

Universidad Nacional de Córdoba  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Carrera de Ciencias Biológicas  
Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal  
2017

TESINA DE GRADO

¿Existen diferencias en las características reproductivas entre individuos de una misma especie? Evidencias en *Wigginsia sessiliflora* (Hook.)

D.M. Porter (Cactaceae)



Tesinista: Ceballos, Celeste Inés

Firma: .....

Director: Dr. Gurvich, Diego Ezequiel

Firma: .....

Codirectora: Dra. Las Peñas, María Laura

Firma: .....

**¿Existen diferencias en las características reproductivas entre individuos de una misma especie? Evidencias en *Wigginsia sessiliflora* (Hook.) D.M. Porter (Cactaceae).**

**Tribunal Examinador**

❖ Nombre y Apellido: .....

Firma: .....

❖ Nombre y Apellido: .....

Firma: .....

❖ Nombre y Apellido: .....

Firma: .....

❖ Calificación: .....

❖ Fecha: .....

## AGRADECIMIENTOS

- A mi padres, Cecilia y Fabián quienes, junto a mi hermano Nicolás, son un pilar fundamental en mi vida y sin su apoyo nada de esto podría haber sido posible.
- A mi director, Dr. Diego E. Gurvich por permitirme ser su tesinista, estar dispuesto a enseñarme, acompañarme y aconsejarme en esta etapa final de aprendizaje y formación.
- A mi codirectora, Dra. M. Laura Las Peñas por sumarse a este trabajo, estar presente a lo largo de este proceso y por todas sus enseñanzas.
- A Cecilia Ferrero, quien me asesoró en el uso de MLG y MLGM.
- Al equipo que trabaja en los Laboratorios de Ecología y Biología Molecular del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV), CONICET – UNC por colaborar durante el muestreo y experimentación.
- A mis amigos más cercanos (Flor, Ana, Lau, Diego, Marcos, Alfredo y Maxi) por estar presentes siempre que los necesité.
- A mis amigas de la facultad (“Las pi”) porque han sido incondicionales a lo largo de todos estos años de carrera.
- Al resto de mi familia (Abuelas, tíos y padrinos, primos) porque siempre han estado pendientes de mí.
- Compañeros del colegio, natación y facultad, porque de una manera u otra hemos compartido momentos y de todos ellos aprendí algo.
- Al tribunal examinador por sus correcciones y sugerencias.
- A la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales por ser la casa de estudios que me brindó la formación académica.

- Al Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal por la asistencia como institución para poder llevar a cabo mi trabajo final de grado (instalaciones, equipamiento y personal capacitado).

¡A todos muchas gracias!

---

## **INDICE**

---

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>7</b>
<b>Área de Estudio.....</b>	<b>7</b>
<b>Recolección de semillas .....</b>	<b>7</b>
<b>Peso de semillas .....</b>	<b>8</b>
<b>Germinación .....</b>	<b>8</b>
<b>Análisis estadístico.....</b>	<b>9</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>26</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>27</b>

---

## **RESUMEN**

---

La familia Cactaceae tiene especies cuyo crecimiento es lento por lo que la germinación y el establecimiento de las plántulas conforman las fases críticas de su ciclo de vida. Así mismo la identidad de las plantas podría tener un efecto en las características reproductivas de la especie, por lo que el objetivo principal de este estudio fue analizar si existe una relación entre el tamaño de las plantas, la producción y el peso de semillas, la germinación y tamaño de las plántulas en una población de *Wigginsia sessiliflora* (Hook.) D.M. Porter. Esta especie globosa-deprimida se distribuye en Uruguay y Argentina, y en Córdoba la especie se encuentra en las Sierras del Norte. Se seleccionaron 179 individuos a los que se les midió su diámetro. Adicionalmente se cuantificó el número de frutos, cantidad y peso de semillas, porcentaje y velocidad de germinación y alto, ancho e índice de forma de plántulas para cada uno de los individuos. Se encontró que el tamaño de las plantas madres se relaciona significativamente con tres de las variables respuesta cuantificadas; número de frutos y peso de semilla (a través de una relación unimodal, de manera que las plantas de tamaños intermedios tienen la mayor producción de frutos y las semillas más pesadas) y alto de plántula (relación lineal, las plantas más grandes producen plántulas más altas que aquellos individuos más pequeños). Por otro lado, se encontró una gran variabilidad entre los individuos, incluso dentro de una misma clase de tamaño, en relación a todas las variables analizadas. Los resultados aquí expuestos indican que la identidad de las plantas es una característica importante en relación a las características reproductivas de la progenie. Estos resultados tienen implicancias tanto en relación a la dinámica poblacional de la especie, cuanto a la importancia de tener en cuenta la identidad de los individuos en mediciones de las características reproductivas medidas en el presente estudio.

Palabras claves: *Wigginsia sessiliflora*, Variabilidad intraespecífica, germinación, plántulas, Córdoba.

---

## INTRODUCCIÓN

---

Comprender los factores que influyen en las características reproductivas de las especies es de gran importancia para comprender su ecología (Arteaga, 2007; Gómez Jiménez *et al.*, 2010; Huerta-Paniagua *et al.*, 2011). La familia Cactaceae presenta plantas de crecimiento lento por lo que la germinación y el establecimiento de las plántulas conforman las fases críticas del ciclo de vida (Bowers & Pierson, 2001; Contreras & Valverde, 2002; Gurvich *et al.*, 2008; Sosa Pivatto *et al.*, 2014).

La mayor parte de los estudios reproductivos se han realizado comparando especies o poblaciones (Gurvich *et al.*, 2008, 2017; Hernández-Verdugo *et al.*, 2010; Bárcenas-Argüello *et al.*, 2013; Bauk *et al.*, 2017) sin tener en cuenta la variabilidad que puede existir entre individuos de una misma población (Ayala-Cordero *et al.*, 2004; Flores & Jurado, 2011). Comprender si existen diferencias en las características reproductivas entre individuos de una misma población es importante tanto para comprender aspectos relacionados con la dinámica poblacional de las especies (Flores Martínez *et al.*, 2010) como desde un punto de vista metodológico. De encontrarse diferencias importantes entre los individuos, se debería replantear la manera de realizar este tipo de estudios.

El tamaño de las plantas madres podría ser un factor importante que afecte las características reproductivas ya que puede incidir sobre el número y la calidad de las semillas, en términos de tamaño/peso y también de germinación. Respecto a esto, Valfré-Giorello *et al.* (2012) estudiaron patrones de germinación en la especie arbórea *Sebastiania commersoniana* (Euphorbiaceae) en dos poblaciones de la provincia de Córdoba, pero manteniendo la identidad de las plantas madres (a quienes midieron el tamaño). Encontraron que el tamaño de las plantas no se relacionó con el peso de las semillas, y contrariamente a lo que esperaban, las semillas de plantas más pequeñas presentaron mayor germinación. Así mismo, Arteaga (2007), quien trabajó con semillas de *Vismia glaziovii* (Hypericaceae) provenientes de sólo 18 árboles, no encontró diferencias en el peso de las semillas entre los individuos.

Por su parte, Gómez Jiménez *et al.* (2010) estudiaron las características reproductivas y la germinación del *Pinus leiophylla* (Pinaceae) y determinaron que existen diferencias significativas entre árboles debido a variaciones genéticas entre los individuos (Hart & Clark, 2007). Al momento no existen estudios que hayan analizado este tipo de relaciones en cactáceas.

El peso de las semillas, sin atender a la identidad de la planta madre, es importante ya que se ha observado que se relaciona con caracteres germinativos tales como el porcentaje de germinación y la velocidad de germinación. Ayala-Cordero *et al.* (2004), estudiando un pool de semillas de una población de la especie *Stenocereus beneckeii* (Cactaceae), detectaron una correlación positiva entre el tamaño del fruto y el número de semillas, pero no así entre el tamaño del fruto con el peso de las semillas. Igualmente, los porcentajes de germinación fueron más altos en las semillas con valores intermedios de peso; resultados que fueron similares a los expresados por Baloch *et al.* (2001) para la especie *Abutilon theophrasti* (Malvaceae), quienes también utilizaron un pool de semillas provenientes de una sola población agrícola. Estos resultados podrían asociarse al hecho de que el peso intermedio presenta altas tasas de germinación producto de un equilibrio entre la madurez fisiológica y la cantidad de reservas de la semilla, en otras palabras, las semillas pequeñas (más livianas) presentan embriones no desarrollados en su totalidad al momento de la dispersión y de esta manera son capaces de dispersarse y sobrevivir como parte del banco de semillas mientras que las semillas más grandes (más pesadas) pueden asegurar el establecimiento en el momento inmediato después de la dispersión ya que poseen mayores reservas metabólicas incrementando las posibilidades de supervivencia de la plántula, por lo tanto, las semillas de pesos intermedios presentarían una ventaja competitiva al compensar ambos procesos. (Ayala-Cordero *et al.*, 2004). Huerta-Paniagua *et al.* (2011) describieron una relación positiva entre el peso de la semilla y el porcentaje de germinación para la especie *Quercus rugosa* (Fagaceae) a través del uso de un pool de semillas de 4 árboles sanos. Los resultados expresados por Huerta-Paniagua *et al.* (2011) se corresponden con estudios en otras especies como *Cecropia obtusifolia* (Cecropiaceae) en la cual las semillas, obtenidas de frutos de 10 árboles, de mayor peso exhibieron dos veces más germinación que aquellas semillas de

