



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Horticultura Ambiental



Protocolo de germinación de *Agave gentryi* B. Ullrich y *Agave montana* Villarreal

Tesis Individual

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciado en Horticultura Ambiental

PRESENTA

Frida María Uribe Solano

DIRIGIDO POR

Dra. Emma Fabiola Magallán Hernández

Dra. Emma Fabiola Magallán Hernández
Presidente

Dr. Juan Antonio Valencia Hernández
Secretario

Dr. Alfonso Valiente Banuet
Vocal

Dr. Jacinto Treviño Carreón
Vocal

Dra. Rosalinda González Santos
Suplente

Santiago de Querétaro, Qro. 2025

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

RESUMEN

Los magueyes *Agave gentryi* y *Agave montana* son especies de la sección Salmianae, nativas de la Sierra de Querétaro a las cuales se les atribuyen distintos usos como la obtención de aguamiel para la elaboración de pulque y en algunos estados se elabora mezcal, sus flores son consumidas. Su variabilidad genética se encuentra amenazada debido a la sobreexplotación de los recursos relacionada con el auge mezcalero. Se colectaron muestras en la comunidad de Chavarrías, Cadereyta en Querétaro. Se obtuvieron distintos descriptores para realizar una caracterización morfoagronómica de cada especie, se realizó la prueba de viabilidad con tetrazolio al 1% con tres tratamientos: T1 (24 hrs), T2 (48 hrs), T3 (72 hrs), y pruebas de germinación con cuatro tratamientos térmicos: T1 (15°C), T2 (20°C), T3 (25°C) y T4 (30°C), donde se mantuvieron las constantes de humedad ambiental (30%), iluminación (65000 lx) y fotoperiodo (12/12). En *A. gentryi*, se presentó alta variabilidad en el tamaño de los frutos y las semillas. Se reconoció que los principales descriptores morfoagronómicos como indicadores para diferenciar ambas especies fueron el diámetro y longitud de fruto y semilla. Las dos especies presentaron un mayor porcentaje de semillas de color blanco (no viables) que de semillas de color negro (viables). El mejor tratamiento para probar viabilidad en *A. gentryi* resultó ser el T2 (48 hrs), mientras que, para *A. montana*, el mejor tratamiento fue el T3 (72 hrs). En los tratamientos con la temperatura, en donde se obtuvo un mayor porcentaje de germinación fue en el tratamiento T1 (15°C) para ambas especies. Se rechazó la hipótesis planteada, *Agave montana*, que se encuentra a una mayor altitud que *Agave gentryi*, no presenta un mayor porcentaje de germinación a menor temperatura en comparación con *Agave gentryi*.

Palabras clave: *Agave*, germinación, viabilidad, protocolo, morfoagronómicos.

ABSTRACT

The magueys *Agave gentryi* and *Agave montana* are species of the Salmianae section, native to the Sierra de Querétaro. They are used for various purposes, such as obtaining aguamiel (honey water) for making pulque, and in some states, mezcal is produced and their flowers are consumed. Their genetic variability is threatened due to the overexploitation of resources related to the mezcal boom. Samples were collected in the community of Chavarrías, Cadereyta, Querétaro. Different descriptors were obtained to carry out a morphoagronomic characterization of each species. A viability test was carried out with 1% tetrazolium with 3 treatments: T1 (24 hrs), T2 (48 hrs), T3 (72 hrs), and germination tests with 4 treatments: T1 (15°C), T2 (20°C), T3 (25°C) and T4 (30°C), where the constants of environmental humidity (30%), lighting (65,000 lx) and photoperiod (12/12) were maintained. High variability was presented in the size of fruits and seeds of *A. gentryi*. The most important morphoagronomic descriptors that were recognized as indicators to identify these species among them were fruit and seed diameter and length. Both species presented a higher percentage of white seeds (non-viable) than black seeds (viable). The best treatment for the viability test for *A. gentryi* was T2 (48 hrs), while for *A. montana*, the best was T3 (72 hrs). The treatment with the temperature that obtained the highest germination percentage was T1 (15°C) for both species. The hypothesis proposed is rejected: *Agave montana*, which is found at a higher altitude than *Agave gentryi*, does not show a higher germination percentage at lower temperatures compared to *Agave gentryi*.

Key words: Agave, germination, viability, agromorphology.

DEDICATORIAS

Dedico esta investigación a mi hermana Paloma Sofía, la mayor luz de mi vida. A mis amigos que siempre estuvieron presentes apoyando esta etapa de mi vida: Alex, Andy, Ara, Juli, Pao, Salma, Sarita y en especial a Marco, por siempre estar dispuesto a ayudarme. A mis padres y abuelos, quienes me inspiran con su amor y entrega diaria. A mi profesor y tutor el Dr. Antonio Valencia, por estar al pendiente de mi persona y la investigación. A mi profesora y directora la Dra. Fabiola Magallán por darme la oportunidad y la confianza de trabajar en el proyecto, además de motivarme a continuarlo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al SECIHTI por el apoyo de esta investigación a través del proyecto 319061 denominado “Auge Mezcalero y Deudas de Extinción: Investigación Interdisciplinaria hacia la Sustentabilidad”. A mi directora, la doctora Fabiola Magallán Hernández, y a mis sinodales, los doctores Juan Antonio Valencia Hernández, Alfonso Valiente Banuet, Jacinto Treviño Carrión y Rosalinda González Santos. A las personas de la comunidad de Chavarrías, por recibirnos tan amablemente, Don Fidel, Don Dionisio y Don Baltazar.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
DEDICATORIAS.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	2
2.1 Germinación y sus condiciones ambientales.....	2
2.2 Protocolo de germinación.....	3
2.3 Pruebas de viabilidad.....	3
2.4 Caracterización morfoagronómica.....	3
3. ESPECIES DE ESTUDIO.....	4
3.1 <i>Agave gentryi</i> B. Ullrich.....	4
3.1.1 Taxonomía.....	4
3.1.2 Morfología.....	4
3.1.3 Usos.....	5
3.1.4 Distribución y hábitat.....	6
3.2 <i>Agave montana</i> Villarreal.....	6
3.2.1 Taxonomía.....	6
3.2.2 Morfología.....	6

3.2.3 Usos.....	7
3.2.4 Distribución y hábitat.....	7
4. ANTECEDENTES.....	8
4.1 Estudios de germinación de especies relacionadas.....	8
5. JUSTIFICACIÓN.....	11
6. HIPÓTESIS.....	11
7. OBJETIVOS.....	11
7.1 Objetivo general.....	11
7.2 Objetivos específicos.....	11
8. METODOLOGÍA.....	12
8.1 Área de estudio.....	12
8.2 Caracterización morfoagronómica de frutos y semillas.....	13
8.2.1 Colecta.....	14
8.2.2 Color.....	15
8.2.3 Conteo de semillas por planta.....	15
8.2.4 Peso.....	16
8.2.5 Tamaño.....	16
8.2.6 Almacenamiento.....	17
8.3 Prueba de viabilidad con tetrazolio.....	17
8.4 Germinación y su relación con la temperatura.....	18
8.5 Análisis estadístico.....	19
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
9.1 Caracterización morfoagronómica.....	19
9.1.1 Umbelas.....	19
9.1.2 Frutos.....	20
9.1.3 Semillas.....	22
9.2 Prueba de viabilidad con tetrazolio.....	27
9.3 Germinación.....	28

9.4 Protocolo de germinación.....	33
10. CONCLUSIONES.....	38
11. LITERATURA CITADA.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ejemplares de <i>A. gentryi</i> en El Espolón, Cadereyta.....	5
Figura 2. Ejemplares de <i>A. montana</i> en El Espolón, Cadereyta.....	7
Figura 3. Mapa conceptual de la metodología.....	12
Figura 4. Mapa de la zona de estudio.....	13
Figura 5. Colecta de umbela.....	15
Figura 6. Ilustración <i>Agave montana</i> . a)umbela, b)fruto maduro, c)fruto abierto, d)semilla negra, e)semilla blanca.....	16
Figura 7. Puntos de medición de frutos y semillas.....	17
Figura 8. Semillas consideradas viables y no viables.....	18
Figura 9. Número de umbelas por planta (UpN).	20
Figura 10. Número de frutos por umbela (FuN). Peso de los frutos (FPe). Diámetro de los frutos (FDi). Longitud de los frutos (FLo).	21
Figura 11. Peso de semillas negras por fruto (SNfPe). Peso de semillas blancas por fruto (SBfPe). Peso individual de semillas negras (SNiPe). Diámetro de las semillas negras (SNDi). Longitud de las semillas negras (SNLo).	23
Figura 12. Número total de semillas por fruto (STfN). Número de semillas negras por fruto (SNfN). Número de semillas blancas por fruto (SBfN). Porcentaje de semillas negras por fruto (SNfPo). Porcentaje de semillas blancas por fruto (SBfPo).....	25
Figura 13. Viabilidad de semillas probada en tres tratamientos con tetrazolio al 1%: T1 (24 h), T2 (48 h), T3 (72 h).	28
Figura 14. Curvas de germinación por tratamiento de <i>A. gentryi</i>	29
Figura 15. Curvas de germinación por tratamiento de <i>A. montana</i>	30

Figura 16. a)Comparación entre tratamientos (T1 (15°C), T2 (20°C), T3 (25°C), T4 (30°C)), b)Comparación entre especies, c)Interacción entre tratamientos y especies.....	32
--	----

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Descriptores utilizados para la caracterización morfoagronómica.....	14
Cuadro 2. Promedios y desviación estándar de los descriptores morfoagronómicos.....	27
Cuadro 3. Porcentaje de germinación y t50 por tratamiento de <i>A. gentryi</i>	29
Cuadro 4. Porcentaje de germinación y t50 por tratamiento de <i>A. montana</i>	30

INTRODUCCIÓN

México es considerado centro de origen del género *Agave*, estando presente en, prácticamente, todos los tipos de vegetación y desde el nivel del mar hasta las altas montañas. Las especies que pertenecen a este género son el grupo de plantas al que se le han atribuido la mayor cantidad de usos a través de la historia en México (Treviño-Carreón *et al.*, 2011), entre los que destacan la producción de bebidas fermentadas y destiladas, causa principal de la disminución del número de individuos en las poblaciones silvestres y variabilidad genética (Arellano-Plaza *et al.*, 2022). El género *Agave* se caracteriza por su amplia diversidad, ya que se tienen registradas 226 especies, de las cuales 153 son nativas de México (Vázquez-García *et al.*, 2022). Debido a esto, se ha dividido en dos subgéneros y varias secciones (García, 2007).

De acuerdo con Gentry (1982), el género *Agave* comprende taxonómicamente dos subgéneros: *Littaea* y *Agave*, dentro del segundo, está la sección *Salmianae*, uno de los grupos con mayor importancia económica, en donde se encuentran especies tanto cultivadas como silvestres, incluyendo aquellas que son las más utilizadas en la industria mezcalera del país. En este grupo se incluyen además, las dos especies objeto de estudio de esta investigación: *Agave gentryi* B. Ullrich y *Agave montana* Villarreal. También se encuentran *A. mapisaga* Trel., *A. salmiana* ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry, *A. salmiana* var. *salmiana*, *A. salmiana* var. *ferox* (K.Koch) Gentry y *A. tecta* Trel. (González-Álvarez, 2005).

