caja dos

contuvo todas las semillas con identidad dos de cada fruto y así sucesivamente para cada fruto/especie. Para *E. platyacanthus* se tuvieron 60 repeticiones y para *A. ornatum*, se contó con 50 repeticiones. Las cajas Petri fueron colocadas en una cámara de crecimiento (Lumistell^{MR}, modelo ICP-19) programada con las condiciones óptimas para la germinación de cactáceas: 25°C; 12 hrs luz/12 hrs oscuridad y una humedad relativa de 60%. (Nobel, 1988; Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yañes 2000).

La germinación se registró cada dos días, tomando como día cero el día de la siembra. Se consideró como semilla germinada aquella en la que su radícula era visible.

Las observaciones se realizaron hasta que la germinación después de cuatro días consecutivos no registró ninguna otra semilla germinada (Figura O, f).

Para cada especie se determinaron las siguientes variables:

- Tiempo de inicio y terminación de la germinación
- Curva de germinación acumulada
- Porcentaje final de germinación
- Tiempo medio de germinación aplicando la fórmula señalada por Maguire (1962):

$$\text{Tiempo medio de germinación (M)} = \Sigma (ni/t),$$

Donde; n_i es el número de semillas germinadas en el i -ésimo día, y t es el tiempo de germinación, desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

El efecto del tamaño y el peso de las semillas sobre la germinación de las mismas, fue analizado a través de correlaciones múltiples y Análisis multivariado con el programa estadístico JMP (Versión 8) y (Zar, 1999).

5.6. Seguimiento de las plántulas

Las plántulas fueron trasplantadas a cuencas individuales de los almácigos. Se usó como sustrato tierra para cactáceas (40% tepojal; 20% tezontle; 20 humus o tierra negra y 20% de vermi composta) previamente esterilizada en horno de microondas (LG MS-1146WQP/00) por 20 min.

Al momento de la siembra, el suelo fue humedecido con 10 ml de agua destilada y, para mantener la humedad del sustrato, se agregaron 10ml agua cada 10 días con la ayuda de una jeringa.

Los almácigos con capelo se introdujeron a la cámara de germinación con las condiciones antes mencionadas: 25°C, 12 horas luz/ 12 horas oscuridad, y 60% de humedad relativa.

La supervivencia de las plántulas se registró cada 30 días a partir de su trasplante durante seis meses. Se obtuvo la curva de supervivencia por especie. Se analizó el efecto que presenta el tamaño y el peso de la semilla con respecto a la supervivencia.

Se registró la longitud y el diámetro del tallo de las plántulas al realizar el trasplante y después cada 60 días. Se analizó el efecto del tamaño y peso de la semilla con respecto a la longitud de las plántulas a través del tiempo (Figura O; g).

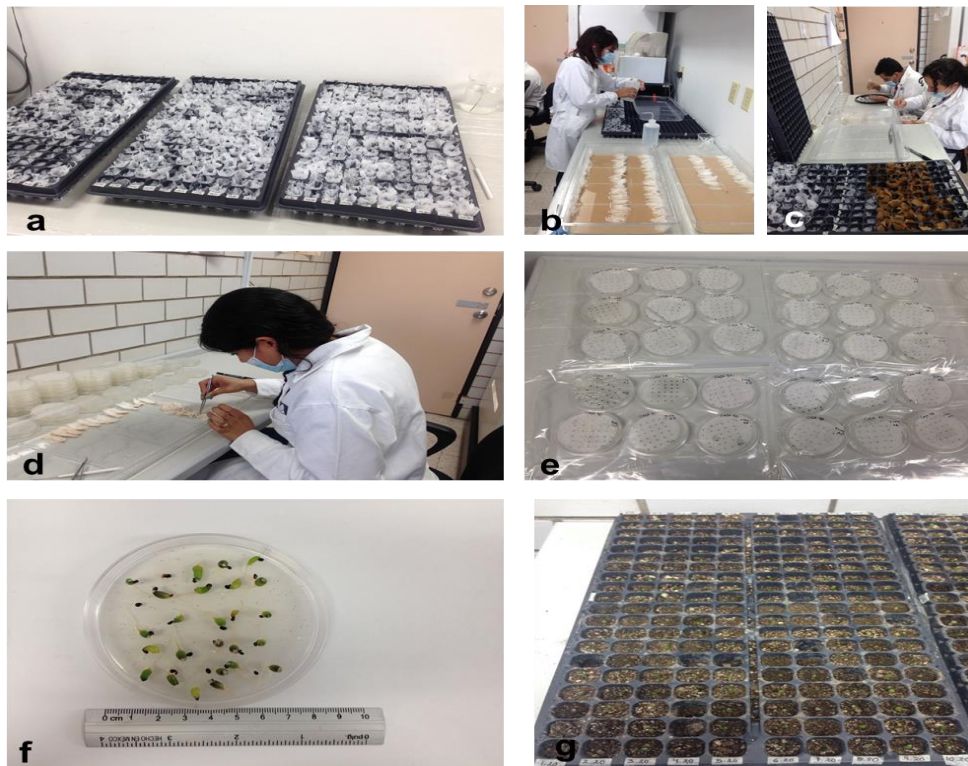


Figura O: a) Hidratación de las semillas; b) Desinfección de las semillas; c) y d) Siembra de las semillas; e) Semillas sembradas en cajas Petri; f) Semillas germinadas; g) Trasplante de las plántulas a los almácigos.

6. RESULTADOS DE *Echinocactus platyacanthus*

6.1. Morfometría de las semillas de *Echinocactus platyacanthus*

Para la determinación de la morfometría y el peso de las semillas y, se tomaron al azar 60 semillas/fruto. Solo se trabajó con los frutos que presentaron al menos 60 semillas, por lo que la N de frutos se redujo de 31 a 27, con una N total de 1620 semillas. Las semillas de *E. platyacanthus* presentan testa negra brillante y una forma ovoide (Figura 1.1 y 1.2). En la figura 1.3 se muestra la semilla completa de *E. platyacanthus* y en corte longitudinal a través del Microscopio Electrónico de Barrido.

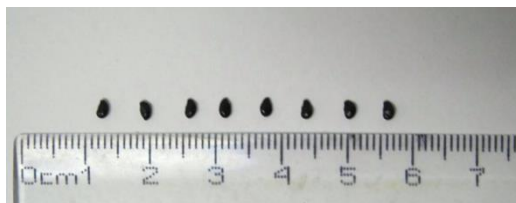


Figura 1.1. Tamaño real de las semillas de *E. platyacanthus*.

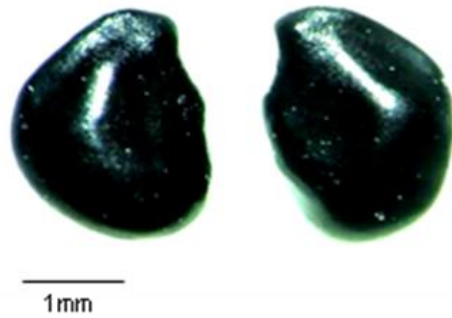


Figura 1.2. Semillas de *E. platyacanthus*, observadas a través del microscopio estereoscópico (2X).

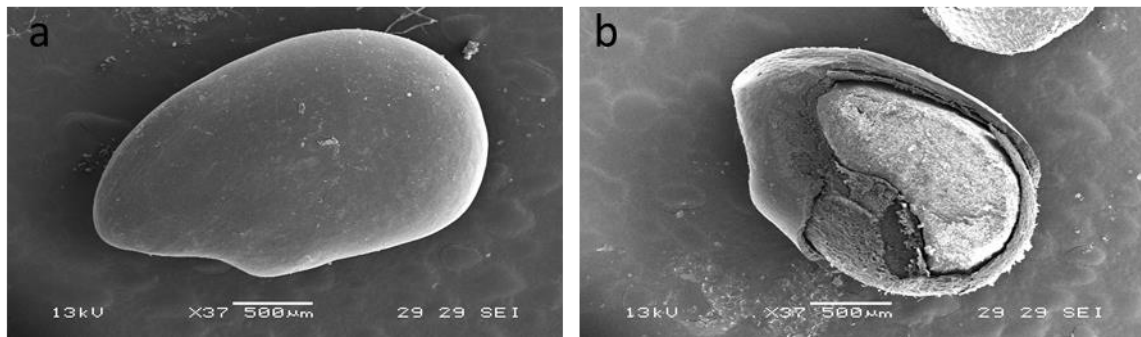


Figura 1.3. Semillas de *E. platyacanthus*, observadas al microscopio electrónico de barrido (37X; 500µm): a) semilla completa. b) corte longitudinal. En la parte superior derecha se observa el envés de la testa.

La distribución de las variables de las semillas no presentan normalidad (Prueba de Shapiro-Wilk; $p < 0.05$) (Figura 1.4). En promedio las semillas miden 2.79 mm (± 0.198 DE) de largo y 1.877 mm (± 0.145) de ancho; 8.021 mm (± 0.533) de perímetro; 4.125 mm² (± 0.478) de área y un peso promedio de 3.2 mg (± 0.046) (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Morfometría y peso de las semillas de *E. platyacanthus* (N total = 1620), valores en negritas indican el valor promedio de las variables.

	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso (mg)
Mínimo	2.971	6.574	2.115	1.555	2.1
Máximo	5.787	11.214	3.54	2.463	4.6
Promedio	4.125	8.021	2.794	1.877	3.2
DE	0.478	0.533	0.198	0.145	0.046

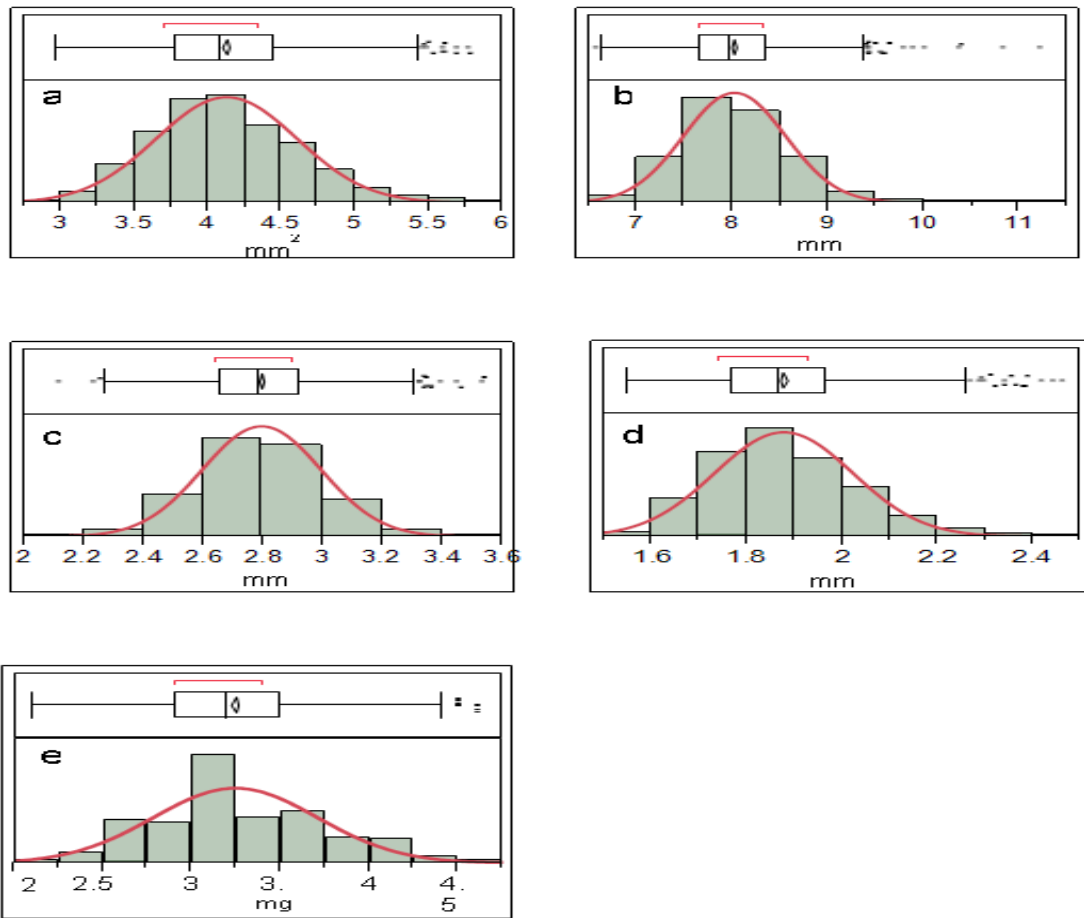


Figura 1.4. Histogramas de frecuencias de las variables estudiadas para las semillas de *E. platyacanthus*: a) Área; b) Perímetro, c) Largo; d) Ancho; e) Peso; (N= 1620). En la parte superior de cada gráfica se muestra el diagrama de caja y bigote. El límite izquierdo de la caja corresponde al valor del primer cuartil y el límite derecho al tercer cuartil. La línea vertical dentro de la caja corresponde al segundo cuartil o mediana. El rombo o diamante dentro de la caja señala con un 95% de probabilidad el valor del promedio. Las líneas que se extienden a la izquierda y a la derecha de la caja (bigotes) señalan los valores del primer cuartil $-(1.5 \times \text{valor intercuartil})$ y tercer cuartil $+(1.5 \times \text{valor intercuartil})$, respectivamente. Los puntos fuera de este rango corresponden a los datos atípicos. La línea roja por arriba de la caja indica la

concentración más densa del 50% de los datos (shorter half). La curva roja sobre las barras de frecuencia, indica el ajuste del modelo para una distribución normal (Manual JMP, 2009).

Como se esperaba existe una fuerte correlación entre las variables de tamaño (largo, ancho, perímetro y área), como puede verse en la Figura 1.5, en los análisis posteriores se consideró solo el área como variable de tamaño, porque ésta a su vez, integra a las otras tres variables de tamaño.

También presentan una correlación entre el área y el peso de las semillas (Tabla 1.2).

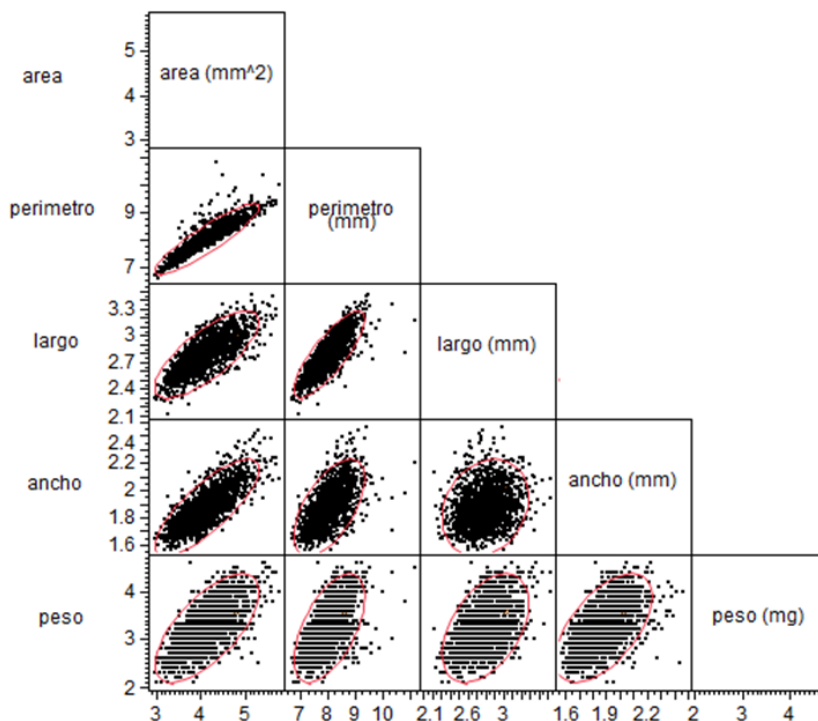


Figura 1.5. Matriz de correlación no paramétrica de Spearman entre las variables de tamaño y peso de las semillas de *E. platyacanthus* (N= 1620).

Tabla 1.2 Valores de la correlación no paramétrica de Spearman de las características de tamaño y peso de las semillas de *E. platyacanthus* (N= 1620).

Características de tamaño y peso de las semillas	(ρ) Spearman	Probabilidad
Área vs. Peso	0.667	0.0001*
Área vs. Largo	0.747	0.0001*
Área vs. Ancho	0.796	0.0001*
Perímetro vs. Largo	0.825	0.0001*
Perímetro vs. Ancho	0.621	0.0001*
Perímetro vs. Peso	0.577	0.0001*
Largo vs. Ancho	0.229	0.0001*
Largo vs. Peso	0.442	0.0001*
Ancho vs. Peso	0.595	0.0001*

6.2. Características de tamaño y peso de las semillas por fruto

Al analizar las variables morfométricas de las semillas/fruto, se observó una gran variabilidad tanto en los tamaños como en pesos. En la Tabla 1.3, se presenta, como ejemplo los datos morfométricos de las semillas contenidas en un solo fruto (EY04).

Tabla 1.3. Datos del tamaño y peso de las semillas del fruto Número 4 de *E. platyacanthus* (N= 60 semillas), donde puede observarse que todas las variables presentan normalidad. (Prueba de Shapiro-Wilk (W) $p > 0.05$).