menor peso (Tenorio *et al.*, 2008). En el caso de *Astrophytum myriostigma* (Cactaceae endémica del desierto chihuahuense de México) se ha reportado una relación negativa entre el peso de semilla y velocidad de germinación, atribuyéndose este resultado a que las semillas más pesadas requieren más tiempo para hidratarse (Sánchez-Salas *et al.*, 2006). Los resultados encontrados en *Astrophytum myriostigma* coinciden con lo descrito por otros autores para especies de árboles, arbustos, hierbas y trepadoras (Teketay & Granstrom, 1997; Gomes *et al.*, 2001). Por el contrario, Arteaga (2007), quien trabajó con semillas de *Vismia glaziovii* (Hypericaceae) no encontró relación entre el peso de la semilla y la velocidad de germinación, por lo que indicó que el grado de desarrollo del embrión tendría mayor efecto sobre la velocidad de germinación. Sosa Pivatto *et al.* (2014) estudiaron 17 especies de cactus de la subfamilia Cactoideae y no detectaron relación entre el peso de la semilla y el porcentaje y la velocidad de germinación, lo que sugiere que existen otros factores diferentes que explicarían los resultados observados.

El tamaño de la plántula es una característica importante que puede afectar las probabilidades de supervivencia y establecimiento de las mismas (Leishmann *et al.*, 2000). Al realizar una revisión bibliográfica sobre el peso de las semillas aplicado a diferentes especies de múltiples continentes, Leishman *et al.*, (2000) describieron una relación positiva entre el peso de la semilla y el vigor y supervivencia de plántulas, estableciendo que aquellas semillas de mayor peso presentan plántulas con tamaños iniciales mayores respecto a las de menor peso; confiriéndoles mayores probabilidades de supervivencia porque contienen una mayor proporción de su masa como reserva. En Cactaceae se ha observado que el peso de las semillas de diferentes especies determina el tamaño de las plántulas (Sosa Pivatto *et al.*, 2014). A nivel intraespecífico, Bauk *et al.* (2015) estudiando diferentes poblaciones altitudinales en *Gymnocalycium monvillei* (Cactaceae) encontraron que, si bien existen diferencias en el peso de las semillas entre las poblaciones altitudinales, ésta no se relacionó con el tamaño de las plántulas.

A partir de los antecedentes expuestos el objetivo de este estudio es analizar si existe una relación entre el tamaño de las plantas, la producción y el

peso de semillas, la germinación y tamaño de las plántulas en una población de *Wigginsia sessiliflora* (Hook.) D.M. Porter.

El género *Wigginsia* comprende 7 especies (Kiesling *et al.*, 2008) y se caracteriza por presentar plantas de tallos simples y en forma de discos que sobresalen poco del suelo (globoso- deprimidas); sus flores, por fuera cubiertas por pelos blancos y cerdas rojizas, nacen en el disco central piloso, tienen un color amarillo y el estigma es de color rojo púrpura. Sus frutos son rosados y se hacen visibles en el centro piloso cuando maduran (Kiesling & Ferrari, 2005). *Wigginsia sessiliflora* (Figura 1) es una especie que presenta una distribución disyunta. En Argentina se encuentra en ambientes serranos (Sierra de la Ventana en Buenos Aires; Sierras del Norte en Córdoba, Sierras de Lihuel Calel en La Pampa) y en Uruguay (Kiesling *et al.*, 2008). En Córdoba, la especie se encuentra en afloramientos rocosos o pastizales con suelos someros (Gurvich *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Planta de *Wigginsia sessiliflora*. La escala representa 1cm.

---

## OBJETIVOS

---

### **Objetivo General**

Analizar en individuos de una población de *Wigginsia sessiliflora* si existen relaciones entre el tamaño de plantas, la producción, peso y germinación de semillas, y el tamaño de las plántulas.

### **Objetivos Específicos**

- Caracterizar el tamaño (diámetro) de individuos de una población de *W. sessiliflora*.
- Medir en cada individuo la producción total de semillas y el peso de las mismas.
- Cuantificar la germinación total (%) y la velocidad de germinación ( $t_{50}$ ) para cada individuo.
- Determinar el tamaño (ancho y alto) de las plántulas de cada individuo.
- Analizar si existe relación entre el tamaño de los individuos y el número de frutos, la producción y peso de semillas, el porcentaje de germinación, la velocidad de germinación, y el alto y ancho de las plántulas.
- Indagar si existen relaciones entre las diferentes variables (número de frutos, la producción y peso de semillas, el porcentaje de germinación, la velocidad de germinación, y el alto y ancho de las plántulas) entre sí.

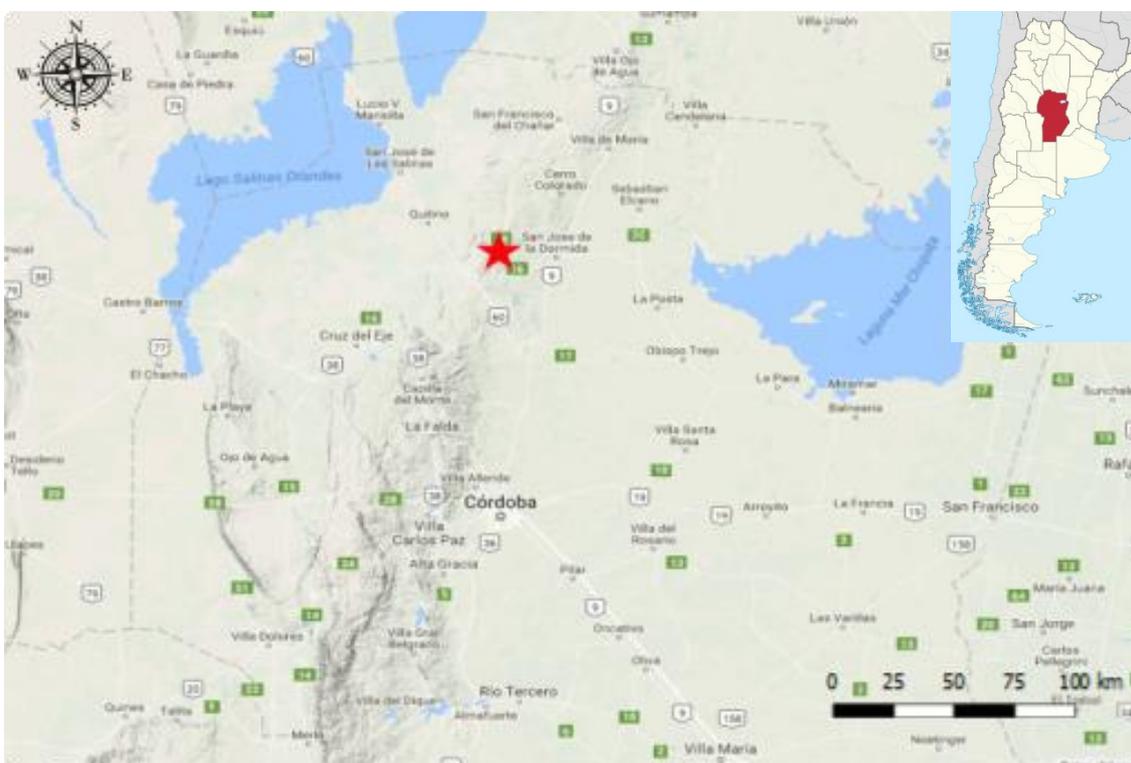
---

## MATERIALES Y MÉTODOS

---

### Área de Estudio

La población de *W. sessiliflora* estudiada se localiza en la Ruta Provincial 18 (30°20' S, 64° 12' O) entre las localidades de Alto Verde y el cruce con la Ruta Provincial 16 (que conecta las localidades de San José de la Dormida, Villa Tulumba y Deán Funes). El sitio se encuentra a una altitud aproximada de 900 m s.n.m. (Figura 2).



**Figura 2.** Sitio de muestreo de *Wigginsia sessiliflora* en la provincia de Córdoba, Argentina, representado con la estrella roja.

