







Análisis morfométrico de semilla y desarrollo de plántulas de maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw.)

Morphometric analysis of seed and seedling development of maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw.)

Elías Hernández-Castro¹ ,
Yocira Yanet López-Sandoval¹ ,
José Luis Escobar-Álvarez³ ,
Omar Ramírez-Reynoso² ,
María de los Ángeles Maldonado-
Peralta⁴ ,
José Luis Valenzuela-Lagarda^{2*} 

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Unidad Tuxpan. Carretera Iguala-Tuxpan, km 2.5. Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

²Centro Regional de Educación Superior de la Costa Chica, UA-Gro. Florencio Villarreal, CP. 41800. Guerrero, México.

³Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, Carretera México- Texcoco km. 36.5, CP. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

⁴Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional, Km 197, CP. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

*Autor de correspondencia:
joseluislagarda@uagro.mx

Artículo científico

Recibido: 04 de marzo 2021

Aceptado: 16 de diciembre 2021

Como citar: Hernández-Castro E, López-Sandoval YY, Escobar-Álvarez JL, Ramírez-Reynoso O, Maldonado-Peralta MA, Valenzuela-Lagarda JL (2021) Análisis morfométrico de semilla y desarrollo de plántulas de maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw.). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 8(3): e2964. DOI: 10.19136/era.a8n3.2964

RESUMEN. Los Agaves son nativos de América y tienen diferentes usos, entre los que destacan la obtención de fibras y elaboración de bebidas alcohólicas; esto ha ocasionado una considerable disminución en las poblaciones silvestres; por lo que, el objetivo fue caracterizar morfológicamente cápsulas y semillas, y evaluar el desarrollo de la plántula de maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw.) colectadas en diferentes sitios del centro y norte del estado de Guerrero, México, para su propagación por semilla. Para el análisis morfométrico se empleó un diseño de un solo factor (Localidad) y para las variables de calidad de semilla, un análisis bifactorial (localidad y tiempo de inmersión). Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza y pruebas de medias (Tukey, $p \leq 0.05$). Se tomaron peso, altura y ancho de las cápsulas y semillas. Se realizó la prueba de germinación estándar y la viabilidad con la prueba del tetrazolio. Posteriormente, se evaluó el desarrollo de plántula; en tres tiempos de inmersión en agua (0, 24 y 48 h) y se realizaron mediciones en raíz, hoja y tallo. Motuapa presentó cápsulas con mayor número de semillas y semillas normales (241 y 140, respectivamente). Las cápsulas de mayor longitud la presentaron Atetetla, Motuapa y los Amates (5.37 ± 0.50 , 5.10 ± 0.40 y 4.97 ± 0.36 cm, respectivamente), Ateteta tuvo mayor ancho de cápsula (2.63 ± 0.05 cm), germinación (95%) y viabilidad (89.4%). Por lo que, La producción de plántula de *A. sacatoro*, mediante el uso de semillas puede ser una alternativa viable.

Palabras clave: Agave, cápsulas, reproducción sexual, semillas, tetrazolio.

ABSTRACT. Agaves are native to America and have different uses, among which the obtaining of fibers and the elaboration of alcoholic beverages stand out; This has caused a considerable decline in wild populations; Therefore, the objective was to morphologically characterize capsules and seeds, and evaluate the development of the maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw.) seedling collected in different sites in the center and north of the state of Guerrero, Mexico, for their propagation by seed. For the morphometric analysis a single factor design (Locality) was used and for the seed quality variables, a bifactorial analysis (locality and immersion time). The results obtained were subjected to analysis of variance and tests of means (Tukey, $p \leq 0.05$). Weight, height and width of the capsules and seeds were taken. The standard germination test and viability were performed with the tetrazolium test. Subsequently, the seedling development was evaluated; in three times of immersion in water (0, 24 and 48 h) and measurements were made in root, leaf and stem. Motuapa presented capsules with a higher number of seeds and normal seeds (241 and 140, respectively). The longest capsules were presented by Atetetla, Motuapa and Los Amates (5.37 ± 0.50 , 5.10 ± 0.40 and 4.97 ± 0.36 cm, respectively), Ateteta had greater capsule width (2.63 ± 0.05 cm), germination (95%) and viability (89.4%). Therefore, the production of *A. sacatoro* seedling, through the use of seeds, can be a viable alternative.

Key words: Agave, capsules, seeds, sexual reproduction, tetrazolium.

INTRODUCCIÓN

Las plantas del género *Agave* son originarias de América y se tienen descritas 273 especies, desde el Norte de EE.UU. hasta Bolivia y Paraguay (Zúñiga-Estrada 2013). México, es el país con mayor riqueza y diversidad de agaves, donde se tienen reportadas 205, de las cuales 151 son especies endémicas (Esparza-Ibarra et al. 2015). Al respecto, Flores-Maya et al. (2015) señalan que la mayor diversidad se encuentra en la parte central de México, Valle de Tehuacán-Cuicatlán, cañón barranca de Mezquitlán, Sierra Madre Occidental y en regiones del desierto de Chihuahua, el cual podría ser el centro de origen del género. Este grupo de plantas es valorado por su importancia social, cultural, ecológica y económica (Barrientos-Rivera et al. 2019). Comúnmente se le conoce como maguey o mezcal y se aprovecha como fuente de productos alimenticios, ornamental, medicinal, material para construcción y bebidas destiladas como el tequila, sotol, pulque y mezcal, entre otros (Esparza-Ibarra et al. 2015, Barrientos-Rivera et al. 2019).