Los agaves presentan la capacidad de reproducirse de manera sexual y asexual, siendo la propagación asexual la más practicada por su eficiencia en el cultivo, aun cuando representa una amenaza directa en la variabilidad genética, que deja también a las poblaciones susceptibles a plagas y enfermedades (Valiente-Banuet 2023). Existen investigaciones sobre germinación para algunas especies de magueyes como *Agave americana* (Pritchard y Miller, 1995), *A. salmiana* (Peña-Valdivia *et al.*, 2006), *A. angustifolia* ssp. *tequilana* y *A. mapisaga* (Niño, 2013), sin embargo, no se encuentran estudios que ofrezcan un protocolo de germinación para las especies de estudio *Agave gentryi* B. Ullrich y *Agave montana* Villarreal, endémicas de México, con una importancia cultural en la fabricación de mezcal en Tamaulipas (com.pers Treviño-Carreón, 2023). La compleción de esta investigación

generará información útil para la propagación y proyectos de conservación de las especies estudiadas.

1. MARCO TEÓRICO

2.1 Germinación y sus condiciones ambientales

En general, las semillas se componen de tres estructuras: un embrión, una cubierta seminal y una reserva alimenticia, y requieren de condiciones ambientales específicas de agua, temperatura y luz, según la especie para poder germinar. Las etapas de la formación de la semilla después de la fertilización incluyen la histodiferenciación, en donde se inicia la síntesis de proteínas de almacenamiento; la expansión celular, en donde se sintetizan las proteínas LEA (de embriogénesis temprana); maduración y secado, en donde se establece la quiescencia o latencia. Por último, la germinación, que comienza cuando la semilla absorbe agua, proceso conocido como imbibición, para ello se requiere que el agua se encuentre disponible en el suelo a capacidad de campo, dando lugar al proceso de germinación, que culmina con la emergencia de la radícula o la plúmula. Para que esto se presente, es necesario que el embrión se encuentre vivo y la semilla pueda germinar, a esto se le conoce como viabilidad. La temperatura es uno de los factores ambientales que afectan la germinación y todos los procesos fisiológicos de las plantas, de tal manera que, al intervalo de temperatura en el cual las semillas de una determinada especie germinan, se le denomina ventana térmica. Igualmente, la temperatura óptima, es aquella en donde se obtiene la máxima germinación y en el menor tiempo posible (Courtis, 2013).

El fotoblastismo es un concepto que se refiere a la respuesta de las semillas a la germinación en la luz, y se clasifican en fotoblásticas positivas, cuando la luz incide de manera positiva; fotoblásticas negativas, cuando la luz inhibe su germinación; y las fotoblásticas neutras o no fotoblásticas, cuando la luz no afecta la germinación. La latencia es un estado de reposo de la semilla, en donde esta permanece sin germinar aun cuando se presentan las condiciones adecuadas, mientras que, la semilla quiescente puede germinar si se dan las condiciones óptimas (Márquez-Guzmán *et al.*, 2013).

2.2 Protocolo de germinación

El protocolo de germinación posibilita la definición de los parámetros ambientales indispensables para dar a conocer la aptitud que tienen las semillas de cierta especie para germinar. Con esta información, es posible propagarlas de manera indefinida en laboratorio o en invernadero. Dicho protocolo, es un resumen de los datos obtenidos de la experimentación a manera de ficha explicativa. Un protocolo de germinación contiene al menos, la siguiente información: taxonomía, nombres comunes, origen, usos, caracteres diagnósticos de la especie, método de colecta, características del material de propagación a elegir, descripción de frutos y semillas, condiciones de almacenamiento, tratamientos pre-germinativos (en caso de requerirlo), viabilidad de las semillas y método de germinación. Además, dentro del método se recomienda mencionar: el tipo de sustrato, la humedad ambiental, temperatura, fotoperiodo, características del riego, tiempo de germinación y porcentaje de germinación obtenido. Es de gran importancia generar los protocolos de germinación, sobre todo en especies endémicas o amenazadas para continuar su propagación evitando impactar sus poblaciones naturales silvestres (Rodríguez-Servín, 2010).

2.3 Pruebas de Viabilidad

Existen diferentes pruebas para conocer la viabilidad de las semillas, sin embargo, la más conocida es la prueba de Tetrazolio, desarrollada por G. Lakon (1949), es usada para probar la viabilidad que tienen las semillas para producir plántulas normales por medio de su potencial de actividad bioquímica. Con ella se valora la viabilidad de acuerdo con los patrones de tinción que se presentan al sumergir las semillas en una solución de cloruro de 2,3,5 trifeniltetrazolio, en donde el tejido vivo, con presencia de enzimas deshidrogenasas involucradas en la respiración, cambia la solución a un compuesto insoluble color rojo, mientras que el tejido no vivo no se tiñe. Esta reacción ocurre tanto en semillas quiescentes como en latentes (Hartmann *et al.*, 2011 y Rodríguez-Quilón *et al.*, 2008).

2.4 Caracterización morfoagronómica

Un descriptor es una característica cuya expresión puede medirse, registrarse o evaluarse de manera sencilla y que hace referencia a la forma, estructura o comportamiento de un material vegetal. A aquellas características morfológicas relacionadas con aspectos de manejo agronómico y de producción se les denomina

morfoagronómicas. Algunos ejemplos de estos caracteres para frutos y semillas son: el color, tamaño, peso, forma, brillo, contorno, entre otros. Es necesario describirlas con el fin de diferenciar e identificar los caracteres agronómicos distintivos de frutos y semillas de la especie en cuestión, además de conseguir un correcto manejo. El objetivo de esto es reconocer la variabilidad del material con fines de propagación, así como identificar adecuadamente las semillas pertenecientes a una determinada especie (Hernández-Villarreal, 2013 y Mosquero *et al.*, 2004).

2. ESPECIES DE ESTUDIO

3.1 Agave gentryi B. Ullrich

3.1.1 Taxonomía y filogenia

Descrito por primera vez como *Agave macroculmis* por Ullrich en 1900. Por su morfología, Gentry lo clasificó en el grupo Salmianae, no obstante, no se encuentra información de su filogenia.

3.1.2 Morfología

Planta multianual no surculosa, hojas anchas y gruesas en la base, generalmente triangular alargadas, profundamente cóncavas en la parte superior (Figura 1), de 45-85 cm de largo y 17-26 cm de ancho, dientes del borde de 2-4 cm de separación a lo largo de la hoja. Inflorescencia piramidal densas con flores de 3-5 m de altura con grandes brácteas carnosas en la base del tallo. “El agrupamiento o brácteas parece ser una adaptación para prevenir lesiones por el frío en el brote inicial de crecimiento” (Gentry, 1990).



Figura 1. Ejemplares de *Agave gentryi* en el Cerro El Espolón, Chavarrías, Cadereyta, Querétaro.

3.1.3 Usos

Se le conoce simplemente como “maguey”, “maguey verde” o “maguey de cerro”. De los tallos se obtiene aguamiel y pulque, en algunos estados se usa la piña para elaborar mezcal (com.pers Magallán-Hernández en prensa). El escapo floral se usa

para hacer cercas y como forraje, toda la planta es usada como cerca viva y para mantener la retención de suelo (González-Álvarez, 2005). De acuerdo con Gentry (1982), en la Sierra de Parras, Coahuila, el qurote tierno hervido y troceado en pedazos se vendía en los mercados para consumo, mientras que la fibra solía escupirse. La inflorescencia es usada para la preparación de dulces y a partir de sus botones florales se preparan diversos guisados (com.pers Magallán-Hernández en prensa).

3.1.4 Distribución y hábitat

Es una especie de alta montaña, se encuentra a lo largo de 800 km de la Sierra Madre Oriental (Gentry, 1982). Se encuentran registros en la Sierra de Parras en Coahuila y en el Cerro Potosí en Nuevo León. Crece sobre piedra caliza en zonas de roble (*Quercus* spp.) y pino (*Pinus* spp.) o chaparral. Se encuentran por encima de los 2100 msnm, ocasionalmente se distribuye por debajo de esta elevación (1850 msnm) en cañones o pendientes pronunciadas. Requiere de relativamente alta precipitación y es tolerante a la sombra del bosque (Gentry, 1982). Florece de abril a septiembre y fructifica de septiembre a octubre (González-Álvarez, 2005).

3.2 Agave montana Villarreal

3.2.1 Taxonomía y filogenia

Villarreal (1996), describió la especie por primera vez en la Sierra Madre Oriental y, por sus características morfológicas, la ubicó en el grupo *Salmianae*. Sin embargo, hasta el momento, no se encontraron estudios sobre su filogenia, los cuales corroboren su pertenencia a dicho grupo.

3.2.2 Morfología

Especie multianual, compacta, de rosetas hemisféricas, no rizomatosa (Figura 2). Plantas de 140-165 cm de diámetro y de 90-125 cm de alto. Hojas, de 84-112 cm por planta, ligeramente cóncavas a casi planas color verde amarillento de 30-40 cm de largo y 15-17 cm de ancho. Inflorescencia de 3.50-4.50 cm de alto, ovoide, con alrededor de 30 ramillas florales, ubicadas en las $\frac{2}{5}$ partes superiores del escapo; brácteas elípticas y carnosas, con dientes marginales y espina terminal, cóncavas,

café-rojizas, cubriendo completamente el tallo floral, de 12-16 cm de diámetro (Villarreal, 1996).