### Recolección de semillas y medición del tamaño de los individuos

Durante los meses de Marzo y Abril, época de fructificación de la especie, se colectaron los frutos de *W. sessiliflora* de un total de 179 Individuos. La selección de individuos se basó en que esté representado todo el rango de tamaños de individuos sexualmente maduros. En cada individuo se registró su diámetro con un calibre y se colectaron todos los frutos presentes, cuyo número fue registrado. También se registró el diámetro de individuos que no presentaron

frutos. Los frutos se almacenaron en bolsas de papel a temperatura ambiente (25°C) hasta su uso en el laboratorio; allí se extrajeron las semillas de los frutos y limpiaron de restos que pudieran tener adheridos sobre la superficie.

### **Peso de semillas**

Se seleccionaron al azar 50 semillas por cada individuo. Luego se pesaron en 5 grupos de 10 semillas en una balanza analítica y se calculó el valor de peso medio por semilla (mg). Se midieron de a 10 semillas debido al bajo peso de cada semilla individual.

### **Germinación**

Por individuo se pusieron a germinar 60 semillas, las que se dividieron en tres grupos de 20. Cada grupo se dispuso en cápsulas de Petri sobre papel de filtro y se regaron con agua destilada y sellaron con papel film para controlar las condiciones de incubación. Las mismas se colocaron en una cámara de germinación en condiciones controladas de 12 horas de luz a 25°C y 12 horas de oscuridad a 25°C.

Durante 30 días se revisaron las cápsulas de Petri cada 48 hs, registrando el número de plántulas emergidas. La protrusión de la radícula se utilizó como indicadora de la germinación.

A partir de esta información se calculó el porcentaje de germinación y la velocidad de germinación ( $t_{50}$ ). Se define a esta última como el tiempo (medido en días) transcurrido para que germine el 50% de las semillas colocadas a germinar.

La velocidad de germinación se calculó sólo en aquellas replicas que tuvieron porcentajes de germinación  $\geq 20\%$  (Gurvich *et al.*, 2017) con la siguiente fórmula:

$$T_{50} = \frac{\sum n_i t_i}{\sum n_i}$$

En la cual:  $n_i$  es el número de semillas recién germinadas en el tiempo  $i$  y  $t_i$  es el período transcurrido desde el comienzo de la prueba de germinación, expresada en número de días.

Tres semanas luego de la germinación se midieron en 5 plántulas de cada individuo su alto y ancho (mm) siguiendo el procedimiento descrito en Sosa Pivatto *et al.* (2014). Las plántulas fueron fotografiadas mediante una lupa Olympus SZX16 y Cámara Olympus DP71 COLOR y procesadas con el software ImageJ (Image Processing and Analysis in Java; desarrollado por: National Institutes of Health, disponible en el sitio <http://rsb.info.nih.gov/ij/>). A partir de estos datos se calculó el índice de forma para cada plántula (relación alto/ancho), el valor de 1 indica plántulas esféricas o globosas y si el cociente es mayor a 1 indica plántulas cilíndricas (Sosa Pivatto *et al.*, 2014).

### **Análisis estadístico**

Los análisis estadísticos se realizaron con el software Infostat (versión 2013, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) en conjunto con R (versión 3.4.0, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Para analizar la relación entre el tamaño de los individuos y las variables dependientes se realizaron regresiones lineales. Se respetaron las distribuciones originales de las variables respuesta, con excepción del número de semillas que se normalizó utilizando el logaritmo en base dos. Las variables número de frutos y porcentaje de germinación se analizaron a través de modelos lineales generalizados mixtos (MLGM) y se utilizó la distribución de Poisson y quasibinomial respectivamente; mientras que las demás (número y peso de semillas, velocidad de germinación, altura y ancho de plántula) se estudiaron mediante los modelos lineales generales y mixtos (MLG).

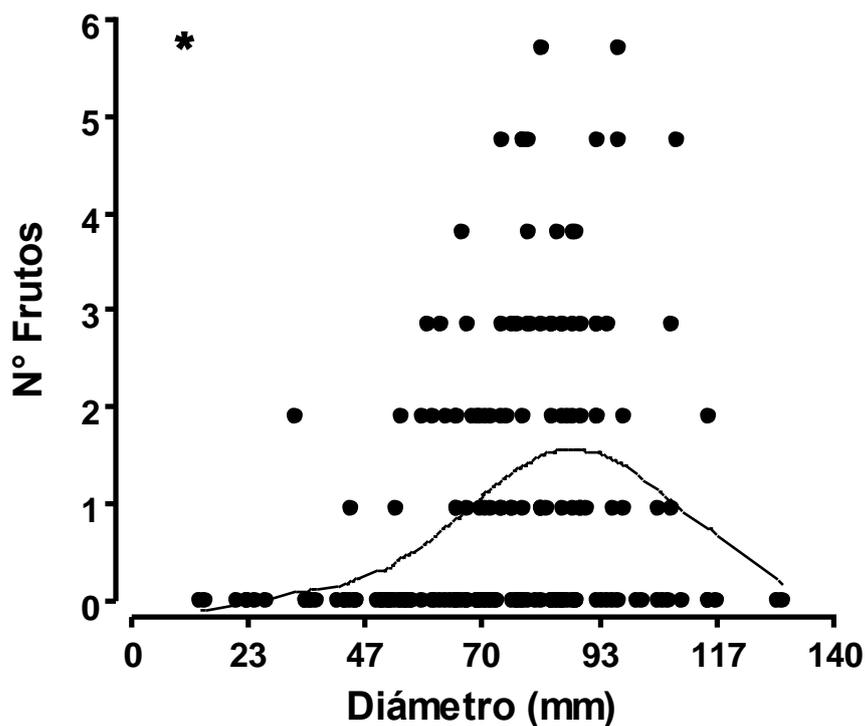
---

## RESULTADOS

---

Las plantas muestreadas presentaron valores de diámetro de entre 14 mm a 130 mm, con una media de  $74,12 \pm 21,43$  mm. Sin embargo, el tamaño de individuos a partir del cual se observó fructificación fue de 44 mm.

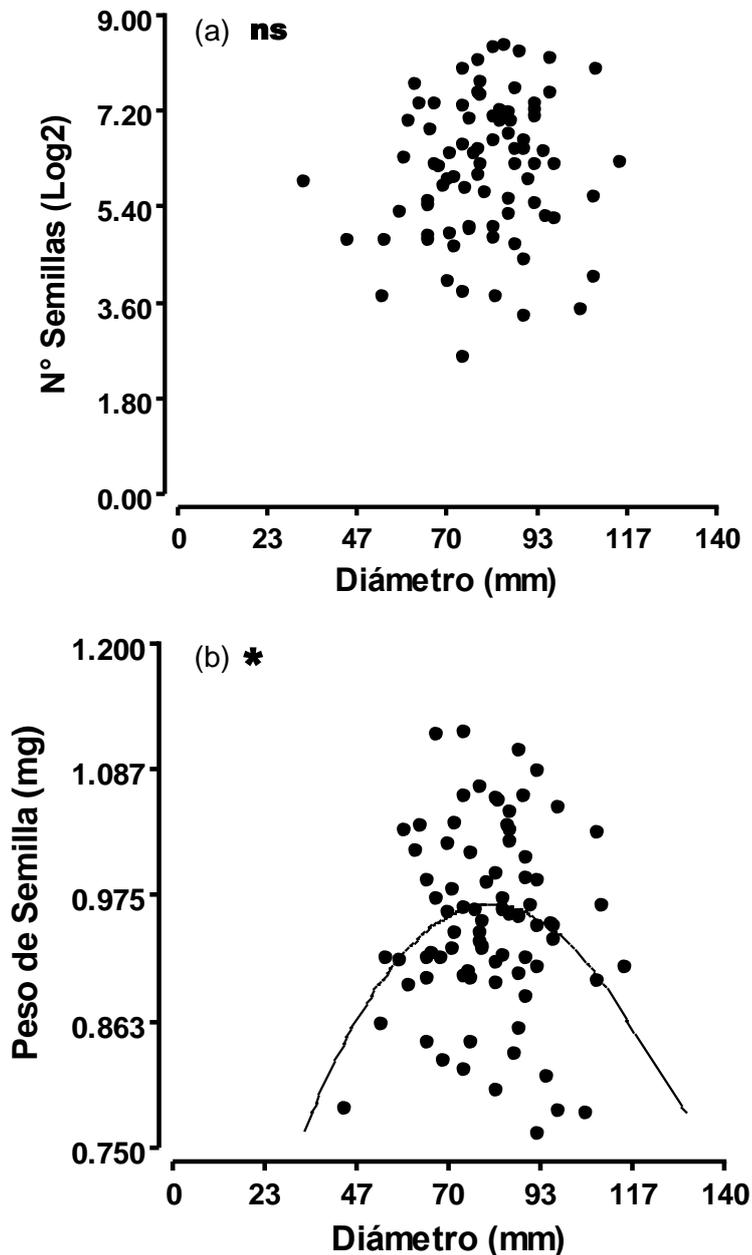
El número de frutos encontrados por individuo (mayores de 44 mm) fluctuó entre 0 y 6 con una media de  $1,09 \pm 1,50$ . El mismo se relacionó de manera significativa al tamaño de los individuos de manera que plantas madres con valores de diámetro intermedio presentaron la mayor cantidad de frutos, disminuyendo hacia ambos extremos de tamaños ( $\beta_2 = -1,1E-03$ ;  $P < 0,0001$ , Figura 3).