Este género de plantas, se encuentra en ambientes diversos que incluyen bosques de coníferas en sistemas montañosos y matorrales desérticos costeros característicos de las zonas áridas, en altitudes que van desde los 0 hasta los 3 400 msnm (Ramírez-Tobías et al. 2014, Vázquez-Acosta et al. 2020), crecen en sitios con limitaciones de humedad, altas temperaturas (Candia-Acosta et al. 2019) y presentan alta tolerancia ecológica; esto se debe, a que han adoptado mecanismos fisiológicos que les ha permitido una adaptación local en hábitats heterogéneos (Barrientos-Rivera et al. 2019).

La propagación mediante hijuelos es la forma más común de reproducción en *Agaves* (Vázquez-Díaz et al. 2011), los hijuelos se mantienen uniformes genéticamente y el porcentaje en el trasplante es mayor en relación con la propagación por semilla (Arzate-Fernández et al. 2016). Mientras que, los individuos originados por semillas mantienen la estructura y dinámica de las poblaciones de maguey (Ramírez-Tobías et al. 2012) y presentan incremento en la variabilidad genética (Ortiz-Hernández et al.

2018). La forma principal de reproducción de este género es la asexual, al producir clones en distintas partes de la roseta o inflorescencia; mientras que, la sexual se logra mediante la polinización realizada por murciélagos e insectos (García-Mendoza 2007).

En el estado de Guerrero, Villaseñor (2016) reportó que se tienen registradas 16 especies del género *Agave* y de las que, *A. cupreata* Trel. et Bergel (maguey papalote o ancho) y *A. angustifolia* Haw. (maguey mezcalero o espadín) se utilizan principalmente para la extracción de materia prima para la elaboración de mezcal. Esto ha provocado presión sobre las poblaciones silvestres; por lo que, los productores han buscado alternativas para la reproducción de esta especie (Huerta-Zavala et al. 2019). Por ello, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar morfológicamente cápsula y semillas, y evaluar el desarrollo de la plántula de maguey sacatoro colectada en diferentes sitios del norte del estado de Guerrero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los sitios de colecta comprendieron cuatro municipios del estado de Guerrero (Tabla 1). Se seleccionaron dos plantas por localidad, los criterios de selección fueron: plantas sanas libres de plagas o enfermedades, vigorosas (color verde fuerte), de buen porte (altura y área foliar de planta) superior a la media de la población. Se cortó el qurote a un metro de altura a partir del centro del tallo, de las panículas, se seleccionaron al azar, cinco cápsulas cerradas por planta, se depositaron en bolsas de papel y se trasladaron al Laboratorio de Nutrición y Fisiología Vegetal, ubicado en el Campus Tuxpan de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, México. Las cápsulas se secaron a temperatura ambiente promedio de 33 °C, durante 20 días y; posteriormente, se realizó una depuración, en forma visual, de las semillas que no presentaron endospermo ni embrión (semillas estériles).

Tabla 1. Ubicación geográfica de las localidades donde se realizaron las colectas de semilla de *A. aungustifolia* Haw. del estado de Guerrero.

Municipio	Localidad	Fecha de colecta	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Temperatura promedio (°C)
Ahuacoutzingo	Motuapa	27/sep/16	17° 44' 57.3" LN 99° 02' 16.2" LO	1 312	24
Huitzucó	Atetetla	01/oct/16	18° 19' 74.4" LN 99° 23' 85.6" LO	876	26
Chilapa	Los Amates	21/oct/16	17° 32' 0.19" LN 99° 11' 79.9" LO	1 625	24
Atenango del Río	Coacán	05/nov/16	18° 10' 40.3" LN 99° 12' 19.7" LO	960	26

Variables morfométricas

Se cuantificó el número total de semillas por cápsula, el largo (LC) y ancho de cápsula (AC), largo (LS) y ancho de semilla (AS) con un vernier digital (HER-411, Steren[®]) y se expresó en cm. El peso de cada cápsula y peso de 1 000 semillas se determinó con una balanza analítica Santorius entris[®] (2241 1S) y se reportó en gramos, la estimación se realizó de acuerdo a lo establecido por ISTA (1996).

Germinación y viabilidad de semillas

Se realizó una prueba de germinación estándar, mediante la metodología propuesta por el ISTA (2014) y se determinaron los porcentajes de semillas germinadas y la viabilidad con prueba del tetrazolio al 1% (Maldonado-Peralta *et al.* 2016).

Desarrollo de plántula

Para evaluar el desarrollo de plántula, las semillas se sometieron a tres tratamientos 1) siembra directa, 2) inmersión durante 24 h y 3) inmersión durante 48 h en agua destilada. La siembra se realizó en vasos de plástico de poliestireno # 10 y el sustrato utilizado fue peat moss (BM2[®]) y agrolita (8:2 v/v) con 80 unidades experimentales por tratamiento. Los datos se tomaron cada dos meses después de la siembra por un periodo de seis meses y se evaluaron en cm, altura de planta (AP), y largo (LH) y ancho de hoja (AH).

