

# MANEJO SOSTENIBLE *in situ* DE *Agave cupreata*: IMPORTANCIA DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS INDIVIDUOS

*Apolonia Quirino-Santamaría\**

*Victorino Benítez-Antúnez\*\**

*Víctor Rosas-Guerrero\*\*\**

*Lorena Alemán-Figueroa\*\*\*\**

## Introducción

México es considerado el país con mayor biodiversidad a nivel mundial después de Brasil, Colombia e Indonesia (Zizumbo-Villarreal, Vargas-Ponce, Rosales-Adame y Colunga-GarcíaMarín, 2013). Entre los grupos de plantas con mayor número de especies e importantes a nivel ecológico, económico y cultural está el género *Agave*, con cerca de 200 especies, de las cuales 150 (75%) se encuentran en México y 104 (69%) son endémicas (García-Herrera, Méndez-Gallegos y Talavera-Magaña, 2010; García, 2007).

Las especies del género *Agave* son clave en los ecosistemas donde se distribuyen debido a que ayudan a minimizar la degradación de los suelos por actividades antropogénicas y aportan varios recursos necesarios para diversos grupos biológicos, entre ellos sus vistantes florales (García, 2007; Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2013).

En el aspecto económico, son especies muy valiosas, pues se utilizan como alimento, fibra, forraje, medicina, bebida fermentada y bebida destilada, cuya importancia

\* Ingeniero en Sistemas Ambientales. Escuela Superior en Desarrollo Sustentable, Campus Costa Grande, Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: <lubis\_10\_04@outlook.es>.

\*\* Ingeniero en Sistemas Ambientales. Escuela Superior en Desarrollo Sustentable, Campus Costa Grande, Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: <ingenieria\_sistemas5@hotmail.com>.

\*\*\* Doctor. Escuela Superior en Desarrollo Sustentable, Campus Costa Grande, Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: <victor\_rosas@yahoo.com>.

\*\*\*\* M. C. Escuela Superior en Desarrollo Sustentable, Campus Costa Grande, Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: <lorena\_alemanf@yahoo.com>.

ha aumentado recientemente (Colunga-GarcíaMarín, 2006; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017; Chavez-Parga, Hernández y Hernández, 2016; García-Herrera *et al.*, 2010). Tal es el caso del *Agave cupreata*, el cual es endémico del estado de Guerrero y Michoacán (Gentry, 1972; Martínez-Palacios, Gómez-Sierra, Sáenz-Romero, Pérez-Nasser y Sánchez-Vargas, 2011) y se ha aprovechado desde tiempos remotos para la producción de mezcal (García-Herrera *et al.*, 2010; García, 2007), para lo cual se utilizan individuos maduros de entre los 7 y 15 años de edad (Illsley, 2004). A dichos individuos se les corta el escapo floral antes de que éste crezca, lo cual impide la producción de flores, el único evento reproductivo de la planta (Scheinvar, 2008).

A diferencia de varias especies de agave que son utilizadas para la elaboración de bebidas destiladas, esta especie no presenta reproducción asexual o por bulbillos, por lo que su supervivencia depende de la reproducción sexual a través de semillas dispersadas por el viento (Illsley, 2004; Scheinvar, 2008). Debido a que dicho aprovechamiento evita su reproducción, el tamaño de sus poblaciones disminuye, lo cual provoca impactos negativos a nivel demográfico, ambiental y genético (Aguirre-Dugua y Eguiarte, 2013; Martínez-Salvador *et al.*, 2007; Martínez Salvador, Arias Rubio y Ortega Rubio, 2005; Sánchez-Teyer, Moreno-Salazar, Esqueda, Barraza y Robert, 2009; Scheinvar, 2008).

Aunado a esto, la demanda de *A. cupreata* ha crecido en el mercado, lo cual ha provocado un aumento constante de la extracción de sus individuos justo antes del inicio de su único evento reproductivo, ocasionando una reducción considerable en el tamaño de sus poblaciones en diversas localidades (Colunga-GarcíaMarín, 2006; Torres, Casas, Delgado-Lemus, & Rangel-Landa, 2016). Por lo anterior, las poblaciones de esta especie son muy propensas a desaparecer debido a las perturbaciones antropogénicas (Avendaño-Arrazate, Iracheta-Donjuan, Gódinez-Aguilar, López-Gómez y Barrios-Ayala, 2015), así que los esfuerzos de manejo y conservación deben ser prioritarios.