**Figura 3.** Relación entre el diámetro de los individuos y el número de frutos en *W. sessiliflora* (N = 179; dev/gl = 1,17; F = 26,52). \*,  $p \leq 0,05$ .

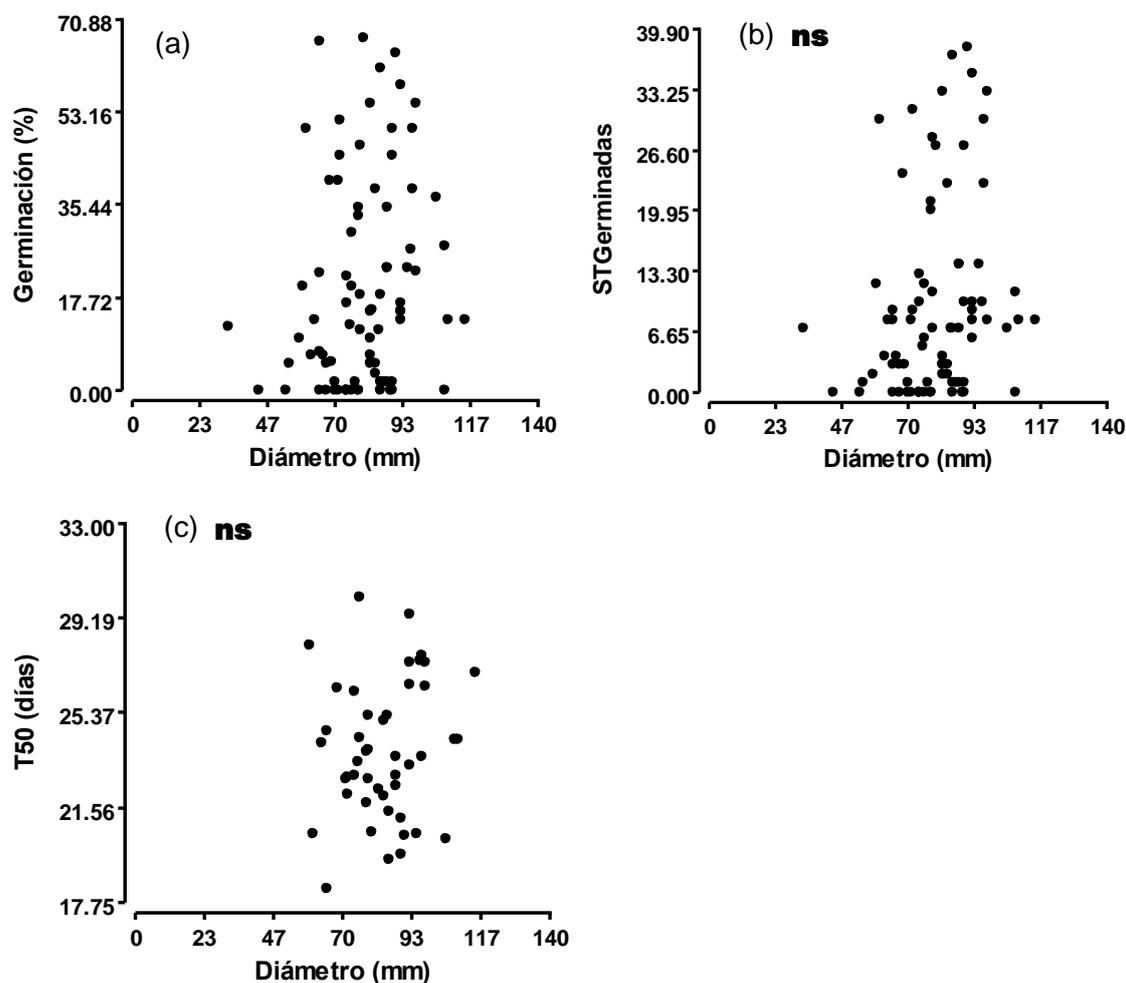
El número de semillas encontrado por planta madre fluctuó entre 6 y 348 con una media de  $98,61 \pm 81,19$ . No se encontró una relación significativa entre esta variable y el diámetro de las plantas ( $P = 0,2478$ ; Figura 4a).

El peso de las semillas adquirió valores entre 0,76 y 1,21 mg con una media de  $0,95 \pm 0,09$  mg. Se encontró una relación significativa entre esta variable y el tamaño de la planta madre (Figura 4b), en la cual los individuos de diámetros intermedios presentaron semillas con un peso mayor que aquellos con valores de tamaño extremos ( $\beta_2 = -8,4E-05$ ,  $P = 0,0217$ ).



**Figura 4.** Relación entre el diámetro de los individuos y (a) número de semillas, expresado en logaritmo de base dos, ( $N = 82$ ;  $F = 1,36$ ;  $R^2 = 0,02$ ) y (b) peso de semillas (mg), ( $N = 82$ ;  $F = 5,49$ ;  $R^2 = 0,06$ ) en *W. sessiliflora*. \*,  $p \leq 0,05$ ; **ns**, no significativo.

El porcentaje de germinación fluctuó entre 0 y 68 % con una media de  $19,89 \pm 19,74$  % (Figura 5a y 5b); las primeras semillas comenzaron a germinar entre los 5 y 9 días post siembra. El mayor número de semillas germinadas se contabilizó entre los días 17 y 18 después de ser sembradas. En el caso de la velocidad de germinación ( $T_{50}$ ), ésta varió entre 18,33 y 30,00 con una media de  $23,82 \pm 2,75$  (Figura 5c). Ninguna de estas variables se relacionó de manera significativa con el diámetro de las plantas ( $P = 0,0768$  y  $0,3588$  respectivamente).

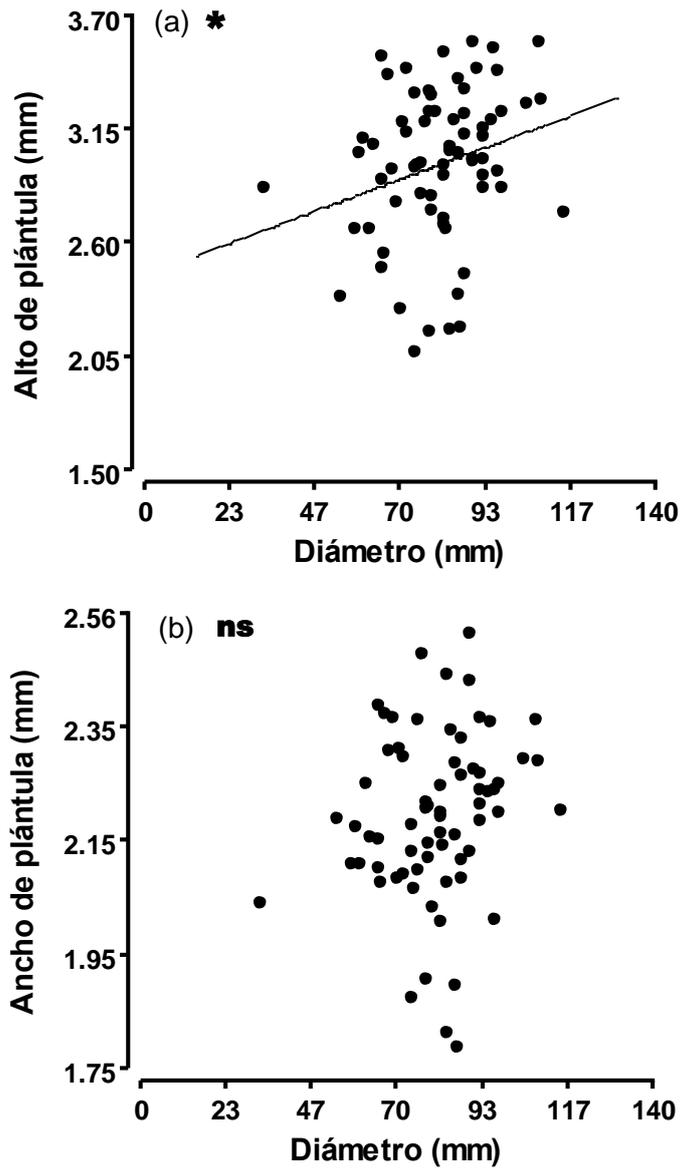


**Figura 5.** Relaciones entre el diámetro de las plantas madre y (a) porcentaje de germinación, (b) semillas totales germinadas por individuo usado para la implementación del MLGM ( $N = 82$ ;  $dev/gl = 11,41$ ;  $F = 3,21$ ) y (c) velocidad de

germinación ( $T_{50}$ ;  $N = 46$ ;  $R^2 = 0,02$ ;  $F = 0,86$ ) en *W. sessiliflora*. \*,  $p \leq 0,05$ ; **ns**, no significativo.