Análisis de datos

Los datos obtenidos de las variables morfométricas, se analizaron bajo un diseño de un factor (localidad) con cuatro niveles (Atetetla, Coacán, Los

Amates y Motuapa), mientras que, para las variables del desarrollo de plántula, se estableció un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial, donde un factor fue localidades con cuatro niveles (Atetetla, Coacán, Los Amates y Motuapa) y el otro factor fue tiempo de remojo de las semillas con tres niveles (0, 24 y 48 h). Los porcentajes de germinación y viabilidad se transformaron obteniendo el arcoseno de su raíz cuadrada y dividiéndolos entre 100 a fin de homogenizar la varianza. Posteriormente, los datos de variables morfométricas, germinación y viabilidad, y desarrollo de plántula se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). También se aplicó una prueba de Pearson ($p = 0.10$) para determinar la correlación entre variables morfológicas, germinación y viabilidad. El paquete estadístico usado fue R (R Core Team 2016).

RESULTADOS

Variables morfométricas

El análisis de varianza indicó diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de semillas por cápsula; las localidades Atetetla, Motuapa y los Amates presentaron los valores mayores (175, 210 y 241 semillas, respectivamente; en tanto, Coacán (139) mostró la menor cantidad de semillas (Figura 1A y Figura 2). El porcentaje de semillas normales estuvo entre el 39.4 y 60.9% (Figura 1B), siendo inferior en Atetetla (34.9%) y Coacán (46.7%) y mayor en Motuapa (60.9%); mientras que, la proporción de semillas estériles más baja la mostró Coacán (38%), siendo las demás localidades, iguales entre sí (Figura

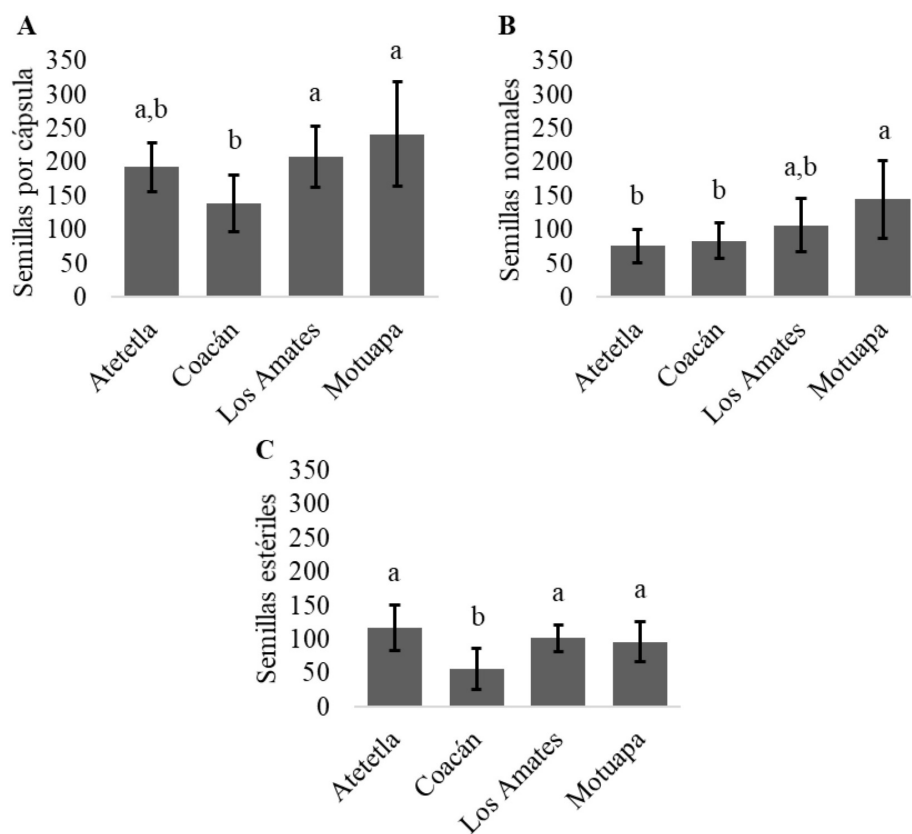


Figura 1. A) Contenido total de semillas por cápsula, B) semillas normales, C) semillas estériles de *Agave angustifolia* (Haw). Literales distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). Las líneas indican la desviación estándar.

1C).

Porcentaje de germinación y viabilidad

Se observó que la germinación (Figura 3) fue mayor al 65%, significativamente diferente ($p < 0.05$) en los sitios de colecta y Atetella mostró el mayor valor (95%). La prueba de viabilidad (Figura 4) con tetrazolio al 1% indicó que la proporción de semillas viables varió de acuerdo a los sitios de colecta, observando que Coacán presentó el menor porcentaje (60.9%), estadísticamente diferente ($p < 0.05$) al de Atetella (89.4%).

Desarrollo de plántula

Las localidades mostraron un efecto significativa ($p < 0.0001$) sobre la altura de la planta y longitud de hoja, a los 6 meses de edad, la mayor altura de

planta la mostró la semilla de Atetella (3.7 ± 0.2 mm) y Motuapa (3.2 ± 0.2 mm), mientras que la longitud de hoja mayor la mostró la semilla de Atetella (10.8 ± 0.2 mm) (Tabla 2). En este mismo sentido, el tiempo de inmersión también mostró un efecto significativo sobre la altura de planta y longitud de hoja, observando que las plántulas que no se sometieron al tratamiento tuvieron mejor altura de planta (3.6 cm).

