

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD VICTORIA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA



**Morfometría de fruto en relación con producción de semilla y germinación *in vitro* de *Ferocactus pilosus* (Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm 1933 (Cactacea)**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA**

**PRESENTA:**

**M. en C. Erick Rubén Rodríguez Ruíz**  
**G-13380009**

**DIRECTOR DE TESIS INTERNO:**

**Dr. José Antonio Rangel Lucio**

**DIRECTOR DE TESIS EXTERNO:**

**Dr. Jacinto Treviño Carreón**

**ÍNDICE GENERAL**

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS .....                                                                                                                                   | 4  |
| i. RESUMEN .....                                                                                                                                                   | 5  |
| ii. ABSTRACT .....                                                                                                                                                 | 6  |
| 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....                                                                                                                           | 8  |
| 1.1. LITERATURA CITADA.....                                                                                                                                        | 12 |
| 1.2. OBJETIVOS .....                                                                                                                                               | 16 |
| 1.2.1. Objetivo general.....                                                                                                                                       | 16 |
| 1.2.2. Objetivos particulares .....                                                                                                                                | 16 |
| 1.3. HIPÓTESIS .....                                                                                                                                               | 16 |
| 2. CAPITULO II. Morfometría de fruto y relación con la semilla en <i>Ferocactus pilosus</i> (Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm (Caryophyllales: Cactaceae).....       | 17 |
| 2.1. RESUMEN .....                                                                                                                                                 | 17 |
| 2.2. ABSTRACT.....                                                                                                                                                 | 18 |
| 2.3. INTRODUCCIÓN.....                                                                                                                                             | 19 |
| 2.4. METODOLOGÍA.....                                                                                                                                              | 21 |
| 2.4.1. Descripción del área de estudio .....                                                                                                                       | 21 |
| 2.4.2. Colecta de material biológico .....                                                                                                                         | 22 |
| 2.4.3. Registro de datos morfológicos .....                                                                                                                        | 23 |
| 2.4.4. Recuento y peso de semillas formadas .....                                                                                                                  | 23 |
| 2.4.5. Análisis estadístico .....                                                                                                                                  | 24 |
| 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                                                                                                                   | 25 |
| 2.6. CONCLUSIÓN .....                                                                                                                                              | 37 |
| 2.7. LITERATURA CITADA .....                                                                                                                                       | 38 |
| 3. Capítulo III. Germinación <i>in vitro</i> de biznaga cabuchera [ <i>Ferocactus pilosus</i> (Galeotti ex Salm-Dyck) Werdermann] (Caryophyllales: Cactaceae)..... | 44 |
| 3.1. RESUMEN.....                                                                                                                                                  | 44 |
| 3.2. INTRODUCCIÓN.....                                                                                                                                             | 48 |
| 3.3. MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                                                                                                    | 49 |
| 3.3.1. Descripción del área de estudio .....                                                                                                                       | 49 |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 3.3.2. Colecta de frutos y resguardo de semillas ..... | 49 |
| 3.3.3. Selección de semillas .....                     | 49 |
| 3.3.4. Tratamiento de semillas .....                   | 50 |
| 3.3.5. Establecimiento del experimento .....           | 51 |
| 3.3.6. Análisis estadístico .....                      | 52 |
| 3.4. RESULTADOS .....                                  | 53 |
| 3.5. CONCLUSIONES .....                                | 58 |
| 3.6. LITERATURA CITADA .....                           | 59 |
| 4. CAPITULO V. CONCLUSIÓN GENERAL .....                | 62 |

**LISTA DE TABLAS Y FIGURAS**

|                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Descripción de los sitios de muestreo de <i>Ferocactus pilosus</i> en el Altiplano Tamaulipeco. 2014.....                                                                                                                   | 21 |
| Figura 1. Número de semillas por fruto de biznaga cabuchera por sitio de muestreo. Promedio de 260 frutos. Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), en el semidesierto de Tamaulipas. 2014.....                                                    | 25 |
| Figura 2. Peso de semilla de biznaga cabuchera por sitio de muestreo. Promedio de 260 frutos. Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) en el semidesierto de Tamaulipas. 2014.....                                                                  | 26 |
| Figura 3. Morfometría de fruto de biznaga cabuchera por sitio de muestreo. Promedio de 260 frutos. Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) en el semidesierto de Tamaulipas. 2014.....                                                             | 27 |
| Figura 4. Dendrograma de la distancia Euclidiana entre sitios para variables morfológicas de frutos de biznaga cabuchera del semidesierto de Tamaulipas. 2014.....                                                                   | 28 |
| Figura 5. Dendrograma de la distancia entre variables morfológicas de frutos de biznaga cabuchera del semidesierto de Tamaulipas, dada por el coeficiente de correlación. 2014.....                                                  | 30 |
| Figura 6. Media de las variables canónicas de los sitios de muestreo (S-i) de la biznaga cabuchera del Altiplano de Tamaulipas.....                                                                                                  | 33 |
| Figura 7. Curva que representa la estructura de factores a partir de los datos originales de longitud y peso de semilla de biznaga cabuchera del Altiplano de Tamaulipas.....                                                        | 34 |
| Tabla 2. Análisis de la estimación del parámetro de máxima verosimilitud en la prueba de Distribución Binomial por efecto de compuestos químicos y fitoreguladores en la germinación estándar de semilla de biznaga en dos años..... | 52 |
| Figura 8. Efecto de pre-tratamientos químicos y reguladores de crecimiento en la germinación estándar de semillas de <i>Ferocactus pilosus</i> muestreadas en 2014 y 2015. Las líneas indican la desviación estándar.....            | 54 |
| Figura 9. Germinación acumulada de semillas de <i>Ferocactus pilosus</i> muestreadas en 2014 y 2015 y pre-tratadas con compuestos químicos y reguladores de crecimiento.....                                                         | 55 |

**i. RESUMEN**

Los factores bióticos y abióticos determinan el crecimiento y desarrollo de organismos, como las plantas. Entre las diversas fases, la producción de la semilla es una etapa de riesgo por la responsabilidad que tiene ante las generaciones futuras. El problema se agudiza en especies vegetales cuyo hábitat se remite a condiciones en las que la mayoría de las plantas no responde a condiciones estresantes. *Ferocactus pilosus* (Galeotti Ex Salm-Dyck) Werderm crece con lentitud en respuesta a dichas condiciones limitantes impuestas por escases de agua y temperaturas altas. Sin embargo, poco se conoce de la biología reproductiva de esta estructura y de los factores que influyen positivamente en la formación de semilla. Por este motivo, el objetivo del estudio se planteó con el propósito de analizar la formación de la semilla y germinación. La mayor parte del bioensayo se desarrolla en el Altiplano Tamaulipeco, donde la evaluación de esta relación midió la producción de fruto y semilla, así como la capacidad germinativa en condiciones controladas. Los resultados muestran que número y peso de semilla fueron significativamente afectados por el sitio de colecta, mientras que las características morfométricas del fruto entre sitios no variaron entre poblaciones. Por otra parte, existe una independencia del peso total de la semilla respecto a tamaño de fruto. Los resultados obligan a proponer un estudio integral de las áreas nacionales de crecimiento de *F. pilosus*. Respecto a la germinación estándar de la biznaga cabuchera el  $H_2SO_4$  (82

%) y AG<sub>3</sub> (48 %), demostraron su eficacia para promover y acelerar la germinación de *F. pilosus*. Los compuestos acortaron el tiempo de germinación de 6 d para semillas colectadas en 2014 a 3 d para semillas de 2015 y finalmente el H<sub>2</sub>O confirma una necesidad natural para el inicio de germinación y una dependencia evolutiva creada por *F. pilosus* en ambientes con restricciones hídricas.

**Palabras clave:** Biznaga de espinas rojas, estrés biótico, Alometría, germinación, semilla, fruto.

## ii. ABSTRACT

Biotic and abiotic factors determine the growth and development of organisms, such as plants. Among the various phases, the production of the seed is a risky stage due to the responsibility it has for future generations. The problem is exacerbated in plant species whose habitat refers to conditions in which the majority of plants do not respond to stressful conditions. *Ferocactus pilosus* (Galeotti Ex Salm-Dyck) Werderm grows slowly in response to these limiting conditions imposed by scarce water and high temperatures. However, little is known about the reproductive biology of this structure and the factors that positively influence seed formation. For this reason, the objective of the study was raised with the purpose of analyzing seed formation and germination. Most of the bioassay takes place in the Altiplano Tamaulipeco, where the evaluation of this relationship measured the

production of fruit and seed, as well as the germinative capacity in controlled conditions. The results show that number and weight of seed were significantly affected by the collection site, while the morphometric characteristics of the fruit between sites did not vary between populations. On the other hand, there is an independence of the total weight of the seed with respect to fruit size. The results oblige us to propose a comprehensive study of the national growth areas of *F. pilosus*. Regarding the standard germination of the cactus goblet, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (82%) and AG3 (48%), demonstrated its efficacy to promote and accelerate the germination of *F. pilosus*. The compounds shortened the germination time of 6 d for seeds collected in 2014 to 3 d for seeds of 2015 and finally the H<sub>2</sub>O confirms a natural need for the beginning of germination and an evolutionary dependence created by *F. pilosus* in environments with water restrictions.

**Key words:** Red-breasted Biznaga, biotic stress, Allometry, germination, seed, fruit.

## **1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL**

La regeneración en plantas es un proceso demográfico que implica el conocimiento de lo que ocurre en las fases de floración, producción de semilla, germinación y establecimiento (Flores-Martínez *et al.*, 2013), donde factores abióticos y bióticos modulan la transición de estas fases (Sotes *et al.*, 2013).

En cactáceas que habitan regiones áridas y semiáridas se ha determinado sobrevivencia de individuos (Mandujano *et al.*, 2007), lo cual se ve afectado por el sistema de cruzamiento, número de óvulos y polinización y, en consecuencia, se limita la producción de semillas y la germinación (Flores-Martínez *et al.*, 2013).

Se ha registrado que el sistema de reproducción en cactáceas tiende a la autogamia cuando la densidad poblacional es baja y a la xenogamia en alta densidad poblacional (Karron, 1997). También se ha sugerido que la reproducción xenógama tiene mecanismos que aumentan la atracción de visitantes florales generalistas, aunque en varios casos no resultan efectivos lo que determinará la producción de frutos y semillas viables (Orians, 1997).

Por otra parte la germinación de la semilla y establecimiento de la planta se favorece por plantas nodrizas (Lara *et al.*, 2016), que puede estricta o no, debido a la diversidad de especies que incluyen: arbóreas, arbustivas,



arrosetadas (agaves, yucas, sotoles, etc.), pastos o plantas de tallos suculentos, con cierto grado de especificidad por las cactáceas (Callaway, 1998).

En el caso de México éste es considerado el centro más importante de concentración y diversificación de cactáceas, con un alto índice de endemismo a nivel genérico (73 %) y específico (78 %). La mayor parte de las especies habitan en regiones áridas y semi-áridas del país, particularmente en la porción sureste del Desierto Chihuahuense. Muchas de ellas están sujetas a presiones de colecta y destrucción de su hábitat. Por lo general, tienen habilidad limitada para restablecer su demografía, después de un evento de perturbación. En consecuencia, un número significativo de cactáceas mexicanas se ha incluido en listados de plantas amenazadas (Hernández y Godínez, 1994).

La diversidad de cactáceas oscila entre 96 y 235 géneros, y entre 1550 y 2900 especies distribuidas casi exclusivamente en América tropical y subtropical (Bravo, 1991). Un género importante en la familia Cactaceae es *Ferocactus*, que se distribuye desde suroeste de Estados Unidos hasta Oaxaca, México, y es representada por 33 especies (Rzedowski *et al.*, 2005).

La especie *F. pilosus* (biznaga de espina roja) se encuentra distribuida en el norte de la República Mexicana, en estados de Durango, Coahuila de

Zaragoza, Nuevo León, Zacatecas, Tamaulipas y San Luis Potosí (Fitz y Fitz, 2013). Es considerada en protección especial por la NOM-ECOL-059-SEMARNAT-2010, debido a la reducción de sus poblaciones, por el uso ornamental, consumo alimenticio, saqueo y aunado al escaso conocimiento ecológica y biológico de la especie (DOF, 2010).

Clasificación taxonómica de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta Cronquist, Takht. & W. Zimm. ex Reveal

Clase: Magnoliopsida Brongn.

Subclase: Caryophyllidae Takht.

Orden: Caryophyllales Benth. & Hook.

Familia: Cactaceae Juss.

Género: *Ferocactus* Britton & Rose

Especie: *pilosus* (Galeotti) Werderm.