El alto de las plántulas tomó valores entre 2,07 y 3,58 mm con una media de  $2,98 \pm 0,37$  mm (Figura 6a). Se encontró una relación significativa entre esta variable y el diámetro de las plantas madre, por lo que plantas madres más grandes, presentaron plántulas con alturas mayores que aquellas más pequeñas ( $\beta_1 = 0,01$ ,  $P = 0,0319$ ). La variabilidad observada en el tamaño (alto) de las mismas se puede observar en la figura 7.

El ancho de las plántulas adquirió valores entre 1,78 y 2,52 mm con una media de  $2,19 \pm 0,15$  mm. En este caso no se encontró una relación significativa con el diámetro de las plantas madre ( $P = 0,1320$ ; Figura 6b).

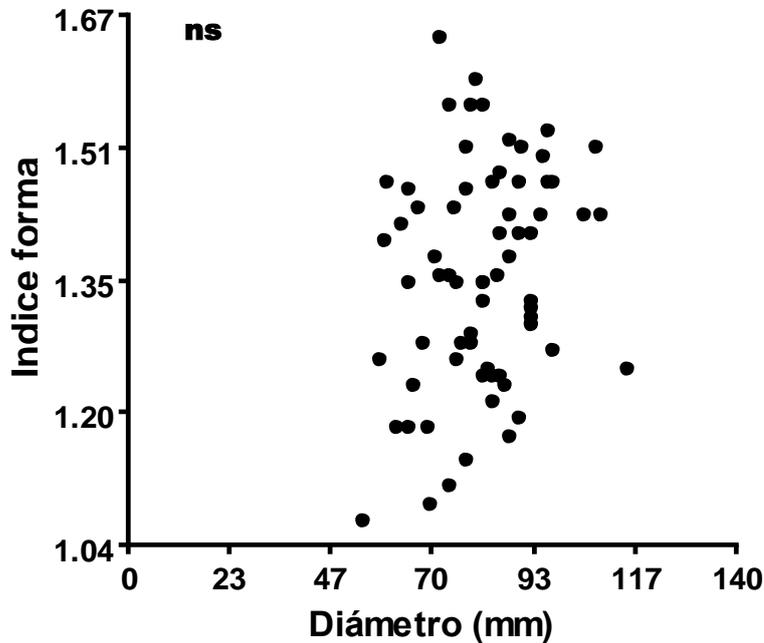


**Figura 6.** Relaciones entre diámetro de plantas madre y (a) altura de la plántula (N = 68;  $R^2 = 0,07$ ;  $F = 4,81$ ) y (b) ancho de la plántula (N = 68;  $R^2 = 0,02$ ;  $F = 1,42$ ) en *W. sessiliflora*. \*,  $p \leq 0,05$ ; ns, no significativo.



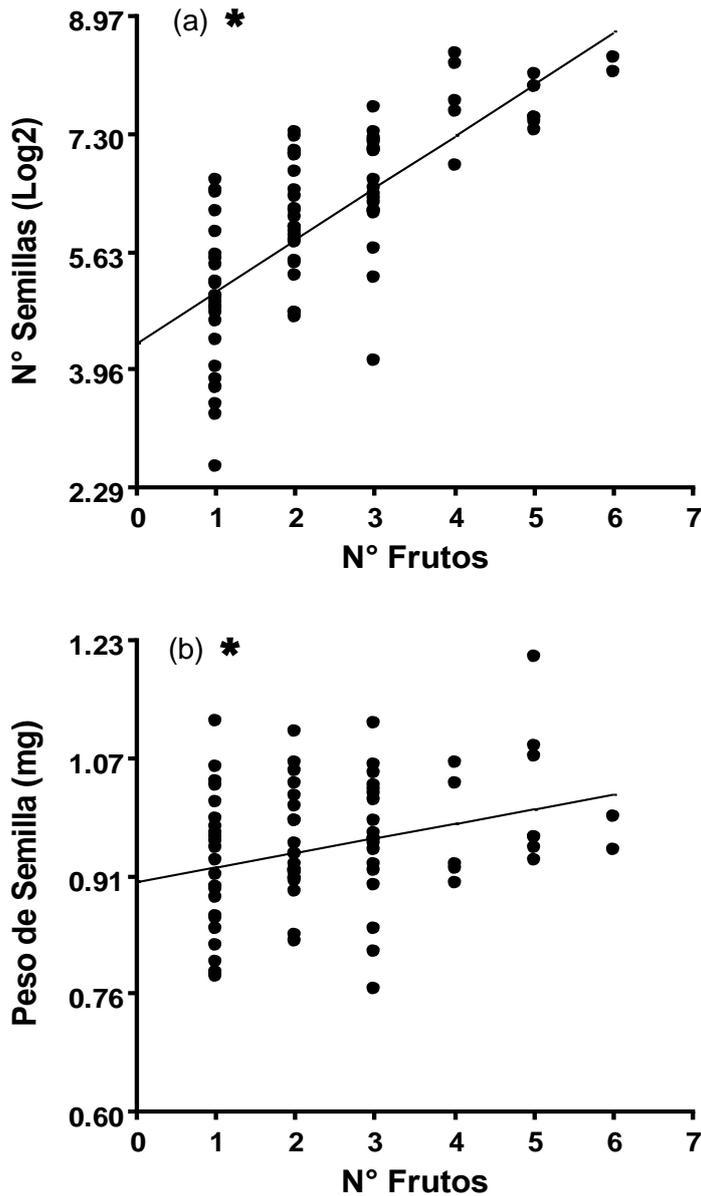
**Figura 7.** Fotografías de plántulas típicas de 35 días de *W. sessiliflora*. La escala representa 1 mm.

El cociente entre alto y ancho de plántula (índice de forma) adquirió valores entre 1,07 y 1,64 con una media de  $1,36 \pm 0,13$ . No se encontró relación significativa con el tamaño de las plantas madre ( $P = 0,0567$ ; Figura 8).



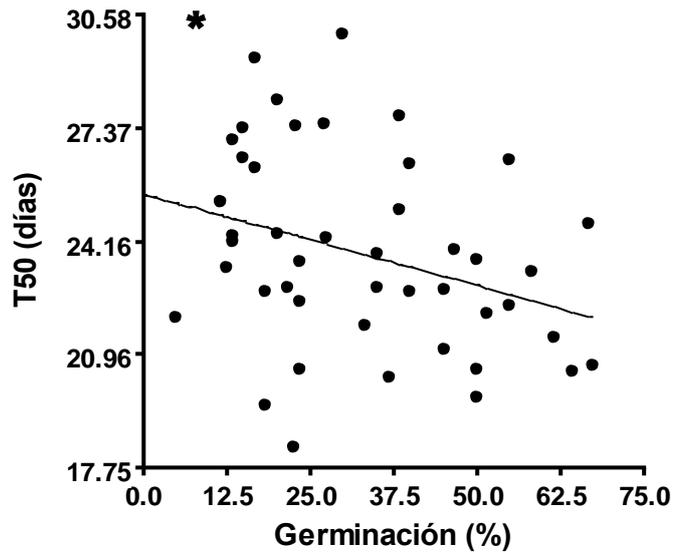
**Figura 8.** Relación entre el diámetro de las plantas madre y el índice de forma ( $N = 68$ ;  $R^2 = 0,05$ ;  $F = 3,76$ ) en *W. sessiliflora*. ns, no significativo.

Con respecto a las relaciones entre las variables entre sí, el número de semillas se relacionó de manera significativa y positiva con el número de frutos de manera que, individuos que presentan mayor cantidad de frutos presentan un mayor número de semillas ( $\beta_1 = 0,73$ ;  $p < 0,0001$ ; Figura 9a). Así mismo, Se encontró una relación significativa y positiva entre el peso de las semillas y el número de frutos, lo que quiere decir que los individuos que producen mayor número de frutos presentan semillas más pesadas ( $\beta_1 = 0,02$ ;  $P = 0,0053$ ; Figura 9b). Cabe destacar que ambas variables se relacionaron con el tamaño de las plantas (Figuras 3 y 4b).