Análisis de correlación

Se encontró asociación positiva, entre la germinación y la viabilidad ($r = 0.941$), el largo de la hoja ($r = 0.981$) y ancho de la hoja ($r = 0.907$) a los seis meses después de la emergencia. La viabilidad, presentó alta correlación positiva con el desarrollo de la planta (altura de planta, largo y ancho de hoja) con coeficientes de correlación de 0.917, 0.918 y 0.996,

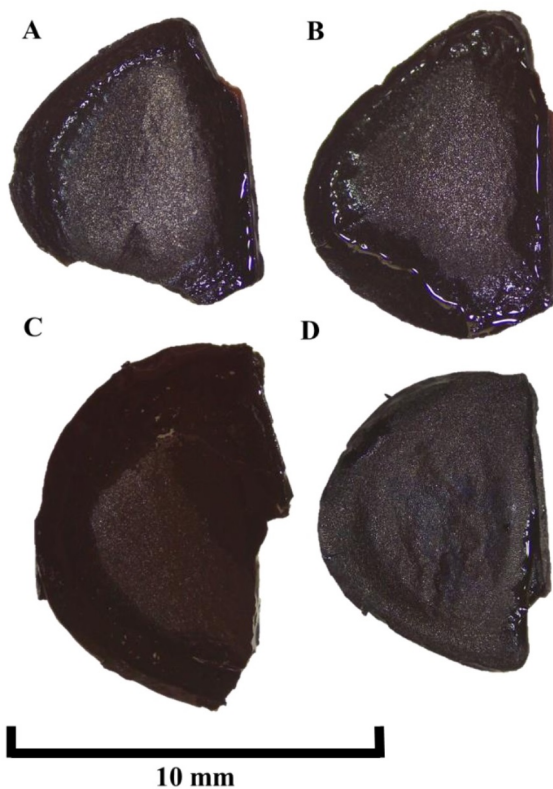


Figura 2. Semillas de *A. angustifolia* Haw. A) Atetella; B) Coacán; C) Los Amates y D) Motuapa.

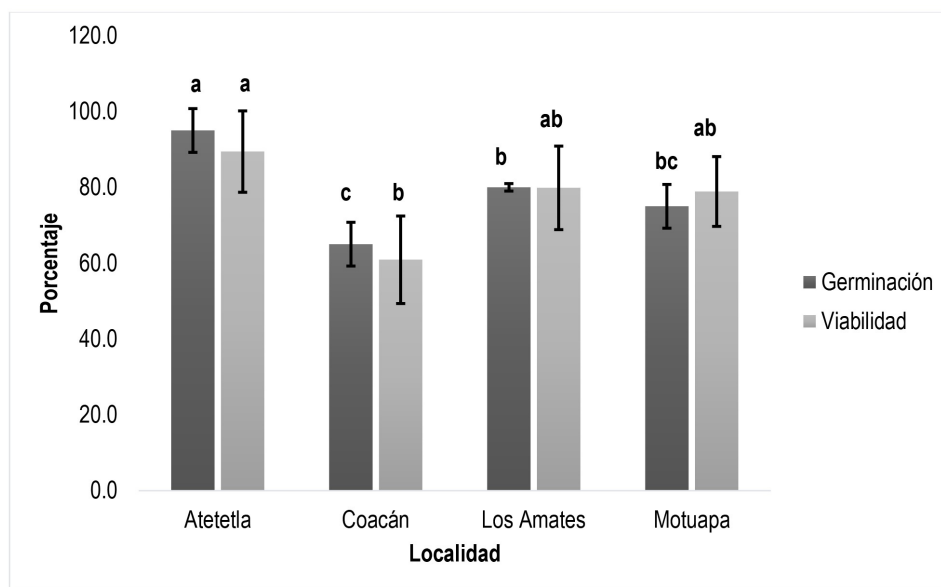


Figura 3. Porcentaje de germinación y viabilidad en semillas de *A. angustifolia* (Haw). Medias con literales distintas, por color de barra, son diferentes estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). Las líneas indican la desviación estándar.

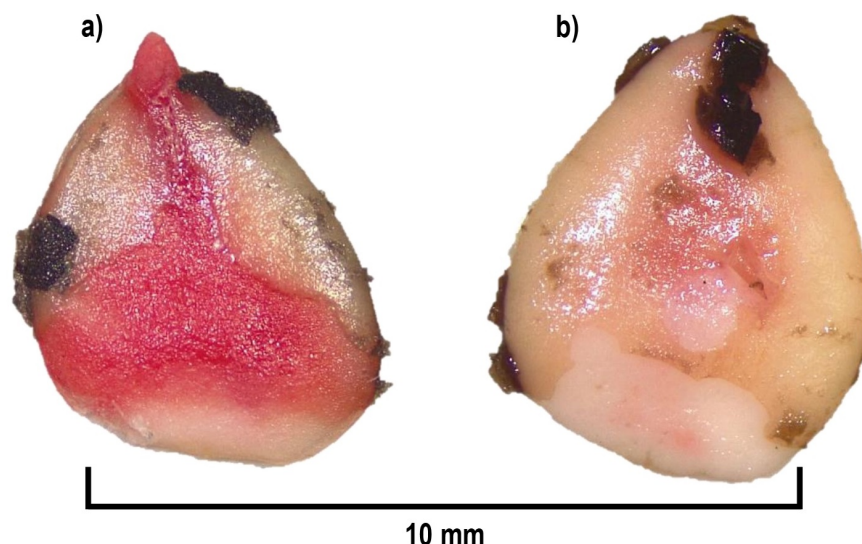


Figura 4. Tinción de semillas de *A. angustifolia* (Haw) con Tetrazolio al 1%. a) semilla viable; b) semilla no viable.