## Desarrollo

La diversidad genética que poseen las plantas es de suma importancia para su conservación, adaptación y supervivencia (Caruso, Broglia y Pocovi, 2015). Dicha diversidad puede disminuir dependiendo de la distancia existente entre individuos de una población (Lezama, Hernández, Vallejo, Rivero y Mata, 2002). Por ejemplo, Muñoz, Orozco, Coria, Muñoz y García (2011) encontraron que plantas de *Pinus pseudostrobus* más aisladas de otras, tienden a disminuir las probabilidades de endogamia (*i.e.*, cruzamiento entre parientes en una misma población), lo cual aumentaría la diversidad genética de las poblaciones. Cabrera-Toledo (2009), en un estudio sobre dos poblaciones de cicadas, descubrió que plantas más cercanas entre sí están más emparentadas que plantas más alejadas. Asimismo, Gómez (2007) reportó que los

niveles de endogamia en poblaciones de *Catopsis berteroniana* (Bromeliaceae) aumentaron cuando las semillas germinaron cerca de la planta madre, a diferencia de las que estaban alejadas de ésta.

Un aumento en la endogamia puede disminuir la producción de semillas, su capacidad germinativa y/o producir plántulas de menor tamaño (Charlesworth y Charlesworth, 1987; Leiva, 2002).

Por ejemplo, Manasse y Stanton (1991) encontraron que los frutos de *Crinum erubescens* producidos por autofecundación originan menos semillas, en comparación con los frutos producidos por polinización cruzada, donde intervienen granos de polen de diferentes individuos. De igual manera, Wolfe (1995) observó que el peso y la viabilidad de las semillas resultantes del entrecruzamiento consanguíneo en *Hydrophyllum appendiculatum* fueron menores que el de semillas provenientes por polinización cruzada.

Por todo lo anterior, se espera que semillas provenientes de individuos que se encuentren a menor distancia de otros individuos conespecíficos reproductivos, presenten mayor endogamia que semillas de individuos más aislados, debido a que la probabilidad de que individuos cercanos sean parientes y que intercambien gametos a través de la polinización, es mayor que en individuos más aislados.

Por tanto, se espera que individuos reproductivos de *A. cupreata* más aislados entre sí produzcan semillas de mayor calidad (*e.g.*, de mayor peso), así como con una tasa de germinación más alta y plántulas con mayor crecimiento.

Para garantizar que las poblaciones aprovechadas de esta especie sigan manteniéndose, es importante identificar cuáles son los individuos con mayor adecuación y conservarlos. Esto se logra al identificar cuáles individuos producen más y mejores semillas (*e.g.*, semillas desarrolladas más pesadas y con tasa de germinación más alta) y cuáles individuos producen plántulas más vigorosas (*e.g.*, con mayor tasa de crecimiento). Si la distancia intraespecífica (*i.e.*, entre individuos de la misma especie) está relacionada de manera positiva con algunos de estos parámetros de la adecuación, un plan de manejo sustentable sería aprovechar algunos individuos que se encuentren en mayor densidad y conservar aquellos que se encuentren más aislados.

Existen diversos estudios sobre *A. cupreata* que incluyen aspectos relacionados sobre caracterización morfológica (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2015), genética de poblaciones (Martínez-Palacios *et al.*, 2011; Scheinvar, 2008) y biología reproductiva (García-Meneses, 2004). También se ha elaborado un plan de manejo enfocado a regular el aprovechamiento del maguey y leña por medio de la producción de plántulas en viveros comunitarios (Illsley, 2004).

Sin embargo, no existen estudios que hayan evaluado algún parámetro de la población que se puedan utilizar como criterios para su conservación o aprovechamiento. Los resultados del presente estudio ayudarán a identificar cuáles individuos de la población podrían aprovecharse para la producción de mezcal y cuáles individuos son los idóneos para la conservación de la población.

Asimismo, este estudio aportará conocimiento sobre la biología reproductiva y demográfica de la especie, lo cual también es crucial conocer para la conservación y manejo del agave. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la distancia entre individuos reproductivos sobre el éxito reproductivo de *Agave cupreata*.

De manera específica, se estimó la distancia entre los individuos reproductivos de una población, se determinó la cantidad y calidad de semillas producidas por fruto de dichos individuos y se estimó la tasa de germinación y crecimiento de plántulas provenientes de semillas de los individuos reproductivos de la población.