Semilla	Área (mm²)	Perímetro (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso (mg)
Mínimo	3.347	7.302	2.476	1.566	2.7
Máximo	4.697	8.701	3.319	2.126	3.6
Promedio	4.062	7.975	2.835	1.823	3.2
DE	0.307	0.318	0.138	0.102	0.214
W	0.9795	0.986275	0.967869	0.974008	0.968283
Probabilidad	0.4086	0.7361	0.1147	0.2282	0.1202

Las medias de las áreas de las semillas/fruto oscilan entre 2.9 y 5.7 mm². El análisis de varianza de una vía muestra diferencias significativas entre los frutos ($F=65.0641$; g.l. 26; $p < 0.0001$) y la prueba de Pares de Tukey- Kramer detectó la existencia de 17 grupos diferentes ($q= 3.70320$; $\alpha = 0.05$). El fruto EY11, por ejemplo posee las semillas más grandes, mientras que los frutos EY02; EY07 y EY27 presentan las semillas más pequeñas o menor área (Figura 1.6).

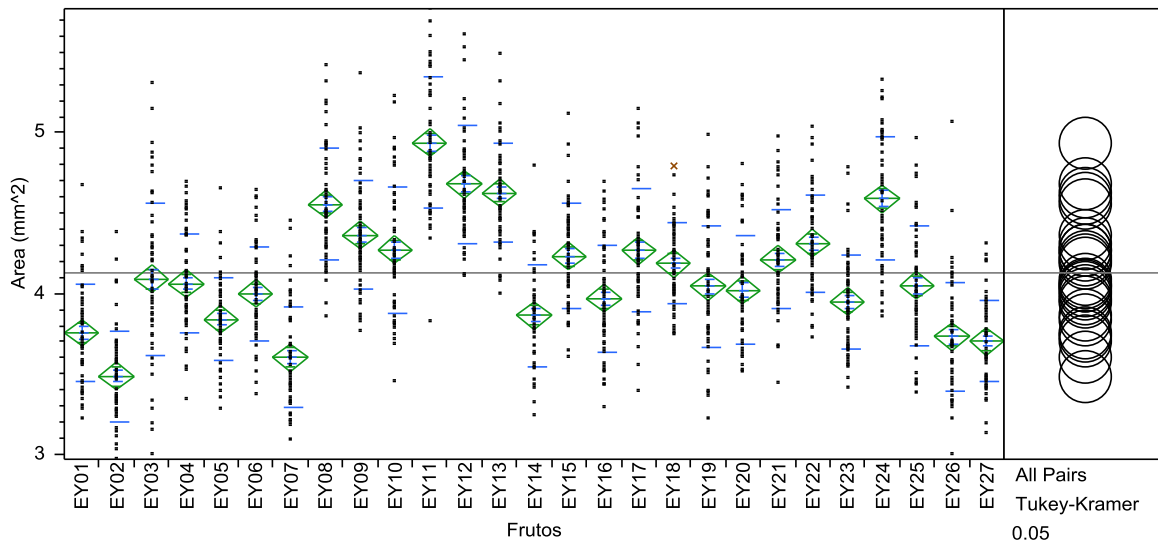


Figura 1.6. Promedio del área de las semillas/fruto de *E. platyacanthus* (N=27 frutos). A la derecha de la gráfica se observan los 17 grupos detectados a través de la Prueba de Tukey-Kramer.

Las medias de los pesos de las semillas/fruto oscilan entre 2.1 a 4.6 mg. El análisis de varianza de una vía muestra diferencias significativas entre los frutos ($F=279.9234$; g.l. 26; $p < 0.0001$) y la prueba de Pares de Tukey- Kramer detectó la existencia de 14 grupos diferentes ($q= 3.70320$; $\alpha = 0.05$). Los frutos EY11 y EY12 poseen el promedio de semillas más pesadas, mientras que el fruto EY07 presenta el promedio de semillas con menor peso (Figura 1.7).

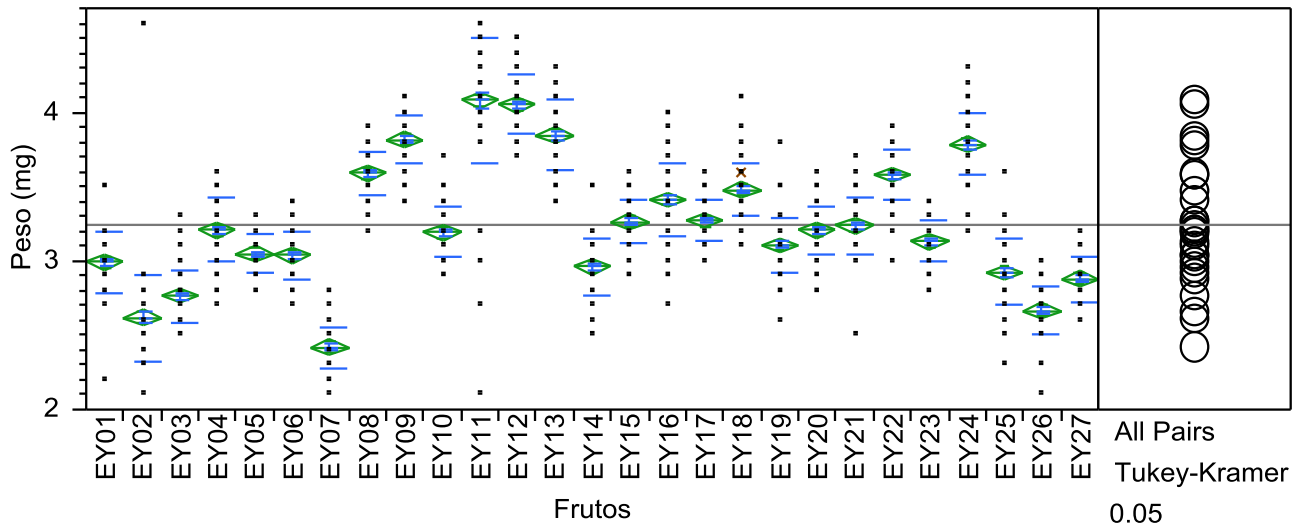


Figura 1.7. Promedio del peso de las semillas/fruto de *E. platyacanthus* (N=27 frutos). A la derecha de la gráfica se observan los 14 grupos detectados a través de la Prueba de Tukey-Kramer.

6.3. Germinación de las semillas

La siembra de las 1620 semillas se llevó a cabo el 4 de diciembre de 2014, cuando las semillas tenían 16 meses de colectadas. La germinación inició el día seis después de la siembra y finalizó el día 40. La gráfica de la germinación acumulada se presenta en la Figura 1.8. El tiempo medio de germinación (TMG) fue de 16 días, en el cual el 50% de las semillas sembradas habían germinado. El porcentaje final de germinación fue del 89.25%, lo que equivale a 1446 semillas germinadas. En la Figura 1.9, se presentan fotografías de las semillas recién germinadas.

Es importante mencionar, que en esta especie se apreció de manera directa durante el proceso de germinación, el fenómeno de poliembrionía, es decir, se observó que dos plántulas emergieron de una misma semilla. Se presentó en cuatro semillas de frutos diferentes, en la figura 1.10 se presentan imágenes de las plántulas “gemelas” nacidas de semillas poliembriónicas.

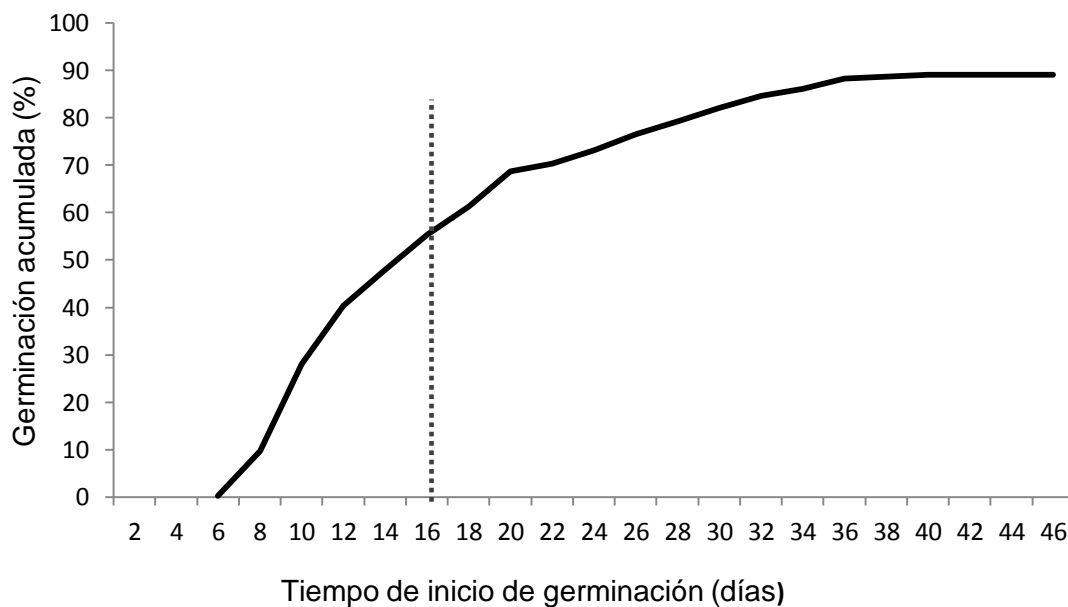


Figura 1.8. Curva de germinación acumulada de las semillas de *E. platyacanthus* a través del tiempo. La línea punteada indica el Tiempo Medio de Germinación.

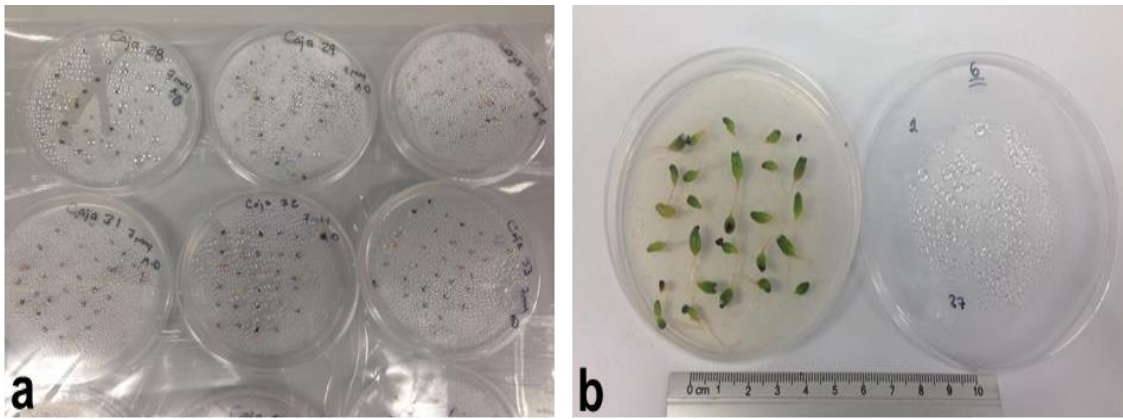


Figura 1.9 a) y b) Semillas germinadas de *E. platyacanthus*.

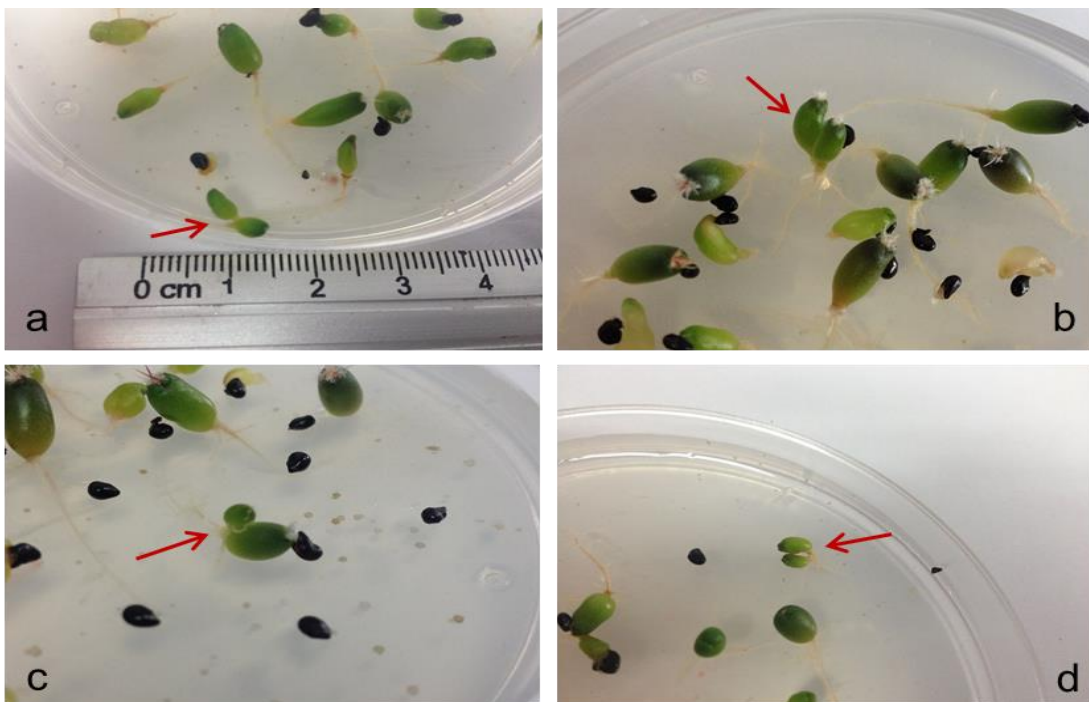


Figura 1.10. Imágenes de semillas que presentaron poliembriónía. La flecha roja indica las plántulas “gemelas” emergidas de semillas poliembriónicas.

El número de semillas germinadas por día se presenta en la Figura 1.11, donde puede observarse que se presentan varios picos, el primero en el día 12 y posteriormente en los días 22, 28 y 38.

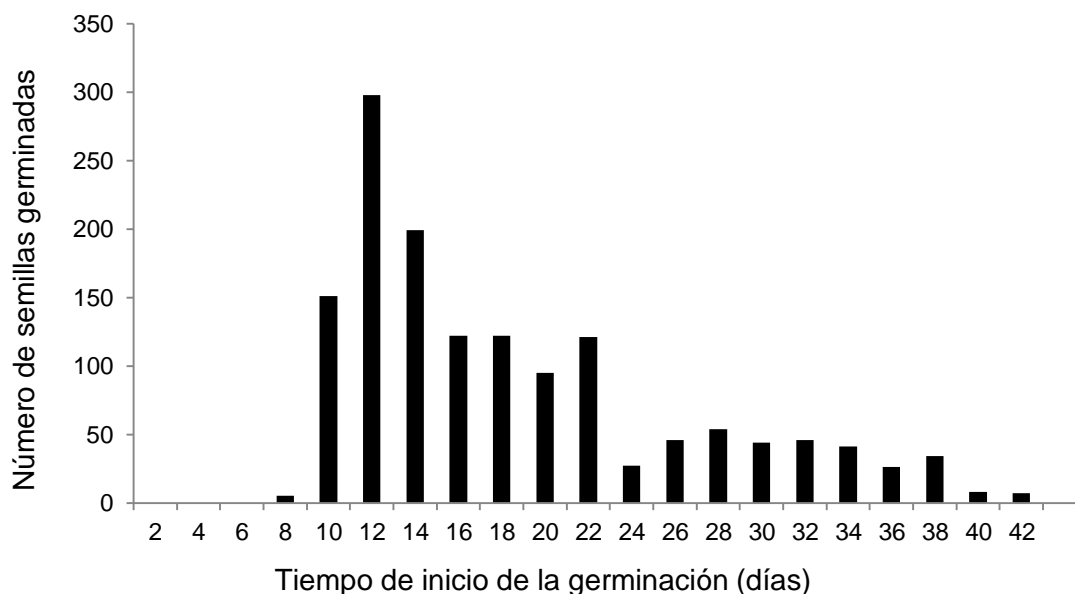


Figura 1.11. Germinación de las semillas de *E. platyacanthus* a través del tiempo.

Al realizar una regresión logística no se encontró un efecto significativo ni del tamaño (área) (Chi cuadrada = 1.522706; g.l. 1; $P > 0.2172$) ni del peso (Chi cuadrada = 0.004025; g.l. 1; $P > 0.9494$) con respecto a la probabilidad de germinación de las semillas (Figura 1.12 a y b).