Tabla 2. Desarrollo de plántula de *A. angustifolia* Haw. de semillas colectadas en cuatro localidades y diferentes tiempos de inmersión en agua.

Localidad / Tiempo después de la siembra (meses)	Altura de planta (cm)			Longitud de hoja (cm)			Ancho de hoja (cm)		
	2	4	6	2	4	6	2	4	6
Atetletla	1.7 ± 0.2 ^a	2.3 ± 0.2 ^a	3.7 ± 0.2 ^{ab}	4.3 ± 1.0 ^a	7.6 ± 0.5 ^a	10.8 ± 0.2 ^a	0.8 ± 0.2 ^a	1.0 ± 0.2 ^a	2.4 ± 0.2 ^a
Coacacán	1.2 ± 0.0 ^c	2.0 ± 0.1 ^b	3.0 ± 0.0 ^c	3.6 ± 1.1 ^a	6.5 ± 0.3 ^b	9.5 ± 0.4 ^c	0.5 ± 0.1 ^a	0.9 ± 0.0 ^a	2.0 ± 0.4 ^a
Los Amates	1.3 ± 0.3 ^b	2.2 ± 0.3 ^{ab}	3.5 ± 0.1 ^b	4.1 ± 1.3 ^a	7.1 ± 0.3 ^a	10.0 ± 0.3 ^b	0.8 ± 0.1 ^a	1.1 ± 0.1 ^a	2.3 ± 0.4 ^a
Motuapa	1.7 ± 0.1 ^a	2.2 ± 0.2 ^{ab}	3.8 ± 0.2 ^a	3.6 ± 0.9 ^a	7.3 ± 0.3 ^a	10.0 ± 0.2 ^b	1.0 ± 0.7 ^a	1.1 ± 0.3 ^a	2.3 ± 0.3 ^a
T Inmersión/									
0	1.5 ± 0.2 ^a	2.3 ± 0.2 ^a	3.6 ± 0.4 ^a	3.7 ± 1.3 ^a	7.1 ± 0.5 ^a	10.2 ± 0.4 ^a	0.6 ± 0.1 ^b	0.9 ± 0.1 ^a	2.2 ± 0.3 ^a
24	1.5 ± 0.3 ^{ab}	2.1 ± 0.2 ^a	3.4 ± 0.3 ^b	3.9 ± 1.0 ^a	7.1 ± 0.4 ^a	9.9 ± 0.7 ^b	1.0 ± 0.6 ^a	1.1 ± 0.2 ^a	2.4 ± 0.3 ^a
48	1.4 ± 0.4 ^b	2.2 ± 0.3 ^a	3.5 ± 0.3 ^{ab}	4.0 ± 1.0 ^a	7.1 ± 0.6 ^a	10.1 ± 0.4 ^{ab}	0.8 ± 0.1 ^{ab}	1.1 ± 0.2 ^a	2.1 ± 0.3 ^a
Valor P									
Sitio	0.0000	0.0424	0.0000	0.5356	0.0000	0.0000	0.1241	0.392	0.2141
Tratamiento	0.0275	0.0587	0.0025	0.8664	0.9148	0.0431	0.0498	0.1711	0.2143
Interacción	0.0000	0.0064	0.0003	0.5011	0.2071	0.0244	0.2814	0.5746	0.9344
CV	4.26	8.26	3.1	19.55	5.25	2.57	24.25	21.38	16.89

Media ± desviación estándar de la media. Medias en sentido de las columnas que no comparten misma literal son diferentes estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación.

respectivamente ($p < 0.10$).

DISCUSIÓN

Variables morfométricas

En la Tabla 3 se muestra que el largo y ancho de cápsulas presentó diferencia estadística ($p < 0.0001$) en los diferentes sitios de colecta. Al respecto, Huerta-Lovera *et al.* (2018) señalan que el número de semillas por cápsula es independiente al sitio del crecimiento y periodo de maduración de la infrutescencia, observando valores de 0 a 294 semillas en *A. salmiana*, largos de entre 45.68 y 54.92 mm, y ancho (diámetro) entre 20.15 y 22.5 mm, valores

similares a los encontrados en el presente estudio. Con respecto, al largo y ancho de semilla, las colectadas en Los Amates presentaron mayor longitud y anchura comparadas al resto de las colecciones (Figura 2), estadísticamente diferentes ($p < 0.0001$). Sobre lo mismo, Vázquez-Díaz *et al.* (2011) reportan en semilla de *A. salmiana* de San Luis Potosí, tamaños de semilla de 7.2 a 8.4 mm de longitud y 5.4 a 6.5 mm de ancho, valores que son menores a lo obtenido en el presente estudio. Lo cual puede deberse a la variedad y condiciones climáticas de la localidad donde se obtuvieron las colectas; como lo reportaron Fernández-Sosa *et al.* (2015) que en

Tabla 3. Tamaño de semilla de *A. angustifolia* Haw. colectadas en cuatro comunidades del estado de Guerrero.