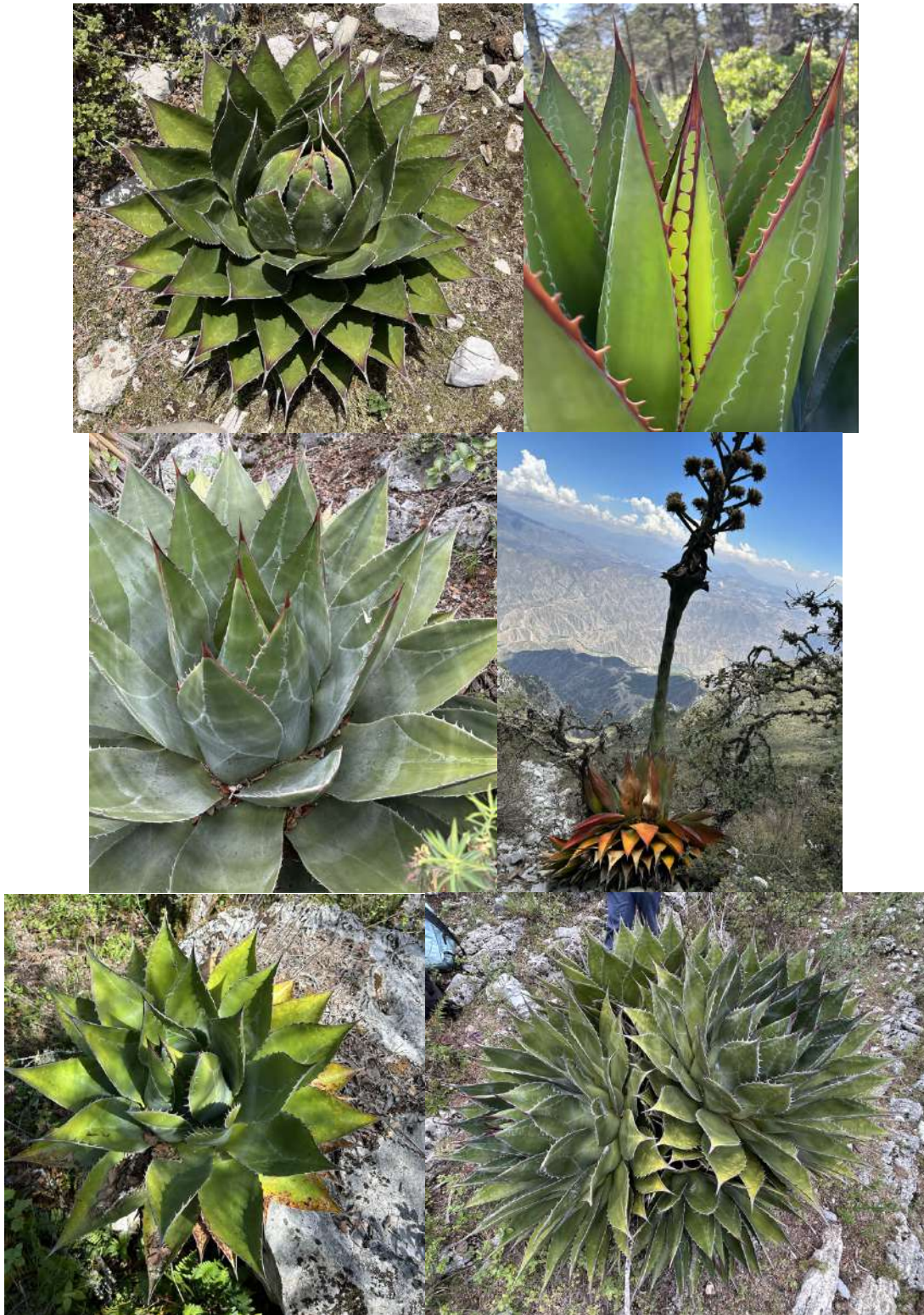


Figura 2. Ejemplares de *Agave montana* en el Cerro El Espolón, Chavarrías, Cadereyta, Querétaro.

3.2.3 Usos

La especie es mejor conocida como “maguey chino” en Tamaulipas y Querétaro (com.pers Magallán-Hernández en prensa). En Tamaulipas, las hojas hervidas y molidas, se mezclaban con harina de maíz para hacer tortillas (González-Álvarez 2005). En la Sierra El Doctor se consumen las flores, se obtiene aguamiel y se prepara pulque, mientras que en otros estados elaboran mezcal con su piña (com.pers Magallán-Hernández en prensa). Se valora también como un maguey con alto potencial como planta ornamental de exterior para climas templados, con la resistencia para adaptarse al cambio climático (Spracklin, 2007).

3.2.4 Distribución y hábitat

Villarreal (1996), indica que su distribución está restringida a la Sierra de la Marta, en el norte del país, en el estado de Nuevo León. Se encuentra bajo la sombra de especies arbóreas como *Arctostaphylos pungens* (pingüica), *Ceanothus buxifolius* (guazapol), *C. greggii* (palo de zorrillo), *Cercocarpus montanus*, *Pinus culminicola* (piñonero), *P. hartwegii* (pino blanco), *Quercus greggii* (encino blanco), entre otras. Actualmente, se cuentan con registros de la especie en los estados de Querétaro y Tamaulipas además de Nuevo León (com.pers Magallán-Hernández). Los tipos de vegetación en donde pueden encontrarse incluyen bosques de pino-encino en laderas de rocas calizas entre los 3,200 y 3,400 m.s.n.m. (Villarreal, 1996).

3. ANTECEDENTES

4.1 Estudios de germinación de especies relacionadas

Peña-Valdivia *et al.* (2006), evaluaron la germinación, el efecto del termoperiodo y la escarificación mecánica en ocho muestras de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, especie perteneciente a la sección Salmianae, como las especies estudio de esta investigación, colectadas de regiones áridas y semiáridas en San Luis Potosí. Colocaron 20 semillas en cajas de Petri con cuatro repeticiones que mantuvieron en oscuridad durante todo el experimento. Se probó con temperaturas de 7, 10, 14, 32 y 38°C. Las temperaturas por debajo de los 14 °C y por encima de los 30 °C inhibieron la germinación. La temperatura óptima para la germinación en todas las muestras resultó ser de 25 a 26 °C, en donde se presentó una alta variación del porcentaje de

germinación según las muestras, de 44 a 95%. Posteriormente, tomaron la temperatura óptima y la más baja, en donde hubo retraso pero no inhibición de la germinación, se probó la alternancia de temperatura (26 °C/14 °C durante 12/12 h), así el tiempo de inicio de la germinación y para alcanzar la máxima germinación aumentaron, no obstante, la germinación aumentó un 10% en una de las muestras.

Vázquez-Díaz *et al.* (2011), caracterizaron el tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo inicial de plántulas originadas de semilla de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck y sus variantes “blanco”, “chino” y “liso” colectadas en San Luis Potosí, México. Evaluaron la emergencia en condiciones de invernadero, se registró el proceso y la cantidad de hojas cotiledones que comenzaron a emerger a los 13 días; el tiempo de desdoblamiento y peso de las hojas laterales, que comenzaron a desarrollarse en promedio a los 33 días. Se encontró que la variedad “blanco” fue la que alcanzó una menor longitud, anchura y peso, la variedad “chino” alcanzó mayor longitud y anchura, y la variedad “liso” fue la de mayor peso.

Ramírez-Tobías *et al.* (2011), trabajaron con ocho especies de agaves con importancia económica: *Agave lechuguilla*, *A. striata*, *A. americana* var. *marginata*, *A. asperima*, *A. cupreata*, *A. duranguesis*, *A. angustifolia* ssp. *tequilana* y *A. salmiana*. Evaluaron la germinación de las semillas en las temperaturas constantes de: 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 °C en total oscuridad. Se encontró que la temperatura óptima aproximada para la germinación de esas especies de agaves es de 25 °C, en donde presentaron un promedio de germinación de 85% a 95% tras 13 días transcurridos. La germinación fue inhibida tanto por el frío (15 °C) como por el calor (35 °C), las temperaturas de 10, 35 y 40 °C mostraron ser parcialmente letales para *A. asperima*, *A. duranguesis* y *A. salmiana*. Las especies que presentaron altos porcentajes en un intervalo más amplio fueron *A. lechuguilla*, seguido de *A. americana* y *A. salmiana*, especie más emparentada con las especies de estudio, que obtuvo el más alto porcentaje de germinación en temperaturas relativamente bajas (17 a 26 °C), además de mostrar mayor tolerancia al frío (15 °C) que al calor (35 °C), lo que coincide con las temperaturas en los climas fríos y secos de su distribución.

Niño-Vázquez (2013), analizó la germinación y su relación con la temperatura, y la viabilidad seminal de *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* y de *Agave mapisaga*, que

se encuentra dentro del mismo subgénero y sección que las especies de estudio. Para llevarlo a cabo se sembraron en cajas de Petri 20 semillas, con cinco repeticiones y se colocaron en una germinadora a las siguientes temperaturas constantes: 15, 20, 25, 30 y 35 °C. Se llevó registro de la imbibición como aumento de peso y la germinación por 30 días. La viabilidad se evaluó cada 24, 48 y 72 horas tras remojar las semillas en tetrazolio al 1 %. Los datos se evaluaron con el análisis de varianza y la prueba de comparación entre medias de Tukey. Los resultados indican que la imbibición aumentó con la temperatura, desde 160% a 15 °C hasta 210% a 35 °C. Comparando las especies, *A. angustifolia* subsp. *tequilana* imbibió 57% más de agua que *A. mapisaga*, sin embargo, *A. mapisaga* presentó un porcentaje de germinación del 70%, mientras que *A. angustifolia* subsp. *tequilana* fue de 26%; además de presentar un 53% de semillas inviables y un 28% sin embrión. Se concluye con la presencia de problemas reproductivos para la especie *A. angustifolia* subsp. *tequilana*, aludidos a su escasa reproducción sexual.

Hernández-Moreno *et al.* (2023), caracterizaron semillas de *Agave cupreata* y *A. angustifolia*, en tres localidades del estado de Guerrero. Midieron las siguientes variables dependientes: número de semillas por cápsula, longitud, anchura, grosor, peso y volumen de la semilla; así como variables independientes: altura y aspectos fenotípicos de las plantas madre y la cantidad de cápsulas en el quilete. El porcentaje promedio de semillas maduras fue de 42%, mientras que para las semillas inmaduras fue de 48%. Los resultados mostraron una correlación directa entre peso y volumen de las semillas.

Zamorano, V. (2024), llevó a cabo una serie de pruebas pregerminativas en 10 especies del género *Agave*: *A. americana*, *A. applanata*, *A. asperima*, *A. difformis*, *A. funkiana*, *A. heteracantha*, *A. mapisaga*, *A. mitis*, *A. salmiana* y *A. striata*. Las pruebas elaboradas fueron: escarificación mecánica fracturando la semilla (TST), escarificación química con ácido sulfúrico (H₂SO₄), escarificación química con nitrato de potasio (KNO₃), sumergidas en agua (H₂O) y un grupo control (CNL). Se obtuvieron los porcentajes de germinación y el coeficientes de velocidad y los resultados se evaluaron con un ANOVA y la prueba de comparación de Tukey. Se encontró que los tratamientos con los que se obtuvo un mayor porcentaje de germinación son el TST y H₂O, por otra parte los tratamientos químicos probaron ser los menos eficaces.

4. JUSTIFICACIÓN

No se encuentran estudios que ofrezcan un protocolo de germinación para estas especies, endémicas de México, que tienen importancia biocultural, sobre todo *Agave montana*, que tiene una distribución restringida a la Sierra Madre Oriental y es utilizada para la elaboración de mezcal en Tamaulipas.

5. HIPÓTESIS

Agave montana, que se encuentra a una mayor altitud que *Agave gentryi*, presenta un mayor porcentaje de germinación a menor temperatura en comparación con *Agave gentryi*.

6. OBJETIVOS

7.1 Objetivo general

- Generar un protocolo de germinación para *Agave gentryi* y *Agave montana*.

7.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar con criterios morfoagronómicos a los frutos y semillas de *A. gentryi* y *A. montana*.
2. Determinar el porcentaje de viabilidad de las semillas de *A. gentryi* y *A. montana*.
3. Determinar la temperatura óptima para la germinación de las semillas de *A. gentryi* y *A. montana*.

7. METODOLOGÍA

En la figura 3 se muestra a manera de resumen, un mapa conceptual de la metodología utilizada en esta investigación.