## Metodología

El estudio se realizó en la localidad “La Desdicha” (17° 43' 26.78" N; 100° 35' 01.24" O), en el municipio de Ajuchitlán del Progreso, Guerrero, México. El tipo de clima que prevalece es cálido subhúmedo con temperatura media anual de 22°C; con lluvias en verano y sequía en invierno, y una altitud de 1785 msnm. La vegetación predominante es encino (*Quercus* spp.) y *Agave cupreata* (INEGI, 2010).

*Agave cupreata* es una planta monocárpica del subgénero *Euagave*, conocida como maguey papalote, maguey mariposa, maguey bravo, tuchi o maguey del mezcal (Colunga-GarcíaMarín, 2006; Scheinvar, 2008). Presenta forma de una roseta, con hojas verdes anchas y brillantes lanceoladas estrechas en la base con punta de lanza de 40-80 x 18-20 mm, con margen crenado de color cobre que forma espinas ganchudas o rectas de 3 a 5 cm de largo (García-Meneses, 2004; Gentry, 1982). Presenta un promedio de 121 ( $\pm 45.9$ ) flores amarillo-verdosas tubulares de 55 a 60 mm de largo por umbela y de 13 a 17 umbelas paniculadas dispuestas sobre el escapo (quiotte), el cual llega a medir hasta 6 m de alto (García-Meneses, 2004; Gentry, 2004). Entre sus polinizadores se reportan mariposas, abejas, murciélagos y colibríes (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2015; Eguiarte, Souza, & Silva Montellano, 2000; García-Meneses, 2004).

Se geoposicionaron 37 individuos de *A. cupreata* en fase reproductiva con ayuda de un GPS (Garmin, Etrex 10). Se estima que todos los individuos reproductivos (*i.e.*, aquellos que presentaban el escapo floral bien desarrollado) de la población La Desdicha fueron registrados, ya que es escasa la vegetación arbórea y se podían observar de manera clara desde la parte más alta del sitio. Para determinar la distancia entre individuos, se utilizaron las coordenadas geográficas de cada individuo.

Para estimar la cantidad, viabilidad y peso de semillas, se colectaron cinco frutos maduros por individuo reproductivo durante los meses de abril y mayo de 2017. Dichos frutos se colectaron de la parte media del escapo floral (un fruto por umbela), el cual fue colocado en una bolsa de papel. Una vez que el fruto estaba seco, de color café y sus tres alas por reventar, se llevó a cabo la extracción manual de las semillas que contenía cada cápsula. Se clasificaron las semillas con base en su coloración en

dos categorías: semillas desarrolladas (negras) o semillas abortadas (blancas). Se contabilizaron y pesaron ambos tipos de semillas en una balanza analítica (Velab VE-204 precisión de 0.001 g).

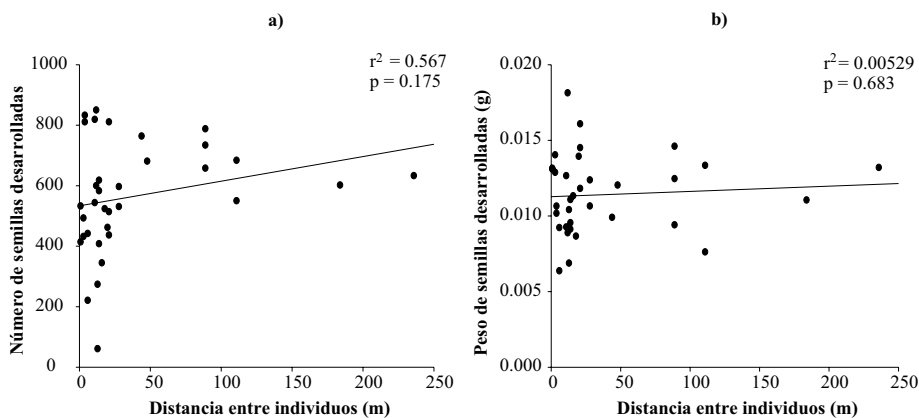
Para evaluar la tasa de germinación y crecimiento de las plántulas, se sembraron diez semillas desarrolladas por individuo, previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 10% durante cinco minutos en almácigos, con cavidades de 10 centímetros de profundidad en un invernadero en la Escuela Superior en Desarrollo Sustentable. El sustrato estuvo compuesto de 55% de turba, 21% de agrolita y 24% de vermiculita. Las semillas estuvieron expuestas a una temperatura ambiente de 25 a 30° C. De manera diaria, se verificó la humedad en los almácigos y la aparición de la radícula; se registró tanto el día en que germinaron las semillas como el día en que apareció el cotiledón y la primera hoja verdadera. De las 9 plántulas que germinaron de las 340 semillas que se sembraron, se determinó el crecimiento de las plántulas. Con un calibrador digital (Mitutoyo CD-8" ASX, precisión de 0.01 mm), se estimó el ancho y largo de la primera hoja a los 30 y 70 días después de la germinación.