Localidad	LC	AC	Cm	
			LS	AS
Atetetla	5.37 ± 0.50 ^d	2.63 ± 0.05 ^a	0.82 ± 0.07 ^c	0.63 ± 0.05 ^c
Coacán	4.32 ± 0.35 ^b	2.40 ± 0.26 ^b	0.91 ± 0.13 ^b	0.70 ± 0.09 ^{ab}
Los Amates	5.10 ± 0.40 ^a	2.52 ± 0.16 ^{ab}	0.98 ± 0.06 ^a	0.73 ± 0.05 ^a
Motuapa	4.97 ± 0.36 ^d	2.35 ± 0.07 ^b	0.89 ± 0.06 ^b	0.66 ± 0.06 ^{bc}
Valor F	11.96	14.11	16.92	14.11
Valor P	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
CV	8.25	6.4	9.44	9.24

Media ± desviación estándar. Medias en sentido de las columnas, que no comparten misma literal son diferentes estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). LC: largo de cápsula; AC: ancho de cápsula; LS: largo de semilla; AS: ancho de semilla. CV: coeficiente de variación.

semillas las localidades favorecieron la expresión del peso volumétrico. Mientras que, Garrido *et al.* (2005) mencionan que el tamaño de la semilla tiene una gran variación entre poblaciones, años y especialmente entre plantas.

En las variables de peso total y semillas normales, Los Amates, presentó los promedios más altos (7.02 y 2.24 g, respectivamente); mientras que, Coacán fue la localidad donde se encontraron las cápsulas de menor peso y en Atetetla las de menor peso de semillas normales (Tabla 4). El tamaño de la semilla se relaciona directamente con la capacidad de reservar energía por parte de la semilla, por lo cual, puede ser un indicador de la calidad de la semilla, Respecto al peso de la cápsula y 1 000 semillas no se presentó diferencia estadística ($p = 0.073$ y $p = 0.3789$, respectivamente) entre los sitios de colecta. En contraste, Vázquez-Díaz *et al.* (2011) reportaron en colectas de tres variantes de *A. salmiana* valores entre 10.8 y 14.5 mg en peso de la semilla; mientras que, Hernández-Verdugo *et al.* (2010) mencionan que el peso de las semillas varía entre y dentro de las poblaciones.

Porcentaje de germinación y viabilidad

La capacidad germinativa en las semillas es afectada por factores intrínsecos como la especie y tamaño de la semillas y factores ambientales, como precipitación, temperatura, radiación solar y disponibilidad de agua, que afectan la planta madre y calidad de semillas en desarrollo (Ramírez-Tobías *et al.* 2012, Elizalde *et al.* 2017). Sobre esto, Ramírez-

Tobías *et al.* (2016) reportan en *A. mapisaga* $68 \pm 4\%$ de semillas viables y $31 \pm 4\%$ semillas inviables y en *A. angustifolia* subsp. *tequiliana* $53 \pm 6\%$ y $19 \pm 3\%$ de semillas viables e inviables, respectivamente. En *A. potatorum* Zucc., Langlé-Argüello *et al.* (2017) encontraron 85 y entre 66 - 77% de viabilidad, en semillas almacenadas durante seis y 12 meses, respectivamente. Por lo que, la viabilidad es un indicador la actividad metabólica de los tejidos vivos e indirectamente es una estimación del poder germinativo (Copeland y McDonald, 2012).

Desarrollo de plántula

Los valores de altura de planta y longitud de hoja obtenidos difieren de los reportados por Bautista-Aparicio *et al.* (2017), quienes indican que a los seis meses las plántulas presentaron alturas entre 4.47 y 5.40 cm en *A. potatorum* Zucc. Lo que puede deberse a que el efecto de la fertilización que utilizaron influyó en el desarrollo de las plántulas, debido a que en el presente trabajo no se realizó fertilización. Con respecto a la longitud de hoja a los dos meses después de la emergencia, Atetetla presentó las hojas más largas (4.3 cm) y una longitud de hoja de 4.0 cm a un tiempo de inmersión de 48 h. Valores similares a los reportados por Sánchez-Mendoza *et al.* (2017) que sometieron semillas de cuatro especies de Agave a tratamientos pregerminativos, con agua y reguladores de crecimiento, donde reportaron de 3.4 a 4.6 cm. Al respecto, Peña-Valdivia *et al.* (2006) indican que el tamaño de semilla y la cantidad de agua absorbida influyen en la germinación de las

Tabla 4. Peso de la cápsula y semillas de *A. angustifolia* Haw. colectadas en el estado de Guerrero.