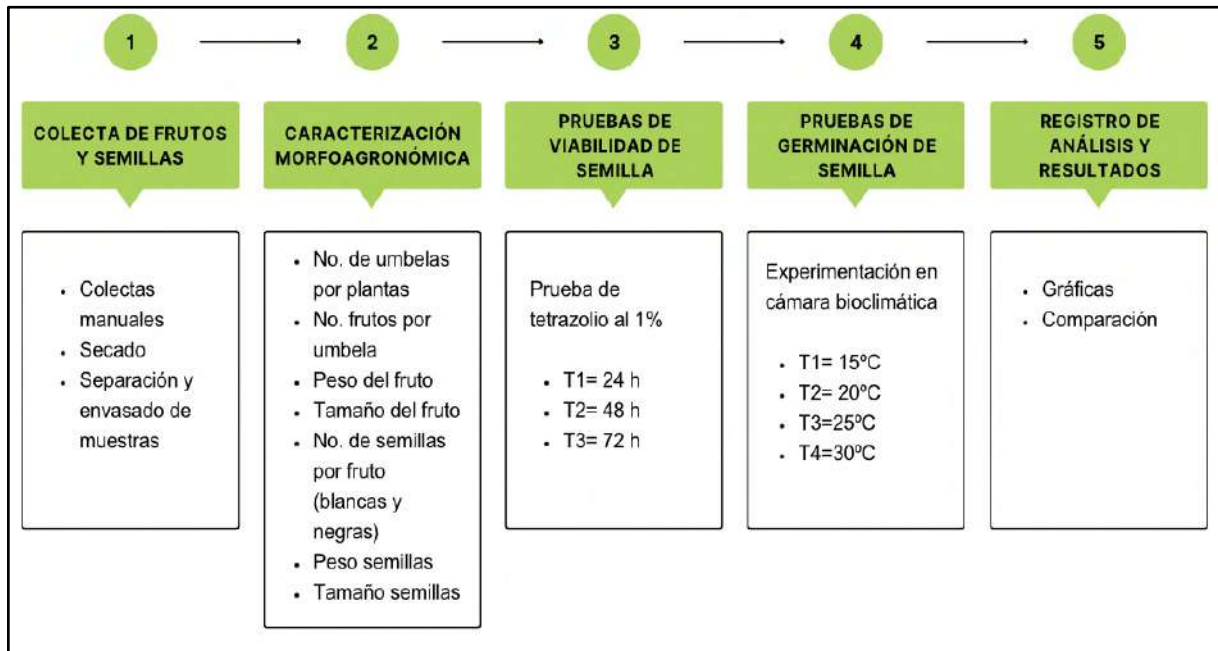


Figura 3. Mapa conceptual de la metodología.

8.1 Área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en la localidad de Chavarrías, en el municipio de Cadereyta, Querétaro, que forma parte de la Sierra El Doctor. Geográficamente localizada entre las coordenadas 20°48'33.88" a 20°47'29.11" de latitud Norte y 99°35'53.96" a 99°33'30.62" de longitud Oeste (Figura 4). El área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, con una altitud que va de 2300 m.s.n.m. a 3200 m.s.n.m., presenta clima templado subhúmedo, conforme a la clasificación climática de Köppen es C (w0)(w)a(e). La temperatura media anual oscila entre los 12 °C y los 18 °C, la precipitación pluvial en las partes altas de la Sierra varía entre 630 y 860 mm anuales, que se concentran en los meses de verano (Zamudio, Aguilar-Gutiérrez y Rzedowski, 2013).

Los tipos de vegetación encontrados en el área se clasifican como bosques templados mixtos, de *Pinus*, *Juniperus*, *Quercus* y *Abies*, en ese orden conforme va aumentando la altitud en la Sierra (Zamudio, Aguilar-Gutiérrez y Rzedowski, 2013).

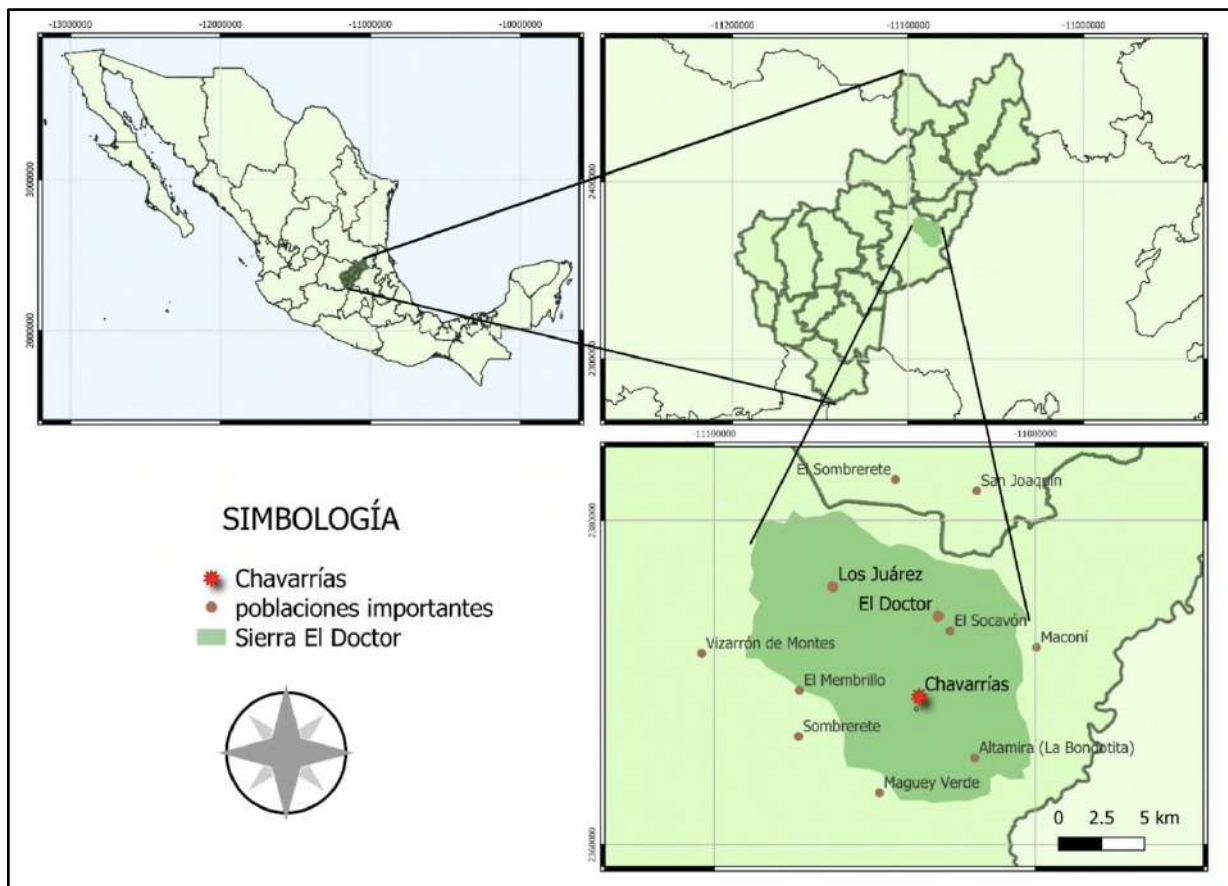


Figura 4. Mapa de la zona de estudio, localidad de Chavarrías, Cadereyta, Querétaro. Elaborado por Guillermo Benítez.

8.2 Caracterización morfoagronómica de frutos y semillas

En este apartado, se explican los métodos de colecta, así como los métodos usados para la caracterización morfoagronómica de frutos y semillas, usando 15 descriptores morfoagronómicos enumerados en el Cuadro 1.

DESCRIPTORES MORFOAGRONÓMICOS		CÓDIGO	UNIDAD
Umbelas	D1. Número de umbelas por planta	UpN	u
Frutos	D2. Número de frutos por umbela	FuN	u
	D3. Peso del fruto	FPe	g
	D4. Diámetro del fruto	FDi	mm
	D5. Longitud del fruto	FLo	mm
Semillas	D6. Número total de semillas por fruto	STfN	u
	D7. Número de semillas negras por fruto	SnFN	u
	D8. Número de semillas blancas por fruto	SbFN	u
	D9. Porcentaje de semillas negras por fruto	SnFPo	%
	D10. Porcentaje de semillas blancas por fruto	SbFPo	%
	D11. Peso de semillas negras por fruto	SnFPe	g
	D12. Peso de semillas blancas por fruto	SbFPe	g
	D13. Peso individual de semillas negras	SniPe	g
	D14. Diámetro de semillas negras	SnDi	mm
	D15. Longitud de semillas negras	SnLo	mm

Cuadro 1. Descriptores utilizados para la caracterización morfoagronómica de *A. gentryi* y *A. montana*.

8.2.1 Colecta

Se colectaron frutos y semillas de poblaciones silvestres de ambas especies: *A. gentryi* y *A. montana*. La colecta se realizó en campo durante los meses de octubre y noviembre de 2023 con ayuda de una podadora de altura para poder alcanzar los frutos (Figura 5). Se colectó un total de 20 umbelas, una umbela por cada planta, diez plantas por especie, y se transportaron al laboratorio en bolsas de papel estraza.

Posteriormente se introdujeron en una secadora a 35 °C por dos días, para eliminar el exceso de humedad.



Figura 5. Colecta de umbela de *Agave montana* en Chavarrías, Cadereyta, Qro.

8.2.2 Color

Se distinguió la diferencia entre las semillas viables y las no viables o vanas por su contraste en el color según las tablas de suelo de Munsell (Munsell Soil Color Book, 2011) y escala neutral (Munsell Greyscale Color Fan). Se consideraron como viables las semillas de color negro y como no viables las de color blanco o beige (Moreno *et al.*, 2023).

8.2.3 Conteo de semillas por planta

Al momento de la colecta, se contó el número de umbelas de cada planta colectada (**UpN**) y posteriormente, para obtener el promedio de frutos por umbela (**FuN**), se contó el número de frutos por umbela colectada. Se colocaron las umbelas en una mesa de laboratorio sobre un pliego de papel estraza y para cada umbela, se separaron diez frutos al azar con ayuda de una tijera de poda. Se abrió cada fruto y se contabilizó el número de semillas totales por fruto (**STfN**), así como el número de semillas de color negro (**SnFN**) y de color blanco (**SbFN**) dentro del fruto, para posteriormente calcular el porcentaje de las semillas de color negro (**SnFPo**) y el porcentaje de las semillas de color blanco (**SbFPo**) por fruto.

8.2.4 Peso

Para obtener el peso promedio del fruto por cada especie, se pesaron (en gramos) diez frutos (**FPe**) por umbela colectada, es decir 100 frutos por especie, la selección de frutos fue al azar. Se determinó también el peso de semillas de color negro (**SnFPe**) y el peso de las semillas de color blanco (**SbFPe**) por fruto (Figura 6). Una vez tomados los datos de los frutos individuales, se mezclaron las semillas de las diez umbelas colectadas, se tomaron cinco grupos de 30 semillas al azar, para hacer un total de 150 semillas y se determinó el peso de las semillas negras de manera individual (**SNiPe**), además se calculó la cantidad de semillas que contiene un gramo. Se usó una balanza analítica Ohaus Adventurer™ modelo AX423/E.