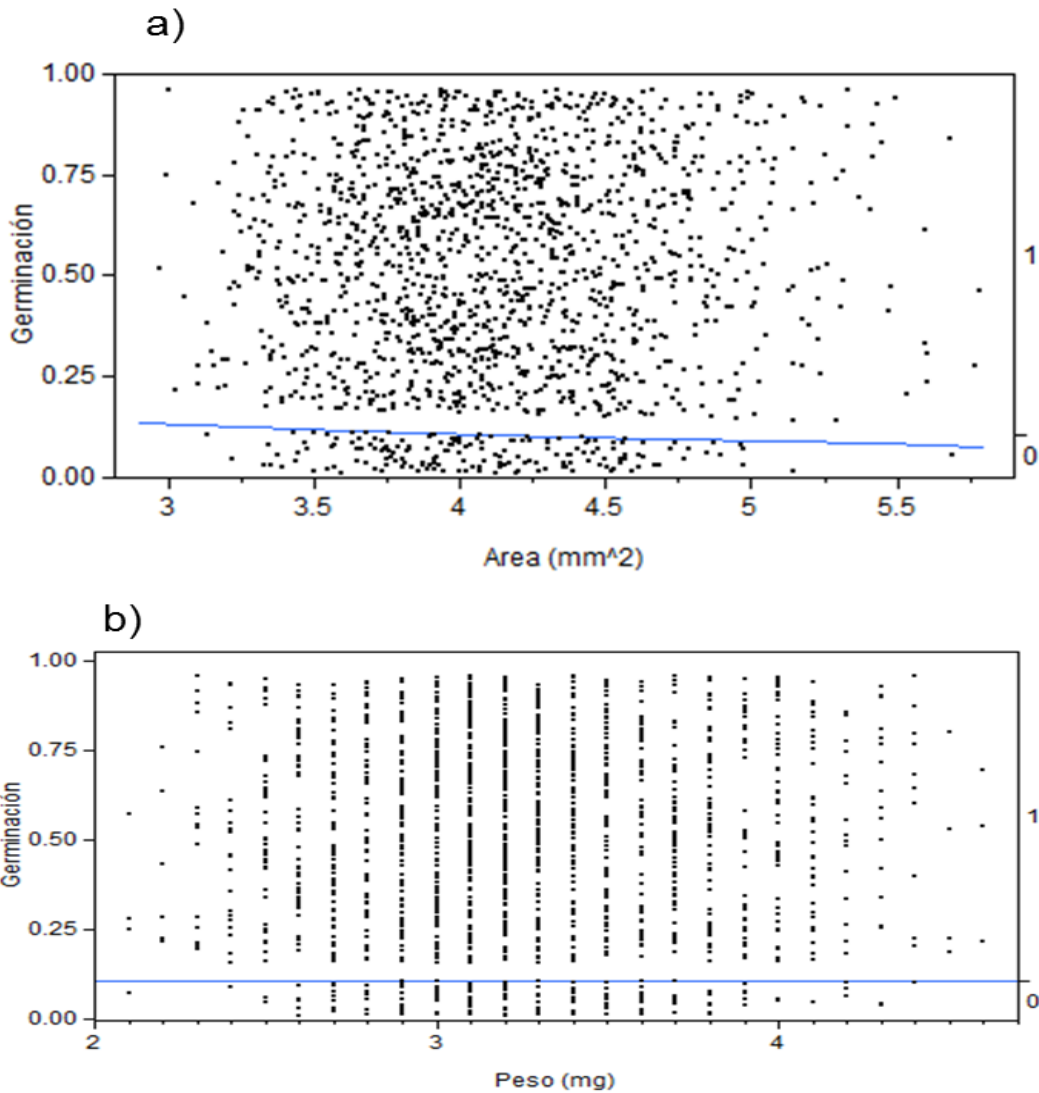


Figura 1.12. Probabilidades de germinación de las semillas de *E. platyacanthus* mostrada a través de un regresión logística con relación: a) área de las semillas y b) peso de las semillas (N=1620).

No se encontró una relación entre el área de las semillas y el tiempo de inicio de la germinación ($F= 0.2093$; g.l. 1; $p>0.6474$) ni entre el peso de las semillas y el tiempo de inicio de la germinación ($F= 0.0686$; g.l. 1; $p>0.7934$) (Figura 1.13 a y b)

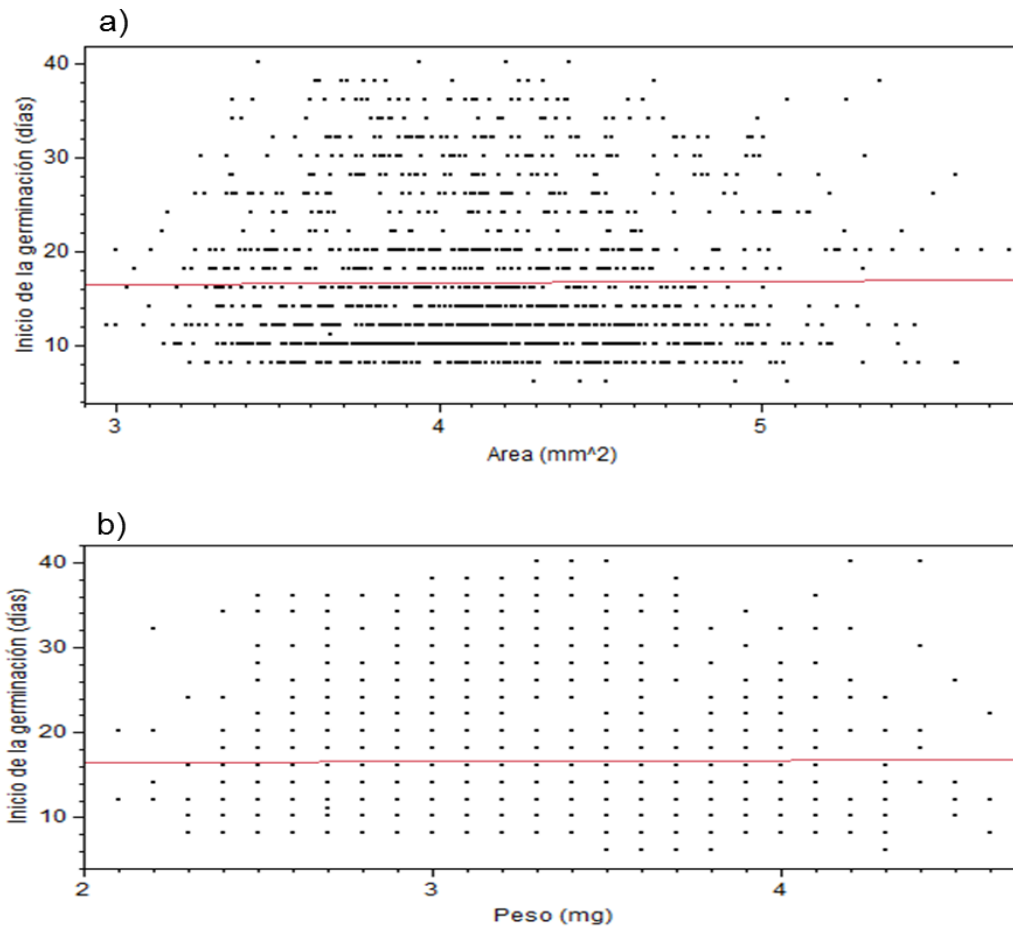


Figura 1.13. Inicio de la germinación de las semillas de *E. platyacanthus* con relación: a) al área y b) al peso de las semillas (N=1620).

6.4. Supervivencia de plántulas

En total germinaron 1446 semillas, de ellas 191 murieron antes de ser trasplantadas en el día 44. Las plántulas sobrevivientes (N=1255) se trasplantaron a almácigos con tierra para cactáceas y fueron mantenidas en la cámara de crecimiento hasta los siete y medio meses (226 días).

El tiempo de vida de las plántulas se contó a partir del día de la germinación de cada semilla hasta el último día de registro en el que se observó viva. En la Figura 1.14, se presenta la gráfica de la tasa de supervivencia y mortalidad acumulada de las plántulas a través del tiempo, En donde se observa que entre el primero y segundo mes la mortalidad fue del 15.2%, entre el segundo y el tercer mes paso del 15.2% al 22.3%, es decir, que el cambio del segundo al tercer mes fue del 7.1%, por lo que la mayor mortalidad se presentó en el tercer mes, pero el incremento de mortalidad mayor, se dio entre el primero y el segundo mes. Los periodos posteriores la mortalidad fue menor al 10%, tendiendo a la estabilización en los últimos meses. Al sexto mes la supervivencia de las plántulas fue del 56% (N=819 plántulas). En la Figura 1.15, se muestran imágenes de las plántulas de *E. platyacanthus*, al día 44 (a) y de almácigos con ausencia de plántulas en la cuencas, debido a la mortalidad (b, c y d).

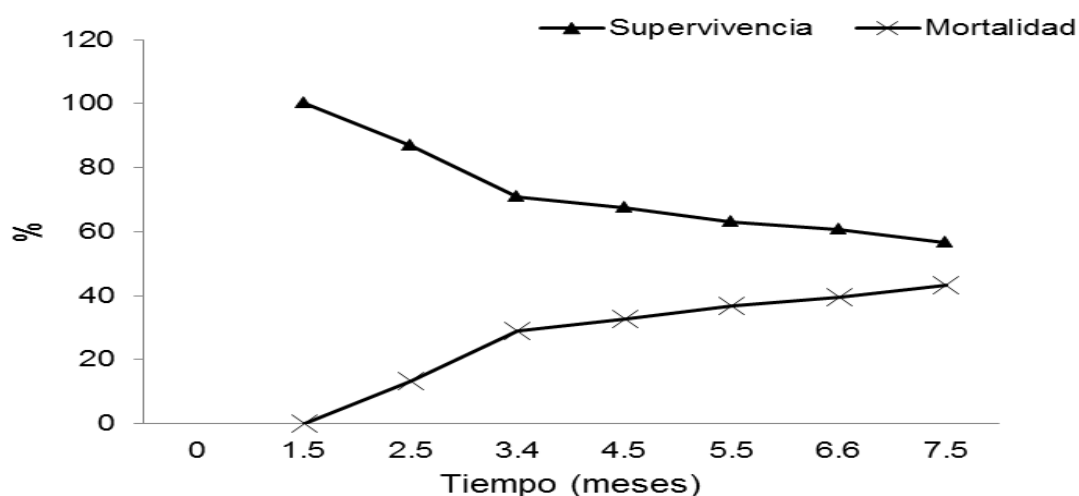


Figura 1.14. Tasa de Supervivencia y mortalidad acumulada mensual de las plántulas de *E. platyacanthus* a través del tiempo (N germinadas = 1446).

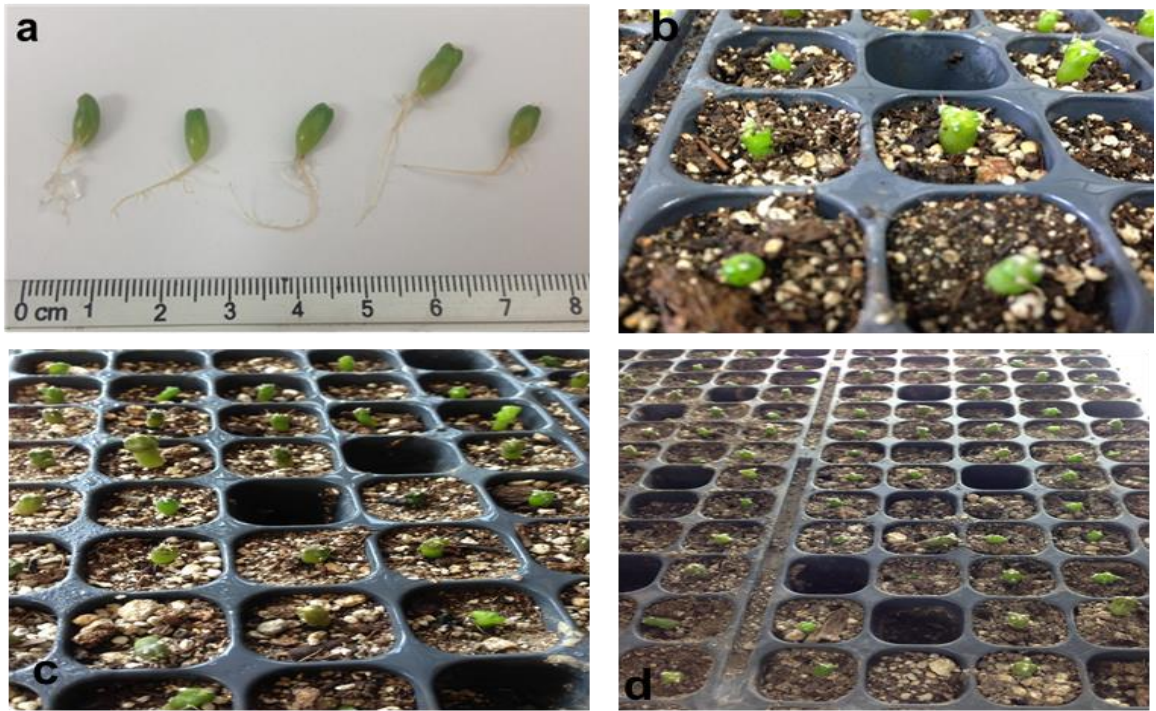


Figura 1.15 a) Plántulas de *E. platyacanthus* (día 44); en los incisos b), c) y d) se observan plántulas y también ausencias de ellas, en algunas cuencas de los almácigos debido a la mortalidad.

No se encontraron correlaciones entre el área y peso de las semillas con el tiempo de vida de las plántulas (área de la semilla vs. tiempo de vida de las plántulas, ρ Spearman= 0.0242; $p>0.3582$; peso de las semillas vs. tiempo de vida de las plántulas, ρ de Spearman= 0.0398; $p>0.1302$ (Figura 1.16).

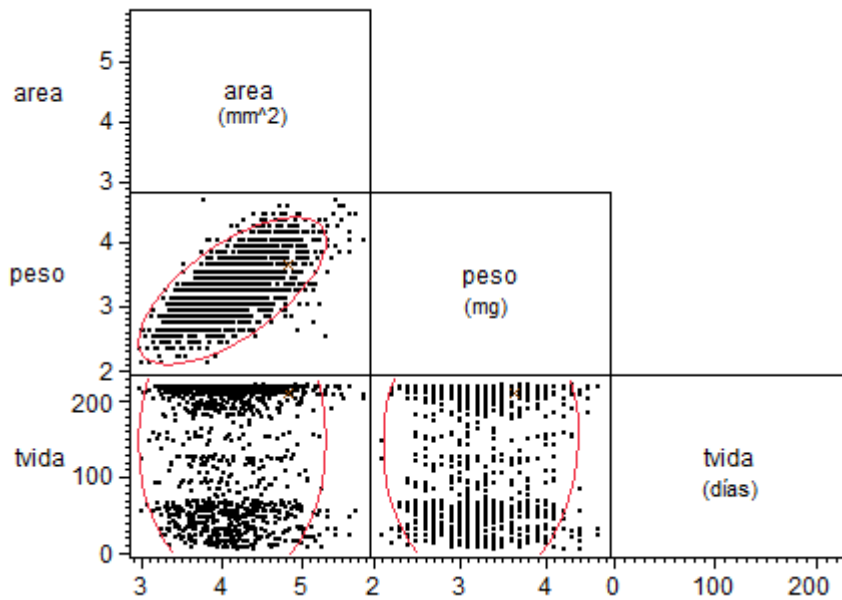


Figura 1.16. Correlación no paramétrica de Spearman entre el área y el peso de las semillas de *E. platyacanthus* y el tiempo de vida (tvida) de las plántulas (N= 1255).

Tampoco se encontró una relación entre el tiempo de inicio de la germinación y la supervivencia de las plántulas al día 226. (*Chi Cuadrada*= 1.2226; g.l. 1; $p > 0.2688$) (Figura 1.17).

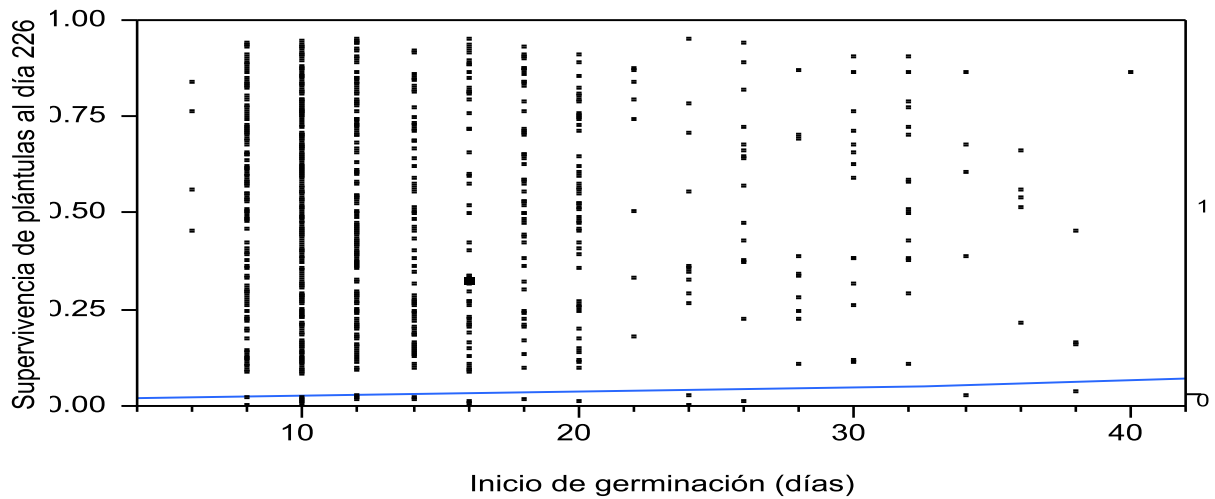


Figura 1.17. Regresión logística entre el tiempo de inicio de la germinación de las semillas de *E. platyacanthus* y la supervivencia final de las plántulas al día 226 ($N_{\text{inicial}} = 1225$).

6.5. Crecimiento de las plántulas

El crecimiento promedio de las plántulas a través del tiempo se muestra en la Figura 1.18, donde se observa que la elongación del tallo es mayor al incremento en diámetro y que la aparición de areolas y espinas inicia en el mes dos y que para sexto mes de vida, las plántulas tienen en promedio 5 areolas, aunque algunas mostraron hasta 11 areolas. Al final del experimento (seis meses) la longitud media del tallo de las plántulas fue de 11 mm (± 2.26 DE), el diámetro medio de 3.7 mm (± 0.86 DE) y el número de areolas de 5 (± 2.0 DE).