Localidad	PT	PC	G	
			PSN	P1000S
Atetetla	6.80 ± 0.58 ^{ab}	3.65 ± 0.53 ^a	1.67 ± 0.20 ^c	24.43 ± 8.87 ^a
Coacán	6.09 ± 0.77 ^b	3.01 ± 0.25 ^a	1.81 ± 0.64 ^{bc}	23.54 ± 9.66 ^a
Los Amates	7.02 ± 0.94 ^a	3.43 ± 0.87 ^a	2.24 ± 0.30 ^{ab}	24.01 ± 10.97 ^a
Motuapa	6.99 ± 0.56 ^a	3.24 ± 0.26 ^a	2.32 ± 0.35 ^a	18.10 ± 6.41 ^a
Valor F	3.52	2.52	6.16	1.06
Valor P	0.025	0.073	0.0018	0.3789
CV	10.87	16.25	10.02	15.53

Media ± desviación estándar. Medias en sentido de las columnas, que no comparten misma literal son diferentes estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). PT: peso total; PC: peso de cápsula; PSN: peso de semilla normales; P1000S: peso de mil semillas. CV: coeficiente de variación.

Tabla 5. Matriz de correlación entre las variables estudiadas de *A. angustifolia* Haw. colectadas en el norte de Guerrero.

Variable	GE	V	LS	AS	AP	LH	AH
V	0.941*						
	0.059**						
AP	0.731	0.917	-0.287	-0.49			
	0.269	0.083	0.713	0.51			
LH	0.981	0.918	-0.687	-0.783	0.725		
	0.019	0.082	0.313	0.217	0.275		
AH	0.907	0.996	-0.374	-0.552	0.947	0.883	
	0.093	0.004	0.626	0.448	0.053	0.117	

*Coeficiente de correlación de Pearson (r). **Valores P (≤ 0.05). GE = germinación; V = viabilidad; LS = largo de semilla; AS = ancho de semilla; AP = altura de plántula; LH = longitud de hoja; AH = ancho de hoja.

semillas y emergencia de las plántulas.

Análisis de correlación

Se realizó una correlación (Pearson, $p = 0.05$) y se encontró alta asociación positiva, entre la germinación y longitud a los seis meses después de la emergencia ($r = 0.981$, $p = 0.019$); así como, la viabilidad, con el ancho de hoja ($r = 0.996$, $p = 0.004$) (Tabla 5). En *A. potatorum* Zacc., Langlé-Argüello *et al.* (2017) encontraron correlación positiva alta, entre germinación y viabilidad ($r = 0.9027$, $p < 0.05$), y la longitud de planta con la germinación y viabilidad ($r = 0.8497$ y $r = 0.9208$, respectivamente) lo que sugiere que las semillas que presentan un mayor porcentaje de viabilidad y germinación desarrollan plántulas más vigorosas. Monroy-Vázquez *et al.* (2017) indican que la viabilidad y vigor son características indispensables en la germinación de las semillas y establecimiento de plántulas del género *Opuntia*.

CONCLUSIONES

Se presentó alta variabilidad en la morfología de las cápsulas y semillas, en la localidad de Atetetla se encontraron las cápsulas de mayor tamaño y peso. En los Amates se presentaron semillas de mayor tamaño y peso total. Los mayores pesos de semillas normales y 1000 semillas se encontraron en la localidad de Motuapa, la germinación y viabilidad en los sitios de colecta fue superior al 65 y 89%, respectivamente. La germinación y viabilidad de semilla presentaron correlación positiva con las variables de desarrollo de la plántula; por lo que, estas variables pueden ser un indicador de las características morfológicas de la planta y su producción mediante semilla es una alternativa viable.

LITERATURA CITADA

- Arzate-Fernández AM, Piña-Escutia JL, Norman-Mondragón TH, Reyes-Díaz JI, Guevara-Suárez KL, Vázquez-García LM (2016) Regeneración de agave mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) a partir de embriones somáticos encapsulados. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39: 359-366.
- Barrientos-Rivera G, Esparza-Ibarra EL, Segura-Pacheco HR, Talavera-Mendoza Ó, Sampedro-Rosas ML, Hernández-Castro E (2019) Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10: 655-668.
- Bautista Aparicio G, Sánchez Mendoza S, Bautista-Cruz MA (2017) Efecto de diferentes dosis de N y P en el crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 4: 48-60.
- Candia-Acosta JA, Díaz-Vásquez MA, Torres Herrera SI, Quiroz-Arratia JA, Dominguez-Calleros PA (2019) Germinación de semillas de *Agave durangensis* bajo diferentes coberturas en Durango, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 6: 18-27.
- Copeland LO, McDonald MB (2012) Principles of seed science and technology. 4 ed. Ed. Springer Science & Business Media. US. 467p.
- Elizalde V, García JR, Peña-Valdivia CB, Ybarra MC, Leyva OR, Trejo C (2017) Viabilidad y germinación de semillas de *Hechtia perotensis* (Bromeliaceae). *Revista de Biología Tropical* 65: 153-165.
- Esparza-Ibarra EL, Violante-González J, Monks S, Cadena-Iñiguez J, Araujo-Andrade C, Rossel-Kipping ED (2015) Los agaves mezcaleros del Altiplano Potosino y Zacatecano. En: Pulido-Flores G, Monks S, López-Herrera M (ed) Estudios en biodiversidad. Vol I. University of Nebraska-Lincoln. EE.UU. pp: 227-245.
- Fernández-Sosa R, Carballo-Carballo A, Villaseñor-Mir HE, Hernández-Livera A (2016) Calidad de la semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1239-1251.
- Flores-Maya S, Vargas-Jurado MA, Suárez-Mota ME, Barrera-Escorcía H (2015) Karyotype analysis of *Agave marmorata* and *Agave peacockii* (Agavaceae) from alluvial terraces of the Zapotitlán river, Puebla, México. *Polibotánica* 40: 109-125.
- García-Mendoza AJ (2007) Los agaves de México. *Ciencias* 87: 14-23.
- Garrido JL, Herrera CM, Rey PJ (2005) Fuentes de variación en el tamaño de la semilla de la herbácea perenne *Helleborus foetidus* L. (*Ranunculaceae*). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 62: 115-125.
- Hernández-Verdugo S, López-España RG, Porras F, Parra-Terraza S, Villarreal-Romero M, Osuna-Enciso T (2010) Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia* 44: 667-677.
- Huerta-Lovera M, Peña-Valdivia CB, García-Esteva A, Kohashi-Shibata J, Campos-García H, Aguirre-Rivera JR (2018) Maguey (*Agave salmiana*) infructescence morphology and its relationship to yield components. *Genetic Resources and Crop Evolution* 65: 1649-1661.
- Huerta-Zavala J, Sabino-López JE, Ochoa-Miranda R, Damián-Nava A, Segura-Pacheco HR, Hernández-Castro E (2019) Áreas potenciales para plantaciones de *Agave angustifolia* Haw en Guerrero, México. *Agroproductividad* 12: 3-9.
- ISTA (2014) International rules for deed testing. The International Seed Testing Association (ISTA). Bassersdorf, CH-Switzerland. pp: 15-70.