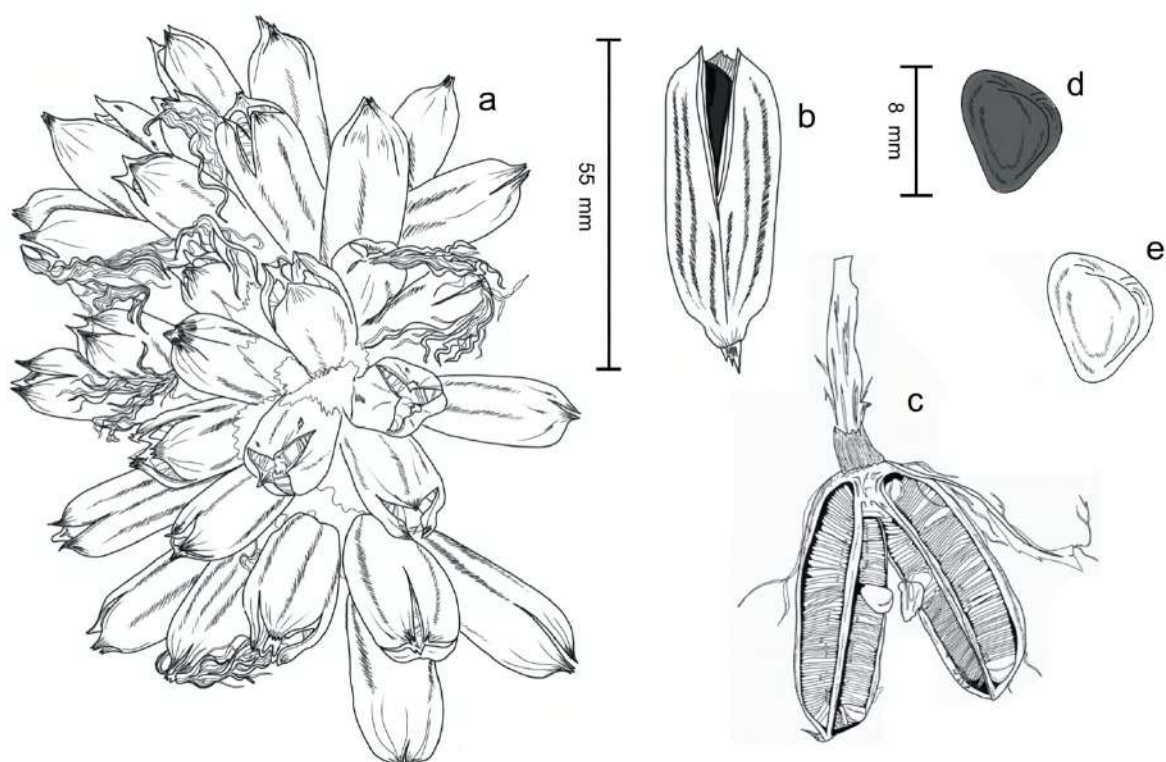


Figura 6. *Agave montana*. a)umbela, b)fruto maduro, c)fruto abierto, d)semilla negra, e)semilla blanca. Elaborado por Pia Solano.

8.2.5 Tamaño

Para obtener el tamaño promedio de los frutos por cada especie, se midieron (en mm), al azar, el diámetro (**FDi**) y la longitud (**FLo**) de 10 frutos por umbela (Figura 7a), es decir, 100 frutos por especie. Igualmente, se obtuvo la medida del diámetro (**SnDi**) y la longitud (**SnLo**) de las semillas de color negro de manera individual (Figura 7b), tomadas al azar del conjunto de las diez umbelas colectadas por especie, se llevaron

a cabo cinco repeticiones de 30 semillas, sumando un total de 150 semillas de cada especie. Ambas mediciones se realizaron usando un vernier digital Traceable® modelo 3416MX.

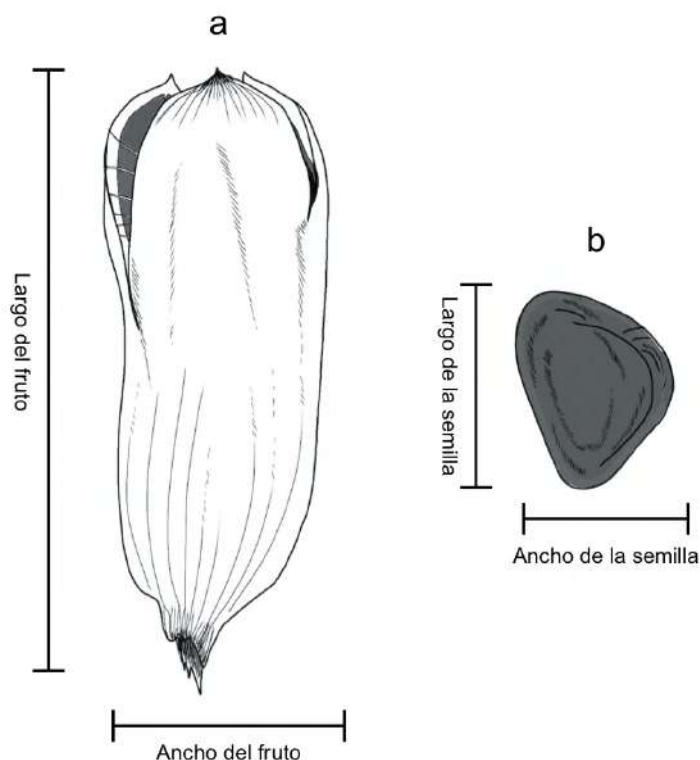


Figura 7. Puntos de medición de frutos (a) y semillas (b). Elaborado por Pia Solano.

8.2.6 Almacenamiento

Una vez separadas las semillas, se almacenaron en frascos de plástico transparente de boca ancha con sílica gel Karal® S.A. de C.V. dentro de un refrigerador Torrey® modelo TVC08-F1 en un intervalo de temperatura de 8° C a 15° C, etiquetadas con los siguientes datos: 1) Nombre de la especie, 2) Fecha de colecta y 3) Localidad.

8.3 Prueba de Viabilidad con Tetrazolio

Se eligieron 180 semillas de color negro sin daño, tomadas al azar del conjunto de las diez umbelas colectadas. Se dejaron en imbibición en agua destilada por 24 horas y posteriormente se realizaron cortes superficiales con una navaja a la mitad de su longitud para después ser sumergidas en una solución de cloruro de 2,3,5 trifeniltetrazolio Golden Bell® reactivos al 1% y fueron incubadas a una temperatura de 30° C en una incubadora Felisa® modelo FE-145. Para evaluar el porcentaje de semillas viables de ambas especies de *Agave*, con 3 tratamientos: T1 (24 hrs), T2 (48

hrs) y T3 (72 hrs), cada uno con tres repeticiones de 30 semillas, haciendo un total de 90 semillas por especie.

Al finalizar el tiempo de tratamiento, las semillas se enjuagaron y se observaron bajo el estereoscopio ZEISS® Stemi 305. El embrión teñido de color rojo se consideró como semilla viable, mientras que una falta de coloración en el embrión representó una semilla no viable (ISTA, 2016) (Figura 8).

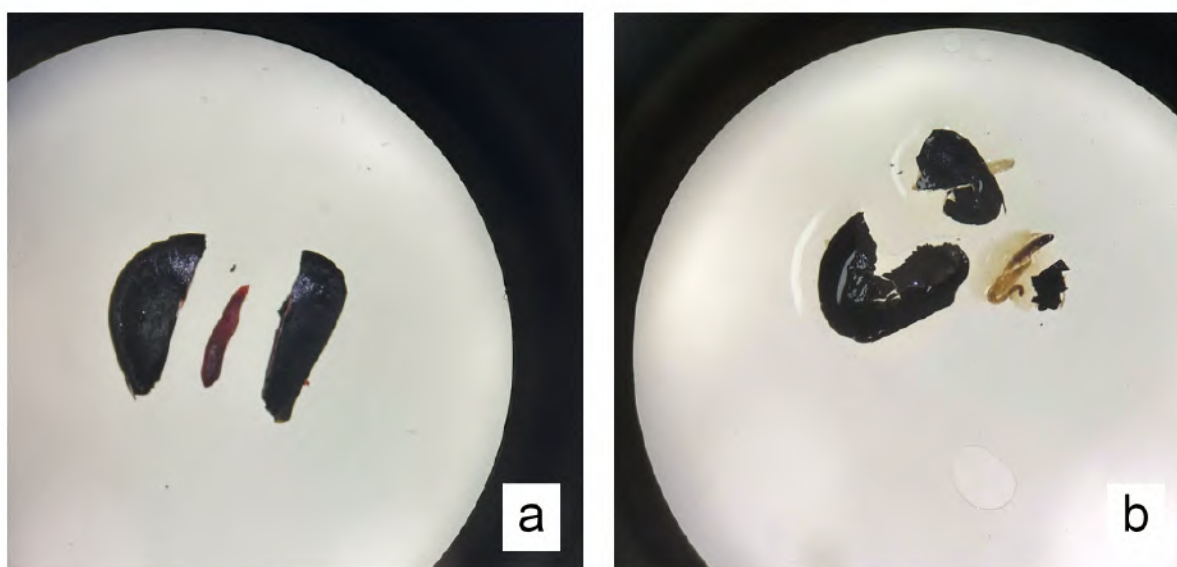


Figura 8. a) Semilla considerada viable b) Semilla considerada no viable.

8.4. Germinación y su relación con la temperatura

Para esta prueba, se usó una mezcla de las semillas contenidas en las diez umbelas colectadas por especie. Se seleccionaron únicamente semillas de color negro y sin daño. Se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 2% agitando y dejando reposar 15 minutos, posteriormente se enjuagaron tres veces con agua destilada.

Se colocaron 30 semillas en cada caja de Petri, antes esterilizadas, con pads de algodón como sustrato, que se mantuvo a saturación. Se llevaron a cabo cinco repeticiones (de 30 semillas) por tratamiento y se monitoreó cada 48 h hasta su germinación. El experimento fue establecido por 15 días y se consideró a la semilla como germinada al detectar la emergencia de la radícula.

Las semillas se sometieron a cuatro diferentes temperaturas: T1 (15°C), T2 (20°C), T3 (25°C) y T4 (30°C) en una cámara para crecimiento de plantas, Lumistell® modelo ICP-54, para determinar la temperatura óptima para su germinación. Se mantuvieron durante todos los tratamientos las siguientes constantes: 1) Humedad relativa (HR) de 30% (con el fin de prevenir la contaminación de las muestras con hongos); 2) Iluminación a 65000 lx con las lámparas led de la cámara bioclimática; y 3) Fotoperiodo de 12/12. Se calculó el porcentaje de germinación por tratamiento, el tiempo total de germinación y el tiempo (días) necesario para alcanzar el 50% de las semillas germinadas (t_{50}).

8.5 Análisis estadísticos

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, para la detección de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos se empleó la prueba de Tukey en datos paramétricos y la prueba de t de Student para los datos no paramétricos, con un nivel de significancia de $p=0.05$. Se utilizó un diseño bifactorial ($F1 \times F2$), donde F1 son las diferentes temperaturas y F2 las especies de estudio. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, pruebas de comparación de medias de Tukey para la evaluación de los tratamientos y la interacción, y pruebas de t de student para la comparación entre especies, con un nivel de significancia de $p=0.05$, utilizando el paquete estadístico Graph Pad PRISM software, versión 8.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Caracterización morfoagronómica

9.1.1 Umbelas

Para *A. gentryi*, el número promedio de umbelas por planta (**UpN**) fue de 20 ± 3 . Para *A. montana*, el número promedio de umbelas por planta (**UpN**) fue de 20 ± 3 . No se presentaron diferencias del **UpN** entre las especies (Figura 9) (Cuadro 2).