Para determinar si la magnitud de las variables del éxito reproductivo (*i.e.*, número de semillas, tamaño de las hojas de las plántulas) estaba relacionada con la distancia intraespecífica, se realizaron regresiones lineales simples. Tanto las variables de tamaño y peso de semillas como las relacionadas con la germinación y el tamaño de las plántulas, fueron consideradas variables dependientes, mientras que la distancia intraespecífica fue considerada como variable independiente. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el programa SigmaPlot 11.0.

## **Resultados**

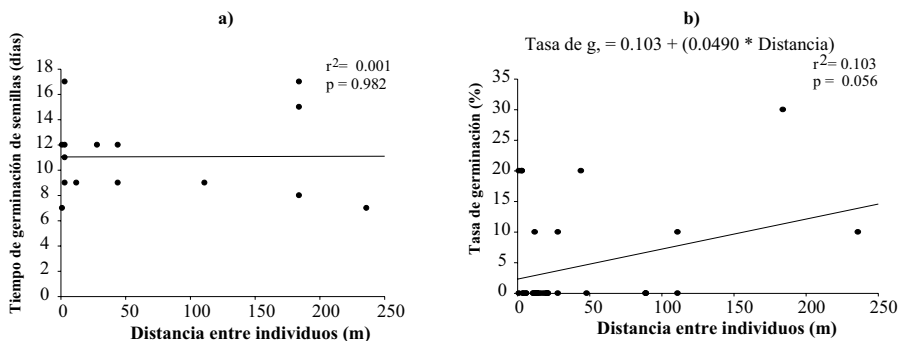
Cada fruto produjo en promedio 565 semillas desarrolladas ( $DE \pm 184.97$ ) y 732 abortadas ( $\pm 218.20$ ), con un peso promedio por semilla de 0.0116 g ( $\pm 0.0031$ ) y 0.0026 g ( $\pm 0.0013$ ), respectivamente. En promedio, el porcentaje de semillas abortadas fue de 56.30% por fruto y en semillas desarrolladas de 43.70%, donde las semillas desarrolladas puestas a germinar presentaron una tasa de germinación de 4.41%.

Contrario a lo que se esperaba, no se observó ninguna asociación significativa de la distancia intraespecífica de individuos de *A. cupreata* con la producción de semillas desarrolladas por fruto ( $r^2 = 0.567$ ;  $p = 0.175$ ; Figura 1a), ni con el número de semillas abortadas ( $r^2 = 0.010$ ;  $p = 0.575$ ) o con el peso de las semillas desarrolladas ( $r^2 = 0.005$ ;  $p = 0.683$ ; Figura 1b). Por tanto, la cantidad y calidad de las semillas desarrolladas producidas por planta no están asociadas con la distancia que existe entre un individuo y otro en la población.