- Langlé-Argüello LA, Gutiérrez-Hernández GF, Martínez-Gutiérrez GA (2017) Efecto del tiempo de almacenamiento y procedencia de semillas de *Agave potatorum* Zucc. en la germinación y viabilidad. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 4: 1-7.
- Maldonado-Peralta MA, De Los Santos-García G, García-Nava JR, Ramírez-Herrera C, Hernández-Livera A, Valdez-Carrasco JM, Corona-Torres T, Cetina-Alcalá VM (2016) Seed viability and vigour of two nanche species (*Malpighia mexicana* and *Byrsonima crassifolia*). *Seed Science and Technology* 44: 168-176.
- Monroy-Vázquez ME, Peña-Valdivia CB, García-Nava JR, Solano-Camacho E, Campos H, García-Villanueva E (2017) Imbibición, viabilidad y vigor de semillas de cuatro especies de *Opuntia* con grado distinto de domesticación. *Agrociencia* 51: 27-42.
- Ortiz-Hernández YD, Gutiérrez-Hernández GF, Corzo-Ríos LJ, García-Ramírez E, Martínez-Tomás SH (2018) Varietal and germinative characterization of *Agave potatorum* (*Asparagaceae*) seeds with different origins. *Botanical Sciences* 96: 628-639.
- Peña-Valdivia CB, Sánchez-Urdaneta AB, Aguirre-Rivera JR, Trejo C, Cárdenas E, Villegas MA (2006) Temperature and mechanical scarification on seed germination of 'maguey' (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science & Technology* 34: 47-56.
- R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. Fecha de consulta: 6 de agosto de 2020.
- Ramírez-Tobías HM, Niño-Vázquez R, Aguirre-Rivera JR, Flores J, De Nova-Vázquez A, Jarquin-Gálvez R (2016) Seed viability and effect of temperature on germination of *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* and *A. mapisaga*; two useful Agave species. *Genetic Resources and Crop Evolution* 63: 881-888.
- Ramírez-Tobías HM, Peña-Valdivia CB, Aguirre-Rivera JR, Reyes-Agüero JA, Sánchez-Urdaneta AB, Valle GS (2012) Seed germination temperatures of eight Mexican Agave species with economic importance. *Plant Species Biology* 27: 124-137.
- Ramírez-Tobías HM, Peña-Valdivia CB, Rogelio-Aguirre J (2014) Respuestas bioquímico-fisiológicas de especies de agave a la restricción de humedad. *Botanical Sciences* 92: 131-139.
- Sánchez Mendoza S, Bautista-Cruz MA, Córdova Campos O, Crisanto-Martínez, M, Alavés-Jarquín F (2017) Tamaño de semilla y tratamientos pregerminativos en el crecimiento de agaves silvestres. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 4: 8-17.
- Vázquez-Acosta A, Treviño-Carreón J, Estrada-Drouaillet B, Garcia-Alanis ML, Herrera Monsiváis MC, Tristán VV (2020) Morphological characterization of *Agave tequilana* Weber variety azul (*Asparagaceae*) under cultivation in the municipality of Llera, Tamaulipas, Mexico. *Open Journal of Forestry* 10: 264-275.
- Vázquez-Díaz E, García-Nava JR, Peña-Valdivia CB, Ramírez-Tobías HM, Morales-Ramos V (2011) Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 167-173.
- Villaseñor JL (2016) Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 559-902.
- Zúñiga-Estrada L (2013) Nutrición de *Agave tequilana* y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo). Folleto Técnico. INIFAP-CIRNE. Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas. 46p.