El ambiente donde se distribuye *F. pilosus* se describe con suelos calizos o de tipo aluvial, en faldas de cerros o en planicies; los tipos de vegetación que la acompañan pertenecen, principalmente, a matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo (Bravo y Sánchez-Mejorada, 1978), bosque rosetófilo, matorral mediano espinoso, matorral bajo, matorral esclerófilo, matorral rosetófilo acaule y caulescente (Treviño-Carreón y Valiente-Banuet, 2005). Respecto a requerimientos fisiológicos, tolera temperaturas bajas hasta -4 °C, pero la temperatura mínima promedio a la que se encuentra es

de 10 °C. Los requerimientos hídricos de plantas establecidas son mínimos, pues crecen en ambientes con precipitación pluvial entre 400 y 500 mm. *F. pilosus* crece solitaria con tallos globulares en etapa juvenil; posteriormente se agrupa y los tallos ramifican para formar columnas confluentes (cespitosa) de 3 m de altura, poblados de espinas rojas o amarillas; forma abundantes flores amarillas o rojas de aproximadamente 4 cm de longitud. El fruto es una baya color amarillo, mesocarpio pulposo con semillas numerosas y pequeñas, de 1.5 a 2 mm de color negro o castaño oscuro (<http://chapingo.uruza.edu.mx/jardin/cactaceae/Ferocactus%20pilosus.htm>).

El conocimiento de las fases reproductivas de la especie, podría ampliar los esquemas de conservación (Fuentes, 2012). Debido a cambios recientes por actividad antropogénica, que tendrán un efecto en los mecanismos reproductivos de la planta, como número de granos de polen exportado o recibido, o en la calidad de cruces entre individuos, lo que ocasiona reducción sustancial de la cantidad y calidad de frutos y semillas, que por consiguiente actúen en un colapso demográfico entre poblaciones (Aizen *et al.*, 2002).

*F. pilosus* presenta un grado de dispersión baja y migración de corta distancia para ocupar nuevos espacios, debido a la baja tasa de reclutamiento de individuos (Ballesteros *et al.*, 2017). Con base en proyecciones a futuro para el 2020-2050, la fragmentación del hábitat en

sinergia con el calentamiento global y la introducción de especies invasoras, pondrá en riesgo de extinción a especies de distribución restringida, con baja movilidad y especialistas (Ballesteros, 2008).

Analizar parte del mecanismo reproductivo en *F. pilosus* permitiría comprender, a una escala local o de microhábitat, las interacciones bióticas y abióticas más relevantes (Pearson y Dawson, 2002). Por lo tanto, esta especie es un modelo biológico adecuado para analizar las variaciones en el tamaño de fruto y su relación con la producción de semilla, así como también germinación de la bajo condiciones controladas, con la finalidad de establecer planes de manejo y con conservación que contemplen regular la colecta de individuos con inspección y vigilancia, así como propuestas de Áreas Naturales Protegidas donde se distribuye *F. pilosus*, instalación de viveros con pobladores locales y restauración de áreas afectadas repoblando con individuos germinados en condiciones controladas.

### **1.1. LITERATURA CITADA**

Aizen, M. A., Ashworth L. y Galetto L. 2002. Reproductive success in fragmented habitats: do compatibility systems and pollination specialization matter? *Journal of Vegetation Science*, 13:885–892.

- Ballesteros, B. C. 2008. Efecto del cambio climático en la distribución de especies en el Desierto de Chihuahua. Tesis de grado doctoral. Instituto de Biología, UNAM. Distrito Federal, México. 99 p.
- Ballesteros-Barrera C., Aguilar-Romero O., Zarate-Hernández R. y Ballesteros-Tapia L. 2017. Distribución geográfica y conservación de nueve especies del género *Ferocactus* (cactaceae) en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40:131–140.
- Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 743 p.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada H. 1991. Las Cactáceas de México. Volumen II. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 404 p.
- Callaway, R. M. 1998. Are positive interactions species-specific? *Oikos*, 82:202–207.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. 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 de Diciembre de 2010. México, D. F. 78 p.
- Fitz, M. B. y Fitz W. A. 2013. *Ferocactus pilosus*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Consultada el 24 de octubre de 2013.

- Flores-Martínez, A., Manzanero M. G. I., Golubov J., Mandujano M. C. 2013. Biología floral de *Mammillaria huitzilopochtli*, una especie rara que habita acantilados. *Botanical Sciences*, 91:349–356.
- Fuentes, M. V. 2012. Atributos demográficos y biología reproductiva de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus* con fines de conservación. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, del Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 99 p.
- Hernández, H. M. y Godínez H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana*, 26:33–52.
- Karron, J. D. 1997. Genetic consequences of different patterns of distribution and abundance. Pp. 174-189. *In*: W. E. Kunin y K. J. Gaston. (Eds.). *The Biology of Rarity: Causes and Consequences of Rare-Common Differences*. Chapman and Hall, Londres.
- Lara, J. E. I., Treviño-Carreón J., Estrada D. B., Poot P. W. A., Vargas-Tristán V. y Ballesteros-Barrera C. 2016. Determinación de las especies nodriza de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm. (Cactaceae) en Miquihuana, Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 3:184–194.
- Mandujano, M. C., Golubov J. y Huenneke L. F. 2007. Effect of re-productive modes and environmental heterogeneity in the population dynamics of a geographically widespread clonal desert cactus. *Population Ecology*, 49:141–153.

- Orians G. H. 1997. Evolved consequences of rarity. Pp. 190-208. *In*: W. E. Kunin y K. J. Gaston (Eds.). The Biology of Rarity: Causes and Consequences of Rare-Common Differences. Chapman and Hall, Londres.
- Pearson, R. G., Dawson T. P., Berry P. M. y Harrison P. A. 2002. Species: A spatial evaluation of climate impact on the envelope of species. *Ecological Modelling*, 154: 289–300.
- Rzedowski, G. C. de, Rzedowski J. y colaboradores. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro Michoacán. 1406 p.
- Sotes, J. G., Bustamante R. J. y Enríquez C. A. 2013. Distribución de plántulas y germinación de semillas del lúcomo chileno (*Pouteria splendens*) en Los Molles, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86: 337–344.
- Treviño-Carreón, J. y Valiente-Banuet A.. 2005. La vegetación de Tamaulipas y sus principales asociaciones vegetales. Pp. 22-46. *In*: L. Barrientos, A. Correa, J. Horta y J. Jiménez (Eds.). Biodiversidad Tamaulipeca Vol. I. DGEST e ITCV. México.

## **1.2. OBJETIVOS**

### ***1.2.1. Objetivo general***

- Identificar etapas críticas en la reproducción de *F. pilosus* con base en caracteres morfológicos de fruto y su relación con producción de semillas y posteriormente su germinación *in vitro*.

### ***1.2.2. Objetivos particulares***

- I. Determinar la existencia de relación alométrica entre volumen de frutos y producción de semillas.
- II. Determinar la germinación estándar bajo condiciones controladas.

## **1.3. HIPÓTESIS**

- i. El éxito de producción de semilla está asociado directamente a la formación de frutos voluminosos en poblaciones de *F. pilosus*.
- ii. El efecto de auxinas y compuestos químicos bajo condiciones de laboratorio promueve la germinación de semillas de *F. pilosus*.



## **2. CAPITULO II. Morfometría de fruto y relación con la semilla en *Ferocactus pilosus* (Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm (Caryophyllaes: Cactaceae)**

### **2.1. RESUMEN**

La biznaga cabuchera (*Ferocactus pilosus*) está sometida a presión intensa por la colecta y destrucción del hábitat, situación que la ha conducido a modificar estructura y densidad poblacional. Con el objetivo de conocer las estrategias alternativas de supervivencia a nivel población durante la fase reproductiva, se determinó la variación de tamaño de fruto y peso y número de semillas de cinco poblaciones de la biznaga cabuchera del semidesierto de Tamaulipas, México. Los frutos fueron medidos y la semilla extraída se contó y pesó. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y análisis multivariado. Los resultados muestran que número y peso de semilla fueron significativamente afectados por el sitio de colecta, mientras que las características morfométricas del fruto entre sitios no variaron estadísticamente entre poblaciones de *Ferocactus pilosus*. Por otra parte, existe una independencia del peso total de la semilla respecto a tamaño de fruto. Los resultados obligan a proponer un estudio integral de las áreas nacionales de crecimiento de *F. pilosus*.

**Palabras clave:** Alometría, biznaga cabuchera, Altiplano Tamaulipeco, cactácea, tamaño y peso de semilla, fruto de biznaga.

**Fruit morphometry and relationship with the seed in *Ferocactus pilosus*  
(Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm (Caryophyllales: Cactaceae)**

**2.2. ABSTRACT**

The biznaga cabuchera (*Ferocactus pilosus*) is subjected to intense pressure due to the collection and destruction of the habitat, a situation that has led it to modify its structure and population density. In order to know the alternative survival strategies at the population level during the reproductive phase, the variation in fruit size and weight and number of seeds of five populations of the biznaga cabuchera from the semi-desert of Tamaulipas, Mexico was determined. The fruits were measured and the extracted seed was counted and weighed. The data were subjected to an analysis of variance and multivariate analysis. The results show that number and weight of seed were significantly affected by the collection site, while the morphometric characteristics of the fruit between sites did not vary statistically between populations of *Ferocactus pilosus*. On the other hand, there is an independence of the total weight of the seed with respect to fruit size. The results oblige us to propose a comprehensive study of the national growth areas of *F. pilosus*.

**Key words:** Allometry, biznaga cabuchera, Altiplano Tamaulipeco, cactus, size and weight of seed, fruit of biznaga.

### 2.3. INTRODUCCIÓN

La relación alométrica intraespecífica entre volumen de fruto y producción de semilla, presenta implicaciones importantes en el proceso de germinación, así como en el establecimiento y estructura de la población (Baloch *et al.*, 2001). Este es el caso de plantas de regiones áridas, como las cactáceas, que presentan baja viabilidad genética por vía sexual (Mandujano *et al.*, 2007), debido a una producción limitada de semillas en relación con el sistema de cruzamiento, número de óvulos fertilizados y grado de polinización, crucial para estudios demográficos (Flores-Martínez *et al.*, 2013). Así como la relación alométrica en las estructuras reproductivas de cactáceas ha tenido resultados contrastantes (Méndez *et al.*, 2005), debido al mecanismo evolutivo que presenta variaciones puntuales a nivel de especie, en los procesos de reproducción y establecimiento (Ayala-Cordero *et al.*, 2004).

En estas condiciones de aridez, se han documentado 2900 especies de Cactáceas a nivel mundial (Bravo-Hollis y Schneivar, 1999), mientras que el continente americano agrupa 2000 especies Cactáceas (Jiménez, 2011). De estas, 1500 especies se desarrollan en el territorio mexicano (Hernández, 2006), con el 78% de endemismo genérico y específico (Guzmán *et al.*, 2003) y 35 % se encuentran amenazadas (Hernández y Godínez, 1994). En éste grupo el género *Ferocactus*, que se distribuye desde el suroeste de Estados Unidos de Norteamérica hasta Oaxaca, México, es representado por 33 especies (Rzedowski, 2006). Donde destaca la biznaga cabuchera

[*Ferocactus pilosus* (Galeotti ex Salm-Dyck) Werdermann], presenta individuos adultos conspicuos y se distribuye en Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas, México, en suelos calizos o aluviales, tanto en faldas de cerros como en planicies; los tipos de vegetación en donde se establece, pertenecen principalmente a matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991), bosque rosetófilo, matorral mediano espinoso, matorral bajo, matorral esclerófilo, matorral rosetófilo acaule y caulescente (Treviño-Carreón y Valiente-Banuet, 2005).

Debido a los usos alimenticios atribuidos a los frutos de la cabuchera y colecta selectiva, la estructura y densidad poblacional, son afectadas a tal grado que existe el riesgo de la destrucción del hábitat natural (Alanís y Velazco, 2008). Además de la presión antropogénica, la limitada capacidad de propagación de esta especie después de la perturbación, presencia de depredadores, dependencia de nodrizas (Lara *et al.*, 2016), competencia y susceptibilidad a patógenos y factores ambientales (humedad, temperatura y luminosidad) hacen que esta especie sea catalogada como en protección especial (DOF, 2010), de tal manera que es necesario desarrollar estrategias para recuperar y conservar sus poblaciones.