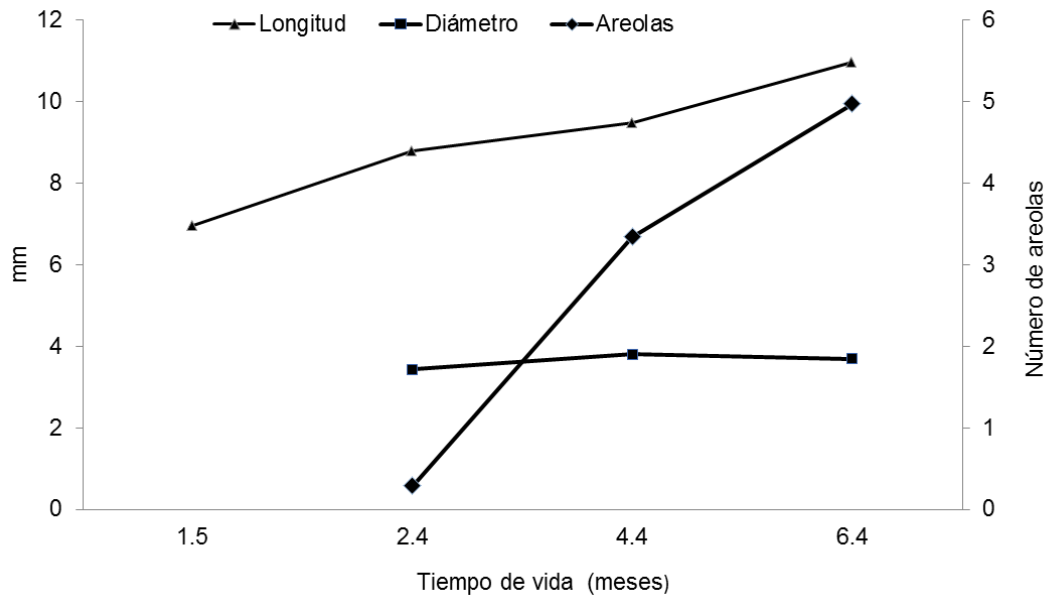


Figura 1.18. Incremento en longitud, diámetro y número de areolas de las plántulas de *E. platyacanthus* a través del tiempo.

En la Figura 1.19, se muestran imágenes de las plántulas de *E. platyacanthus* a diferentes días.

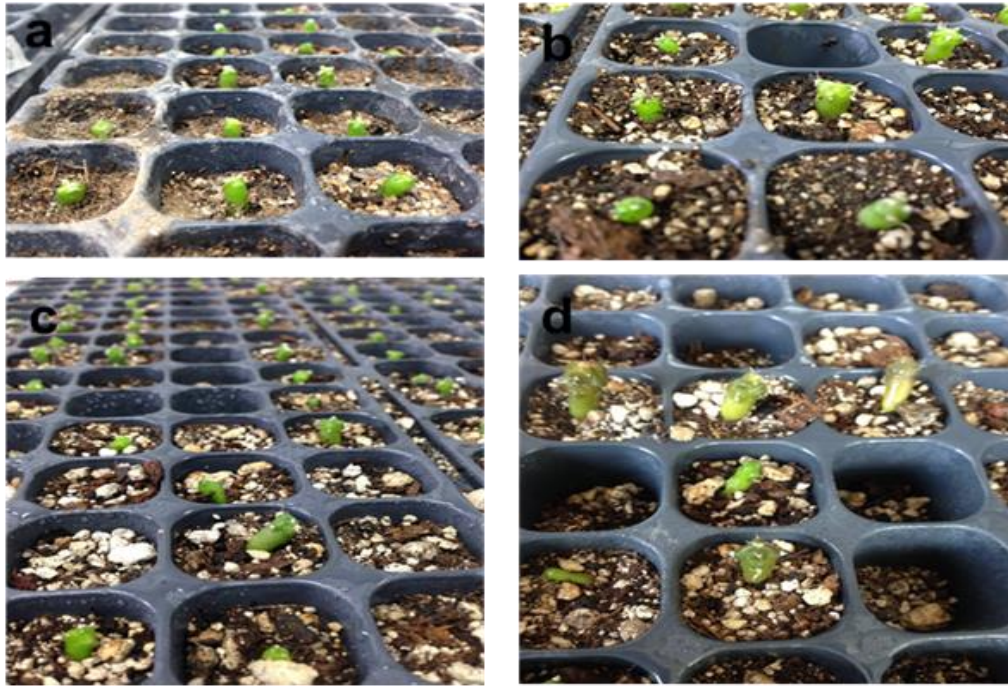


Figura 1.19. Plántulas de *E. platyacanthus*, en diferentes días. a) Día 44, b) 74; c) 134, d) día 197.

Se encontró una débil correlación entre el área y el peso de las semillas vs. las longitudes de las plántulas a los diferentes intervalos de tiempo (42, 74, 134 y 197 días). Por el contrario, se encontró una fuerte correlación entre las longitudes individuales de las plántulas en los diferentes intervalos de tiempo (Figura 1.20; Tabla 1.4).

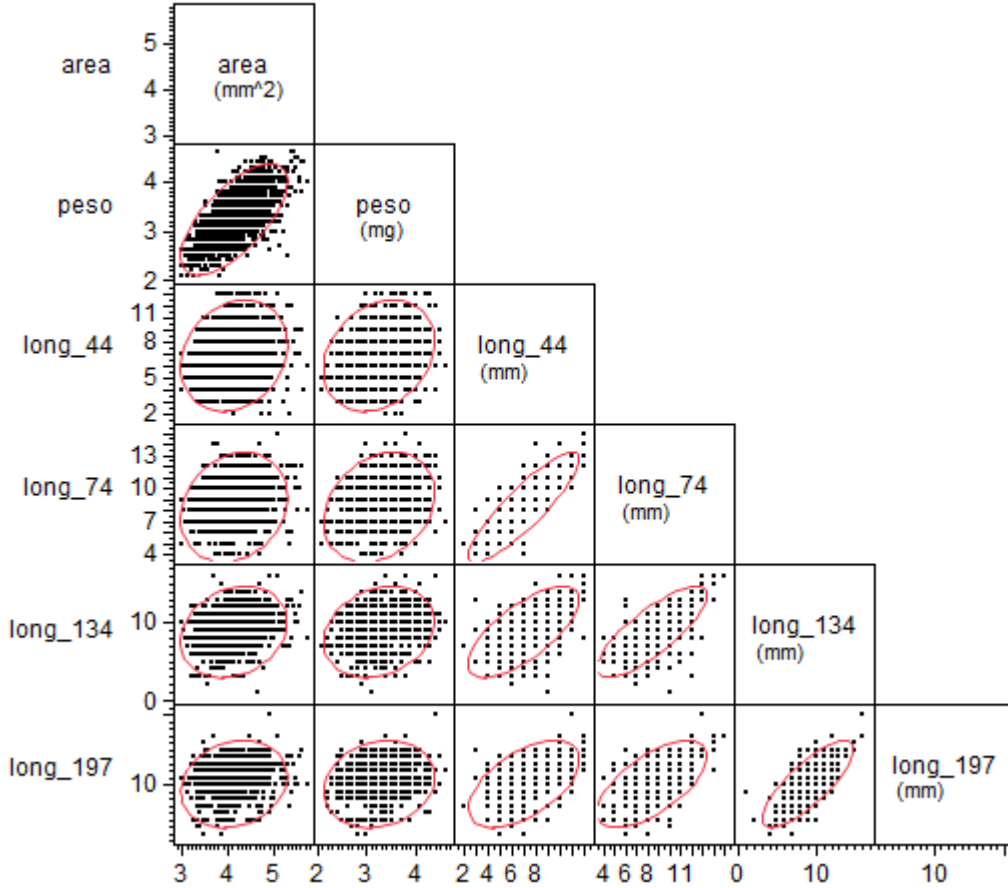


Figura 1.20. Correlación no paramétrica (Spearman) entre el área y el peso de las semillas de *E. platyacanthus* y la longitud de sus plántulas a diferentes intervalos de tiempo (N= 1255).

Tabla. 1.4. Valores de las correlaciones no paramétrica de Spearman (ρ) entre el área y el peso de las semillas de *E. platyacanthus* y la longitud de las plántulas a diferentes intervalos de tiempo, todas las correlaciones presentan diferencias significativas.

Morfometría de las semilla	Longitud de las plántulas en diferentes días	(ρ) Spearman	Probabilidad
Área vs Peso		0.6679	<0.0001
Área	día 42	0.2107	<0.0001
Área	día 74	0.2198	<0.0001
Área	día 134	0.2348	<0.0001
Área	día 197	0.1728	<0.0001
Peso	día 42	0.2492	<0.0001
Peso	día 74	0.2696	<0.0001
Peso	día 134	0.242	<0.0001
Peso	día 197	0.1853	<0.0001
	día 42 vs día 74	0.845	<0.0001
	día 42 vs día 134	0.6639	<0.0001
	día 42 vs día 197	0.502	<0.0001

7. RESULTADOS DE *Astrophytum ornatum*

7.1. Morfometría de las semillas de *Astrophytum ornatum*

Para la determinación de la morfometría de las semillas, se tomaron al azar 50 semillas/fruto. Se descartó un fruto por presentar semillas con testa muy quebradiza, por lo que la N de 31 frutos disminuyó a 30, y la N total de semillas fue de 1500. Las semillas de *A. ornatum*, presentan una forma navicular o de barco y una testa de color café-rojiza brillante. Algunas semillas de *A. ornatum*, conservan la capa funicular y/o el funículo adherido al hilo de la semilla, el cual, al secarse se desprende de la semilla (Figura 2.1 y 2.2). En la figura 2.3, se presentan imágenes de la semilla de *A. ornatum* (a) y de su embrión (b) a través de Microscopía Electrónica de Barrido.



Figura 2.1. Tamaño real de las semillas de *A. ornatum*. La cuarta semilla de izquierda a derecha presenta capa funicular adherida al hilo de la semilla.

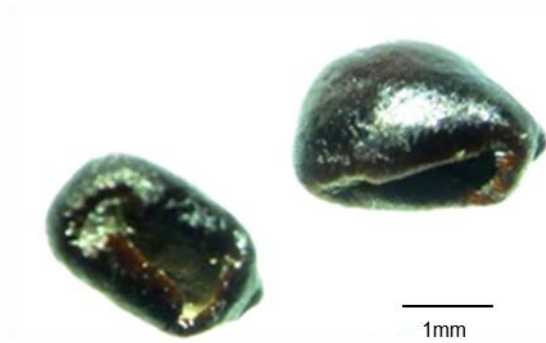


Figura 2.2. Semilla de *A. ornatum*, vistas a través del microscopio estereoscópico (2x).

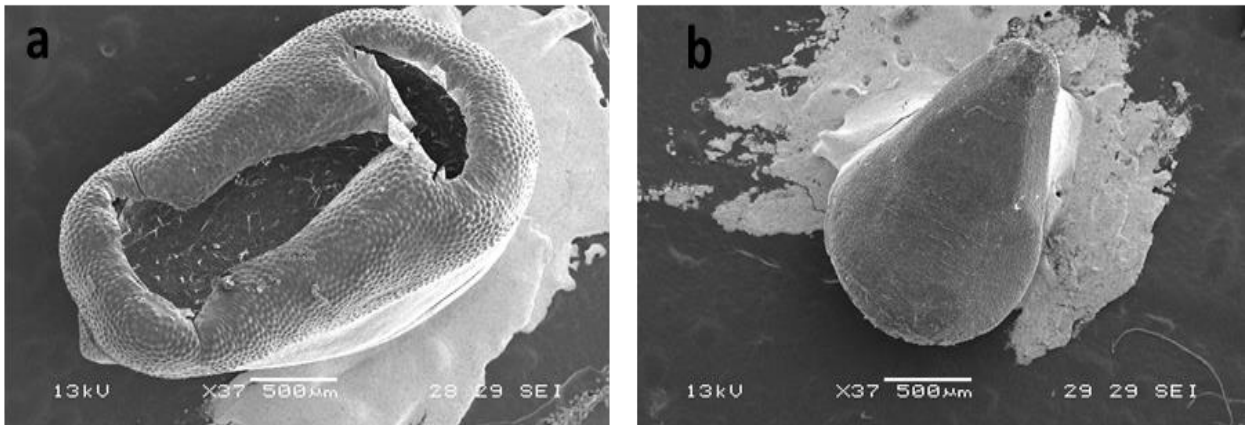


Figura 2.3. Semilla y embrión de *A. ornatum*, observadas al microscopio electrónico de barrido (37X; 500µm), a) semilla completa. b) embrión de la semilla.

La distribución de las variables de las semillas no presentan normalidad (Prueba de Shapiro-Wilk; $p < 0.05$) (Figura 2.7). En promedio las semillas miden 2.754mm (± 0.215 DE) de largo y 2 mm (± 0.200) de ancho; 8.675mm (± 0.911) de perímetro; 4.333mm² (± 0.614) de área y un peso promedio de 2.05mg (± 0.275) (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Morfometría y peso de las semillas de *A. ornatum* (N=1500)

	Área (mm²)	Perímetro (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso (mg)
Mínimo	2.787	6.649	2.216	1.477	1.3
Máximo	6.617	14.117	3.712	2.646	2.9
Promedio	4.333	8.675	2.754	2.0	2.053
DE	0.614	0.911	0.215	0.200	0.275

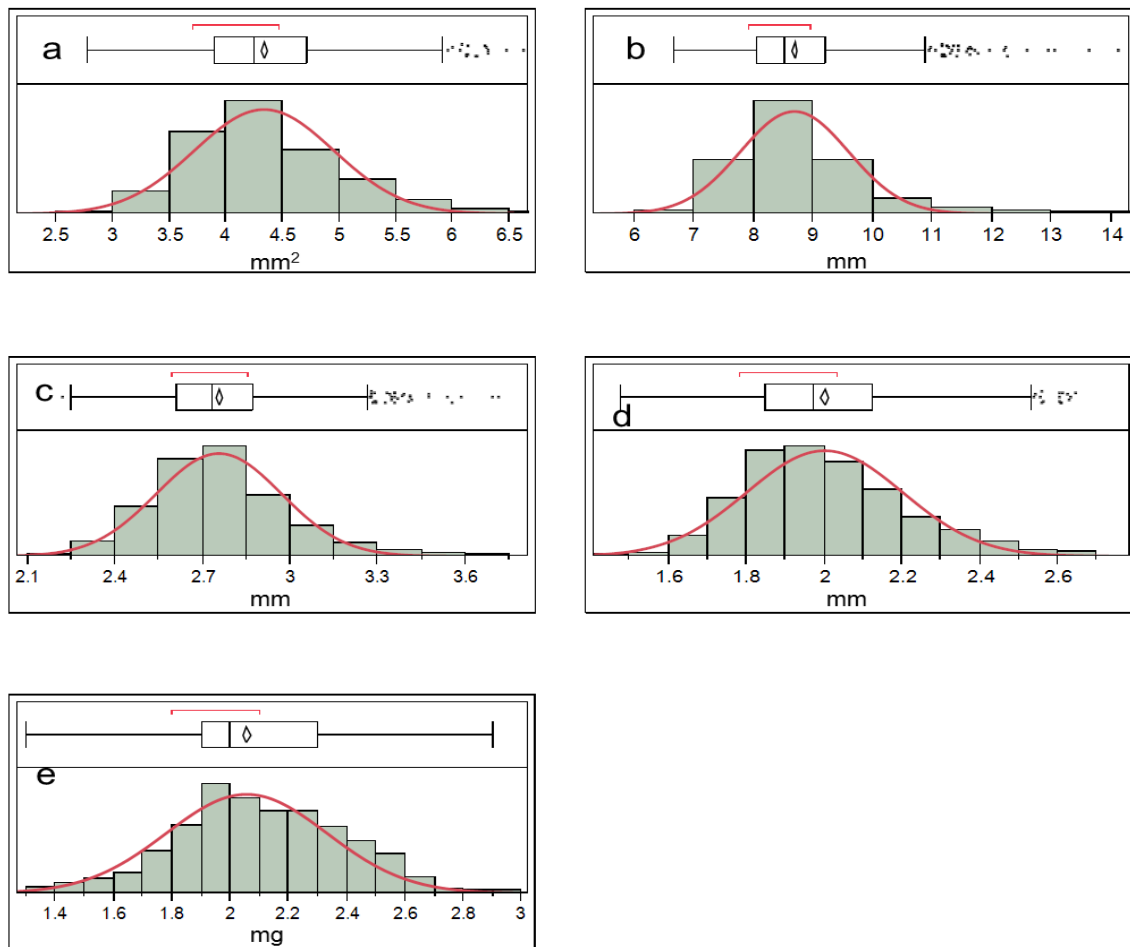


Figura 2.4. Histogramas de frecuencias de las variables estudiadas para las semillas de *A. ornatum*: a) Área; b) Perímetro, c) Largo; d) Ancho; e) Peso; (N= 1500). En la parte superior de cada gráfica se muestra el diagrama de caja y bigote. El límite izquierdo de la caja corresponde al valor del primer cuartil y el límite derecho al tercer cuartil. La línea vertical dentro de la caja corresponde al segundo cuartil o mediana. El rombo o diamante dentro de la caja señala con un 95% de probabilidad el valor del promedio. Las líneas que se extienden a la izquierda y a la derecha de la caja (bigotes) señalan los valores del primer cuartil – (1.5* valor intercuartil) y tercer cuartil + (1.5* valor intercuartil), respectivamente. Los puntos fuera de este rango

corresponden a los datos atípicos. La línea roja por arriba de la caja indica la concentración más densa del 50% de los datos (shorter half). La curva roja sobre las barras de frecuencia, indica el ajuste del modelo para una distribución normal (Manual JMP, 2009).