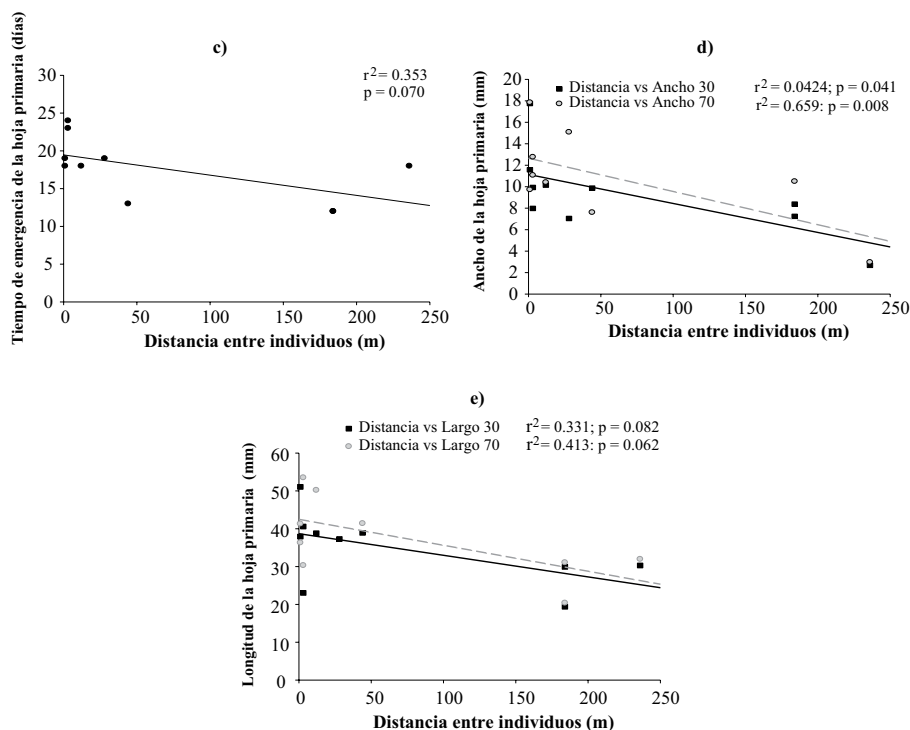


**Figura 1.** Asociación entre la distancia intraespecífica de individuos de *Agave cupreata* y a) la cantidad y b) el peso de semillas desarrolladas.

Asimismo, el análisis de regresión no mostró una asociación entre la distancia intraespecífica con relación al tiempo de germinación de las semillas desarrolladas ( $r^2 < 0.001$ ;  $p = 0.982$ ; Figura 2a). En contraste, sí existió una asociación positiva marginal con la tasa de germinación ( $r^2 = 0.103$ ;  $p = 0.056$ ; Figura 2b), pero negativa con el tiempo de emergencia de la hoja primaria ( $r^2 = 0.353$ ;  $p = 0.070$ ; Figura 2c). Existió una asociación significativa entre la distancia intraespecífica y el ancho de la hoja primaria tanto a los 30 ( $r^2 = 0.424$ ;  $p = 0.041$ ) como a los 70 días de ogerminación ( $r^2 = 0.659$ ;  $p = 0.008$ ; Figura 2d). Además, se encontró una asociación marginal con la longitud de la hoja primaria a los 30 ( $r^2 = 0.331$ ;  $p = 0.082$ ) y 70 días después de la germinación ( $r^2 = 0.413$ ;  $p = 0.062$ ; Figura 2e). En otras palabras, entre más aislados se encontraban los individuos, su tasa de germinación fue mayor y sus hojas emergían en menor tiempo, pero el crecimiento de sus plántulas fue menor.



Continúa...



**Figura 2.** Asociación entre la distancia intraespecífica de individuos de *Agave cupreata* y a) el tiempo de germinación; b) la tasa de germinación; c) el tiempo de emergencia de la hoja primaria; y d) el ancho y e) la longitud de la hoja primaria a los 30 y 70 días.

## Discusión

En esta población de *Agave cupreata* se encontró una baja producción de semillas desarrolladas por fruto (43%) y una baja tasa de germinación (4%). Contrario a lo esperado, la cantidad y calidad de semillas no dependieron de la distancia intraespecífica. No obstante, se encontró una asociación positiva con la tasa de germinación, así como una relación negativa con el tiempo de emergencia de la hoja primaria y el tamaño (ancho y largo) de la hoja primaria de las plántulas.

La baja tasa de producción de semillas desarrolladas y la alta tasa de abortos encontradas en este estudio pueden deberse al menos a cuatro factores no excluyentes.

Primero, debido a la gran cantidad de flores que cada planta produce por noche, los polinizadores podrían transportar polen dentro de la misma planta, promoviendo la geitonogamia e incrementando la endogamia. De igual manera, Figueredo, Villegas y Nassar (2011), con *Agave cocui*, observaron que a pesar de que dentro de la umbela las flores se presentan en fase masculina o femenina, a nivel de planta ambas fases ocurren al mismo tiempo haciendo posibles eventos de geitonogamia. En *Agave tequilana*, se reportó que la baja producción de semillas es provocada por los efectos de la endogamia, donde alelos recesivos pueden tener efectos deletéreos tempranos que podrían provocar abortos después de la fertilización (Guzmán, 2009).

Segundo, Piven *et al.* (2001) mencionan que en *Agave fourcroydes* existen fallas comunes en la meiosis que conducen a la formación de sacos embrionarios vacíos, los cuales contribuyen a los bajos niveles de fertilidad de las semillas (Guzmán, 2009).