El conocimiento biológico de *F. pilosus* es escaso (Ballesteros-Barrera *et al.*, 2017). De inicio, la reproducción sexual ha sido poco explorada, pues además del crecimiento lento de sus individuos, se sabe que presenta una tasa de germinación lenta y un establecimiento pobre de plántulas en campo

(Contreras y Valverde, 2002). El estudio tuvo como objetivo determinar la variación de las características morfológicas relacionadas con el peso de fruto, así como peso y número de semillas en cinco poblaciones de *F. pilosus* distribuidas en el semidesierto de Tamaulipas, México. La hipótesis del estudio postula que las características de fruto y semilla se mantienen a pesar de su origen poblacional, con lo que es posible conocer las estrategias de supervivencia de la biznaga cabuchera a nivel poblacional, durante la fase reproductiva.

## **2.4. METODOLOGÍA**

### **2.4.1. Descripción del área de estudio**

El área de estudio se define como Altiplano Tamaulipeco, localizado al suroeste del estado de Tamaulipas (23° N y 100° O). El área ocupa 833,549 ha hasta el extremo norte de San Luís Potosí y sureste de Nuevo León, México. Comprende municipios de Jaumave, Palmillas, Bustamante, Miquihuana y Tula, Tamaulipas. La temperatura media anual varía de 16.1 a 22.3 °C y la precipitación pluvial anual promedio es de 310.8 mm, distribuida entre mayo y septiembre. Algunas de las características físicas y de vegetación predominantes en la región de estudio, de acuerdo a SPP-INEGI (1983), se presentan en la Tabla 1. En los sitios de estudio crece vegetación de matorral xerófilo y matorral rosetófilo, asociadas a especies como *Yucca filifera*, *Prosopis laevigata*, *Flourenzia cernua*, *Agave lechuguilla*, *Opuntia*

*microdasis*, *O. leptocaulis*, *O. rastrera*, *Jatropha dioica* y *Larrea tridentata* (Treviño-Carreón y Valiente-Banuet, 2005).

#### 2.4.2. Colecta de material biológico

El trabajo de campo se desarrolló entre enero y febrero de 2014. Para ello se seleccionaron cinco poblaciones (Tabla 1) de *F. pilosus* en fructificación y se colectaron manualmente los frutos maduros, de cuadrantes definidos de 100 x 100 m. Los individuos variaron de 1.2 a 1.8 m de altura y de 14 a 23 vástagos. Los frutos fueron transportados en bolsas de papel de estraza al laboratorio de biotecnología de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, para uso posterior.

**Tabla 1. Descripción de los sitios de muestreo de *Ferocactus pilosus* en el Altiplano Tamaulipeco, durante 2014.**

| Sitio | Localidad                               | Localización  |                | Elevación (m) | Vegetación                    | Geomorfología                 | Edafología                    | Climatología        |
|-------|-----------------------------------------|---------------|----------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|
|       |                                         | Latitud Norte | Longitud Oeste |               |                               |                               |                               |                     |
| I     | Ejido La Perdida, Miquihuaná            | 23.5403       | 99.8215        | 1700          | Matorral desértico rosetófilo | Piedemonte, suelos de aluvión | Litosol                       | Semiseco templado   |
| II    | Ejido Estanque de Los Walle, Miquihuaná | 23.5428       | 99.8415        | 1580          | Matorral desértico rosetófilo | Piedemonte, suelos de aluvión | Xerosol Haplico, Petrocalcico | Seco semicálido     |
| III   | km 15 Carretera Miquihuaná-Dr. Arroyo   | 23.5671       | 99.8609        | 1554          | Matorral desértico micrófilo  | Piedemonte, suelos de aluvión | Xerosol Haplico, Petrocalcico | Seco semicálido     |
| IV    | Camino a San José del Llano, Miquihuaná | 23.4813       | 99.8400        | 1776          | Matorral desértico micrófilo  | Piedemonte, suelos de aluvión | Xerosol Haplico, Petrocalcico | Templado semihúmedo |

---

|   |                             |             |         |      |                            |                      |                                         |                    |
|---|-----------------------------|-------------|---------|------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------------|--------------------|
| V | Ejido<br>Gasmones<br>, Tula | 22.841<br>2 | 99.9233 | 1085 | Matorral<br>submontan<br>o | Llanura<br>desértica | Xerosol<br>Haplico,<br>Petrocalcic<br>o | Seco<br>semicálido |
|---|-----------------------------|-------------|---------|------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------------|--------------------|

---

### **2.4.3. Registro de datos morfológicos**

Para calcular volumen de fruto se utilizó el criterio de geometría de barril, con 260 frutos obtenidos de 49 individuos de las cinco poblaciones. Las mediciones se hicieron con un vernier digital (Mitutoyo, mod. Cd6-cs Absolut Digimatic, Japón). Dicho criterio emplea la fórmula  $V = h \cdot \pi \cdot (2r_1^2 + r_2^2)/3$ , donde V es volumen, h la longitud polar,  $\pi=3.1416$  y  $r$  son los radios mínimo y máximo (Hernández y Treviño, 1998). El criterio tiene como finalidad evaluar la influencia del volumen de fruto en la proporción de semillas formadas.

### **2.4.4. Recuento y peso de semillas formadas**

Las semillas extraídas del fruto fueron colocadas en papel de estraza para su secado a temperatura ambiente de laboratorio (25 °C). El número de semillas se obtuvo a partir de imágenes digitalizadas con el software Midebmp versión 4.2 (Ordiales-Plaza, 2000). El programa contabiliza los pixeles generados por cada semilla, colocada sobre fondo blanco. Mientras que el peso de la semilla por fruto se obtuvo en una balanza analítica (Ohaus, Ga-200, EUA) con precisión de 0.0001 g.

#### **2.4.5. Análisis estadístico**

Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza de una vía, que comprendió número y peso de semillas, volumen de fruto (V), radios mínimo (zona de inserción con el tallo) y máximo (zona de la cicatriz floral), diámetros basal (zona de inserción con el tallo) y ecuatorial y longitud polar para cada sitio de estudio. La existencia de diferencias estadísticas significativas, motivó el desarrollo de la prueba de comparación múltiple de medias con Tukey,  $\alpha = 0.05$ .

El análisis multivariado se introdujo con la finalidad de medir el grado de similitud entre sitios y entre las variables involucradas, por medio de la distancia euclidiana definida en el dendrograma construido. Este procedimiento permite discriminar los sitios y las variables con coeficientes de correlación parecidos (Núñez-Colín *et al.*, 2004).

Los resultados también fueron tratados estadísticamente mediante análisis de funciones discriminantes (SAS Institute Inc., 2007). Este análisis es una técnica multivariada que localiza las diferencias significativas de variables discriminantes entre dos o más grupos (Gotelli y Ellison, 2004; McGarigal *et al.*, 2000), mediante combinaciones lineales. En ésta fase sólo se consideraron las variables longitud polar, diámetro ecuatorial y volumen de fruto, así como peso y número de semillas por fruto de la biznaga, muestreada en los cinco sitios del Altiplano de Tamaulipas.

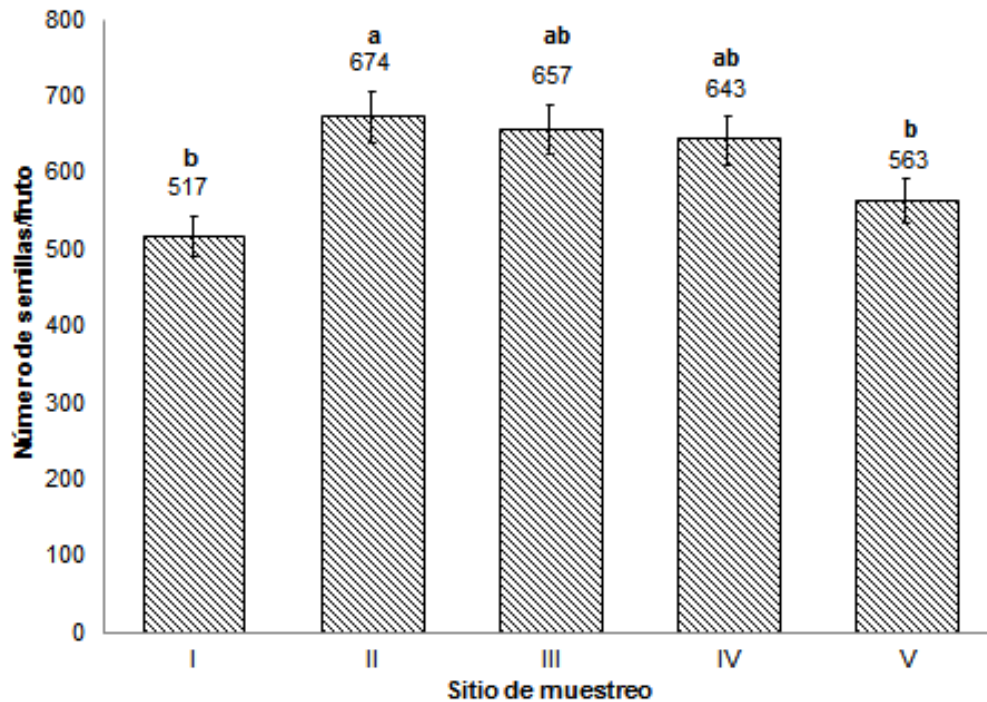


## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre las variables, el número ( $P < 0.009$ ;  $\alpha = 0.05$ ) y peso de semillas ( $P < 0.009$ ;  $\alpha = 0.05$ ) de biznaga cabuchera fueron significativamente afectados por el sitio de colecta. En especies cultivadas, estas variables son frecuentemente definidas por las características genéticas de la planta madre; sin embargo, en condiciones naturales el número y peso de la semilla de cactáceas depende fundamentalmente del ambiente de crecimiento, así como también de una estrategia adaptativa en sus sistemas reproductivos (Ayala-Cordero *et al.*, 2004).

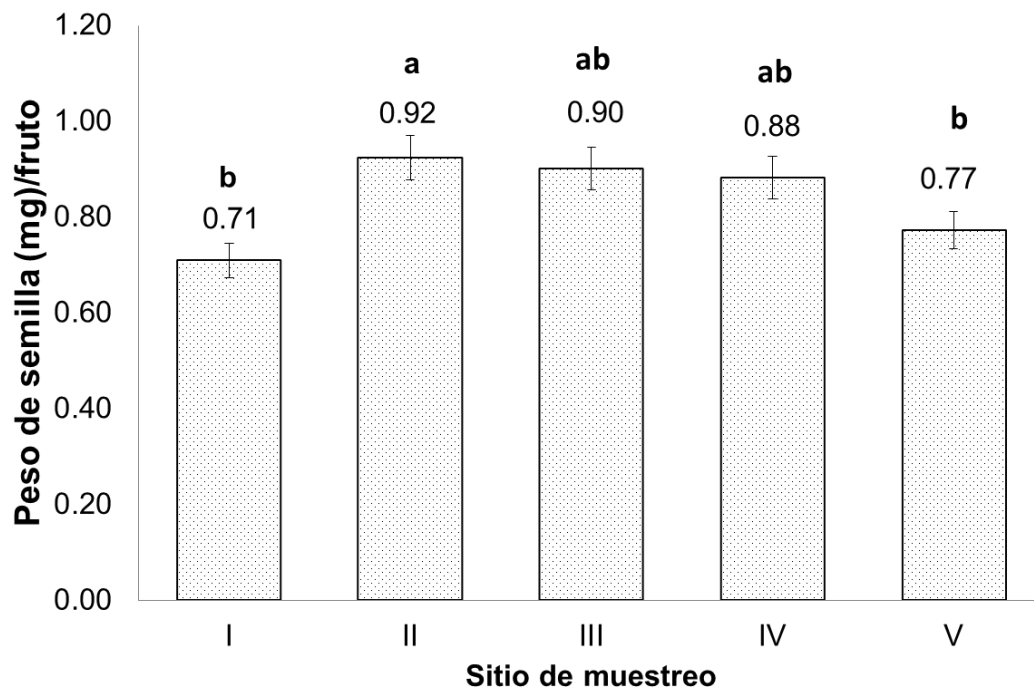
Ahora bien, la prueba de separación de medias con Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) indica que los sitios de muestreo II, III y IV (Tabla 1) tuvieron el mismo grado de influencia en la cantidad de semillas de biznaga formadas, al decrecer de 674, 656 y 643 semillas por fruto, en promedio (Figura 1). Esta relación podría deberse a características muy particulares del sitio con respecto a las variables físicas y de vegetación, principalmente (Tabla 1). Sin embargo, habría que considerar que la producción de semillas dependen de polinización, donde las estructuras florales están asociadas específicamente con la fauna (Valiente-Banuet, 2002), dado que para nuestro caso la fenología reproductiva de *F. pilosus* fue asincrónica y presentó floración protándrica, lo que evitó la autogamia (observación personal). Esto

demuestra la necesidad de polinizadores para realizar la fecundación y la consecuente formación de semillas viables (Faegri y van der Pijl, 1971).