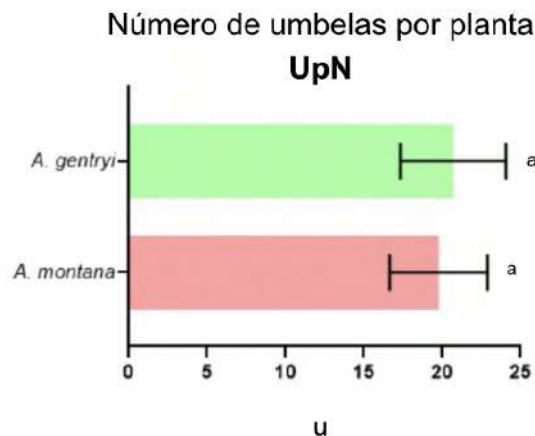


Figura 9. Número de umbelas por planta (**UpN**), las letras indican las diferencias entre medias usando la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p=0.05$).

Los resultados muestran que ambas especies presentan la misma cantidad de umbelas. No hay diferencia estadística significativa, sin embargo, se observó que existe diferencia entre la morfología. *A. montana* presenta umbelas aproximadamente en un 30% del largo total del escapo floral, observándose las distancias en los meristemas florales más compactas en relación con *A. gentryi*, en la que las umbelas se presentan aproximadamente en un 50% del largo total del escapo floral. Es probable que la reducción en distancia entre umbelas represente alguna ventaja adaptativa para la especie, sin embargo, es necesario estudiar su biología floral para entender las ventajas adaptativas que esto implica.

9.1.2 Frutos

Para *A. gentryi*, el número promedio de frutos por umbela (**FuN**) fue de 39 ± 2.50 . Los frutos presentaron un peso promedio (**FPe**) de 4.503 g con un intervalo de 18.68 mm - 26.26 mm de diámetro (**FDi**) y de 43.21 mm - 73.16 mm de longitud (**FLo**). Para *A. montana*, el número promedio de frutos por umbela (**FuN**) fue de 35 ± 4.57 . Los frutos obtuvieron un peso promedio (**FPe**) de 3.350 g y presentaron un intervalo de 15.58 mm - 29.04 mm de diámetro (**FDi**) y de 34.47 mm - 64.07 mm de longitud (**FLo**) (Figura 10) (Cuadro 2).

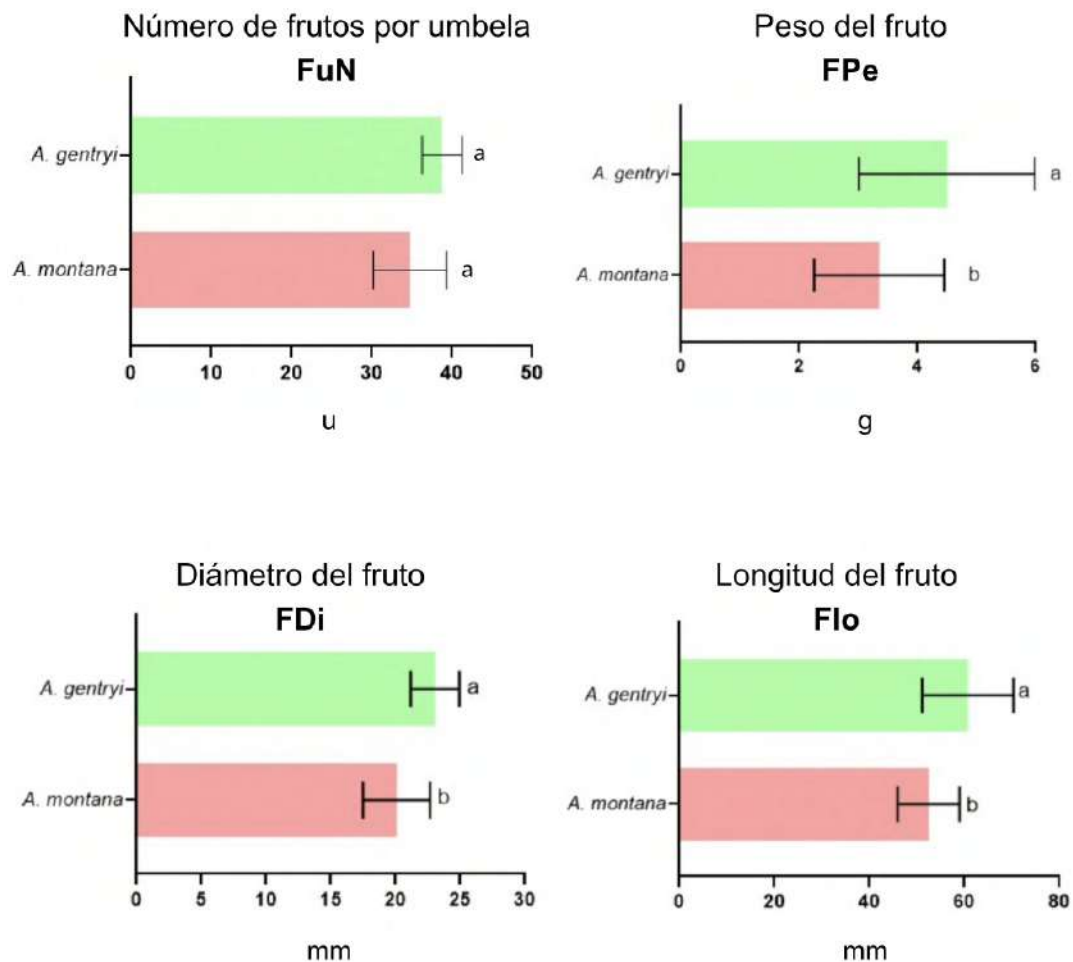


Figura 10. Número de frutos por umbela (**FuN**). Peso de los frutos (**FPe**). Diámetro de los frutos (**FDi**). Longitud de los frutos (**FLo**), las letras indican las diferencias entre medias usando la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p=0.05$).

No hay diferencia estadística significativa en el número de frutos por umbela (**FuN**) entre las especies. A pesar de que en *A. montana* se encuentran más compactas las distancias en los meristemas florales que en *A. gentryi*, es notoria la similitud en cuanto al número de frutos, por lo que es probable que dicha compactación represente alguna ventaja adaptativa para la especie. Existe una diferencia entre el peso y tamaño de los frutos de ambas especies. *A. gentryi* tiene los frutos más pesados y grandes comparado con *A. montana*, dato esperado ya que toda la planta de *A. gentryi* es más grande que la de *A. montana*, siendo este tipo de descriptores morfoagronómicos importantes para identificación de estas especies y su distinción entre ellas. Hasta el momento no se habían estudiado descriptores específicos definidos para estas especies de *Agave*, siendo esta investigación la primera en aportar esta información.

9.1.3 Semillas

La clave de color identificada para las semillas negras (viables) de ambas especies fue N 2.5/ según la Munsell Greyscale Color Fan. Tampoco se encontró distinción en el color entre las semillas blancas (no viables) de ambas especies identificándolas con la clave 10YR 7/3 según Munsell Soil Color Book, 2011, lo que demuestra que el carácter diagnóstico de color no es un indicador para diferenciar estas especies entre ellas.

Para *A. gentryi*, las semillas negras (**SniPe**) obtuvieron un peso de 0.008 ± 0.008 g y presentaron un tamaño promedio de 6.57 ± 0.64 mm de diámetro (**SnDi**) y 8.52 ± 0.73 mm de longitud (**SnLo**). Se encontró que en promedio un gramo de semillas negras contiene un total de 142 unidades. Para *A. montana* las semillas negras (**SniPe**) obtuvieron un peso de 0.004 ± 0.002 g y presentaron un tamaño promedio de 5.16 ± 0.70 mm de diámetro (**SnDi**) y 6.98 ± 0.64 mm de longitud (**SnLo**). Se encontró que en promedio un gramo de semillas negras contiene un total de 167 unidades. (Figura 11) (Cuadro 2).

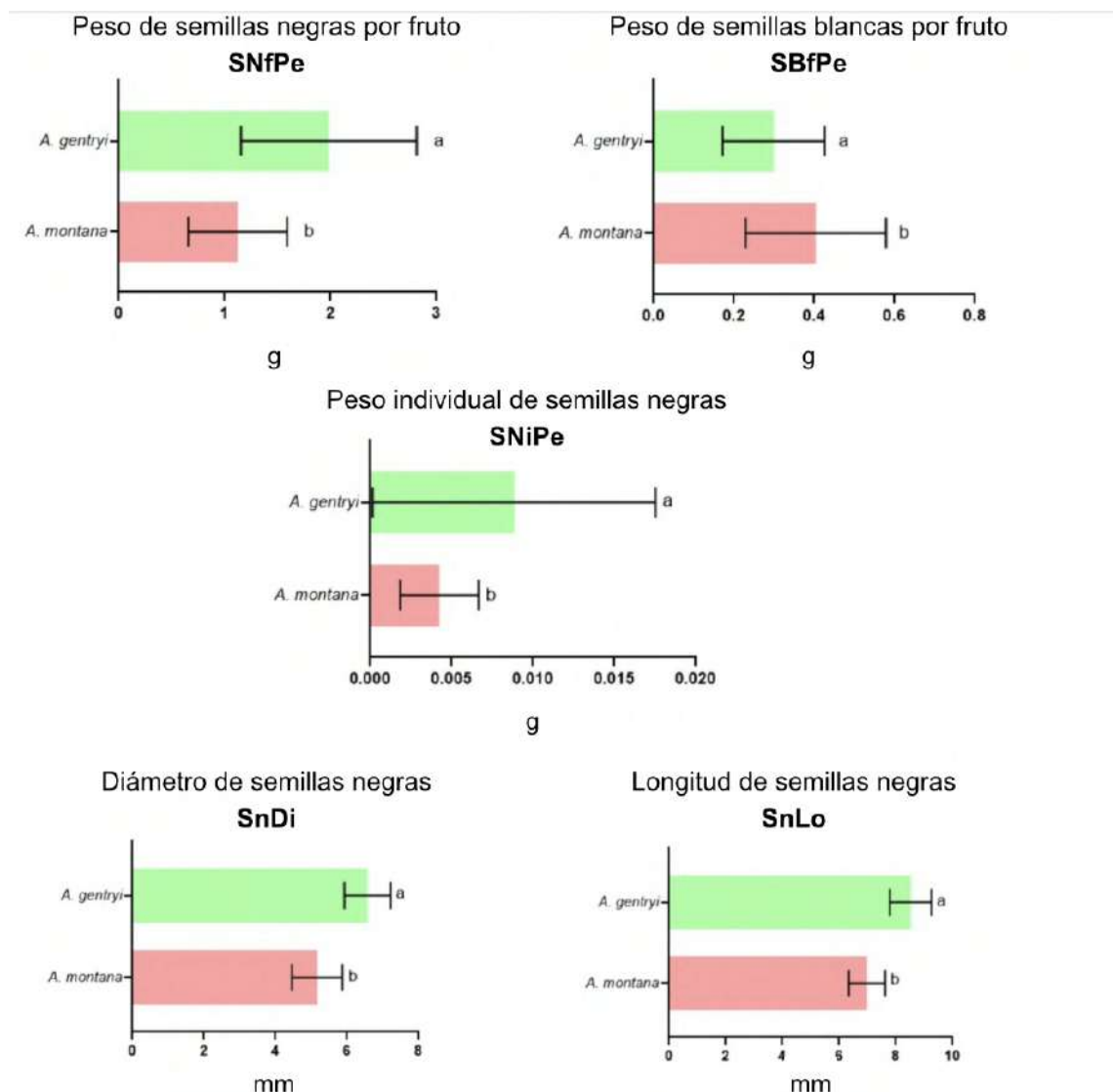


Figura 11. Peso de semillas negras por fruto (**SNfPe**). Peso de semillas blancas por fruto (**SBfPe**). Peso individual de semillas negras (**SNiPe**). Diámetro de las semillas negras (**SNDi**). Longitud de las semillas negras (**SNLo**), las letras indican las diferencias entre medias usando la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p=0.05$).