Tercero, González-Hernández, Figueroa-Castro, Rubio-Cortés, Jones y Valdés-Carrasco (2015) observaron en esta especie una infestación por larvas del picudo *Peltophorus polymitus*, el cual se presentó en hojas y escapos florales, lo cual afectó la producción de semillas.

Cuarto, García-Meneses (2004) reportó a *Leptonycteris nivalis* como la única especie de murciélago polinizador para esta especie de agave, el cual se encuentra en peligro de extinción por el declive de sus colonias por actividades como la alteración de los dormideros, la pérdida de fuentes de alimentación a través de desmontes para la agricultura y por la explotación de los agaves (Arroyo-Cabrales, Miller, Reid y Cuarón, 2008). Por tanto, es probable que exista una baja tasa de visitas de esta especie de murciélago, que provoca una baja producción de semillas.

La baja tasa de germinación (*i.e.*, 4.4%) obtenida en este estudio contrasta con lo reportado por García-Meneses (2004), quien señala una tasa de germinación de 10% para esta misma especie. Es probable que las condiciones ambientales donde se realizó este estudio no fueran las óptimas, ya que no fueron las mismas a las de su hábitat de procedencia. Aunado a esto, quizá las plantas madre no cuenten con los suficientes recursos para el desarrollo de las semillas, tal como lo menciona Gutterman (2000), quien encontró que el efecto materno y/o las condiciones ambientales en que se desarrollan las plantas madre pueden afectar de manera considerable la germinación de sus semillas.

Con respecto a la asociación entre el éxito reproductivo de las plantas y la distancia con sus conespecíficos, Añez y Vásquez (2005) encontraron en la sábila *Aloe barbadensis*, que a distancias mayores entre individuos se incrementó la producción de hijos en comparación con individuos encontrados a distancias menores. Asimismo, en *Agave schottii* se ha encontrado mayor similitud genética en individuos con distancias de un metro que en individuos separados por distancias mayores, así como menor adecuación tanto en individuos muy cercanos (1 m) como muy alejados (2,500 m), lo cual sugiere que esta especie presenta depresión por endogamia y una tendencia a depresión por exogamia (Trame, Coddington y Paige, 1995). Es probable que también



exista depresión por endogamia en esta población de *A. cupreata*, ya que individuos con menor distancia intraespecífica presentaron menor germinación y mayor tiempo de emergencia de la hoja primaria en comparación con individuos más aislados.

No obstante, esto no explica por qué el número y peso de semillas y el tamaño de la hoja de las plántulas no aumentaron con la distancia. De igual manera, Pérez y Reyes (1989), en *Lablab purpureus*, reportan que la densidad de siembra no mostró diferencias significativas en el número de semillas por vaina. Es probable que las plantas madre más aisladas se encuentren en condiciones microambientales más desfavorables (disponibilidad de nutrientes, luz y temperatura) que las plantas menos aisladas, lo cual podría afectar la producción y calidad de las semillas, así como el tiempo de germinación y crecimiento de las plántulas (Heather, Taylor, Civile y Donald, 2004). Sin embargo, cabe mencionar que los resultados provenientes del tamaño de la hoja de las plántulas deben considerarse con cautela, debido a que el tamaño de muestra de plántulas germinadas fue pequeño. Aun al considerar que las plántulas provenientes de plantas más aisladas crecen más lento, los resultados sugieren que al final se desarrollan de igual manera que los individuos provenientes de plantas menos aisladas, ya que no existió una relación entre el tamaño del escapo floral (el cual está asociado con el tamaño de la planta) y la distancia intraespecífica (datos no publicados).

## **Conclusiones**

Los resultados de este estudio indican que tanto plantas aisladas como plantas en mayor densidad producen igual cantidad y calidad de semillas, pero las primeras presentan una mayor tasa de germinación. Por tanto, lo más viable para hacer un aprovechamiento sostenible en las poblaciones de esta especie es aprovechar los individuos que se encuentren en mayor densidad para la producción de mezcal, mientras que los que se encuentren más aislados se deben destinar para su conservación.

## **Referencias**

- Aguirre-Dugua, X. y Eguiarte, L. E. (2013). "Genetic Diversity, Conservation and Sustainable Use of Wild Agave Cupreata and Agave Potatorum Extracted for Mezcal Production in Mexico". *Journal of Arid Environments*, (90): 36-44.
- Añez, B. y Vásquez, J. (2005). "Efecto de la densidad de población sobre el crecimiento y rendimiento de la sábila (*Aloe barbadensis* M.)". *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(1).
- Arroyo-Cabral, J.; Miller, B.; Reid, F. y Cuarón, A. (2008). *Leptonycteris nivalis*. The IUCN red list of threatened species 2008: E.T11697a3302826.