**Figura 1. Número de semillas por fruto de biznaga cabuchera por sitio de muestreo. Promedio de 260 frutos. Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), en el semidesierto de Tamaulipas, 2014.**

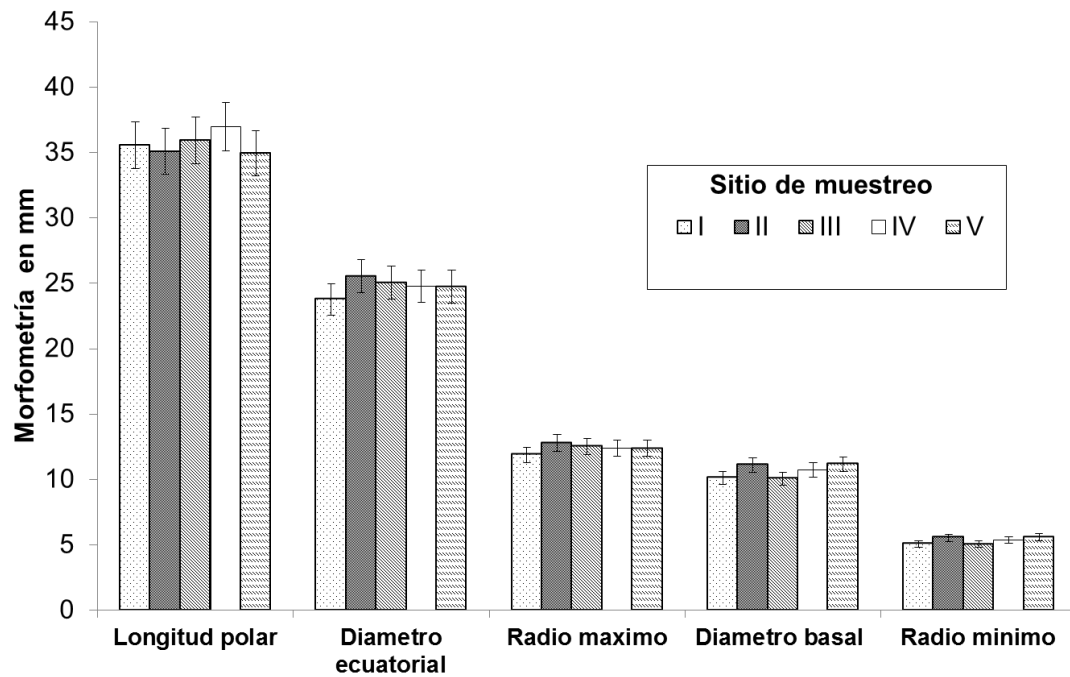
Por otro lado, la misma tendencia de respuesta descrita para los sitios II, III y IV, y V y I, se observó en el peso de la semilla de la biznaga (Figura 2). El peso total de la semilla por fruto de biznaga fue 0.9246, 0.9012 y 0.8824 mg para los sitios II, III y IV, quienes guardaron significancia estadística similar para formar el primer grupo de medias, mientras el segundo grupo estadístico de medias estuvo formado por los sitios I, III, IV y V.



**Figura 2. Peso de semilla de biznaga cabuchera por sitio de muestreo. Promedio de 260 frutos. Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) en el semidesierto de Tamaulipas, 2014.**

El mayor peso de la semilla se debe al menor número de frutos por individuo, o a un menor número de vástagos, o bien a un suministro apropiado de humedad y aprovechamiento de reservas nutricionales, así como la radiación solar (Ayala-Cordero *et al.*, 2004). Situaciones que se vieron favorecidas en los sitios II, III y IV, con características similares. Aun así, la variación promedio de peso de semilla fue mínima entre sitios de muestreo, el cual osciló entre 0.71 y 0.92 mg (Figura 2). Esto podría sugerir la existencia de un comportamiento reproductivo similar entre poblaciones estudiadas. Que

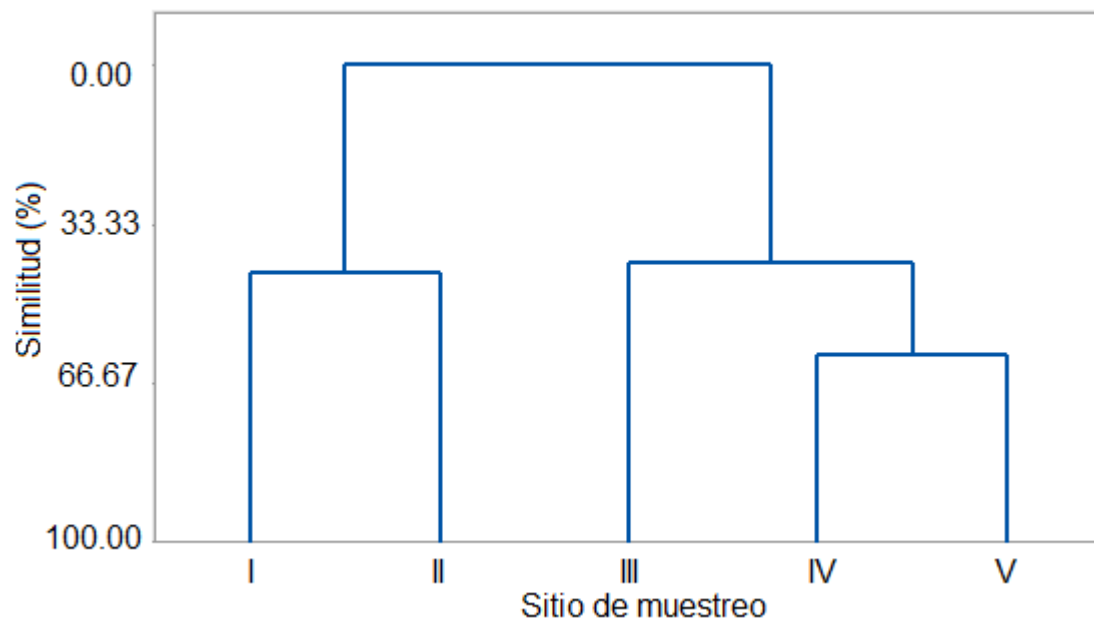
corresponde con las características morfométricas del fruto entre sitios, tales como radios mínimo y máximo, diámetros basal y ecuatorial y longitud polar (Figura 3), donde las diferencias estadísticas significativas estuvieron ausentes.



**Figura 3. Morfometría de fruto de biznaga cabuchera por sitio de muestreo. Promedio de 260 frutos. Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) en el semidesierto de Tamaulipas, 2014.**

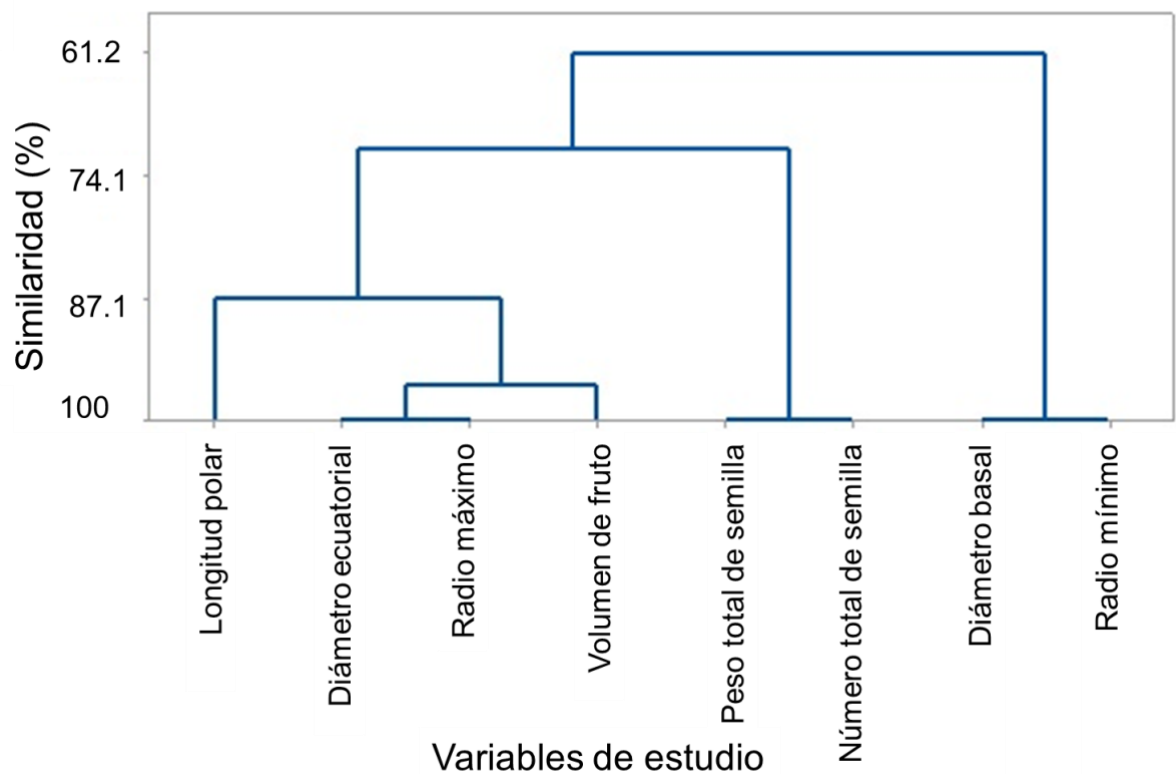
El dendrograma de similitud comprueba los resultados estadísticos del ANOVA discutido con anticipación (Figura 4). Las condiciones ambientales de crecimiento para la biznaga cabuchera, tienden a ser las mismas entre los sitios III y IV, por lo que el efecto en las variables número y peso de semillas

fueron estadísticamente iguales, cuyas respuestas fueron cercanas a los valores observados en el sitio II. Por el contrario, estos tres sitios difieren notablemente en las características morfométricas del fruto, con respecto a los sitios I y V (Figura 4). Estos caracteres morfológicos similares de fruto, al igual que en peso y cantidad de semillas, resulta parecido a lo que ocurre con semillas de tipo estenospermas, en individuos dispersos de poblaciones aisladas en zonas áridas y semiáridas (Torroba *et al.*, 2013), donde las plantas siguen una trayectoria alométrica simple en ausencia de competencia (Weiner y Thomas, 1992). Pero, al presentar interacciones competitivas intraespecíficas inducen a variaciones en la morfología de individuos en poblaciones (Weiner y Fishman, 1994).



**Figura 4. Dendrograma de la distancia Euclidiana entre sitios para variables morfológicas de frutos de biznaga cabuchera del semidesierto de Tamaulipas, 2014.**

El dendrograma de la Figura 5 define tres grupos por similitud de valores del coeficiente de correlación. Los coeficientes de correlación con mayor parecido (87%) se presentan entre longitud polar del fruto y el grupo de variables conformado por el diámetro ecuatorial, radio máximo y volumen. En cambio, el grupo de las características de la semilla como peso y número, dependen de las características propias del fruto, en particular longitud polar, cuyos valores fueron cercanos a 70% de similitud, según el coeficiente de correlación. Por el contrario, las características morfológicas del fruto como diámetro basal y radio menor, tienen influencia mínima en el peso y número de semillas de biznaga cabuchera (< 75%). De otra manera, la zona de inserción del fruto con el vástago de la biznaga, no constituye una variable apropiada para relacionarla con la zona opuesta del fruto, diámetro de fruto o la longitud polar.



**Figura 5. Dendrograma de la distancia entre variables morfológicas de frutos de biznaga cabuchera del semidesierto de Tamaulipas, dada por el coeficiente de correlación. 2014.**

El análisis de funciones discriminantes determinó valores de *Wilks'* para peso de semilla ( $\lambda = 0.9472$ ) y longitud polar de fruto ( $\lambda = 0.9432$ ) cercanos a la unidad, por lo que, no obstante su significancia estadística ( $P < 0.05$ ) tienen un poder discriminatorio mínimo; es decir, que éstas dos diferencias morfológicas del fruto de biznaga cabuchera son muy pequeñas (1 mm). Por lo tanto, el peso de semilla y longitud polar de fruto tienden a ser parecidos entre los sitios de la región del Altiplano Tamaulipeco. El resto de variables,

diámetro ecuatorial, volumen de fruto y número de semillas/fruto, no mostraron efectos estadísticos significativos.

La prueba de Chi-cuadrada del análisis canónico, revela la existencia de una función discriminante que, a través del *eigen* valor, explica el 7% de la variación entre las poblaciones. Este es un valor relativamente bajo, del mismo modo que el valor de la correlación canónica de la función discriminante (0.2631), lo que dificulta diferenciar a las variables morfológicas del fruto y semilla de la biznaga cabuchera entre los cinco sitios de muestreo. El valor *Wilks'* ( $\lambda = 0.9023$ ) es alto, que confirma la dificultad para encontrar esas diferencias, peso de semilla y longitud polar del fruto, entre las variables morfológicas del fruto de la biznaga en el Altiplano de Tamaulipas.