El peso individual de las semillas negras de *A. gentryi* presentó una alta variabilidad, ya que dependiendo de su ubicación dentro del fruto corresponde su tamaño, debido a su forma cilíndrica-ovalada; por lo que se recomienda utilizar semillas que se encuentren en la parte media del fruto para identificar la especie. Existe una diferencia entre el peso y tamaño de las semillas negras de ambas especies, siendo *A. gentryi* la más grande y pesada, dato esperado debido a que sus frutos también presentaron un mayor peso y tamaño que *A. montana*, lo que prueba que los descriptores morfoagronómicos de peso y tamaño son clave para la identificación de estas especies y su distinción entre ellas.

Aunque no estaba en los objetivos de la investigación, cabe señalar que las semillas blancas (inviabiles) de *A. montana* son en promedio más pesadas que las semillas blancas (inviabiles) de *A. gentryi*, aunque presentan menor tamaño. Se revisó su viabilidad y germinación, y se comprobó que las semillas blancas no son viables a pesar de que algunas presentan engrosamiento en sus tejidos, por lo que se sugiere un estudio exploratorio del tipo de tejido que causa este engrosamiento.

Para *A. gentryi*, el número promedio de semillas totales por fruto (**STfN**) fue de 408, dando un promedio de 318,240 semillas por planta, de las cuales 48.63% presentaron color negro (**SnFPo**) y 51.36% color blanco (**SbFPo**). Para *A. montana*, el número promedio de semillas totales por fruto (**STfN**) fue de 509, dando un promedio de 356,300 semillas por planta, de las cuales 36.18% presentaron color negro (**SnFPo**) y 63.81% color blanco (**SbFPo**) (Figura 12) (Cuadro 2).

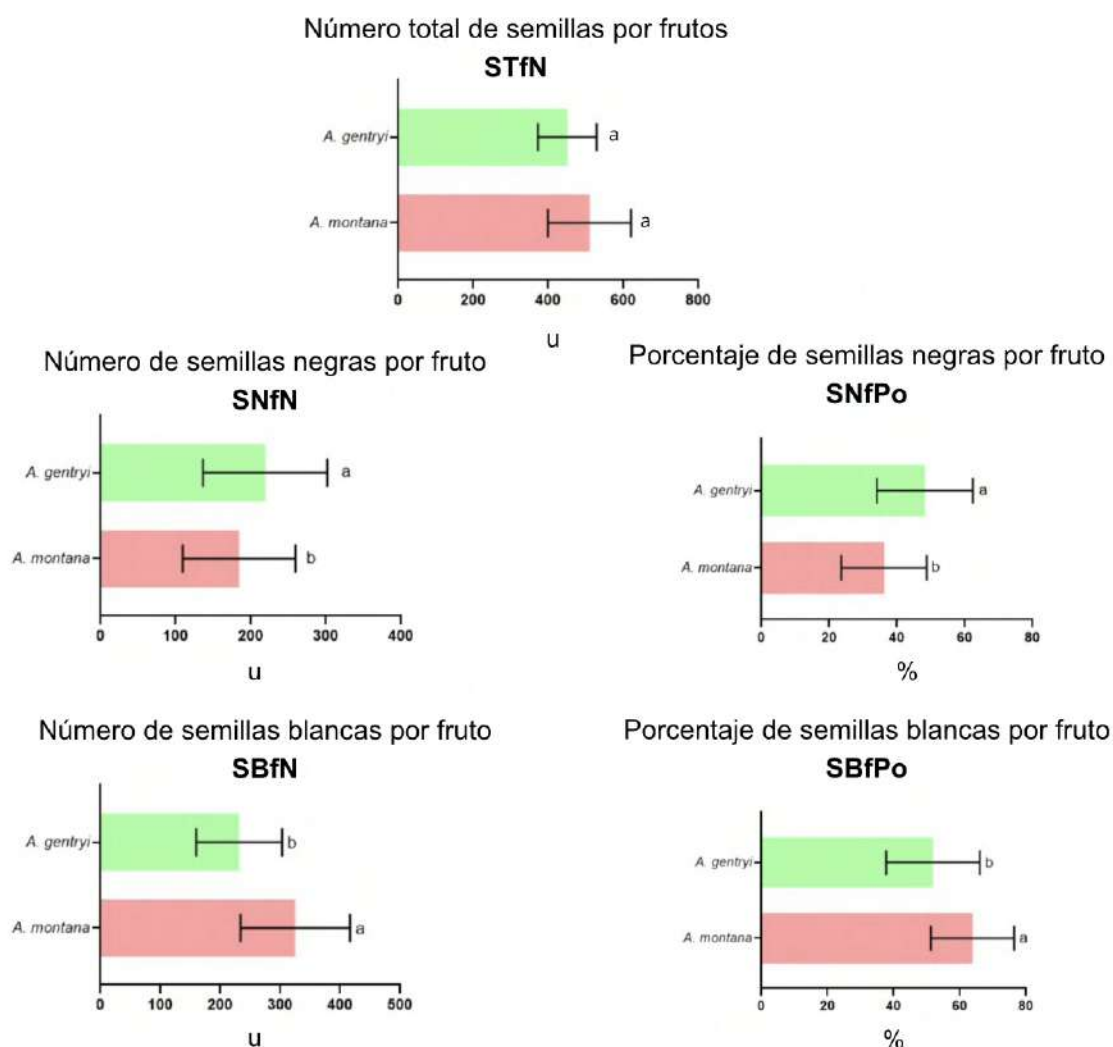


Figura 12. Número total de semillas por fruto (**STfN**). Número de semillas negras por fruto (**SNfN**). Número de semillas blancas por fruto (**SBfN**). Porcentaje de semillas negras por fruto (**SNfPo**). Porcentaje de semillas blancas por fruto (**SBfPo**). Las letras indican las diferencias entre medias usando la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p=0.05$).

A pesar de que las semillas de *A. gentryi* presentan mayor tamaño, cuentan con menor cantidad de semillas totales por fruto que *A. montana*. No hay diferencia estadística significativa en el número total de semillas por fruto (**STfN**) entre especies. Los resultados en porcentaje de las proporciones de semillas negras y blancas en el fruto se asemejan con los de Hernández-Moreno *et al.* (2023), que al caracterizar las semillas de *A. cupreata* y *A. angustifolia*, igualmente obtuvieron una mayor cantidad de semillas blancas (no viables) (58%) que viables (negras) (42%). *A. montana*, en especial presentó mayor diferencia en la proporción, con 63% de semillas blancas (no viables) y 36% de semillas negras (viables), lo que podría sugerir crisis de polinizadores.

Existen registros de múltiples visitantes florales para el género *Agave*, como lepidópteros, himenópteros y aves, sin embargo, el polinizador primario es el murciélago nectarívoro del género *Leptonycteris* (Trejo-Salazar *et al.*, 2015), quien se encuentra amenazado debido los pocos recursos florales que se reducen por el consumo humano de las flores y principalmente por la fragmentación y pérdida del hábitat (Trejo-Salazar *et al.*, 2016), causada por la sobreexplotación de los recursos relacionada con el auge mezcalero, problemática que involucra la tala indiscriminada de árboles para la leña utilizada en el horneado y la destilación del mezcal (Valiente-Banuet, 2023). Para frenar el impacto de la industria en esta interacción agave-murciélago, Trejo-Salazar *et al.* (2016) proponen a los productores de grandes parcelas de agave, permitir que el 5% de los ejemplares en una hectárea alcance su floración, lo que podría proporcionar alimento a 89 murciélagos.

En la zona de estudio, ambas especies florecen sincrónicamente y comparten el mismo hábitat, por lo que, el hecho de que *A. gentryi* tenga una mayor cantidad de semillas negras (viables), podría estar relacionado con el tamaño de las flores, y por lo tanto la cantidad de recursos florales (néctar) que ofrece a los polinizadores efectivos.

En el cuadro 2 se presenta un resumen de los datos obtenidos de los descriptores morfoagronómicos medidos de ambas especies.

DESCRIPTORES MORFOAGRONOMICOS	<i>Agave gentryi</i>	<i>Agave montana</i>
Número de umbelas por planta UpN	20±3	20±3
Número de frutos por umbela FuN	39±2.50	35±4.75
Peso del fruto FPe (g)	4.50±1.49	3.35±1.10
Diámetro del fruto FDi (mm)	23.06±1.87	20.08±2.59
Longitud del fruto FLo (mm)	60.73±9.66	52.46±6.53
Número total de semillas por fruto STfN	450±62	509±110
Número de semillas negras por fruto SNfN	219±82	184±75
Número de semillas blancas por fruto SBfN	231±71	325±91
Porcentaje de semillas negras por fruto SnFPO (%)	48.63	36.18
Porcentaje de semillas blancas por fruto SbFPO (%)	51.36	63.81
Peso de semillas negras por fruto SnFPe (g)	1.98±0.82	1.12±0.47
Peso de semillas blancas por fruto SbFPe (g)	0.29±0.12	0.40±0.17
Peso individual de semillas negras SniPe (g)	0.008±0.008	0.004±0.002
Diámetro de semillas negras SnDi (mm)	6.57±0.64	5.16±0.70
Longitud de semillas negras SnLo (mm)	8.52±0.73	6.98±0.64

Cuadro 2. Promedios y desviación estándar de los descriptores morfoagronómicos de *A. gentryi* y *A. montana*.

9.2 Prueba de viabilidad de las semillas

Para *A. gentryi* se encontró que no hubo diferencia estadística significativa entre T2 y T3, mientras que si hubo diferencia de ambos con el T1 (Figura 13). El mayor porcentaje de viabilidad se obtuvo con los tratamientos T2 (48 h), con un 89±4 % de viabilidad, y T3 (72 h), con 86±2 % y seguidos del T1 (24 h), con 79±3 %. Para *A. montana* se obtuvieron diferentes estadísticas significativas como resultado de la viabilidad entre los tratamientos (Figura 13), se obtuvo un mayor porcentaje con el T3 (72 h), con un 97±1 % de viabilidad, seguido del T2 (48 h), con 86±2 % y por último el T1 (24 h), con 79±3 %.