- Avenidaño-Arrazate, C. H.; Iracheta-Donjuan, L.; Godínez-Aguilar, J. C.; López-Gómez, P. y Barrios-Ayala, A. (2015). "Caracterización morfológica de *Agave cupreata*, especie endémica de México". *Phyton (Buenos Aires)*, 84(1): 148-162.
- Cabrera-Toledo, D. (2009). "Biología poblacional de dos cícadas mexicanas con distintos niveles de rareza". Tesis de doctorado, Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, México.
- Caruso, G., Broglia, V. y Pocovi, M. (2015). *Genetic Diversity. Importance and Applications in Plant Breeding*. Insituto de Ecología y Ambiente Humano.
- Colunga-GarcíaMarín, P. (2006). *Base de datos de nombres técnicos o de uso común en el aprovechamiento de los agaves en México*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Final Report SNIB-CONABIO. Project CS007.
- Colunga-GarcíaMarín, P.; Torres-García, I.; Casas, A.; Figueredo, U. C. J.; Rangel-Landa, S.; Delgado-Lemus, A.; . . . Carrillo-Galván, G. (2017). "Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación". En A. Casas, J. Torres-Guevara y F. Parra-Rondinel (eds.), *Domesticación en el Continente Americano* (pp. 273-308). UNAM-UNALM.
- Charlesworth, D. y Charlesworth, B. (1987). "Inbreeding Depression and Its Evolutionary Consequences". *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18(1): 237-268.
- Chavez-Parga, M. C.; Hernández, E. P. y Hernández, J. C. G. (2016). "Revisión del agave y el mezcal". *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1): 148.
- Eguiarte, L.; Souza, V. y Silva, M. A. (2000). "Evolución de la familia agavaceae: Filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones". *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (66): 131-151.
- Figueredo, C. J., Villegas, J. L. y Nassar, J. M. (2011). "Sincronía reproductiva interpoblacional de *Agave cocui* (Agavaceae) en Venezuela". *Revista de Biología Tropical*, 59(3): 1359-1370.
- García-Herrera, E. J.; Méndez-Gallegos, S. J. y Talavera-Magaña, D. (2010). "El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica". *Revista Salud Pública y Nutrición, Special Ed.*, (5): 109-129.
- García-Meneses, P. (2004). "Reproducción y germinación de *Agave cupreata* (Agavaceae) en la localidad de Ayahualco, Guerrero". Tesis de Licenciatura, UNAM, México, Distrito Federal.
- García, M. A. J. (2007). "Los agaves de México". *Ciencias*, (87): 14-23.
- Gentry, H. S. (1972). *Agave family in Sonora*. Washington D. C: Agricultural Research Service U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook 399.
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of Continental North America. Library of Congress Catalog in Publication Data: The University of Arizona Press*. Tucson, AZ, USA.
- Gentry, H. S. (2004). *Agaves of continental North America*. University of Arizona Press.