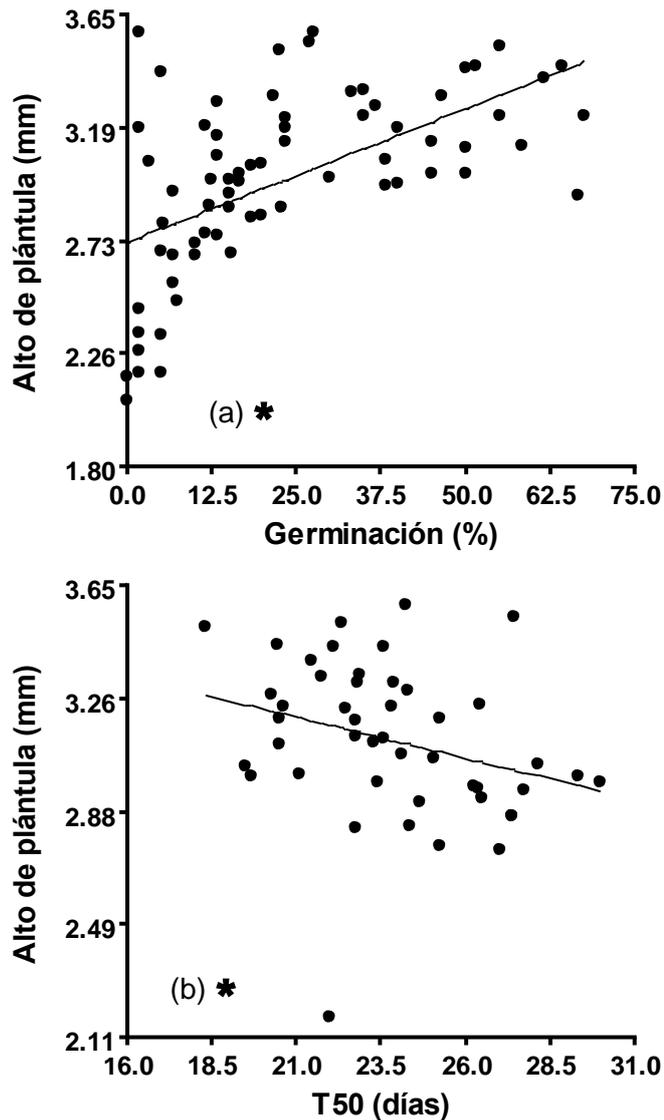
**Figura 9.** Relaciones entre el número de frutos y (a) el número de semillas expresado en logaritmo de base dos ( $N = 82$ ;  $F = 101,69$ ;  $R^2 = 0,56$ ) y (b) el peso de semilla ( $N = 82$ ;  $R^2 = 0,09$ ;  $F = 8,21$ ) en *W. sessiliflora*. \*,  $p \leq 0,05$ .

La velocidad y el porcentaje de germinación se relacionaron significativamente y de manera negativa, lo cual implica que los individuos que presentan mayores porcentajes de germinación tienen semillas que germinan rápidamente con respecto a los individuos con bajos valores de germinación ( $\beta_1 = -0,05$ ;  $p = 0,0266$ ; Figura 10).



**Figura 10.** Relación entre la velocidad y el porcentaje de germinación (N = 46;  $R^2 = 0,11$ ;  $F = 5,27$ ) en *W. sessiliflora*. \*,  $p \leq 0,05$ .

El alto de las plántulas y el porcentaje de germinación presentaron una relación significativa y positiva ( $\beta_1 = 0,01$ ,  $P < 0,0001$ ) como así también se encontró una relación significativa y negativa entre el alto de las plántulas y la velocidad de germinación ( $\beta_1 = -0,03$ ,  $P = 0,0465$ ); de esta manera los individuos con mayores porcentajes de germinación y mayor velocidad de germinación presentan plántulas con alturas mayores (Figura 11a y b).

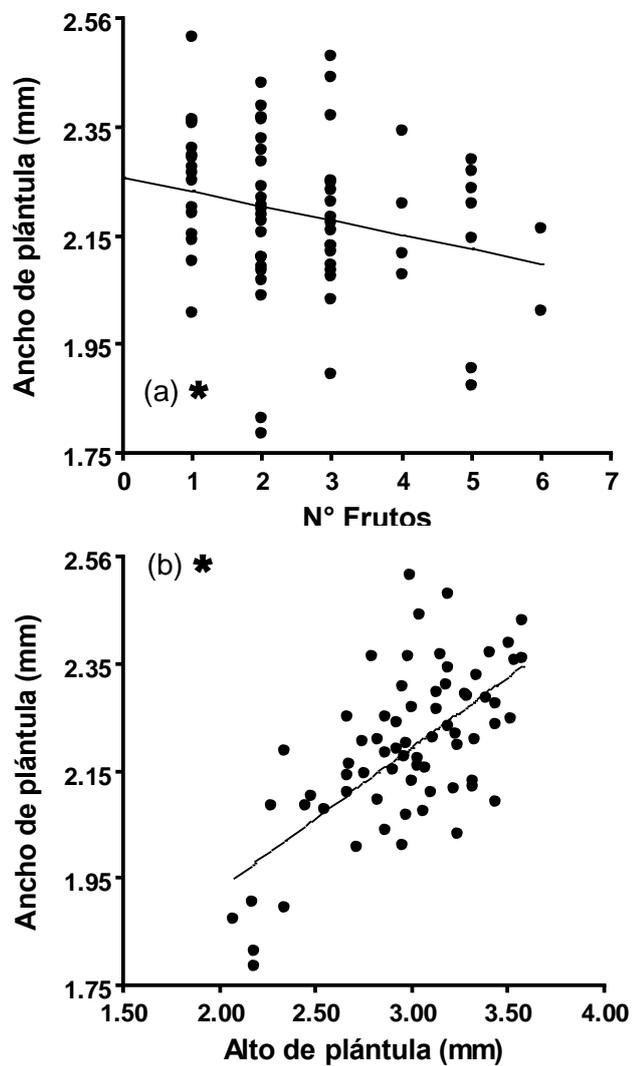


**Figura 11.** Relaciones entre el alto de las plántulas y (a) el porcentaje de germinación (N = 68;  $R^2 = 0,32$ ; F = 31,27) y (b) la velocidad de germinación ( $T_{50}$ , N = 46;  $R^2 = 0,09$ ; F = 4,20) en *W. sessiliflora*. \*,  $p \leq 0,05$ .

El ancho de la plántula y el número de frutos se relacionaron significativamente y de manera negativa, por lo que las plantas madre con mayor producción de frutos producen plántulas que tienen un ancho menor respecto a aquellas que tienen baja fructificación ( $\beta_1 = -0,03$ ; P = 0,0416; Figura 12a).

Finalmente, se realizaron análisis entre el alto y ancho de las plántulas y se encontró una relación significativa y positiva, por lo que plántulas más altas son a su vez más anchas esto quiere decir que a medida que una plántula

incrementa el valor de altura (mm), el ancho lo hace de igual manera ( $\beta_1 = 0,27$ ;  $P < 0,0001$ ; Figura 12b).



**Figura 12.** Relaciones entre el número de frutos y el ancho de las plántulas (a) ( $N = 68$ ;  $R^2 = 0,06$ ;  $F = 4,32$ ) y alto y ancho de plántulas (b) ( $N = 68$ ;  $R^2 = 0,43$ ;  $F = 50,22$ ) en *W. sessiliflora*. \*,  $p \leq 0,05$ .

---

## DISCUSIÓN

---

Los resultados muestran que en *W. sessiliflora*, el tamaño de las plantas madres resultó ser un parámetro explicativo para tres de las variables analizadas (número de frutos, peso de semillas y altura de plántulas). Además, todas las variables presentaron una gran variación entre los individuos de la población.

En relación con el número de frutos y el peso de semillas, en ambos casos se describió una relación unimodal, indicando que ambas variables se incrementan con el diámetro de las plantas, pero en plantas muy grandes disminuyen sus valores. Si bien la bibliografía entorno a la relación entre estas variables respuesta con el tamaño de las plantas madre es escasa (Arteaga, 2007; Gómez Jiménez *et al.*, 2010; Valfré-Giorello *et al.*, 2012), la relación significativa encontrada para el peso de semillas se contrapone a lo encontrado por Valfré-Giorello *et al.* (2012) para una especie de la familia Euphorbiaceae y Arteaga (2007) para una especie de la familia Hypericaceae, quienes en ambos trabajos no pudieron relacionar el peso de la semilla con el tamaño de las plantas madre. Sin embargo, el modelo de Harper (Oliver, 2000) propuesto para plantas iteróparas perennes, entendiendo la iteroparidad como múltiples eventos reproductivos distribuidos a lo largo de la vida de un individuo (Aragón, 2014), consiste en que la capacidad reproductiva incrementa progresivamente en la planta hasta un valor máximo, se mantiene por algunos años y luego disminuye a partir de una determinada edad para desaparecer por completo en una etapa de vida post-reproductiva y senescente (Oliver, 2002). Así mismo, Aragón (2014) quien realizó una revisión sobre aspectos teóricos y evolutivos en el estudio de las estrategias vitales de las plantas, sostiene que los organismos asignan los recursos de manera diferencial a lo largo de su vida, con la finalidad de maximizar su eficacia biológica (*aptitud*) y para ello, los individuos pueden destinar recursos a la fecundidad (que incrementa la eficacia biológica de manera inmediata a expensas de crecimiento y supervivencia) o asignarla a funciones vegetativas (que aumenta la eficacia biológica a futuro a través del incremento en el tamaño y la supervivencia del individuo). Entonces, conociendo que la familia Cactaceae tiene un crecimiento lento que se mantiene activo hasta