Debido a que existe una fuerte correlación entre las variables de tamaño (largo, ancho, perímetro y área), como puede verse en la figura 2.5, en los análisis posteriores se consideró solo el área como variable de tamaño, ya que a su vez integra todas las otras variables de tamaño.

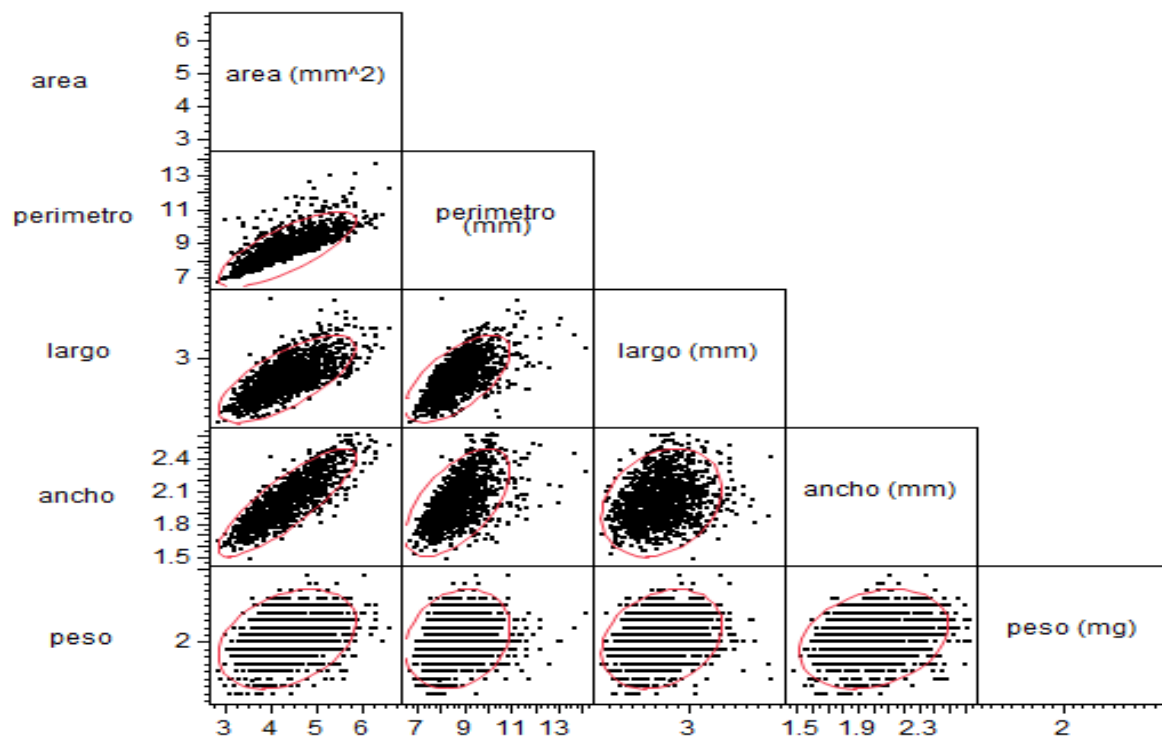


Figura 2.5. Matriz de correlación de Spearman entre variables de tamaño y peso de las semillas de *A. ornatum* (N= 1500).

Tabla 2.2. Valores de correlación no paramétrica de Spearman de las variables de tamaño y peso de las semillas de *A. ornatum* (N= 1500)

Características morfométricas de las semillas	(ρ) Spearman	Probabilidad
Área vs. Peso	0.351	0.0001*
Área vs. Largo	0.721	0.0001*
Área vs. Ancho	0.838	0.0001*
Perímetro vs. Largo	0.647	0.0001*
Perímetro vs. Ancho	0.638	0.0001*
Perímetro vs. Peso	0.237	0.0001*
Largo vs. Ancho	0.271	0.0001*
Largo vs. Peso	0.298	0.0001*
Ancho vs. Peso	0.273	0.0001*

7.2. Características de tamaño y peso de las semillas por fruto

Al analizar las variables morfométricas de las semillas/fruto, se observó una gran variabilidad tanto en tamaño como en peso dentro de cada fruto. En la Tabla 2.3, se presenta como ejemplo los datos morfométricos de las semillas contenidas en un solo fruto (AY11).

Tabla 2.3 Datos del tamaño y peso del fruto Número 11 de *A. ornatum* (N= 50 semillas), donde puede observarse que tanto el largo, el ancho y el peso no presentan normalidad. (Prueba de Shapiro-Wilk (W) $p < 0.05$). Presenta normalidad*

Semilla	Área (mm²)	Perímetro (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso (mg)
Mínimo	3.40	7.360	2.537	1.704	1.7
Máximo	5.90	11.163	3.413	2.210	2.3
Promedio	4.522	8.950	2.920	1.970	2.0
DE	0.520	0.873	0.226	0.143	0.137
W	0.980438	0.973640	0.931698	0.933602	0.952450
Probabilidad	0.5706*	0.3234*	0.0064	0.0076	0.0430

Las medias de las áreas de las semillas/fruto oscilan entre 3.4 y 5.9 mm², encontrándose diferencias significativas entre frutos (ANOVA de una vía; $F = 21.920$; g.l. 29; $p < 0.0001$) y la prueba de Pares de Tukey- Kramer detectó la existencia de 11 grupos diferentes ($q = 3.75622$; $\alpha = 0.05$). Los frutos AY15, AY17 y AY18, por ejemplo poseen las semillas más grandes, mientras que el fruto AY07 presenta las semillas más pequeñas o de menor área (Figura 2.6).

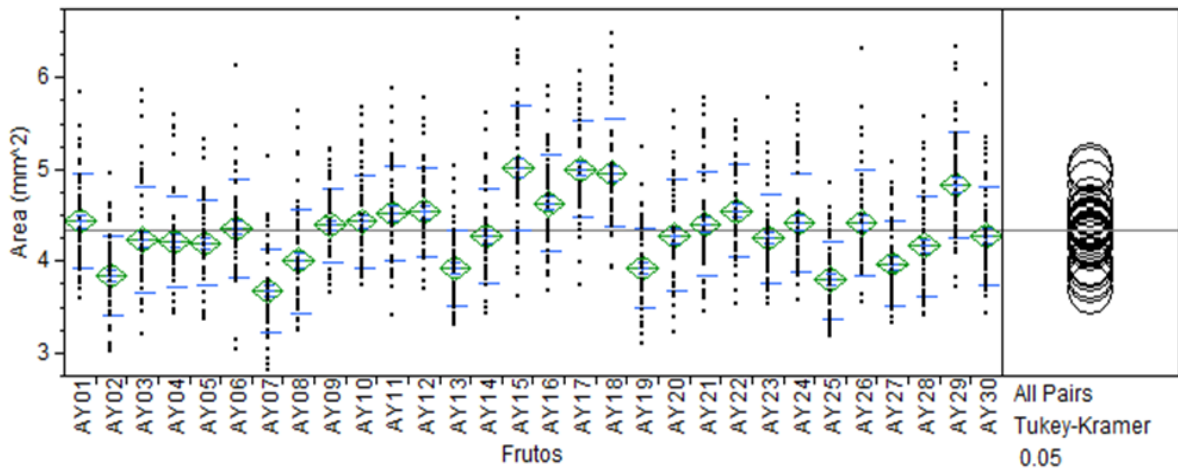


Figura 2.6. Promedio del área de las semillas/fruto de *A. ornatum* (N=30 frutos). A la derecha de la gráfica se observan los 11 grupos detectados a través de la Prueba de Tukey-Kramer ($q= 3.75622$; $\alpha= 0.05$).

Las medias de los pesos de las semillas/fruto oscilan entre 1.7 a 2.3 mg. El análisis de varianza de una vía muestra diferencias significativas entre los frutos ($F=75.1861$; $p< 0.0001$; g.l. 29) y la prueba de Pares de Tukey- Kramer detectó la existencia de 12 grupos diferentes ($q=3.75622$; $\alpha=0.05$). El fruto AY12 posee las semillas más pesadas, mientras que el fruto AY19 presenta las semillas con menor peso (Figura 2.7).

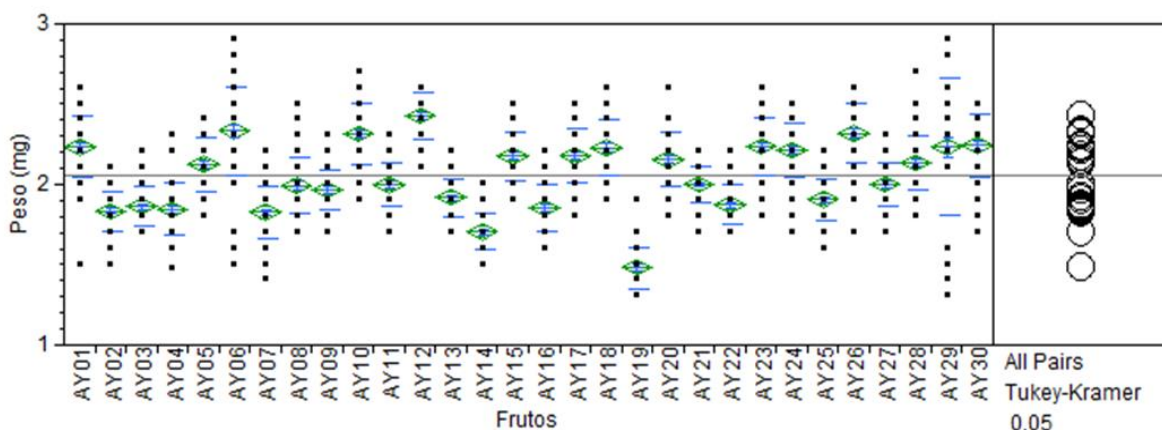


Figura 2.7. Promedio del peso de las semillas/fruto de *A. ornatum* (N=30 frutos). A la derecha de la gráfica se observan los 12 grupos detectados a través de la Prueba de Tukey-Kramer ($q = 3.75622$; $\alpha = 0.05$).

7.3. Germinación de las semillas

La siembra de las 1500 semillas se llevó a cabo el 7 de mayo de 2015, cuando las semillas tenían 11 meses de colectadas. La germinación inició el día dos después de la siembra y finalizó en el día 22. La gráfica de la germinación acumulada se presenta en la Figura 2.8. El tiempo medio de germinación (TMG) fue de cinco días, en el cual el 50% de las semillas sembradas habían germinado. El porcentaje final de germinación fue del 89.13%, lo que equivale a 1337 semillas germinadas. En la Figura 2.9, se presentan fotografías de las semillas recién germinadas.

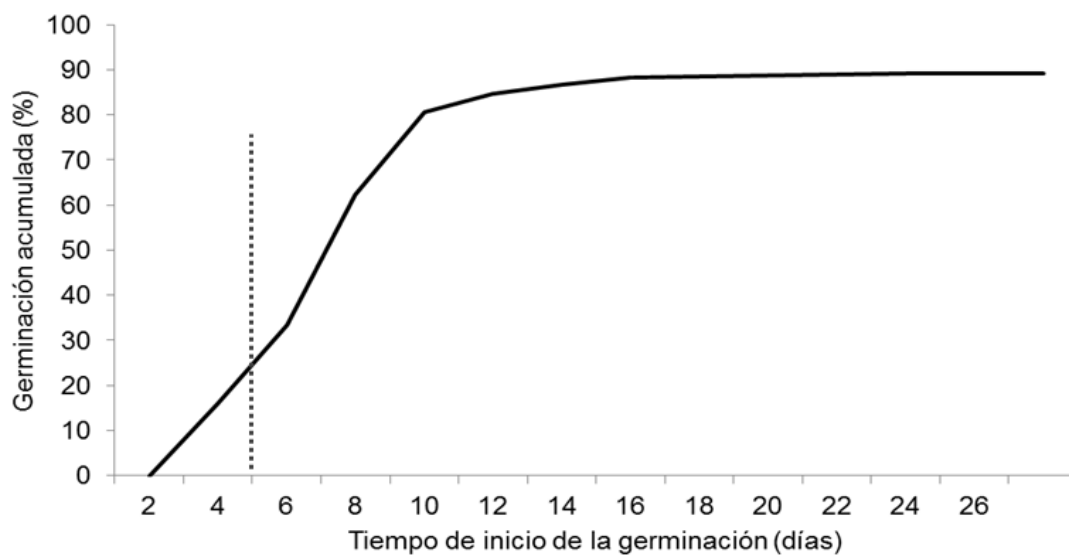


Figura 2.8. Curva de germinación acumulada de las semillas de *A. ornatum* a través del tiempo. La línea punteada indica el Tiempo Medio de Germinación.

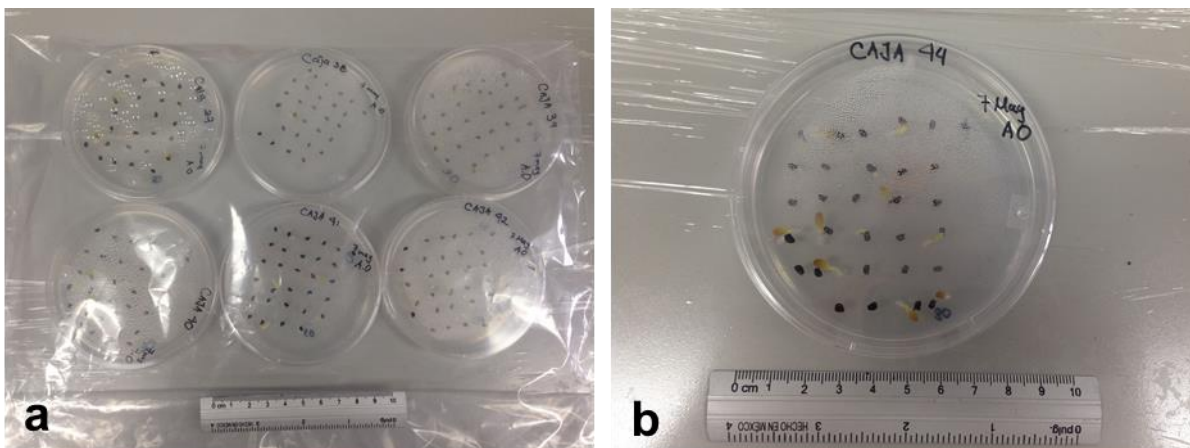


Figura 2.9. a) y b) Semillas germinadas de *A. ornatum*.

El número de semillas germinadas por día se presenta en la Figura 2.10, donde puede observarse que se presenta un pico en el día seis, momento en se presentó el 33% del total de la germinación.

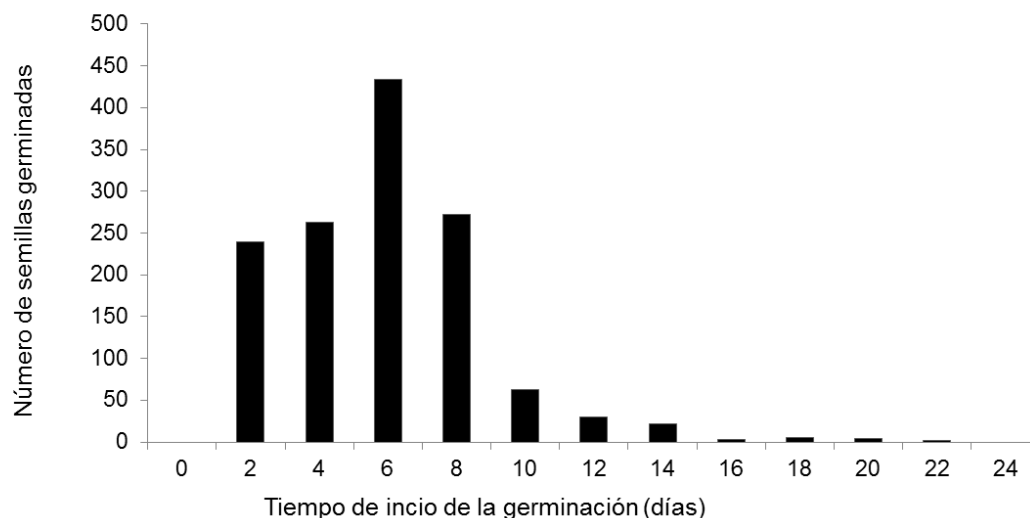


Figura 2.10. Germinación de las semillas de *A. ornatum* a través del tiempo.

Al realizar una regresión logística no se encontró un efecto significativo del área de la semilla, con respecto a la probabilidad de germinación de las semillas (Chi cuadrada=2.72012; g.l. 1; $p>0.0991$; $r^2= 0.002$), pero si con el peso de las semillas (Chi cuadrada=21.77142; g.l. 1; $P<0.0001$; $r^2= 0.02$), encontrándose favorecidas aquellas semillas con menor peso (Figura 2.11 a y b).