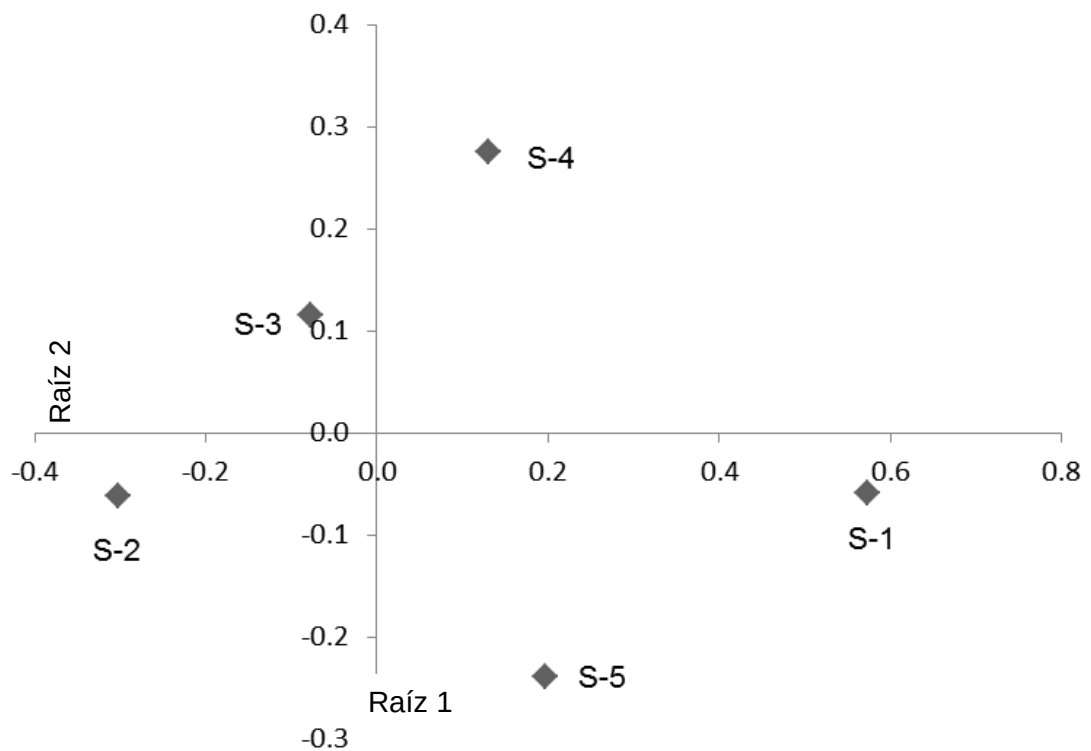
El procedimiento de variables canónicas determinó la existencia de dos coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes. De estos, se define que el peso de la semilla de la biznaga tiene la mayor importancia (raíz 2: 2.4283), seguido por la longitud polar del fruto (raíz 1: 0.1124). Por lo tanto, ambas variables predicen con mayor precisión las características morfológicas del fruto de la biznaga entre poblaciones.

Resultados de longitud de fruto y peso de la semilla, facilitan la diferenciación de poblaciones de biznaga cabuchera e implica importantes efectos positivos en la germinación y establecimiento *in situ* (Figura 6). Dado que la especie



presenta baja o nula emergencia de plántulas durante periodos prolongados de tiempo (Hernández y Godínez, 1994; Observación Personal), las características del fruto son vitales para *F. pilosus*, en particular la producción de un número alto de semillas que asegure la sobrevivencia de la especie. Mientras que el establecimiento depende de condiciones de humedad y temperatura optimas (Flores y Jurado, 2009; 2011) y tienen la necesidad de contar con plantas nodrizas para su desarrollo (Lara *et al.*, 2016).

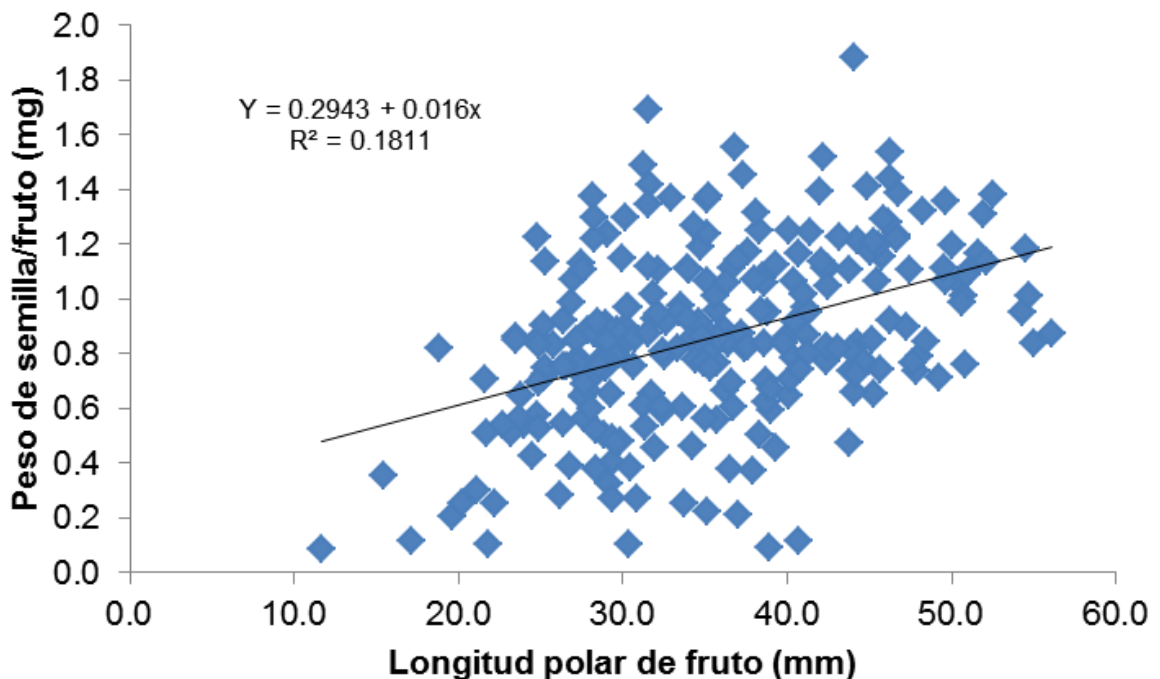
Desafortunadamente, el saqueo selectivo (botones florales y frutos) interrumpe el ciclo reproductivo (Alanís y Velazco, 2008). Ello aunado a la destrucción del hábitat provocado por sobrepastoreo o por cambio de uso de suelo (Salas de León *et al.*, 1999), con consecuencias negativas en la demografía (Hernández y Godínez, 1994; Hernández, 2006). Lo anterior es consecuente con la distribución potencial de *F. pilosus*. No obstante que la superficie que ocupa es extensa con 298,007 km<sup>2</sup>, ésta se encuentra fragmentada, ya que muestra una pérdida de cobertura de 16% (Ballesteros *et al.*, 2017), en particular a escala local (Del Castillo y Trujillo, 1991; Hernández y Godínez, 1994).



**Figura 6. Media de las variables canónicas de los sitios de muestreo (S-i) de la biznaga cabuchera del Altiplano de Tamaulipas.**

La relación entre longitud polar de fruto y peso de semillas ha sido un tema de estudio frecuente como variante de la calidad de la semilla (Rojas-Aréchiga y Vazquez-Yanes, 2000). Entre los factores que destacan como aquellos que hacen variar estos dos atributos de la calidad se tiene a la genética de la planta madre (Sánchez-Villegas y Rascón-Chu, 2017), nutrición de la planta, edad de la planta, especie vegetal, procesos de domesticación (Ayala-Cordero *et al.*, 2004).

La Figura 7 también demuestra la relación mínima existente entre longitud polar de fruto y peso total de semilla ( $r^2 = 0.1811$ ), no obstante que el aumento de las dimensiones morfológicas del fruto es un medio por el cual el fruto de la biznaga garantiza el número óptimo de semillas y su abastecimiento nutricional. En otras palabras, el aumento de las dimensiones de longitud del fruto es relativamente lento (dado la pendiente de la imagen) y se manifiesta en el peso bajo del total de semillas. Lo que destaca la heterogeneidad entre poblaciones respecto a la longitud polar en relación con el peso total de semilla por fruto.



**Figura 7.** Curva que representa la estructura de factores a partir de los datos originales de longitud y peso de semilla de biznaga cabuchera del Altiplano de Tamaulipas.

La baja asociación entre estas variables, significa que la producción de semilla no depende del tamaño de fruto, el cual es altamente variable y por lo tanto, un atributo indeseable para *F. pilosus*. Esta falta relación significativa también fue encontrada en *F. robustus* (González y Navarro, 2011) y *Pterocereus gaumeri* (Méndez *et al.*, 2005) y contrasta con resultados positivos descubiertos en *F. cylindraceus*, *F. wislizenii* (McIntosh, 2002) y *E. platyacanthus* (Díaz *et al.*, 2008).

El peso de la semilla ha sido asociado con mecanismos fisiológicos y genéticos de las especies de plantas (Sánchez-S. *et al.*, 2006). La variación del número de semillas respecto al fruto de *F. pilosus* dificulta la posibilidad de obtener diferencias morfológicas a nivel de población. Esto queda probado por el número de semillas que se localizó entre 64 y 1,371, una variación amplia semejante a la observada en *F. histrix*, la cual estuvo entre 300 y 2,200 (Del Castillo, 1986). Las poblaciones de *F. pilosus* habitan en el semidesierto y tienen una tasa de reproducción alta, pero presentan alto índice de mortalidad en etapas tempranas (germinación y establecimiento), lo que se ha considerado como una estrategia reproductiva y de supervivencia de tipo *K* (MacArthur y Wilson, 1967).

En poblaciones donde las condiciones ambientales son diferentes se espera variación entre el número y peso de semilla (Ayala-Cordero, 2004). El

número de semillas pequeñas y abundantes que producen los frutos de *F. pilosus* aumenta la probabilidad de dispersión y de formación de reservas de semillas en el suelo (Flores y Jurado, 2011). La variación en el peso de semilla puede presentar efectos importantes en la dispersión, viabilidad, germinación, supervivencia y establecimiento (Sánchez-S. *et al.*, 2006). Cuando el peso de la semilla tiende a ser mayor el número de semillas es bajo, debido a la mayor proporción de fotoasimilados que recibe y a la dinámica hídrica en los tejidos conductivos (Flores *et al.*, 2011). En cambio, si el peso de semilla es variable en una población, se espera germinación alterna (Contreras-Quiroz *et al.*, 2016a), la cual depende de la memoria de hidratación tal como ocurre en *Ferocactus pilosus* (Contreras-Quiroz *et al.*, 2016b).

## **2.6. CONCLUSIÓN**

La morfometría del fruto de *Ferocactus pilosus*, en cuanto a longitud polar, diámetros ecuatorial y basal, radios mínimo y máximo y volumen, no mostró variación entre las poblaciones muestreadas en el Altiplano Tamaulipeco. Esto indica una similitud en las condiciones físicas y ambientales entre sitios de colecta, lo que sugiere ampliar el área de muestreo de poblaciones de *F. pilosus* a lo largo del gradiente en el que se distribuye. El tamaño de fruto no fue determinante del peso total de semilla, por lo que ésta variante afectada por la morfometría del fruto, se le debe asociar con factores intrínsecos de la

planta madre, o bien a factores extrínsecos, como la polinización e influencia antropogénica.

## 2.7. LITERATURA CITADA

- Alanís-Flores, G. J. y Velasco-Macías C. G. 2008. Importancia de las cactáceas como recurso natural en el Noreste de México. *Ciencia UANL*, 11:5–11.
- Ayala-Cordero, G., Terrazas T., López-Mata L. y Trejo C. 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia*, 29:692–697.
- Ballesteros-Barrera C., Aguilar-Romero O., Zarate-Hernández R. y Ballesteros-Tapia L. 2017. Distribución geográfica y conservación de nueve especies del género *Ferocactus* (cactaceae) en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40:131–140.
- Baloch, H. A., DiTomasso A. y Watson K. A. 2001. Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. *Seed Science Research*, 11: 335–343.
- Bravo-Hollis, H. y Scheinvar, L. 1999. El interesante mundo de las Cactáceas. Fondo de Cultura Económica. Segunda edición. México, D. F. 223 p.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada H. 1991. Las Cactáceas de México. Volumen II. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 404 p.
- Contreras, C. y Valverde T. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. *Journal of Arid Environments*, 51:89–102.