la muerte de la planta (Bowers & Pierson, 2001; Contreras & Valverde, 2002; Vázquez-Sánchez, 2012) y suponiendo, en consecuencia, que los individuos de mayor tamaño tienen mayor edad, el modelo de Harper es aplicable a los resultados encontrados para ambas variables. Por lo que la producción de un mayor número de frutos y de semillas más pesadas ocurre debido a una asignación diferencial de recursos (energía y nutrientes) realizados por la planta madre en función a la etapa del ciclo de vida en el que se encuentre. En el caso de *W. sessiliflora*, el modelo se aplicaría de la siguiente manera: las plantas madre de diámetros más pequeños desvían recursos a crecimiento y supervivencia mientras que aquellas de diámetros intermedios, al alcanzar la madurez reproductiva, destinan la mayor cantidad de recursos a la reproducción en detrimento del crecimiento. En el caso de los individuos con diámetros más grandes corresponden a plantas madre que entran a la fase final de su ciclo de vida, destinando los recursos a los procesos de envejecimiento y senescencia. Sin embargo, para confirmar esta hipótesis se debería seguir el desarrollo, crecimiento y reproducción de un conjunto de individuos a lo largo de varios años ya que las estrategias reproductivas son plásticas ante diferentes factores ambientales o pueden tener una base genética (Aragón, 2014).

En la literatura existen pocos estudios que hayan analizado en cactáceas las características de las plántulas y su posible efecto en la dinámica de las poblaciones (Sosa Pivatto *et al.*, 2014; Bauk *et al.*, 2015; Gurvich *et al.*, 2017). Se conoce que el tamaño de la plántula (independientemente del tamaño de la planta madre) es una característica importante que puede afectar el establecimiento de las mismas ya que se asociaría con las probabilidades de supervivencia (Leishmann *et al.*, 2000). Sosa Pivatto *et al.* (2014), quienes trabajaron con especies de cactáceas del centro de Argentina, plantearon que las plántulas de mayor tamaño tendrían una mayor tolerancia ante factores de estrés y a su vez aprovecharían más eficientemente la luz en relación con las plántulas más pequeñas. Entonces, conociendo que las plantas madres al incrementar el diámetro, tienen más edad y consecuentemente destinan menos recursos a reproducción (menor producción de frutos y menos cantidad de semillas) es probable que la producción de plántulas con mayor altura sea una estrategia para incrementar las probabilidades de supervivencia de las mismas

y la aptitud de los individuos adultos (Aragón, 2014; Sosa Pivatto *et al.*, 2014). Sería necesario realizar más estudios para analizar el significado biológico de lo encontrado o confirmar esta conjetura.

Se encontraron varias relaciones entre las variables estudiadas lo que tiene implicaciones sobre estrategias reproductivas entre los individuos. Valfré-Giorello *et al.* (2012) indicaron que el peso puede ser utilizado como un indicador de calidad de la semilla; por lo que cambios en el peso de la semilla generan diferencias en caracteres germinativos como velocidad o porcentaje de germinación y dependen de la especie estudiada (Ayala-Cordero *et al.*, 2004; Baloch *et al.*, 2001; Huerta-Paniagua *et al.*, 2011; Sánchez-Salas *et al.*, 2006; Tenorio *et al.*, 2008). Sin embargo, en este estudio no se encontraron relaciones significativas entre dichas variables, correspondiéndose con lo encontrado por Sosa Pivatto *et al.* (2014) para 17 especies de cactus de la subfamilia Cactoideae y Arteaga (2007) para *Vismia glaziovii* (Hypericaceae). Así mismo, no se encontró relación significativa entre el peso y la altura de las plántulas como así tampoco se detectó relación entre el peso y el ancho de las plántulas, resultados que difieren con respecto a lo que describieron Leishman *et al.* (2000) para este conjunto de variables (una relación positiva entre el peso de la semilla y tamaño inicial de las plántulas) pero que sí coinciden con Bauk *et al.* (2015) para *Gymnocalycium monvillei* (Cactaceae) quienes encontraron que, si bien existen diferencias en el peso de las semillas entre las poblaciones altitudinales, esta no se relacionó con el tamaño de las plántulas. La alta variabilidad en el peso de semillas a nivel de especie puede deberse a diversos factores que ocurren dentro de una misma planta como la incapacidad fisiológica para producir semillas con pesos uniformes ante los cambios de disponibilidad de recursos durante la maduración de las semillas (Hernández-Verdugo *et al.*, 2010), la posición de las semillas dentro de los frutos ya que pueden afectar tamaño y morfología de las mismas (Arteaga, 2007; Hernández-Verdugo *et al.*, 2010), el número de semillas producidas por fruto (Arteaga, 2007; Dalling, 2002) pero también existen otros factores que podrían afectar esta variable como pueden ser las condiciones microambientales diferentes (Arteaga, 2007; Dalling, 2002), la calidad del polen y/o variaciones genéticas entre individuos (Hernández-Verdugo *et al.*, 2010).

Se observó que la cantidad de semillas producidas por planta no depende del tamaño del individuo. A partir de estos resultados, es posible suponer que la mayor inversión de recursos en reproducción por parte de los individuos de tamaños intermedios (los cuales mostraron los valores más altos en la producción de frutos, y consecuente mayor número de semillas) sea una estrategia reproductiva para incrementar la aptitud o eficacia biológica (Aragón, 2014) ya que un porcentaje muy bajo de las semillas producidas podrían germinar y establecerse (Parker, 1988).

La velocidad de germinación es una variable que se ha relacionado a algunas características reproductivas como el peso o tamaño de semilla (Teketay & Granstrom, 1997; Gomes *et al.*, 2001; Sánchez-Salas *et al.*, 2006; Valfré-Giorello *et al.*, 2012). Sin embargo, en la literatura no hay información respecto a la posible relación entre la velocidad y el porcentaje de germinación. Gurvich *et al.* (2008) explican que la rápida germinación es una estrategia que acopla la germinación con condiciones ambientales favorables y así posibilitar el establecimiento de los individuos (sobre todo en sistemas áridos y semiáridos). Por su parte, Sosa Pivatto *et al.* (2014) sugieren que las semillas pesadas tienden a germinar rápido para evitar ser predadas y las semillas más livianas lo hacen más lento ya que pueden persistir en el suelo como parte del banco de semillas y así esperar a condiciones óptimas de germinación. En este estudio se encontró una relación significativa y negativa entre el porcentaje y la velocidad de germinación ( $T_{50}$ ), lo cual implica que individuos que presentan mayor porcentaje de semillas germinadas les corresponden velocidades de germinación menor, es decir que germinan más rápidamente. Entonces, si a esta relación significativa entre porcentaje y velocidad de germinación se suma que ambas variables presentan relaciones lineales significativas con la altura de las plántulas, permiten especular que las plantas madre que producen semillas que germinan rápido, en mayor proporción y con plántulas más altas tienen mayores probabilidades de desarrollarse en sitios con mejores condiciones ambientales (Ayala-Cordero *et al.*, 2004; Dalling, 2002; Hernández-Verdugo *et al.*, 2010). Nuevamente, se necesitan profundizar los estudios para poder confirmar dichas conjeturas.

Finalmente, dado que en este estudio fue posible demostrar que el tamaño de las plantas madres resultó ser un parámetro explicativo del comportamiento de algunas variables respuestas (número de frutos, peso de semilla y alto de plántula) y al respecto Flores Martínez *et al.* (2010) estudiando la dinámica poblacional de *Mammillaria huitzilopochtli* determinaron que la identidad de las plantas juega un rol importante en el comportamiento de las poblaciones a lo largo del tiempo y Sánchez-Salas *et al.* (2006) estudiando *Astrophytum myriostigma* plantearon la importancia que tiene la propagación de semillas para la conservación de especies; sería de importancia para futuros trabajos reproductivos tener en cuenta la identidad de las plantas al momento de seleccionar los individuos de los cuales recolectar semillas o diseñar planes de conservación in situ o ex situ. Adicionalmente, se deben continuar profundizando los estudios en *W. sessiliflora* para comprender qué determina la variación en aquellas variables no explicadas por el diámetro de la planta madre y que efecto biológico tiene en la dinámica poblacional de la especie.