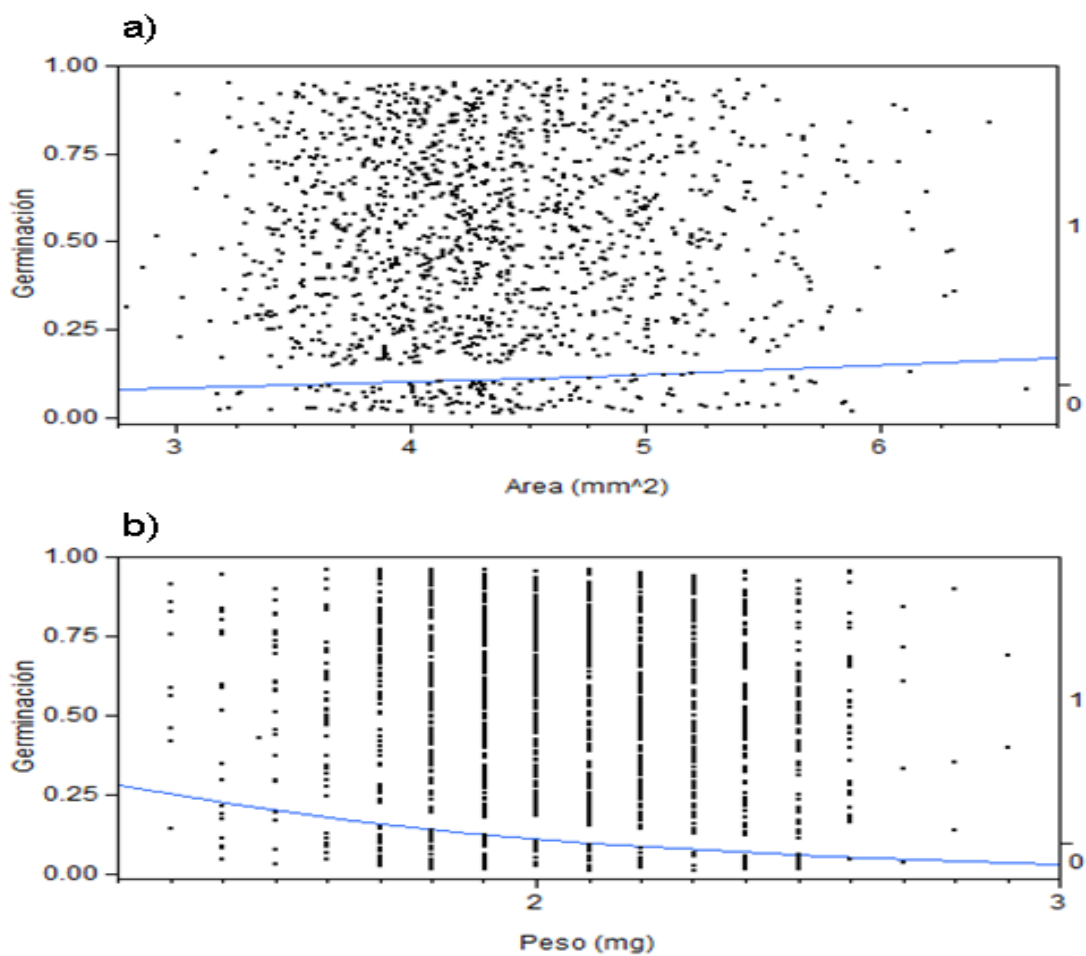


Figura 2.11. Probabilidades de germinación de las semillas de *A. ornatum* mostrada a través de un regresión logística con relación: a) área de las semillas y b) peso de las semillas (N=1500).

No se encontró un efecto significativo entre el área de las semillas con respecto al tiempo de inicio de la germinación de las semillas ($F=2.3448$; g.l. 1; $p>0.1299$; $r^2=0.001$), pero si entre el peso de las semillas y el inicio de la germinación

($F=19.6109$; g.l. 1; $p<0.0001$; $r^2=0.01$) encontrándose que a menor peso de las semillas el inicio de la germinación es más tardía (Figura 2.12 a y b).

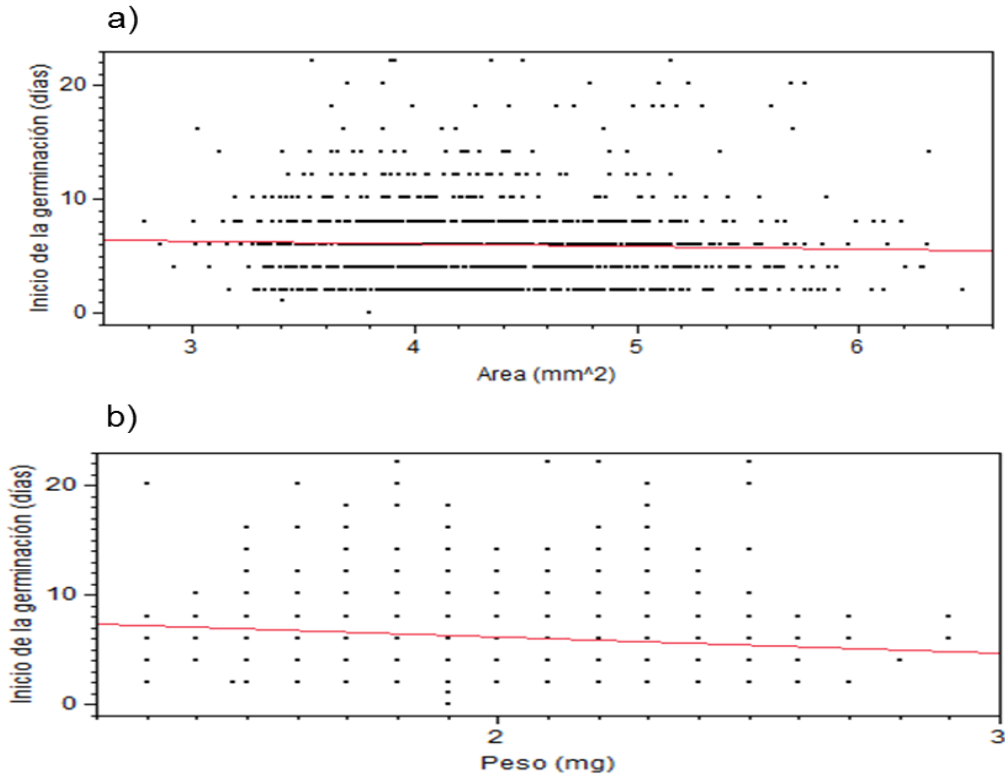


Figura 2.12. Inicio de la germinación de las semillas de *A. ornatum* con relación: a) al área y b) al peso de las semillas (N=1500).

7.4. Supervivencia de las plántulas

En total germinaron 1337 semillas, de ellas murieron 139 antes de ser trasplantadas en el día 83. Las plántulas sobrevivientes (N=1198) se trasplantaron a almácigos con tierra para cactáceas y fueron mantenidas en la cámara de crecimiento hasta los 6.7 meses (206 días). El tiempo de vida de las plántulas se contó a partir del día de la

germinación de cada semilla hasta el último día de registró en el que se observó viva. En la Figura 2.13, se presenta la gráfica de la tasa de supervivencia y de mortalidad acumulada de las plántulas a través del tiempo, donde puede observarse que la mortalidad del segundo al tercer mes de 0.0, paso al 11%, del tercero al cuarto mes paso del 11 al 16%, del cuarto al quinto mes, es el mes en donde se presentó la mortalidad mayor con el 30%,sin embargo, del quinto al sexto mes, la mortalidad se redujo notablemente, presentando tan solo el 0.5%. La supervivencia final a los seis meses fue del 58% (N=780 plántulas) En la Figura 2.14, se muestran imágenes de las plántulas de *A. ornatum*, al día 83 (a) y de almácigos con ausencia de plántulas en la cuencas, debido a la mortalidad (b, c y d).

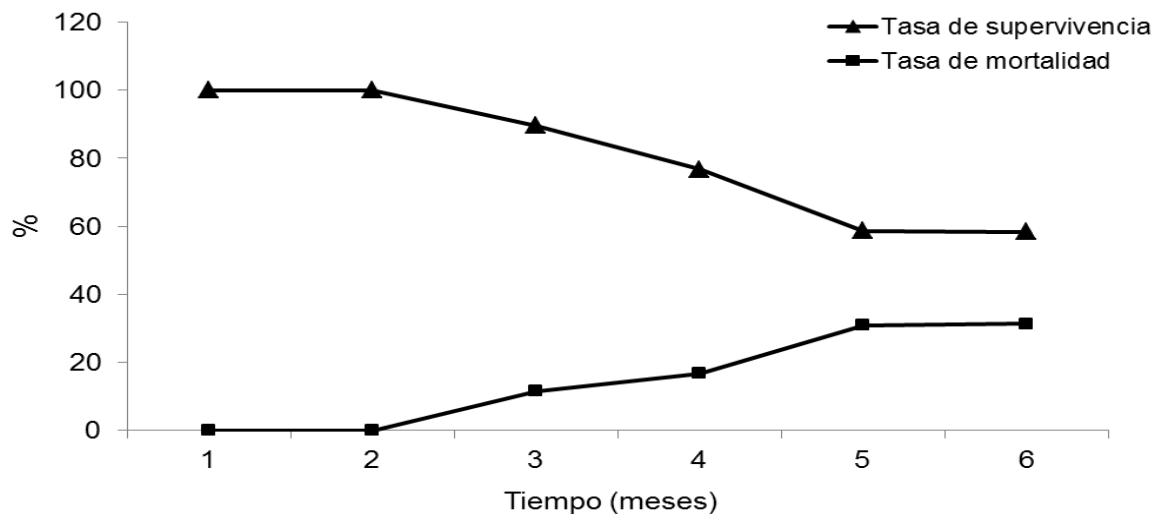
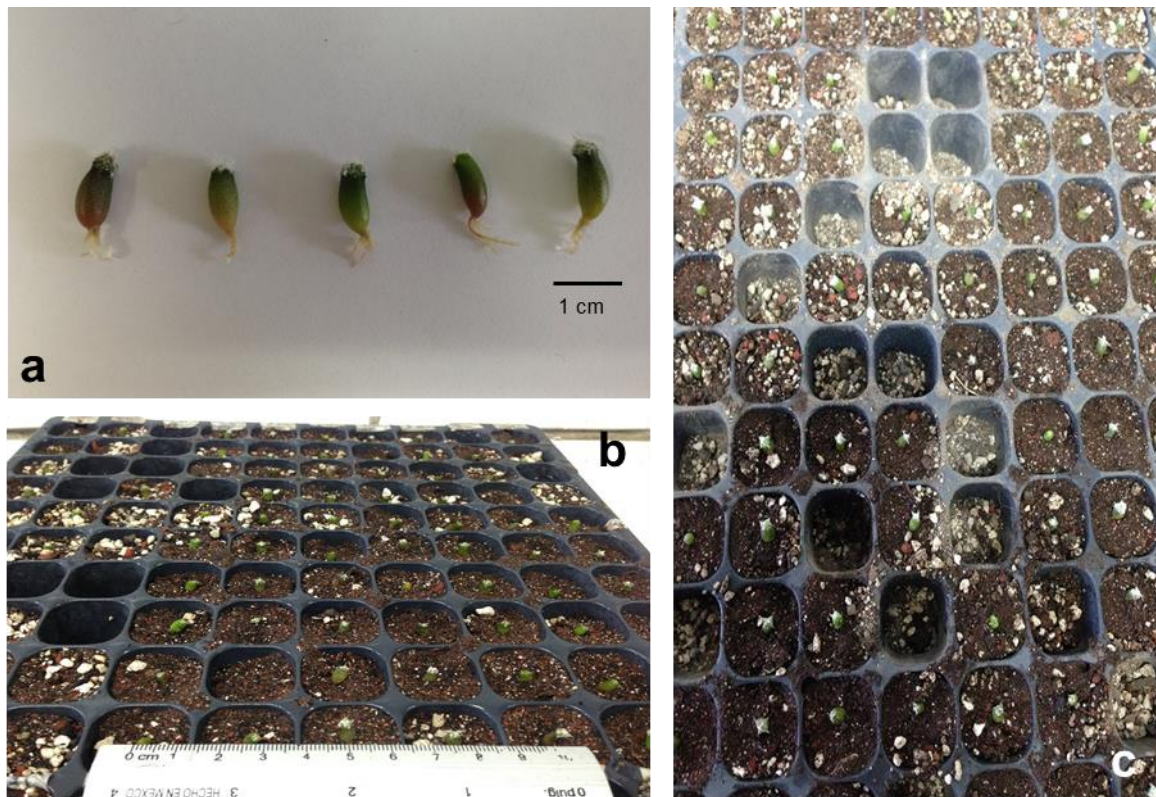


Figura 2.13 Tasa de Supervivencia y mortalidad mensual de las plántulas de *A. ornatum* a través del tiempo (N germinadas = 1337).



Fotos figura 2.14 a) Plántulas de *A. ornatum* (día 83); incisos b) y c) plántulas de *A. ornatum*, se observan plántulas y también ausencias de ellas, en algunas cuencas de los almácigos debido a la mortalidad.

No se encontró una correlación entre el área de la semillas y el tiempo de vida de las plántulas (ρ de Spearman= 0.0446; $p>0.1031$); sin embargo, existe una correlación positiva, muy débil entre el peso de la semillas y el tiempo de vida de las plántulas, por lo que la correlación se considera casi nula a pesar de que es significativa. Dicha significancia puede estar dada por la N total de las semillas. (ρ de Spearman= 0.0674; $p>0.0137$) (Figura. 2.15).

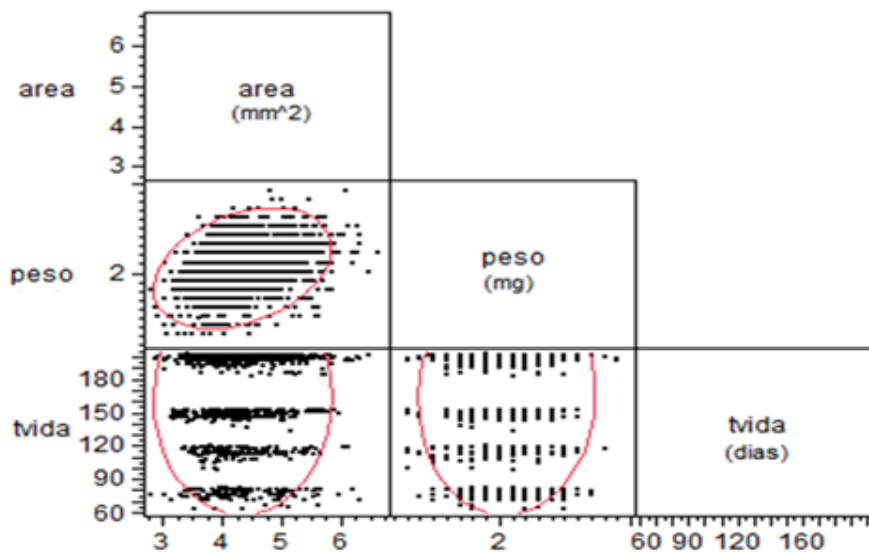


Figura 2.15. Correlación no paramétrica de Spearman entre el área y el peso de las semillas de *A. ornatum* y el tiempo de vida (tvida) de las plántulas (N= 1337).

No se encontraron relación entre el tiempo de inicio de la germinación y la supervivencia de las plántulas al día 206. (Chi Cuadrada= 0.000574; g.l. 1; $p > 0.9809$) (Figura 2.16).

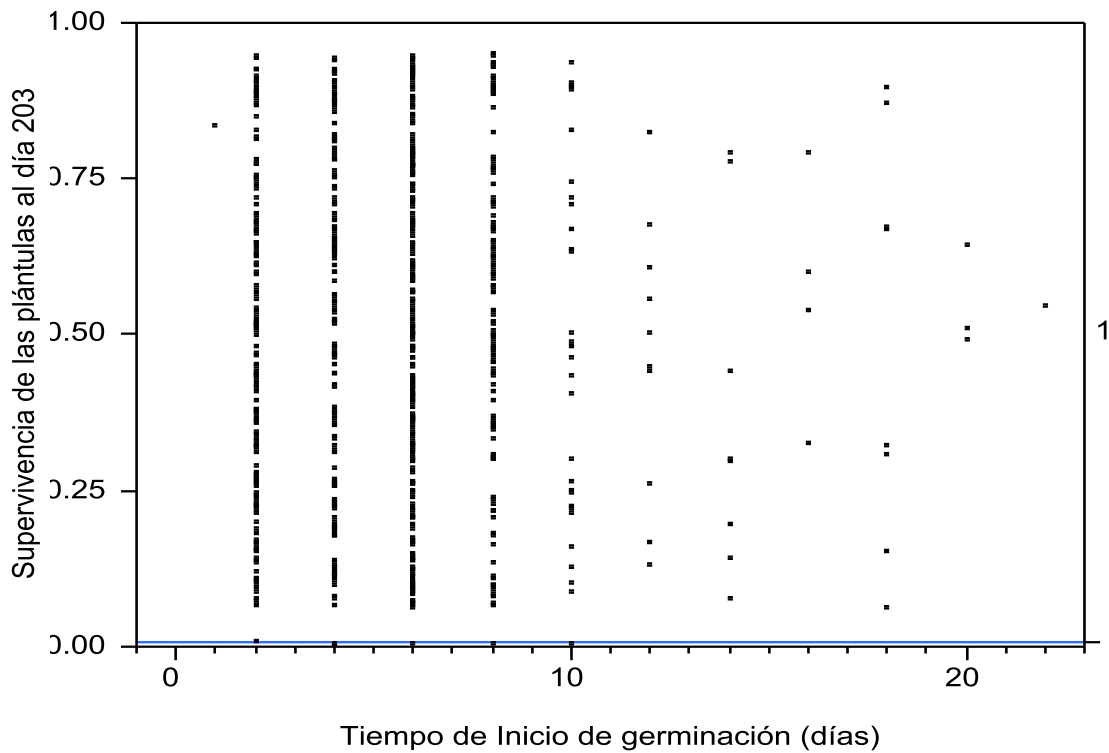


Figura 2.16. Regresión logística entre el tiempo de inicio de la germinación de las semillas de *A. ornatum* y la supervivencia final de las plántulas al día 203 ($N_{\text{inicial}} = 1198$).