- Contreras-Quiroz, M. Del R., Pando-Moreno M., Flores J. y Jurado E. 2016a. Effects of wetting and drying cycles on the germination of nine species of the Chihuahuan Desert. *Botanical Sciences*, 94:221–228.
- Contreras-Quiroz, M., Pando-Moreno M., Jurado E., Bauk K., Gurvich D. E. y Flores J. 2016b. Is seed hydration memory dependent on climate? Testing this hypothesis with Mexican and Argentinian cacti species. *Journal of Arid Environments*, 130:94– 97.
- Del Castillo, R. F. 1986. Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus hystrix*. *Cact. Suc. Mex.*, 31:5–11.
- Del Castillo, R. F. y Trujillo S. 1991. Ethnobotany of *Ferocactus hystrix* and *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) in the Semiarid Central Mexico: Past, present and future. *Econ. Bot.*, 45:495–502.
- Díaz Hernández, H., Navarro C. M. del C. y Rodríguez M. C. A. 2008. Aspectos de la morfometría y fenología reproductiva de *Echinocactus platyacanthus* en la Barranca Huexotitlanapa en Tecali de Herrera, Puebla. *Cac Suc Mex.*, 53:100–107.
- DOF, (Diario Oficial de la Federación). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. 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 de Diciembre de 2010. México, D. F. 78 p.
- Faegri, K. y van der Pijl L. 1979. The principles of pollination ecology. Oxford, Pergamon Press. New York. 244 p.

- Flores, J. y Jurado E. 2011. Germinación de especies de cactáceas en categoría de riesgo del Desierto Chihuahuense. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8: 59–70.
- Flores, J. y E. Jurado. 2009. Efecto de la densidad de semillas en la germinación de *Isolatocereus dumortieri* y *Myrtillocactus geometrizans*, cactáceas columnares endémicas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80:141-144.
- Flores, J., Jurado E., Chapa-Vargas L., Ceroni-Stuva A., Dávila-Aranda P., Galíndez G., Gurvich D., León-Lobos P., Ordóñez C., Ortega-Baes P., Ramírez-Bullón N., Sandoval A., Seal C.E., Ulian T. y Pritchard H.W. 2011. Seeds photoblastism and its relationship with some plant traits in 136 cacti species. *Environmental and Experimental Botany*, 71: 79-88.
- Sánchez-S., J., Flores J. y Martínez-G. E. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire. (Cactaceae), especie amenazada de extinción. *Interciencia*, 31:371–375.
- Flores-Martínez, A., Manzanero G. I. M., Golubov J. y Mandujano M. C. 2013. Biología Floral de *Mammillaria huitzilopochtli*, Una Especie Rara Que Habita Acantilados. *Botanical Sciences*, 91:349–356.
- González, M. E. M. y Navarro C. M. del C. 2011. Fenología reproductiva de *Ferocactus robustus* en San Mateo Tlaíxpan, Tecamachalco, Puebla, México. *Cact. Suc. Mex.*, 56:100–111.
- Gotelli, N. J. y Ellison A. M. 2004. *A Primer of Ecological Statistics*. 2<sup>nd</sup>. edition Sinauer Associates, Inc. Sunderland, MA. 510 p.



- Guzmán, U., Arias S. y Dávila P. 2003. Catálogo de Cactáceas Mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 315 p.
- Hernández, M. H. 2006. La vida en los desiertos mexicanos. Colección: La ciencia para todos No. 213. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 188 p.
- Hernández, M. H. y Godínez A. H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Acta Botánica Mexicana, 26: 33–52.
- Hernández, B. T. y Treviño C. J. 1998. Notas referentes al fruto de *Ariocarpus agavoides* (Castañeda) Anderson. Cact. Suc. Mex., 43:80–84.
- Jiménez, S. C. L. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. Revista Digital Universitaria, 12:1–23.
- Lara, J. E. I., Treviño-Carreón J., Estrada D. B., Poot P. W. A., Vargas-Tristán V. y Ballesteros-Barrera C. 2016. Determinación de las especies nodriza de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm. (Cactaceae) en Miquihuana, Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Agroecosistemas, 3:184–194.
- MacArthur, R. y Wilson E. O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, New Jersey. 224 p.
- Mandujano, M. C., Golubov J. y Huenneke L. F. 2007. Effect of re-productive modes and environmental heterogeneity in the population dynamics of a geographically widespread clonal desert cactus. Population Ecology, 49:141–153.
- McGarigal, K., Cashman S. y Stattard S. 2000. Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research. 13rd. Edition. Springer-Verlag, New York. 283 p.

- McIntosh, M. E. 2002. Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *Ferocactus* (Cactacea). *Plant Ecology*, 159:1–13.
- Méndez, M., Durán R., Dorantes A., Dzib G., Simá L., Simá P. y Orellana R. 2005. Floral demography and reproductive system of *Pterocereus gaumeri*, a rare columnar cactus endemic to Mexico. *Journal of Arid Environments*, 62:363–376.
- Núñez-Colín, C. A., Rodríguez-Pérez J. E., Nieto-Ángel R. y Barrientos-Priego A. F. 2004. Construcción de dendrogramas de taxonomía numérica mediante el coeficiente de distancia  $\chi^2$ : una revisión. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10:229–237.
- Ordiales-Plaza, R. 2000. Midebmp, Version 4.2. Estación Experimental de Zonas Áridas, Almería, España.
- Rojas-Aréchiga, M. y Vázquez-Yanes, C. 2000. Cactus seed germination: a review. *J. Ar. Environ.*, 44:85–104.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Primera edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 504 p.
- Salas de León, S. N., García M. A., Reyes A. J. A. y Villar M. C. 1999. Distribución geográfica y ecológica de la flora amenazada de extinción en la zona árida del estado de San Luis Potosí, Mexico. *Polibotánica*, 10:1–21.
- SPP-INEGI, (Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información). 1983. Síntesis Geográfica del Estado de Tamaulipas. Dirección General de Geografía. México, D. F. 158 p.

- SAS, (Statistical Analysis System). Institute Inc. 2007. SAS 9.1.3 for Windows  
Microsoft. SAS Institute Inc., Cary. North Carolina, USA. 212 p.
- Sánchez-Villegas, A. y Rascón-Chu, A. 2017. Efecto de la escarificación química y  
del ácido giberélico en la germinación de *Mammillaria mainiae*. *Cact. Suc.  
Mex.*, 62:4–12.
- Torroba, P., Hernández Á. y Zaldívar P. 2013. Caracterización morfométrica de las  
semillas de frutos carnosos de la flora del norte de la Península Ibérica.  
*Ecología*, 25:175–196.
- Treviño-Carreón, J. y Valiente-Banuet A. 2005. Pp. 22-46. La vegetación de  
Tamaulipas y sus principales asociaciones vegetales. L. Barrientos, A.  
Correa, J. Horta y J. Jiménez. *Biodiversidad Tamaulipeca Vol. I*. DGEST e  
ITCV. México.
- Valiente-Banuet, A. 2002. Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de las  
cactáceas columnares de México. *Revista Chilena de Historia Natural*,  
75:99–104.
- Weiner, J. y Fishman L. 1994. Competition and allometry in *Kochia scoparia*.  
*Science*. 10: 269–271.
- Weiner, J. y Thomas S. C. 1992. Competition and allometry in plants. *Ecology*.  
73:652–655.

### 3. Capitulo III. Germinación *in vitro* de biznaga cabuchera [*Ferocactus pilosus* (Galeotti ex Salm-Dyck) Werdermann] (Caryophyllales: Cactaceae)

#### 3.1. RESUMEN

*Ferocactus pilosus* [(Galeotti ex Salm-Dyck) Werdermann] es una cactácea conocida como biznaga, la cual muestra crecimiento lento y se encuentra catalogada en riesgo de extinción. El objetivo del ensayo fue estudiar *in vitro* el efecto de tratamientos químicos y reguladores de crecimiento para promover la germinación de semillas de *F. pilosus* colectadas en dos años consecutivos, 2014 y 2015. Los productos químicos estudiados fueron  $H_2SO_4$  y  $H_2O_2$ , y como los fitoreguladores AG<sub>3</sub>, AIA y ANA, bajo diferentes tiempos de inmersión y concentración, respectivamente. La asignación de tratamientos fue bajo un diseño completamente al azar. Durante 30 d se registró número de semillas germinadas cada 2 d y se determinó la germinación estándar. Se utilizó la regresión logística para estudiar el efecto de los factores de estudio. La germinación estándar de la biznaga fue 82 % con  $H_2SO_4$ , mientras que la germinación de la semilla inició entre 2 y 6 d después de la siembra y la fase logarítmica representativa se logró entre 8 y 20 d con  $H_2SO_4$  para colectadas en 2014. Las semillas de biznaga colectadas en 2015 fueron lentas en la fase inicial o de retardación de la germinación, que comprendió 18 d. La aplicación de  $H_2SO_4$  acortó 4 d el tiempo de germinación y aumentó 82 % la germinación estándar, mientras

que  $H_2O$  mantuvo constante la germinación estándar (ca. 50%) y el tiempo de respuesta de la germinación se localizó entre 6 y 10 d de la siembra *in vitro*.

**Palabras clave:** *Ferocactus pilosus*,  $H_2SO_4$ ,  $H_2O_2$ , regulador de crecimiento, germinación estándar, tiempo de germinación.

***In vitro* germination of biznaga cabuchera [*Ferocactus pilosus* (Galeotti ex Salm-Dyck) Werdermann] (Caryophyllales: Cactaceae)**

**ABSTRACT**

*Ferocactus pilosus* [(Galeotti ex Salm-Dyck) Werdermann] is a cactus known as biznaga, it shows slow growth and is currently at risk of extinction. The objective of the *in vitro* test consisted of analyzing the effect of chemical treatments and growth regulators in the promotion of the germination of seeds collected in two consecutive years. The products studied were H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, and as phytohormones AG<sub>3</sub>, AIA and ANA, through periods of immersion and concentration respectively, in a completely randomized design. For 30 days, the number of germinated seeds was recorded every 48 hours and standard germination was determined, the latter being submitted to the Binomial Distribution test for statistical validation. Standard germination of biznaga seeds is 82% with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> treatment, while seed germination begins between 2 and 6 days after sowing in both years and the representative logarithmic phase is between 8 and 20 days with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in 2015. The biznaga seeds sampled in 2016 completed the initial phase of germination more slowly, in a total of 16 days. The application of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> shortened the germination time by 4 days and increased standard germination by 82 %, while H<sub>2</sub>O maintained the standard germination constant (ca. 50%), the *in vitro* seed germination response time was recorded between 6 and 10 days.

**Key words:** *Ferocactus pilosus*,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , growth regulators, standard germination, germination time.

### 3.2. INTRODUCCIÓN

La biznaga cabuchera [*Ferocactus pilosus* (Galeotti ex Salm-Dyck) Werdermann], distribuida en Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991), está sometida a presión intensa por la colecta y destrucción de su hábitat, lo que ha modificado su estructura y densidad poblacional. Además, su propagación es limitada, la tasa de germinación es lenta, muestra establecimiento pobre de plántulas y crecimiento lento, es vulnerable a depredadores y depende de nodrizas (Lara *et al.*, 2016). En consecuencia, es una especie en riesgo y bajo protección especial (DOF, 2010), lo que hace necesario recuperar y conservar sus poblaciones. Por ello, se ha explorado la reproducción sexual en condiciones controladas mediante el uso de compuestos químicos y reguladores de crecimiento vegetal. De ésta manera, *Ferocactus* ha logrado 70 a 90 % de germinación con ácido clorhídrico (Navarro y González, 2007), y 80 % con ácido giberélico (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Por el contrario, los ácidos indol acético y naftalenacético no promueven la germinación en *F. hystrix* y *F. latispinus* (Amador-Alfárez *et al.*, 2013).

La propagación por semilla de la biznaga convendría para la obtención de individuos con mejores características genéticas (Sánchez-Villegas y Rascón-Chu, 2017), etapa crítica para la sobrevivencia de *F. pilosus*. El objetivo de este trabajo fue demostrar que la aplicación de productos



químicos y reguladores de crecimiento vegetal, representan un medio eficaz para incrementar la velocidad y germinación estándar de semillas de *Ferocactus pilosus* colectadas en dos años consecutivos.

### **3.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.3.1. Descripción del área de estudio**

La colecta de fruto se realizó en el ejido Estanque de los Walle, Miquihuana, Tamaulipas, México (23° 34' 15"N y 99° 51' 24"O), a 1560 m de elevación. El clima es seco, precipitación anual de 350 a 500 mm y temperatura media de 17 a 19 °C. El suelo es Regosol Calcárico (Rc) de origen aluvial. Entre la vegetación predomina *Yucca filifera*, *Larrea tridentata* y *Agave lechuguilla* (SPP-INEGI, 1983).