---

## CONCLUSIONES

---

- ❖ Se describieron los caracteres reproductivos de *W. sessiliflora* por primera vez para una población de Córdoba, ubicada en las Sierras del Norte a una altura aproximada de 900 msnm.
- ❖ Se observó que entre los individuos muestreados de la población existe una alta variabilidad en los valores que tomaron las variables respuestas.
- ❖ Se encontró que el tamaño (diámetro) de las plantas madres es un parámetro explicativo para el número de frutos, el peso de la semilla y el alto de la plántula.
- ❖ Los individuos de diámetros intermedios producen mayor número de frutos y semillas más pesadas.
- ❖ Los individuos de mayor diámetro presentan las plántulas más altas.
- ❖ El diámetro de las plantas madre no se relacionó significativamente con el número de semillas, el porcentaje y velocidad de germinación, y el ancho e índice de forma de las plántulas.
- ❖ Los resultados encontrados en este trabajo sugieren que la identidad de las plantas madre afecta de manera importante diversas características regenerativas, lo cual podría tener efectos en el éxito reproductivo de los individuos.
- ❖ El tamaño y la identidad de los individuos debería tenerse en cuenta en estudios regenerativos en plantas.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ARAGÓN, C.F. 2014. Evolución de las estrategias vitales en plantas: desde Cole hasta la actual ecología de especies invasoras. *Ecosistemas* 23: 6-12.

ARTEAGA, L.L. 2007. El tamaño de las semillas de *Vismia glaziovii* Ruhl. (Guttiferae) y su relación con la velocidad de germinación y tamaño de la plántula. *Rev. peru. Biol.* 14: 017- 020.

AYALA-CORDERO, G., T. TERRAZAS, L. LÓPEZ-MATA & C. TREJO. 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia* 12: 692-697.

BALLOCH, H.A., A. DITOMMASO & A.K. WATSON. 2001. Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. *Seed Sci. Res.* 11: 333-345.

BÁRCENAS-ARGÜELLO, M.L., L. LÓPEZ-MATA, T. TERRAZAS & E. GARCÍA-MOYA. 2013. Germinación de tres especies de *Cephalocereus* (Cactáceae) endémicas del Istmo de Tehuantepec, México. *Polibotánica* 36: 105-116.

BAUK, K., J. FLORES, C. FERRERO, R. PÉREZ-SÁNCHEZ, M.L. LAS PEÑAS & D.E. GURVICH. 2017. Germination characteristics of *Gymnocalycium monvillei* (Cactaceae) along its entire altitudinal range. *Botany* 95: 419-428.

BAUK, K; R. PÉREZ-SÁNCHEZ, S.R. ZEBALLOS, M.L. LAS PEÑAS, J. FLORES & D.E. GURVICH. 2015. Are seed mass and seedling size and shape related to altitude? Evidence in *Gymnocalycium monvillei* (Cactaceae). *Botany* 93: 529–533.

BOWERS, J.E & E.A. PIERSON. 2001. Implications of seed size for seedling survival in *Carnegiea gigantea* and *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae). *SW. Nat.* 46: 272-281.

CONTRERAS, C. & T. VALVERDE. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. *J. Arid Environ.* 51: 89-102.

DALLING, J. W. 2002. Ecología de semillas. Dalling, Jim W; Guariguata-Urbano, Manuel R; Kattan, G.H (eds.). Ecología y conservación de bosques neotropicales. Editorial Cartago, Libro Universitario Regional (EULAC-GTZ), Cartago, Costa Rica.

FLORES, J. & E. JURADO. 2011. Germinación de especies de cactáceas en categoría de riesgo del desierto chihuahuense. *Rev. Mex. Cien. For.* 8: 59-70.

GOMES, V., J.A. MADEIRA, J. WILSON FERNANDES, J.P. LEMOS FILHO. 2001. Seed dormancy and germination of sympatric species of *Chamaecrista* (Leguminosae) in a rupestrian field. *Int. J. Ecol. Env. Sci.* 27: 191-197.

GÓMEZ JIMÉNEZ, D.M., C. RAMÍREZ HERRERA, J. JASSO MATA & J. LÓPEZ UPTON. 2010. Variación en las características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 297 – 304.

GURVICH, D. E., G. FUNES, M.A. GIORGIS & P. DEMAIO. 2008. Germination characteristics of four Argentinean endemic *Gymnocalycium* (Cactaceae) species with different flowering phenologies. *Nat. Areas J.* 28: 104-108.

GURVICH, D. E., R. PÉREZ-SÁNCHEZ, K. BAUK, E. JURADO, M.C. FERRERO, G. FUNES & J. FLORES. 2017. Combined effect of water potential and temperature on seed germination and seedling development of cacti from a mesic Argentine ecosystem. *Flora* 227: 18-24.

GURVICH, D. E., S.R. ZEBALLOS & P.H. DEMAIO. 2014. Diversity and composition of cactus species along an altitudinal gradient in the Sierras del Norte Mountains (Córdoba, Argentina). *South African J. B.* 93: 142-147.

HART D.L. & A.G. CLARK. 2007. Principles of Population Genetics. 4th ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts, USA.

HERNÁNDEZ-VERDUGO, S., R.G. LÓPEZ-ESPAÑA, F. PORRAS, S. PARRA-TERRAZA, M. VILLARREAL-ROMERO & T. OSUNA-ENCISO. 2010. Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia* 44: 667-677.

HUERTA-PANIAGUA R. & D.A. RODRÍGUEZ-TREJO. 2011. Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 179-187.

KIESLING R. & O.E. FERRARI. 2005. 100 Cactus Argentinos. Editorial Albatros. Buenos Aires, Argentina.

KIESLING R., L. LARROCCA, J. FAÚNDEZ, D. METZING & S. ALBESIANO. 2008. Cactaceae. Zuloaga, F. O.; Morrone, O.; Belgrano, M. J. (eds.). Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.*

LEISHMAN, M.R., I. WRIGHT, A. MOLES & M. WESTOBY. 2000. The evolutionary ecology of seed size. Fenner, M. (ed.). *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. CAB International, Wallingford, UK.

MARTÍNEZ, A. F., MEDINA, G. I. M., GOLUBOV, J., MONTAÑA, C., & MANDUJANO, M. C. 2010. Demography of an endangered endemic rupicolous cactus. *Plant Ecol.* 210: 53-66.

OLIVER, P.T. 2002. Capacidad reproductiva de *Pinus nigra subsp. salzmannii* en relación con la edad de la planta madre. *For. Syst.* 11: 357-371.

PARKER, K.C. 1988. Height structure and reproductive characteristic of senita *Lophocereus schottii* (Cactaceae) in southern Arizona. *Southwest. Nat.* 34: 392-401.

SÁNCHEZ-SALAS, J; J. FLORES & E. MARTÍNEZ-GARCÍA. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire (CACTACEAE), Especie amenazada de extinción. *Interciencia* 31: 371-375.

SOSA PIVATTO, M., G. FUNES, A.E. FERRERAS & D.E. GURVICH. 2014. Seed mass, germination and seedling traits for some central Argentinian cacti. *Seed Sci.Res.* 24: 71–77.

TEKETAY, D. & A. GRANSTROM. 1997. Germination ecology of forest species from the highlands of Ethiopia. *J. Trop. Ecol.* 13: 805-831.

TENORIO-GALINDO, G., D.A. RODRÍGUEZ-TREJO & G. LÓPEZ-RÍOS. 2008. Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia* 42: 585-593.

VALFRÉ-GIORELLO, T.A., L. ASHWORTH & D. RENISON. 2012. Patrones de germinación de semillas de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae), árbol nativo del Chaco Serrano de interés en restauración. *Ecol. Austral* 22: 92-100.

VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, M., T. TERRAZAS & S. ARIAS. 2012. El hábito y la forma de crecimiento en la tribu Cacteae (Cactaceae, Cactoideae). *Bot. Sci.* 90: 97-108.

## ANEXOS

**Tabla 1:** Matriz de Pearson en la cual se correlacionaron todas las variables respuestas entre sí.

	N° Frutos	LOG2_N° Semillas	Peso de Semilla (mg)	Porcentaje de Germinación (%)	Velocidad de Germinación	Altura Plántula (mm)	Ancho de Plántula (mm)
N° Frutos	1	0	0,01	0,98	0,41	0,3	0,04
LOG2_N° Semillas	0,75	1	0,05	0,7	0,31	0,52	0,06
Peso de Semilla (mg)	0,31	0,21	1	0,88	0,59	0,53	0,71
Porcentaje de Germinación (%)	-3,30E-03	0,04	-0,02	1	0,03	4,60E-07	0,17
Velocidad de Germinación	0,13	0,15	0,08	-0,33	1	0,05	0,94
Altura Plántula (mm)	-0,13	-0,08	0,08	0,57	-0,3	1	1,10E-09
Ancho de Plántula (mm)	-0,25	-0,23	0,05	0,17	0,01	0,66	1