7.5. Crecimiento de las plántulas

El crecimiento promedio de las plántulas a través del tiempo se muestra en la Figura 2.17, donde se observa que la elongación y el diámetro del tallo se conservan casi constantes de los tres a los cinco meses. Sin embargo, morfológicamente se presentan cambios, ya que en el quinto mes se observan en promedio cinco areolas en la parte apical del tallo, aunque algunas plántulas mostraron hasta nueve areolas.

La longitud media que alcanzaron las plántulas a los 153 días fue de 8.33 mm (± 1.58 DE) y 3.84 mm (± 0.51) mm de diámetro, con un promedio de 5 areolas por individuo.

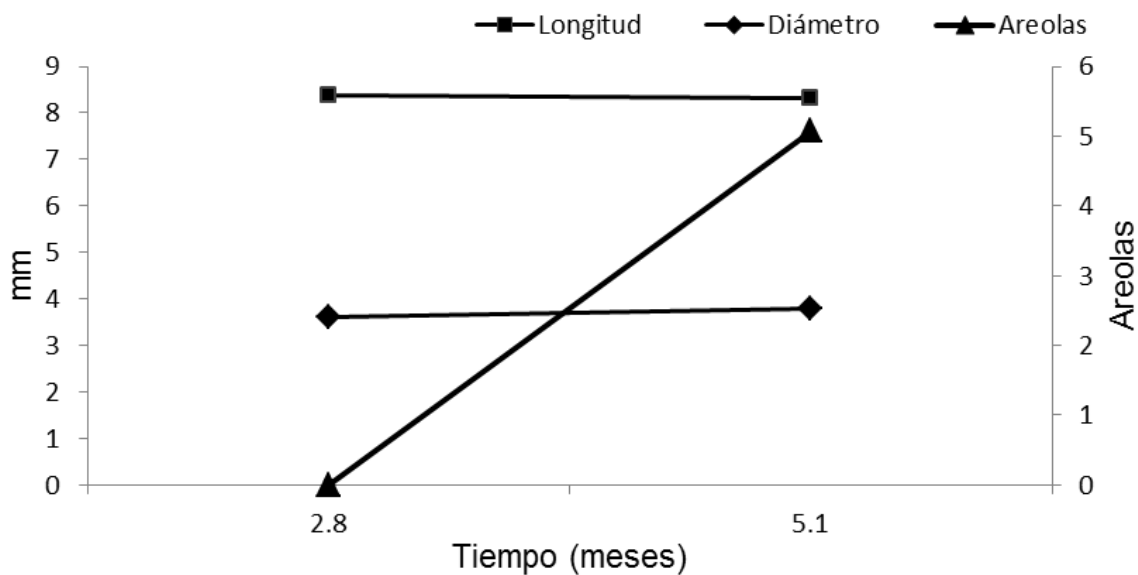


Figura 2.17. Incremento en longitud, diámetro y número de areolas de las plántulas de *A. ornatum* través del tiempo.

En la Figura 2.18 se muestran imágenes de las plántulas de *A. ornatum* a diferentes días.



Figura 2.18. Plántulas de *A. ornatum*, en diferentes días. a) Día 83, b) día 153.

Se encontró una correlación débil y positiva entre el peso de las semillas y la longitud de las plántulas en los diferentes intervalos de tiempo (83 y 153 días) y una correlación fuerte y positiva entre las longitudes individuales de las plántulas (Figura 2.19; Tabla 2.4).

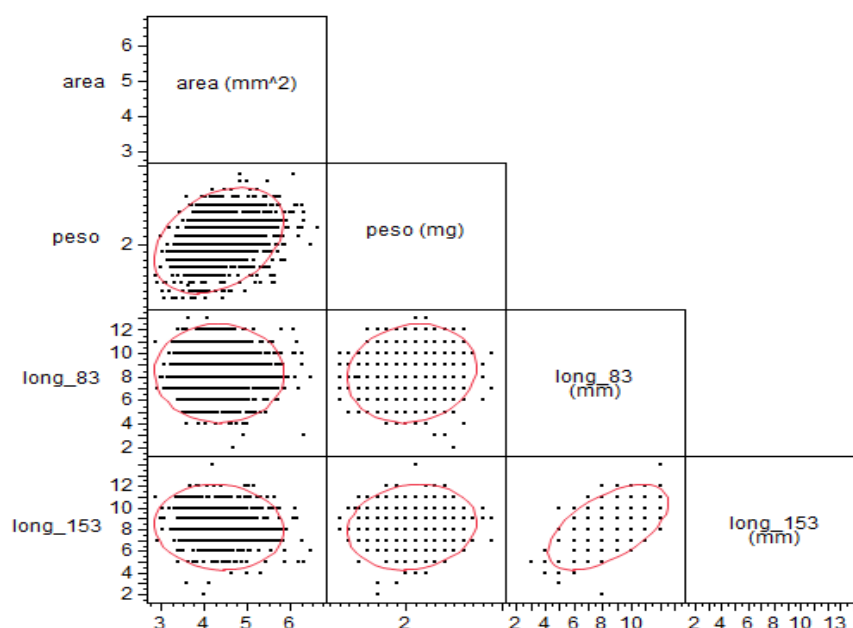


Figura 2.19. Correlación no paramétrica (Spearman) entre el área y el peso de las semillas de *A. ornatum* y la longitud de sus plántulas a diferentes intervalos de tiempo (N= 1198).

Tabla. 2.4. Valores de las correlaciones de Spearman (ρ) entre el área y el peso de las semillas de *A. ornatum* y la longitud de las plántulas a diferentes intervalos de tiempo.

Morfometría de la semilla	Longitud de las plántulas en diferentes días	(ρ) Spearman	Probabilidad
Área vs Peso		0.3512	0.0001
Área	día 83	-0.0025	0.9312
Área	día 153	-0.0662	0.0641
Peso	día 83	0.1361	0.0001
Peso	día 153	0.1471	0.0001
	día 83 vs 153	0.5441	0.0001

8. DISCUSIÓN

Las semillas de *E. platyacanthus* poseen una forma ovoide con testa negra brillante (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991b) que en promedio presentaron $2.8 (\pm 0.47$ DE) mm de largo y un peso promedio de $3.2 (\pm 0.04)$ mg.

Las semillas de *A. ornatum*, presentan una forma de sombrero (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991b) o navicular (forma de barco) con una testa de color café-rojiza y a veces quebradiza (Sánchez-Salas *et al.*, 2012; Sánchez-Salas *et al.*, 2015) que en promedio presentaron $4.33 (\pm 0.61$ DE) mm² de largo y un peso promedio de $2 (\pm 0.20)$ mg, esto coincide con lo reportado por Sánchez-Salas *et al.* (2012) para la misma especie y mismo estado de colecta.

Por lo tanto, el tamaño de las semillas de ambas especies, es intermedio por estar entre los 0.5 mm y 5.0 mm de largo, reportado para las semillas pertenecientes a distintas especies de la familia de las cactáceas (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995; Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000).

La forma navicular de las semillas de *A. ornatum*, se especula que constituye una adaptación para la hidrodispersión (hidrocoria). Las semillas de esta especie presentan un hilo de forma biclavada grande y dos cámaras. La primera cámara, de aire, es superficial, amplia y hueca, con o sin capa funicular, y se cree que brinda equilibrio para la flotación. La segunda cámara alberga al embrión y posee una membrana embrionaria delgada que lo protege, es basal y de menor tamaño que la cámara de aire y gracias a ella se le facilita la flotabilidad a las semillas, lo cual

permite alejarse de la planta madre cuando se forman corrientes de agua, ocasionado por las esporádicas lluvias torrenciales, características de los ambientes áridos (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991b; Sánchez *et al.*, 2013; Sánchez-Salas *et al.*, 2015).

Se ha reportado, que en condiciones experimentales, las semillas de *Astrophytum capricorne* (A.Dietr.) Britton & Rose, de Coahuila, son capaces de germinar mientras se mantienen en flotación, fenómeno que no se presentó en las semillas de *A. ornatum* de Hidalgo (Sánchez *et al.*, 2013).

Otras semillas de cactáceas que también presentan hidrocoria, son las de *Selenicereus witti*, epífita que se distribuye en la zona inundable Igapó (Brasil) (Barthlott *et al.*, 1997), y *Epithelantha micromeris* (Engelm.) F.A.C.Weber ex Britton & Rose, la cual se le ha visto cohabitando con especies del género *Astrophytum* (Elizondo-Elizondo *et al.*, 1994).

Tanto las semillas de *E. platyacanthus* como las de *A. ornatum*, presentaron grandes variaciones en tamaños y pesos. Para *E. platyacanthus*, la mayor variabilidad se presentó en el área, la cual osciló entre 2.97 a 5.78 mm², lo que indica una diferencia del 51.34%. Mientras que la variación del peso osciló entre de 2.1 a 4.6 mg, lo que significa una diferencia del 45.65%. Para el caso de *A. ornatum* el área osciló entre 2.78 y 6.61 mm², lo que representa una variación del 42.11%, y la mayor diferencia se presentó en el peso que osciló entre 1.47 y 2.64 mg, lo que representa una variación del 44.82%.

Esta variabilidad en el tamaño y peso de las semillas probablemente pueda deberse a factores como: a la posición de los óvulos dentro del ovario; a la diferencia de tiempo al momento de la fecundación de cada óvulo; el aporte genético de los padres y a la competencia interna que se pueda establecer en el interior de cada fruto durante el proceso de maduración de las semillas (Milberg *et al.*, 1996; Ayala-Cordero *et al.*, 2004).

Para ambas especies de estudio, se encontró una correlación positiva y significativa entre el área y peso de las semillas (Tabla 1.2 y 2.2), lo que nos indica que a mayor área de las semillas, también es mayor el peso de la mismas.

Esta variación coincide por ejemplo, para el caso de *Astrophytum myriostigma* Lem., en una población de la Sierra El Sarnoso (Dgo.), en donde se encontró que las semillas pequeñas presentaron una longitud de 2.92 (± 0.03 EE) mm y un peso medio de 1.61 (± 0.14) mg vs. semillas grandes que presentaban una longitud de 3.10 (± 0.03) mm y un peso de 2.1 (± 0.09) mg (Sánchez-Salas *et al.*, 2006), así como en las semillas de *Stenocereus beneckeii*, de una población del municipio de Eduardo Neri (Gro.), donde se encontró una variación en el peso de las semillas que va de 3.7 a 2.1 mg (Ayala-Cordero *et al.*, 2004).

En *E. platyacanthus* la germinación de las semillas, inició en el día seis y finalizó en el día 40, con un tiempo medio de germinación de 16 días, alcanzando un porcentaje final de germinación del 89.25%. El porcentaje final de germinación es similar a los reportados para seis poblaciones de la misma especie en el valle de Zapotitlán,

Puebla de 81% (Jiménez-Sierra *et al.*, 2007) y del 80% para otra población también del valle de Zapotitlán (Rosas-López y Ortega-Collazo, 2004).

En *A. ornatum*, la germinación de las semillas, inició en el día dos y finalizó en el día 22, con un tiempo medio de germinación de cinco días, alcanzando un porcentaje final de germinación del 89.13%. El porcentaje final de germinación difiere al reportado por Sánchez-Salas *et al.* (2012), en donde se sometieron semillas de *A. ornatum* a diferentes pre tratamientos germinativos y el mayor porcentaje final de germinación obtenido fue del 30% sobre papel filtro humedecido, seguido por la siembra en arena con un 27%. Además se encontró que las semillas de *A. ornatum* inmersas en 30 ml de agua por 30 días, reducían su porcentaje final de germinación al 5%, y el tiempo medio de inicio de la germinación en los diferentes tratamientos fue de 3.7 días.

Además, Sánchez-Salas *et al.* (2006), encontraron que las semillas pequeñas de *A. myriostigma* sometidas a diferentes pre tratamientos presentaban mayores porcentajes de germinación final (entre el 90 y 96%) y mayor velocidad de germinación por día que las semillas más grandes.

Las diferencias en el tamaño de las semillas se ha reportado que es importante para el proceso de germinación, ya que se ha señalado que éstas pueden favorecer diversas estrategias. Por ejemplo, se ha señalado que las semillas pequeñas se embeben más rápidamente y por lo tanto la germinación es más rápida que en semillas grandes. Además, se considera que las semillas pequeñas pueden recorrer

mayores distancias favoreciendo su dispersión y al mismo tiempo podrían favorecer la conservación del germoplasma, debido a que pueden migrar por pequeñas fracturas que puedan haber en el suelo (Moles, *et al.*, 2004; Sánchez-Salas *et al.* 2015).

Para el caso de *E. platyacanthus*, se encontró que el éxito o a la probabilidad de germinación, así como el tiempo de inicio de la germinación, no se ve afectada por el tamaño o el peso de las semillas.

Sin embargo, para *A. ornatum*, de acuerdo a la significancia aportada por el modelo estadístico, se encontró que el peso de las semillas, si está relacionado con la probabilidad de germinación (Figura 2.11), y con el tiempo de inicio de la germinación (tomando en cuenta que en ambas la r^2 es muy baja, por lo tanto la correlación es muy débil) (Figura 2.12), lo cual, nos indica que las semillas de menor peso presentan una mayor probabilidad o éxito en la germinación e inician este proceso más tardíamente que las semillas más pesadas. Probablemente las semillas de menor peso presentan mayor éxito de germinación debido a que absorben más rápidamente el agua a través del micrópilo como ha sido señalado por diversos autores, en relación al tamaño (Harper *et al.*, 1970; Kikuzawa y Koyama, 1999; Loza-Cornejo, 2004).

Harper *et al.* (1970), mencionan que las especies con semillas pequeñas poseen capacidades germinativas vertiginosas y que también presentan mayor efectividad en la dispersión, viabilidad y emergencia de las plántulas y esto ha sido comprobado

para semillas de una misma especie como lo señalan Sánchez-Salas *et al.* (2006) para *Astrophytum myriostigma*.

Son pocos los estudios en cactáceas, que analizan la relación de las variables morfométricas y el peso de las semillas con respecto al éxito de la germinación, quizás esto se deba a las pequeñas dimensiones de las semillas (Sosa *et al.*, 2014). Entre los estudios existentes, Sánchez-Salas *et al.* (2006), encontraron que las semillas pequeñas de *A. myriostigma* presentaban mayores tasas de germinación y una velocidad mayor de germinación que la semillas grandes, mientras que Ayala-Cordero (2004), encontraron para *S. beneckeii* que las semillas pequeñas tuvieron menor éxito de germinación, aunque germinaron más rápido.

Es importante mencionar que en *E. platyacanthus*, cuatro semillas de cuatro frutos diferentes presentaron poliembrionía, es decir, que de una misma semilla emergieron dos plántulas. En un estudio se observó este fenómeno en cuatro especies de *Opuntia* y parece ser más frecuente en semillas de sitios más secos (Romo-Campos *et al.*, 2010). Batygina y Vinogradova (2007), sugieren que la poliembrionía puede deberse a variaciones extremas ya sean altas o bajas temperaturas. Así como en variaciones extremas de humedad.

La supervivencia final de las plántulas de *E. platyacanthus* fue del 56% y del 58% para *A. ornatum*. En *E. platyacanthus* no se encontró correlación entre el área o el peso las semillas con el tiempo de vida de las plántulas y la supervivencia final de las mismas.

En *A. ornatum*, se encontró una correlación positiva muy débil, entre el peso de las semillas y el tiempo de vida de las plántulas (Figura 2.15).

Algunos autores mencionan que el tiempo de germinación es crucial para la supervivencia y el establecimiento de plántulas (Sosa *et al.*, 2014), ya que mientras más rápido germinen las semillas tendrán menos probabilidad de ser depredadas (Foster y Janson, 1985).

En cuanto al crecimiento, en *E. platyacanthus* se encontró que existe una débil pero significativa correlación entre el área y el peso de las semillas y las longitudes de las plántulas a diferentes tiempos (Figura 1.20; Tabla 1.4).

En *A. ornatum*, solo se encontró una correlación débil, para el peso vs. las longitudes de las plántulas a diferentes tiempos (Figura 2.19; Tabla 2.4).

No se encontraron otros estudios similares al nuestro para comparar los resultados relacionados entre las características de las semillas con el crecimiento de las plántulas. Sin embargo, en estudios comparativos entre semillas de diferentes especies de cactáceas, se ha encontrado que las semillas más pesadas producen plántulas más grandes, las cuales presentan también una mayor supervivencia (Bower y Pierson 2001; Sosa *et al* 2014).