#### **3.3.2. Colecta de frutos y resguardo de semillas**

La selección de individuos para colecta de fruto se hizo de acuerdo a número ( $\leq 10$ ) y longitud de vástagos ( $\leq 1.5$  m), en julio de 2014. Aleatoriamente se eligieron 50 frutos fisiológicamente maduros que fueron almacenados entre 4 y 5 °C por 30 días.

#### **3.3.3. Selección de semillas**

La extracción de semillas se realizó manualmente: la pulpa se comprimió contra una malla de 1 mm de abertura, con enjuagues constantes de agua

potable. Enseguida fueron distribuidas sobre papel de estraza hasta secado total, a temperatura ambiente de laboratorio (25 °C) y conservadas en sobres encerados hasta octubre de 2015. Ese mismo año se hizo otra colecta de frutos con el mismo protocolo de 2014, y las semillas fueron preservadas hasta octubre de 2016. La selección de las semillas se realizó considerando los parámetros de morfología, color de la testa, sin daño aparente y viabilidad demostrada con la prueba de precipitación/flotación en agua destilada (Emongor *et al.*, 2004).

#### **3.3.4. Tratamiento de semillas**

Las pruebas de germinación se llevaron a cabo en condiciones de asepsia en la campana de flujo laminar (ESCO, modelo AVC-4D2). Las semillas se sometieron a un proceso de limpieza que consistió en inmersión durante 10 min en alcohol al 70% (Purex, México), seguido de tres lavados con agua desionizada, estéril, en cajas Petri con agitación de 5 min. Luego se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 15% (Cloralex, Alen, México) por 5 min, después se lavaron en agua desionizada estéril.

El secado se efectuó en papel absorbente antes de iniciar con los tratamientos pre-germinativos los cuales consistieron en 1) Reactivos químicos: a) inmersión de semilla en peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) al 3.34 % durante 10, 20 y 30 min, en 2015 y 2016; b) ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 97.30 % por 5, 10 y 15 min en ambos años y; 2) Reguladores de crecimiento

vegetal (RCV): a) ácido giberélico (AG<sub>3</sub>); b) ácido indol acético (AIA) y; c) ácido naftalenacético (ANA). En estos últimos, las semillas fueron mantenidas en imbibición por 30 min en concentraciones de 125, 250 y 500 ppm, para ambos años de colecta. El tratamiento testigo consistió en remojar las semillas en agua desionizada estéril por 30 min.

El primer experimento de germinación se estableció en octubre de 2015. Las cajas Petri fueron esterilizadas en autoclave (All American, 1941X, USA) a 1 atm de presión por 30 min. Cada caja Petri representó a la unidad experimental y estuvo integrada por 25 semillas y repetida cuatro veces. Las cajas fueron incubadas en un cuarto de cultivo con humedad relativa de 70% y temperatura de 25±2 °C, fotoperíodo de 16 h luz (30  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )/8 h oscuridad, emitida por lámparas fluorescentes de luz fría (Illux, T5 Mod. 1, 4100°K, 50 W/120 V). La humedad en las cajas Petri se mantuvo añadiendo 10 mL de agua desionizada estéril cada 48 h durante 25 días, después de realizar el recuento de semillas germinadas. Se consideró semilla germinada, al exhibir ruptura de testa y emergencia de radícula de 1 mm (ISTA, 2011). El segundo experimento germinativo se realizó en septiembre de 2016 bajo el mismo procedimiento que 2015.

### **3.3.5. Establecimiento del experimento**

El primer experimento de germinación se estableció en octubre de 2015. Las cajas Petri fueron esterilizadas en autoclave (All American, 1941X, USA) a 1

atm de presión por 30 min. Cada caja Petri representó a la unidad experimental y estuvo integrada por 25 semillas y repetida cuatro veces. Las cajas fueron incubadas en un cuarto de cultivo con humedad relativa de 70% y temperatura de  $25 \pm 2$  °C, fotoperíodo de 16 h luz ( $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )/8 h oscuridad, emitida por lámparas fluorescentes de luz fría (Illux, T5 Mod. 1, 4100°K, 50 W/120 V). La humedad en las cajas Petri se mantuvo añadiendo 10 mL de agua desionizada estéril cada 48 h durante 25 días, después de realizar el recuento de semillas germinadas. Se consideró semilla germinada, al exhibir ruptura de testa y emergencia de radícula de 1 mm (ISTA, 2011). El segundo experimento germinativo se realizó en septiembre de 2016 bajo el mismo procedimiento que 2015.

### **3.3.6. Análisis estadístico**

El análisis estadístico comprendió la regresión logística o regresión binaria, con el fin de estudiar el efecto de los factores de estudio: compuestos químicos y fitoreguladores, tiempo de inmersión, concentración y años de colecta sobre la proporción de germinación. La prueba Chi-cuadrado ( $X^2$ ) verificó diferencias específicas entre tratamientos. La elección del mejor tratamiento se realizó mediante contrastes ortogonales. Se usó el procedimiento GENMOD del programa SAS ver. 9.1.3 (SAS, 2007). El modelo probabilístico que representa el número de semillas germinadas fue el de la Distribución Binomial, con una función de liga logarítmica (Myers *et al.*, 2002).

El modelo utilizado fue:

$$\log\left(\frac{P(Y=1|\underline{x})}{1-P(Y=1|\underline{x})}\right) = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p$$

Dónde:  $P(Y=1|\underline{x})$  es la probabilidad de que una semilla germine dado los factores de estudio ( $\underline{x}$ ),  $Y$ = variable binario (1 germinar, 0 no germinar),  $\beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p$  es una función que refleja el efecto de factores  $x_i$  y  $\beta_i$  son los parámetros asociados.

### 3.4. RESULTADOS

El análisis del estimador de máxima verosimilitud de la regresión logística para semillas de 2014, indicó que  $H_2SO_4$  fue el compuesto con mayor porcentaje de germinación (82 %) de biznaga ( $p<0.01$ ) (Tabla 2, Figura 8). Asimismo el  $H_2SO_4$ , mejoró el tiempo de germinación al iniciar en el 6° día y estabilizarse hasta el 18° día (Figura 9); no obstante este comportamiento fue diferente entre los tratamientos restantes, donde la germinación inicio el 9° día y se estabilizó después del 20° día al alcanzar 59 % de germinación por el testigo.

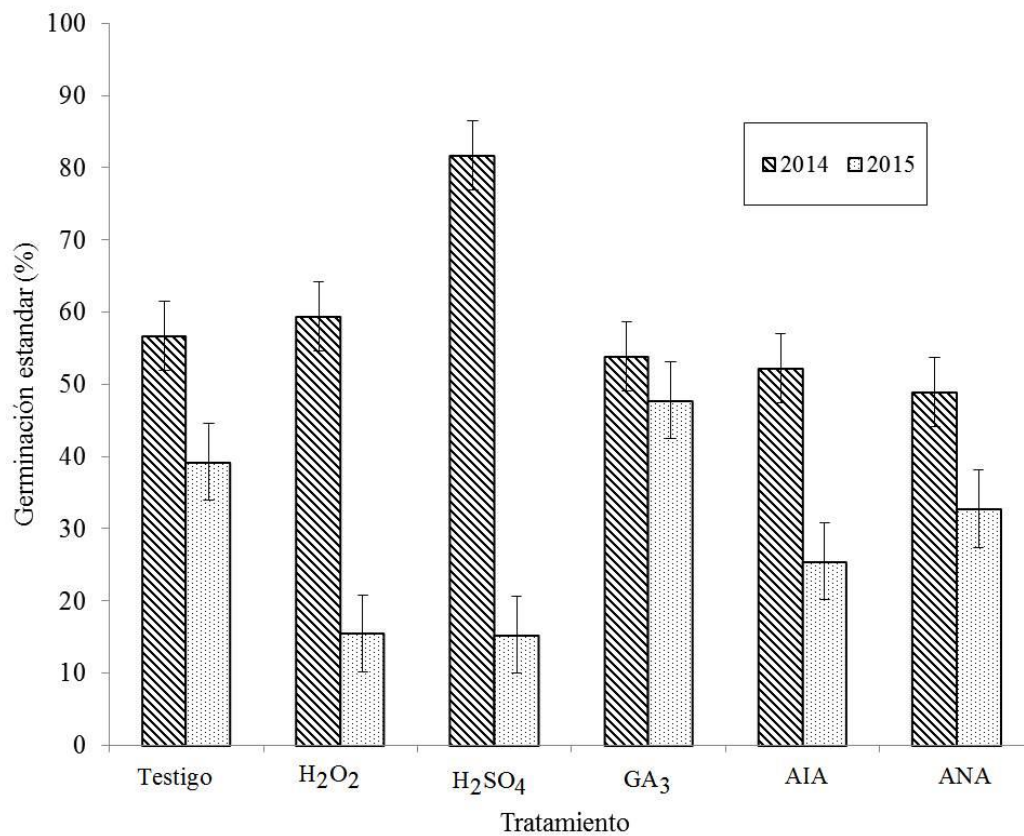
**Tabla 2. Análisis de la estimación del parámetro de máxima verosimilitud en la prueba de Distribución Binomial por efecto de compuestos químicos y fitoreguladores en la germinación estándar de semilla de biznaga en dos años.**

| Tratamiento                    | 2014  |      |                | 2015  |      |                |
|--------------------------------|-------|------|----------------|-------|------|----------------|
|                                | VE    | EE   | X <sup>2</sup> | VE    | EE   | X <sup>2</sup> |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  | -0.09 | 0.17 | 0.30           | -0.71 | 0.12 | 31.5*          |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 0.39  | 0.13 | 8.99*          | -0.53 | 0.11 | 23.5*          |
| AG <sub>3</sub>                | -0.06 | 0.17 | 0.13           | -0.71 | 0.12 | 31.5*          |
| AIA                            | 0.05  | 0.15 | 0.14           | -1.21 | 0.17 | 46.0*          |
| ANA                            | 0.27  | 0.19 | 2.8            | -0.47 | 0.10 | 20.6*          |
| H <sub>2</sub> O               | -0.59 | 0.11 | 26.2*          | -0.17 | 0.04 | 15.9*          |

VE= valor estimado; EE= error estándar; X<sup>2</sup>= Chi cuadrada.

\*Significativo ( $\alpha \leq 0.05$ ).

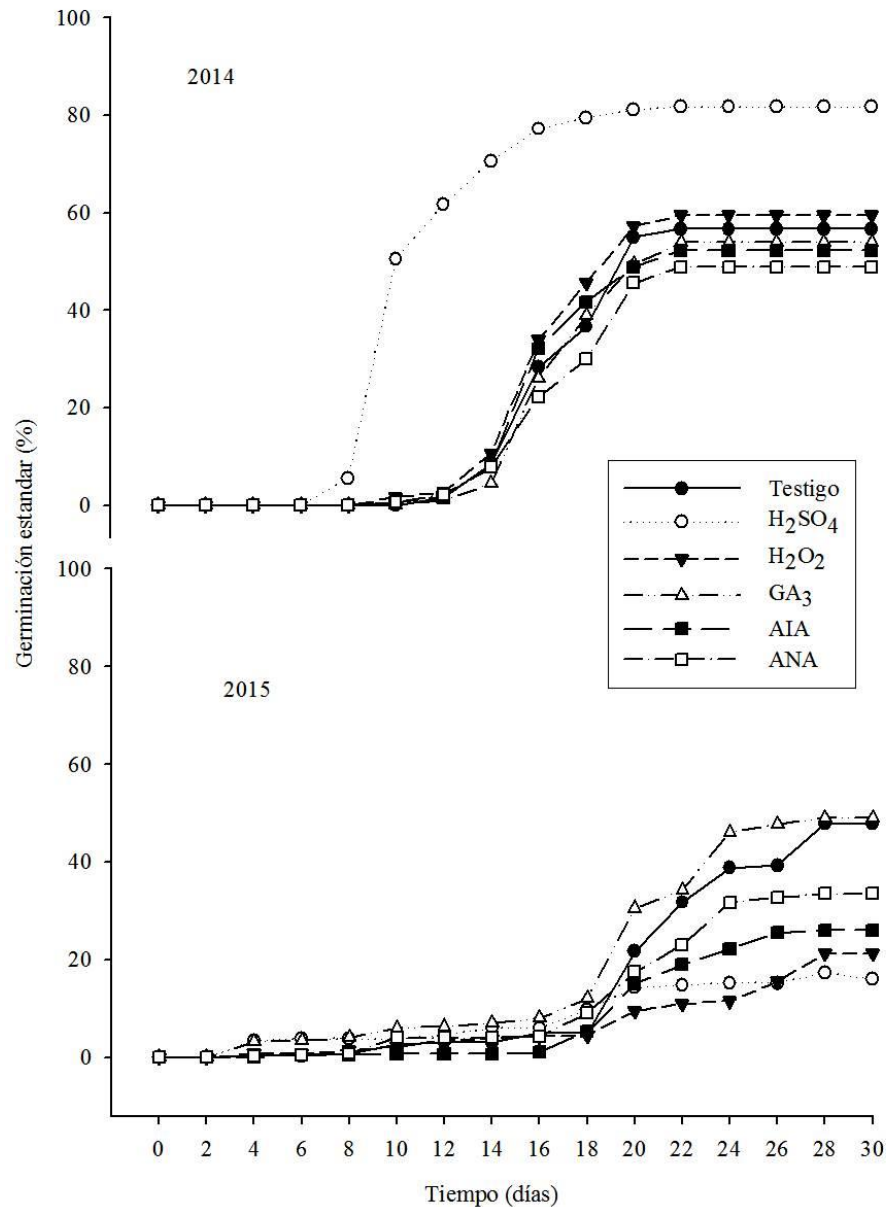
Las semillas *F. pilosus* presentan memoria de hidratación (ciclos de hidratación discontinuos), como estrategia adaptativa para posponer la germinación en semillas con distinto grado de latencia y sincronizar la germinación (Contreras-Quiroz *et al.*, 2016). Este tipo de respuesta podría deberse al fenómeno biológico que normalmente ocurre en las semillas que germinan bajo condiciones ambientales de aridez (Jurado y Flores, 2005). Es decir, que la germinación de la semilla expresaría la dependencia del agua edáfica retenida entre las partículas del suelo (Loustalot *et al.*, 2014).