- Gómez, Z. (2007). "Diversidad genética de una bromelia de importancia comercial". Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.
- González-Hernández, H.; Figueroa-Castro, P.; Rubio-Cortés, R.; Jones, R. W. y Valdés-Carrasco, J. M. (2015). "Primer reporte de *Peltophorus polymitus bohemian* (Coleoptera: Curculionidae) en tres especies de *Agave* (Asparagaceae) en México". *Acta Zoológica Mexicana*, 31(3): 473-476.
- Guterman, Y. (2000). "Maternal Effects on Seeds During Development". *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, (2): 59-84.
- Guzmán, M. C. (2009). *Estudio de la biología reproductiva y análisis molecular de la reproducción sexual y asexual de Agave tequilana weber var. azul*.
- Heather, A. D.; Taylor, C. M.; Cville, J. C. y Donald, S. R. (2004). "An Allee Effect at the Front of a Plant Invasion: *Spartina* in a Pacific Estuary". *Journal of Ecology*, 92(2): 321-327.
- Illsley, G. C. (2004). *Manejo campesino sustentable del maguey papalote de chilapa*. Grupo de Estudios Ambientales A.C. Informe final SNIB-CONABIO proyecto no. Bs002. México, D. F.
- INEGI (2010). *Mapa digital de Mexico, climatología y vegetación*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Leiva, H. C. A. (2002). *El dilema de Lapageria rosea en bosques fragmentados: ¿cantidad o calidad de la progenie?* Universidad de Chile.
- Lezama, P. C.; Hernández, V. J. J.; Vallejo, R. P.; Rivero, A. H. S. y Mata, J. J. (2002). *Estructura de la diversidad genética en poblaciones naturales de Pinus greggii Engelm.*
- Manasse, R. S. y Stanton, M. L. (1991). "The Influence of the Mating System on Seed Size Variation in *Crinum erubescens* (Amaryllidaceae)". *Evolution*, 45(4): 883-890.
- Martínez-Palacios, A.; Gómez-Sierra, J.; Sáenz-Romero, C.; Pérez-Nasser, N. y Sánchez-Vargas, N. (2011). "Genetic Diversity of *Agave cupreata* Trel. y Berger. Considerations for its Conservation". *Revista Fitotecnia Mexicana*, (34): 159-165.
- Martínez-Salvador, M.; Beltrán-Morales, L.; Valdéz-Cepeda, R.; Arias-Rubio, H.; Troyo-Diegez, E.; Murillo-Amador, B.;... Ortega-Rubio, A. (2007). "Assessment of Sustainability Performance on the Utilization of *Agave salmiana* ssp. *crassispina* in Zacatecas, México". *The International Journal of Sustainable Development y World Ecology*, 14(4): 362-371.
- Martínez Salvador, M.; Arias, R. H. y Ortega, R. A. (2005). "Population Structure of Maguey (*Agave salmiana* ssp. *crassispina*) in Southeast Zacatecas, Mexico". *Arid Land Research and Management*, 19(2): 101-109.
- Muñoz-Flores, H. J.; Orozco-Gutiérrez, G.; Coria-Avalos, V. M.; Muñoz-Vega, Y. Y. y García-Magaña, J. (2011). "Manejo de un área semillera de *Pinus pseudos-*

- trobis* Lindl y *Abies religiosa* (HBK) Schltdl. et Cham. y selección de árboles superiores en Michoacán, México”. *Foresta Veracruzana*, 13(2): 29-36.
- Pérez, A. y Reyes, M. I. (1989). “Influencia de la densidad de siembra sobre la producción de semillas de *Lablab purpureus* cv. rongai”. *Pastos y Forrajes*, 12(2).
- Piven, N. M.; Barredo-Pool, F. A.; Borges-Argáez, I. C.; Herrera-Alamillo, M. A.; Mayo-Mosqueda, A.; Herrera-Alamillo, M. A. y Robert, M. L. (2001). “Reproductive Biology of Henequen (*Agave fourcroydes*) and its Wild Ancestor *Agave angustifolia* (Agavaceae). I. Gametophyte Development”. *American Journal of Botany*, 88(11): 1966-1976.
- Sánchez-Teyer, F.; Moreno-Salazar, S.; Esqueda, M.; Barraza, A. y Robert, M. L. (2009). “Genetic Variability of Wild *Agave angustifolia* Populations Based on AFLP: A Basic Study for Conservation”. *Journal of Arid Environments*, 73(6): 611-616.
- Scheinvar, E. (2008). *Genética de poblaciones silvestres y cultivadas de dos especies mezcaleras: Agave cupreata y agave potatorum*.
- Torres, I.; Casas, A.; Delgado-Lemus, A. y Rangel-Landa, S. (2016). “Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable”. *Zonas Áridas*, 15(1): 92-109.
- Trame, A. M.; Coddington, A. J. y Paige, K. N. (1995). “Field and Genetic Studies Testing Optimal Outcrossing in *Agave schottii*, a Long-Lived Clonal Plant”. *Oecologia*, 104(1): 93-100.
- Wolfe, L. M. (1995). “The Genetics and Ecology of Seed Size Variation in a Biennial Plant, *Hydrophyllum appendiculatum* (Hydrophyllaceae)”. *Oecologia*, 101(3): 343-352.
- Zizumbo-Villarreal, D.; Vargas-Ponce, O.; Rosales-Adame, J. y Colunga-GarcíaMarín, P. (2013). “Sustainability of the Traditional Management of Agave Genetic Resources in the Elaboration of Mezcal and Tequila Spirits in Western Mexico”. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60(1): 33-47.