9. CONCLUSIONES

En esta investigación se tomaron como modelo de estudio, dos especies de cactáceas: *Echinocactus platyacanthus* y *Astrophytum ornatum*, las cuales presentan tallos cortamente cilíndricos, son endémicas de México y se encuentran en alguna categoría de riesgo. Ambas especies cohabitan en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (Hgo.). Nuestro interés fue conocer la variación del tamaño y del peso de las semillas dentro y entre frutos de una misma población para cada especie y determinar si existe una relación entre el peso y tamaño de las semillas con los procesos de germinación, de supervivencia y crecimiento de las plántulas durante sus primeros meses de vida, bajo condiciones controladas.

Tomando en cuenta las tres hipótesis iniciales, presentamos las conclusiones obtenidas a partir de nuestros resultados:

Hipótesis 1: Dentro de una especie, es probable que las semillas pequeñas germinen más rápido que las semillas más grandes, debido a que las primeras se embeben más rápidamente. Esta hipótesis no se cumplió con relación al tamaño. Sin embargo, en *A. ornatum*, encontramos que las semillas con menor peso presentan mayor probabilidad de germinación y que el inicio de su germinación es más tardía que las semillas con mayor peso.

Hipótesis 2: Si se presentan diferencias en la germinación entre semillas grandes y las pequeñas o entre las semillas ligeras y pesadas dentro de una misma especie, es probable que esto indique una respuesta diferencial en las estrategias de reproducción de la planta y de la dispersión de las semillas.

Para el caso de *E. platyacanthus* no se encontró una relación entre el tamaño y peso de las semillas y su germinación. Sin embargo, para *A. ornatum*, se encontró, que las semillas más ligeras tienen mayor probabilidad de germinación y que su germinación es más tardía que la de las semillas más pesadas, por lo cual, es probable que las semillas ligeras al presentar mayor éxito en la germinación, un mayor número de plántulas puedan lograr establecerse en la población y debido a su peso puedan ser dispersadas más fácilmente por el agua o por el viento, aprovechando la capacidad de germinar tardíamente, presentando la ventaja de ser dispersadas o trasladadas a otros lugares, lejanos de la planta madre y posteriormente germinar. Por otro lado, se ha postulado que las semillas más pesadas presentan una menor probabilidad de dispersión, por lo que posiblemente, germinar más rápidamente les proporciona a las plántulas la ventaja de supervivencia, puesto que diversos autores mencionan que las semillas de mayor tamaño presentan mayor reserva de nutrimentos, lo que da a origen a plántulas más vigorosas, lo que representa una mayor capacidad de supervivencia y a su vez el establecimiento en la población.

Hipótesis 3: Esperamos que las plántulas originadas de las semillas más grandes sean más vigorosas y por lo tanto que presenten una mayor tasa de supervivencia que las plántulas obtenidas de semillas más pequeñas, debido a que las semillas grandes aportan una mayor cantidad de nutrimentos al embrión. Para el caso de *E. platyacanthus* no encontramos relación significativa entre la morfometría y el peso de las semillas y la supervivencia de las plántulas. Sin embargo, para el caso de *A. ornatum*, se encontró una correlación positiva muy débil,

entre el peso de las semillas y el tiempo de vida de las plántulas. En *E. platyacanthus* encontramos una correlación positiva entre el crecimiento (longitud del tallo) con el área y el peso de las semillas. En *A. ornatum*, esta relación fue significativa, solamente con relación al peso de las semillas.

En resumen, tanto *E. platyacanthus* y *A. ornatum* producen gran diversidad de semillas en cuanto a tamaño y peso, lo que probablemente podría deberse a distintas estrategias de dispersión.

El tamaño y el peso de las semillas de *E. platyacanthus* no afectan los procesos de germinación y de supervivencia de las plántulas. Sin embargo, semillas más grandes y más pesadas producen plántulas de mayor tamaño.

En *A. ornatum* el peso de las semillas afecta la germinación, la supervivencia y crecimiento de las plántulas.

Son pocos los trabajos en cactáceas sobre el efecto del tamaño y peso de las semillas y su relación sobre los procesos de germinación, supervivencia y crecimiento de las plántulas, así como su relación directa con las estrategias de reproducción de las plantas y la dispersión de sus semillas, por lo que se sugiere realizar estudios en este ámbito.

Aunque en este estudio no tuvo como objetivo ser comparativo entre una especie y otra, en el anexo de este trabajo se presentan cuadros comparativos que resumen lo encontrado en esta investigación entre las dos especies, en relación a la morfometría de las semillas, el proceso de germinación, de supervivencia y de crecimiento, como así también, si presenta o no un efecto el tamaño y el peso de las semillas en los procesos antes mencionados.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Arias S, U. Guzmán, M.C. Mandujano, M.S. Galván, y J. Golubov J. 2005. Las especies mexicanas de cactáceas en riesgo de extinción. I. Una comparación entre los listados NOM-059-ECOL-2001 (México), La lista Roja (UICN) y CITES. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 50: 100-125.
- Barthlott W. y G. Voit. 1979. Mikromorphologie der Samenschalen und Taxonomie der Cactaceae: Ein raster-elektronenmikroskopischer Überblick. *Plant Syst Evol*. 132: 205-229.
- Barthlott W., S. Porembski, M. Kluge, J. Hopke, L. Schmidt. 1997. *Selenicereus witti* (Cactaceae): an epiphyte adapted to Amazonian Igapó inundation forest. *Plant Systematics and Evolution*. 206: 175-185.
- Baskin C. y J.M. Baskin. 2014. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press. San Diego, CA. USA.
- Batygina T.B. y G.Y. Vinogradova. 2007. Phenomenon of polyembryony. Genetic heterogeneity of seeds. *Russian Journal of Developmental Biology* 38: 126–151.
- Bravo-Hollis H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991a. Las cactáceas de México Volumen I. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Bravo-Hollis H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991b. Las cactáceas de México Volumen II. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.

- Bravo-Hollis H. y L. Scheinvar. 1999. El interesante mundo de las cactáceas. *Fondo de Cultura y Economía*. México D. F.
- Brown J., N.J. Enright y B.P. Miller. 2003. Seed production and germination in two rare and three common co-occurring *Acacia* species from southeast Australia, *Austr. Ecol.* 28: 271-280.
- CONABIO. 2003. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, México. Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas.
- Elizondo-Elizondo J., J. Valdés-Reyna, S.A. Arias-Montes, L.S. Hatch. 1994. Micromorfología de las semillas de algunas cactáceas de la tribu CACTEAE (Cactaceae). *Cactáceas Suculentas Mexicanas*. 39: 59-67.
- Flores J. y E. Jurado. 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science*. 14:6, 911-916.
- Flores J., O. Briones, A. Flores y S. Sánchez-Colón. 2004. Effect of predation and solar exposure on the emergence and survival of desert seedlings of contrasting life-forms. *Journal of Arid Environments* 58: 1-18.
- Foster S.A y C.H Janson. 1985. The relationship between seed size and establishment conditions in tropical woody plants. *Ecology*. 66, 773–780.
- García-Campusano F y M. Collazo-Ortega. 2013. Crecimiento, desarrollo y Morfogénesis. En: Márquez-Guzmán J. M Collazo-Ortega, M. Martínez-Gordillo, A Orozco-Segovia y S Vázquez-Santana. *Biología de angiospermas*, UNAM, Facultad de ciencias. México.

- Godínez-Álvarez H., T. Valverde. y P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in the cactaceae. *The Botanical Review*. 69:173-203.
- Goettsch B., C. Hilton-Taylor, G. Cruz-Piñón, J.P. Duffy, A. Frances, H.M. Hernández y N.P. Taylor. 2015. High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants*. 1: 5-142.
- Guzmán U., S. Arias y P. Dávila. 2003. Catálogos de las cactáceas mexicanas. UNAM, CONABIO. México, 1ra edición.
- Jiménez-Sierra C. y J. Reyes. 2003. Las cactáceas de Metztitlán. En Armella M. A., L. Yáñez, and M. E. Sandoval, eds., Metztitlán: *Lugar de la Luna y las Maravillas*. SEMARNAT-UAM, México.
- Jiménez-Sierra C. y C. Jiménez-González. 2003. Heterogeneidad ambiental y distribución de cactáceas en una zona semiárida. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 48:4-17.
- Jiménez-Sierra C., M.C Mandujano y L.E Eguiarte. 2007. Are populations of the Candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus*) in the desert of Tehuacán, México at risk? Population projection matrix and life table response analysis. *Biological Conservation*. 135(2), 278-292.
- Jiménez-Sierra C. L. (2008). Estudios sobre la biología y demografía de *Echinocactus platyacanthus* Link et Otto en Zapotitlán de las Salinas, Puebla (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Universidad Nacional Autónoma de México).

- Jiménez-Sierra C. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria*. Vol. 12 (1): [Consultada: 6 febrero de 2016]. Disponible en Internet <http://www.revista.unam.mx/vol.12/num1/art04/index.html>
- Kikuzawa K. y H. Koyama. 1999. Scaling of soil water absorption by seeds: an experiment using seed analogues, *Seed Science Research*. 9: 171-178.
- Loza–Cornejo S. 2004. Características de semillas, germinación y desarrollo de plántulas de seis especies de *Pachycereae* (Cactaceae). Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 157 pp.
- Maguire J.D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor, *Crop Science*. 2: 176-177.
- Mandujano M.C., C. Montaña y L.E. Eguiarte.1996. Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in Chihuahuan Desert: Why are sexually derived recruitments so rare? *American Journal of Botany* 83:63-70.
- Mandujano M. C., A. Flores-Martínez, J. Golubov y E. Ezcurra. 2002. Spatial distribution of three globose cacti in relation to different nurse-plant canopies and bare areas. *The Southwestern Naturalist*. 47:162-168.
- Mandujano M.C., I. Carrillo-Ángeles C. Martínez-Peralta y J. Golubov. 2010. Reproductive Biology of Cactaceae. In K.G Ramawat [ed.], *Desert plant: Biology and Biotechnology*, 198-230. Springe-Verlag. Berlin, Germany.

- Márquez-Guzmán J. M Collazo-Ortega, M. Martínez-Gordillo, A. Orozco-Segovia y S. Vázquez-Santana (Eds). 2013. *Biología de angiospermas*. UNAM, Facultad de ciencias. México.
- Márquez-Guzmán J. 2013. Semilla. En: Márquez-Guzmán J. M. Collazo-Ortega, M. Martínez-Gordillo, A. Orozco-Segovia y S. Vázquez-Santana (Eds). *Biología de angiospermas*. UNAM, Facultad de ciencias. México.
- Milberg P., L. Anderson, C. Elverson, S. Regnér. 1996. Germination characteristics of seeds differing in mass. *Seed Science Research*. 6: 191-197.
- Moles A. T. y M. Westoby. 2004. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *Journal of Ecology*, 92:3, 372-383.
- Nobel P.S. 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. New York, NY: Cambridge University Press.
- NOM-059-ECOL-2011. 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. Diario Oficial de la Federación 30 Diciembre 2010, México.
- Orozco-Segovia A. y M. E. Sánchez-Coronado. 2013. La semilla. En: Márquez-Guzmán J. M. Collazo-Ortega, M. Martínez-Gordillo, A. Orozco-Segovia y S. Vázquez-Santana (Eds). *Biología de angiospermas*. UNAM, Facultad de ciencias. México.

- Orozco-Segovia A. y M. E. Sánchez-Coronado. 2013. La germinación. En: Márquez-Guzmán J. M. Collazo-Ortega, M. Martínez-Gordillo, A. Orozco-Segovia y S. Vázquez-Santana (Eds). *Biología de angiospermas*. UNAM, Facultad de ciencias. México.
- Orozco-Segovia A. y M. E. Sánchez-Coronado. 2013. Quiescencia y Latencia. En: Márquez-Guzmán J. M. Collazo-Ortega, M. Martínez-Gordillo, A. Orozco-Segovia y S. Vázquez-Santana (Eds). *Biología de angiospermas*. UNAM, Facultad de ciencias. México.
- Reyes, J. 2009. Conservación y restauración de cactáceas y otras plantas suculentas mexicanas. Manual práctico, SEMARNAT. CONAFOR.
- Roberts E.H. 1972. Dormancy: a factor affecting seed survival in the soil. In: Roberts, E.H.(Ed), *Viability of seed*, Chapman y Hall, London.
- Rojas-Aréchiga M. y C. Vázquez-Yañes. 2000. Cactus seed germination: a Review. *Journal of Arid Environments*. 44: 85-104.
- Romo-Campos L., J. L. Flores-Flores, J. Flores, y G. Álvarez-Fuentes. 2010. Seed germination of *Opuntia* species from an aridity gradient in Central Mexico. *J Prof Assoc Cactus*. 12: 1-18.
- Rosas-López U y M. Collazo-Ortega 2004. Conditions for the germination and the early growth of seedlings of *Polaskia chichipe* (Goss.) Backeberg and *Echinocactus platyacanthus* Link and Otto fa. *grandis* (Rose) Bravo-Hollis (Cactaceae). *Phyton* 213–220.

- Sánchez-Salas J., J. Flores y E. Martínez-García. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire (Cactaceae), especie amenazada en extinción. *Interciencia*. 31(005): 371-375.
- Sánchez-Salas J., E. Jurado. J. Flores, E. Estrada-Castillón y G. Muro-Pérez. 2012. Desert species adapted for dispersal and germination during floods: Experimental evidence in two *Astrophytum* species (Cactaceae) *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 207: 707-711.
- Sánchez-Salas J., E. Jurado, J. Flores, G. Muro-Pérez y E. Estrada-Castillón. 2013. Adaptaciones inusuales en semillas y plántulas del desierto: mecanismos para su germinación y dispersión. *Bol. Soc. Latín. Carib. Cact. Suc.*10: 19-23.
- Sánchez-Salas J., J. Flores, G. Muro-Pérez, S. Arias-Montes, E. Jurado. 2015. Morfometría de semillas en la cactácea amenazada de extinción *Astrophytum myriostigma* Lemaire. *Polibotanica*. 39. 119-131.
- Sosa-Pivatto M., G. Funes, A. E. Ferreras y D. E. Gurvich, 2014. Seed mass, germination and seedling traits for some central Argentinian cacti. *Seed Science Research*. 24: 71-77.
- Travelbymexico.com
- Teketay D y A. Granstrom. 1997. Germination ecology of forest species from the highlands of Ethiopia. *Journal Tropical Ecology*. 13: 805-831.

- Tungate KD., D.J. Susko y T.W Rufty. 2002. Reproduction and offspring competitiveness of *Senna obtusifolia* are influenced by nutrient availability, *New Phytologist*. 154: 661-669.
- Valiente-Banuet A., A. Bolongaro-Crevenna, O. Briones, E. Ezcurra, M. Rosas, H. Núñez, G. Barnard y E. Vázquez. 1991a. Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in semi-arid environment in central Mexico. *Journal for Vegetation Science*. 2:15 -20pp.
- Valiente-Banuet A., F. Vite y A. Zavala-Hurtado. 1991b. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Vegetation Science* 2:11-14.
- Zar. 1999, J.H. *Biostatistical Analysis*. 4th ed Prentice Hall, New Jersey. USA.

11. ANEXO

Resumen de las características de las semillas y su relación con los procesos de germinación, supervivencia y crecimiento de las plántulas de las especies estudiadas.

En la tabla 3.1, se muestran las características de las semillas de ambas especies y los parámetros de germinación, supervivencia y crecimiento de las plántulas.

En la tabla 3.2, se encuentran los resultados de las relaciones entre las variables de tamaño y peso de las semillas y las variables de germinación, supervivencia y crecimiento de las plántulas.

Tabla 3.1. Características morfométricas de las semillas, peso, germinación y de las plántulas de las especies estudiadas. n/s= no significativa.

Semillas	<i>E. platyacanthus</i>		<i>A. ornatum</i>	
Forma	Ovoide		Navicular	
	\bar{x}	DE	\bar{x}	DE
Área (mm ²)	4.12 n/s	0.48	4.3 n/s	0.61
Peso (mm)	3.2 n/s	0.04	2.05 n/s	0.27
Germinación				
Inicio (días)	6		2	
Termino (días)	40		22	
Tiempo medio de germinación (días)	16		5	
Porcentaje final de germinación (%)	89.25		89.13	
Plántulas a los seis meses				
Porcentaje de supervivencia (%)	56		58	
	\bar{x}	DE	\bar{x}	DE
Longitud del tallo (mm)	11	2.26	8.3	1.58
Diámetro del tallo (mm)	3.7	0.86	3.8	0.51
Número de areolas	5	2	5	1.65

Tabla 3.2. Relación entre las variables de tamaño y peso de las semillas con las variables de germinación, de supervivencia y de crecimiento de las plántulas para cada especie.

Correlaciones	<i>E. platyacanthus</i>	<i>A. ornatum</i>
Área de la semilla vs Probabilidad de germinación	No	No
Peso de la semilla vs. Probabilidad de germinación	No	Si
Área de la semilla vs. Tiempo de inicio de la germinación	No	No
Peso de la semilla vs. Tiempo de vida de las plántulas	No	Si
Tiempo de inicio de la germinación vs. supervivencia final	No	No
Área de la semilla vs. Longitud de la plántula	Si	No
Peso de la semilla vs. Longitud de la plántula	Si	Si