**Figura 8. Efecto de pre-tratamientos químicos y reguladores de crecimiento en la germinación estándar de semillas de *Ferocactus pilosus* muestreadas en 2014 y 2015. Las líneas indican la desviación estándar.**

En la dieta de vertebrados como, *Neotoma* sp., *Sceloporus* sp., *Corvux corax*, *Melanerpes aurifrons* y *Campylorhynchus brunneicapillus* están frutos de biznaga o cabuches (*observación personal*), pero a su vez contribuyen a la dispersión de semillas (endozoocoria). La inmersión de la semilla en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> simularía el proceso de escarificación que ocurre en el tracto digestivo de vertebrados, que reblandece la testa. Esta acción favorece el flujo de

agua durante la imbibición y acelera el proceso germinativo de la semilla de *F. pilosus*, a pesar del período corto de retención de agua edáfica en condiciones naturales (Flores y Jurado, 2011).



**Figura 9. Germinación acumulada de semillas de *Ferocactus pilosus* muestreadas en 2014 y 2015 y pre-tratadas con compuestos químicos y reguladores de crecimiento.**



En semillas de 2015, la germinación de las semillas tratadas con compuestos pre-germinativo inicio el 2° día de la siembra, pero con lenta respuesta germinativa hasta el 18° día. El AG<sub>3</sub> presentó mayor porcentaje de germinación (48 %) que los tratamientos restantes ( $p < 0.01$ ; Cuadro 1). El efecto diferencial de AG<sub>3</sub> en la respuesta germinativa, fue continuo desde el inicio y ligeramente superior al testigo (39 %). Este mismo efecto fue observado en semillas de *F. acanthodes*, *F. wislizeni*, *Echinocereus viridiflorus* (Deno, 1994) y en el caso de *Harrisia fragrans* se requirieron más de 1000 ppm de AG<sub>3</sub> para mejorar la respuesta germinativa (Dehgan y Pérez, 2005). El AG<sub>3</sub> mejora la germinación por la hidrólisis del almidón en el endospermo y promueve la división celular en tejidos meristemático. Entre otras funciones, el AG<sub>3</sub> reemplaza a estímulos como la luz y temperatura para estimular la germinación (Sánchez-Villegas y Rascón-Chu, 2017) e incrementa la respuesta germinativa en semillas con algún tipo de latencia, barreras fisiológicas o que han permanecido almacenadas por largos periodos de tiempo (Amador-Alfárez *et al.*, 2013).

Las diferencias observadas en los porcentajes de germinación en semillas colectadas entre 2014 y 2015 para H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Figura 2) se atribuyen a variaciones en el espesor de la testa de la semilla. Esta barrera controla la escarificación y favorece la latencia polimórfica en semillas del mismo fruto o bien, induce latencia embrional (Jurado y Flores, 2005). En soluciones

diluidas el  $H_2SO_4$  estimula y acelera la germinación de la semilla, ya que aumenta la permeabilidad y reblandecimiento de la testa (Navarro y González, 2007).

Variaciones en la respuesta germinativa han sido observadas en semillas de *Mammillaria zephyranthoides* (Navarro y Juárez, 2006) y *M. mainiae* (Sánchez-Villegas y Rascón-Chu, 2017). Otro efecto debido al uso de compuestos escarificadores, es la inactivación enzimática durante la germinación (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). En este ensayo *in vitro* se observó necrosis y muerte de la radícula recién emergida, al remojar la semilla de *F. pilosus* por un tiempo mayor a 10 min en  $H_2SO_4$ ; por ello es conveniente reducir el tiempo de inmersión de la semilla a 1.5 min (Navarro y González, 2007).

### 3.5. CONCLUSIONES

Tanto  $H_2SO_4$  como  $AG_3$ , demostraron su eficacia para promover y acelerar la germinación de *Ferocactus pilosus*. El  $H_2SO_4$  aumentó a 82 % la germinación estándar de la semilla, mientras que  $AG_3$  estimuló 48 % éste proceso, por arriba del testigo. Los compuestos acortaron el tiempo de germinación de 6 d para semillas colectadas en 2014 a 3 d para semillas de 2015. El  $H_2O$  confirma una necesidad natural para el inicio de germinación y una dependencia evolutiva creada por *F. pilosus* en ambientes con restricciones hídricas.

### 3.6. LITERATURA CITADA

- Amador-Alfárez, K. A., Díaz-González J., Loza-Cornejo S. y Bivián-Castro E. 2013. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de *Ferocactus* (Cactaceae). *Polibot.*, 35:109–131.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada H. 1991. Las Cactáceas de México. Volumen II. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 404 p.
- Contreras-Quiroz, M. Del R., Pando-Moreno M., Flores J. y Jurado E. 2016. Effects of wetting and drying cycles on the germination of nine species of the Chihuahuan Desert. *Botanical Sciences*, 94:221–228.
- Dehgan, B. y Pérez H. E. 2005. Preliminary study shows germination of Caribbean Apple Cactus (*Harrisia fragrans*) improved with acid scarification and gibberellic acid. *Native Plants J.*, 6:91–95.
- Deno, N. C. 1994. The critical role of gibberellins in germination and survival of certain cacti. *Cact. Succ. J.*, 66:28–30.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. 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 de Diciembre de 2010. México, D. F. 78 p.
- Emongor, V. E., Mathowa, T. y Kabelo S. 2004. The effect of hot water, sulphuric acid, nitric acid, gibberellic acid and ethephon on the germination of *Corchorus* (*Corchorus tridens*) seed. *J. Agron.*, 3:196–200.

- Flores, J. y Jurado E. 2011. Germinación de especies de cactáceas en categoría de riesgo del desierto chihuahuense. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8:59–70.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 2011. Rules proposals for the international rules for seed testing 2011 edition ISTA. Bassersdorf, Switzerland. 53 p.
- Jurado, E. y Flores J. 2005. Is seed dormancy under environmental control or bound to plant traits? *J. Veg. Sci.*, 16:559–564.
- Lara, J. E. I., Treviño-Carreón J., Estrada D. B., Poot P. W. A., Vargas-Tristán V. y Ballesteros-Barrera C. 2016. Determinación de las especies nodriza de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm. (Cactaceae) en Miquihuana, Tamaulipas, México. *Rev. Mex. Agroecosist.*, 3:184–194.
- Loustalot, L. E., Malda B. G. X., Suzán A. H., Hernández S. L.G. y Guevara E. A. 2014. Estudio de germinación y crecimiento en semillas de *Ferocactus histrix* (De Candolle). *Cact. Suc. Mex.*, 59:79–95.
- Myers, R. H., Montgomery D. C. y Vining G. G. 2002. Generalized linear models, with applications in engineering and the sciences. John Wiley and Sons Press. New York, USA. 342 p.
- Navarro, M. C. y González, E. M. 2007. Efecto de la escarificación de semillas en la germinación y crecimiento de *Ferocactus robustus* (Pfieff.) Britton & Rose (Cactaceae). *Zonas Áridas*, 11:195–205.

- Navarro, M. C. y Juárez M. S. 2006. Evaluación de algunos parámetros demográficos de *Mammillaria zephyranthoides* en Cuautinchán Puebla, México. Zon. Ári., 10:74–83.
- Rojas-Aréchiga, M. y Vázquez-Yanes C. 2000. Cactus seed germination: a review. J. Ar. Environ., 44:85–104.
- Sánchez-Villegas, A. y Rascón-Chu A. 2017. Efecto de la escarificación química y del ácido giberélico en la germinación de *Mammillaria mainiae*. Cact. Suc. Mex., 62:4-12.
- SPP-INEGI, (Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información). 1983. Síntesis Geográfica del Estado de Tamaulipas. Dirección General de Geografía. México, DF. 158 p.
- SAS, (Statistical Analysis System). Institute Inc. 2007. SAS 9.1.3 for Windows Microsoft. SAS Institute Inc., Cary. North Carolina, USA. 212 p.

#### 4. CAPITULO V. CONCLUSIÓN GENERAL

Dado que la distribución potencial considerada para *F. pilosus* en el suroeste de Tamaulipas y noreste de San Luis Potosí muestra mayor abundancia de individuos a lo largo de su distribución se considera como centro madre de la especie. Sin embargo, actividades antropogénicas, como cambio de uso de suelo, incendios, sobrepastoreo y extracción de individuos, fragmenta las poblaciones sin asegurar un óptimo entrecruzamiento de polen entre individuos, esto da como resultado variaciones a nivel de poblaciones vecinas como lo que sucede en el presente estudio, por lo que evaluar y comparar la relación con la producción de frutos y cantidad de semillas podría ayudar a conocer el estado crítico que atraviesa la especie a escalas finas y establecer estrategias y planes de manejo y conservación para la especie *in situ*.

*Ferocactus pilosus* está sometido a presión intensa por la colecta y destrucción de su hábitat. La planta se aprovecha como forma de vida de los pobladores locales de habitantes del Altiplano Tamaulipeco. El botón floral de o cabuche se suma a la dieta alimenticia en guisos, bebidas, salmuera o ingrediente de salsas. También, la estructura y densidad poblacional de *F. pilosus* han sido perturbadas por el cambio de uso del suelo y la extracción con fines ornamentales; en cambio, su propagación es limitada. Además, es una especie vulnerable ante depredadores, disponibilidad de nodrizas, competencia y patógenos; al igual que a factores ambientales como

temperatura, humedad, luminosidad y clase de suelo. En consecuencia, al tener su viabilidad amenazada, *F. pilosus* es una especie en riesgo y sujeta a protección especial, de tal forma que resulta necesario recuperar y conservar sus poblaciones.

El conocimiento ecológico y biológico de *F. pilosus* es escaso. De inicio, la reproducción sexual de *F. pilosus* ha sido poco explorada, pues además del crecimiento lento como individuo, se sabe que presenta una tasa de germinación lenta y establecimiento pobre de plántulas.

La reproducción sexual es recomendable para el fitomejoramiento y por la escases de material vegetativo, situación que afecta a *F. pilosus*. La propagación por semilla de la biznaga cabuchera lo cual convendría para la obtención de individuos con diferente información genética y sus características fisiológicas y adaptativas resultarían mejoradas. Por lo cual, la importancia de desarrollar estudios enfocados a resolver el problema de la germinación de la semilla, una de las etapas considerada como más crítica para la sobrevivencia de *F. pilosus*. En tal sentido, éste estudio demostró el éxito en la producción de la semilla no depende de las características del fruto lo que involucra otros factores intrínsecos y extrínsecos, de igual manera detectó que no existen diferencias en tamaños de fruto o peso de semilla en poblaciones del Altiplano Tamaulipeco y que el empleo de productos químicos o de reguladores de crecimiento vegetal, representan un

medio eficaz que garantiza la germinación óptima de semillas de *F. pilosus*, con el fin de disponer de plántulas útiles en los programas de recuperación in situ de la especie.