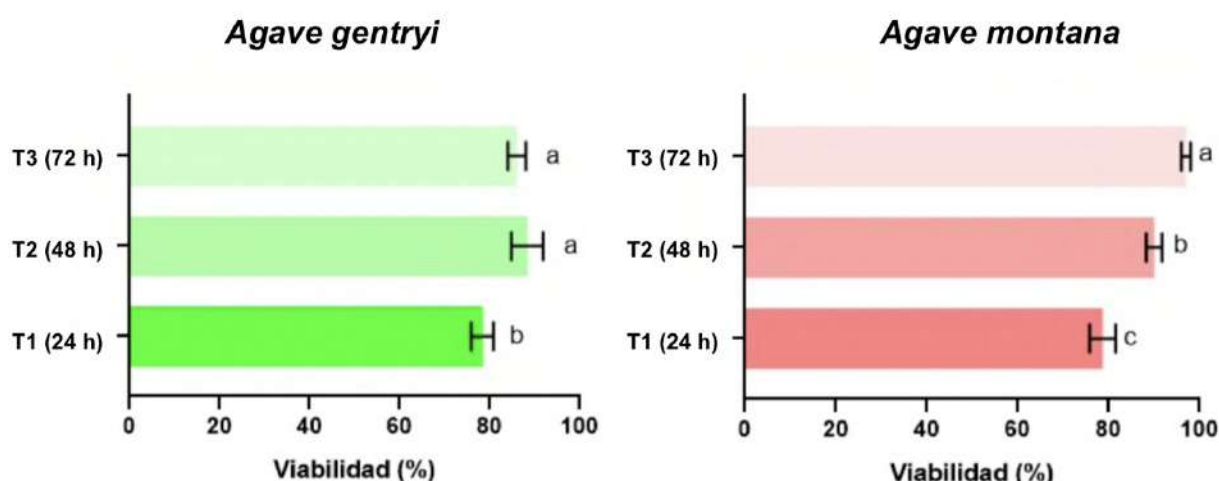


Figura 13. Viabilidad de semillas obtenida en tres tratamientos: T1 (24 h), T2 (48 h), T3 (72 h), las letras indican las diferencias estadísticas significativas entre las medias usando la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p=0.05$).

La cantidad de horas adecuadas para obtener resultados satisfactorios en el porcentaje de viabilidad para *A. gentryi* es de 48 h (T2), debido a que estadísticamente no presenta diferencia con el T3 (72 h), se recomienda utilizar el T2 (48 h) considerando la mayor eficiencia en tiempo si se toma en cuenta la práctica en laboratorios y en comercio. Por otro lado, para *A. montana*, el tratamiento óptimo resultó ser el T3 (72 h). Cabe señalar que, las semillas utilizadas fueron recién colectadas, lo que elevó también el porcentaje de viabilidad. Es de importancia conocer la viabilidad de las semillas para el consumidor para conocer la cantidad a usar para garantizar el número de emergencias deseadas.

9.3 Germinación

Para *Agave gentryi*, el porcentaje de germinación promedio obtenido del T1 (15 °C) fue de 96.00 %, del T2 (20 °C) 85.00 %, del T3 (25 °C) 86.66 % y del T4 (30 °C) 81.33 %. Se observó que en los cuatro tratamientos el proceso de germinación duró 5 días, iniciando el día dos y terminando el día siete después de la siembra, asimismo, el número de días necesario para alcanzar el 50% de las semillas germinadas (t_{50}) fue de cuatro días (Cuadro 3) (Figura 14).

Agave gentryi

Tratamiento	Porcentaje de germinación	Tiempo de germinación (días) t50
(1) 15 °C	96.00	3.5±4.9
(2) 20 °C	85.00	5.5±3.4
(3) 25 °C	91.33	3.7±2.0
(4) 30 °C	81.33	4.6±3.5

Cuadro 3. Porcentaje de germinación y tiempo (días) en que las semillas de *A. gentryi* alcanzaron el 50% de la germinación total (t50) por tratamiento.

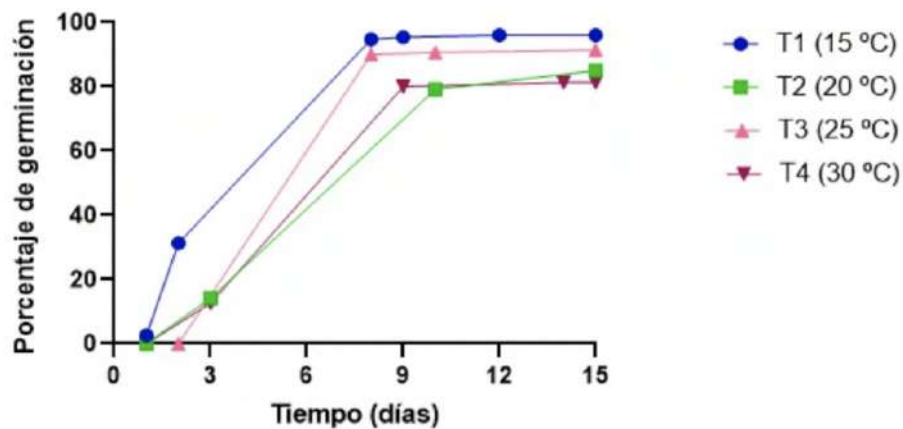


Figura 14. Curvas de germinación por tratamiento de *Agave gentryi*.

Para *Agave montana* el porcentaje de germinación promedio obtenido del T1 (15 °C) fue de 89.33 %, del T2 (20 °C) 82.66 %, del T3 (25 °C) 86.66 % y del T4 (30 °C) 73.33 %. Se observó que en los cuatro tratamientos el proceso de germinación duró siete días, iniciando el día tres y terminando el día 10 después de la siembra, asimismo, el número de días necesario para alcanzar el 50% de las semillas germinadas (t 50) fue de cinco días. (Cuadro 4) (Figura 15).

Agave montana

Tratamiento	Porcentaje de germinación	Tiempo de germinación (días) t50
(1) 15 °C	89.33	4.5±2.1
(2) 20 °C	82.66	6.3±1.6
(3) 25 °C	86.66	5.2±6.8
(4) 30 °C	73.33	5.9±3.6

Cuadro 4. Porcentaje de germinación y tiempo (días) en que las semillas de *A. montana* alcanzaron el 50% de la germinación total (t50) por tratamientos.

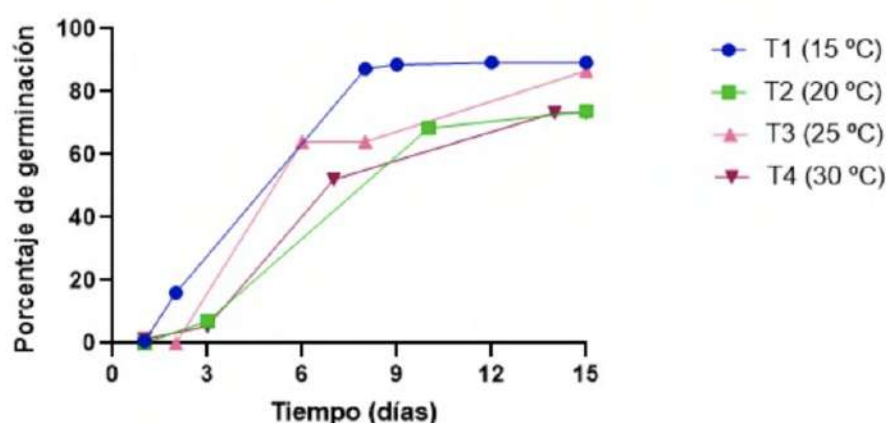


Figura 15. Curvas de germinación por tratamiento de *Agave montana*.

Las semillas de ambas especies germinan en un mayor porcentaje bajo las condiciones del tratamiento T1 (15 °C), tomando en cuenta el porcentaje de germinación, así como el tiempo necesario para alcanzar el 50% de las semillas germinadas (t 50) (Cuadro 3 y 4). Se consideró a las semillas de ambas especies como fotoblásticas positivas por germinar bajo condiciones de luz, en un fotoperiodo 12/12. Se encontraron resultados similares en diferentes estudios sobre distintas especies de *Agave*, pertenecientes a la sección *Salmianae*, en donde se encuentran *A. gentryi* y *A. montana*, y obtienen entre un 70 y un 95% de germinación, resultados dentro del mismo intervalo que los obtenidos en esta investigación, sin embargo, en un promedio de una temperatura diferente (20 ° C) (Peña-Valdivia *et al.*, 2006, Ramírez-Tobías *et al.*, 2011 y Niño-Vázquez, 2013).

Los resultados de esta investigación presentan altos porcentajes de germinación. En el estudio llevado a cabo por Borbón-Palomares *et al.* (2018), con *Agave colorata*, se menciona que las semillas derivadas de la autopolinización tienen una ventana de oportunidad de germinación más reducida que aquellas semillas que fueron polinizadas mediante un polinizador, demostrando que la endogamia representa una desventaja para la especie. En este contexto, es probable que en *A. gentryi* y *A. montana* no esté ocurriendo autopolinización, debido a sus altos porcentajes de germinación. Cabe resaltar que el porcentaje de semillas blancas (no viables) en ambas especies es alto, lo cual indica que, aunque el polinizador efectivo se encuentra presente en el área de estudio, no existen los suficientes polinizadores para obtener un mayor porcentaje de semillas negras (viables). Por lo tanto, es de importancia conservar la interacción, que afecta de manera directa en su éxito reproductivo. En caso de la extinción de los polinizadores efectivos, se ocasionaría un impacto negativo en la regeneración de las poblaciones naturales, lo que llevaría a una crisis de biodiversidad (Valiente-Banuet, 2023).

En el análisis de varianza de dos vías, no se encontró diferencia estadística significativa para *A. gentryi* entre los tratamientos T1 (15 °C), T2 (20 °C) y T3 (25 °C), el tratamiento con la temperatura con menos germinación fue el T4 (30 °C). Para *A. montana*, el tratamiento con la temperatura óptima para la germinación fue el T1 (15 °C) y no se encontró diferencia entre los demás tratamientos (T2 (20 °C), T3 (25 °C) y T4 (30 °C)) (Figura 16).

Se observó que las semillas de ambas especies en estado silvestre germinan en los meses de mayo y junio, en los cuales se presentan temperaturas promedio de 13 a 16 °C y una precipitación promedio de 104 mm (Clicom, 2009), a lo que se le atribuye la adaptación de las semillas de ambas especies de esa zona, que presentan mayores porcentajes de germinación dentro de ese intervalo de temperaturas, lo cual concuerda con los resultados de esta experimentación. Se necesitaría ampliar el intervalo de temperaturas en los tratamientos para determinar la ventana térmica de las especies.

En el análisis estadístico, *A. gentryi* presenta un mayor porcentaje de germinación que *A. montana*. En contrario a los resultados obtenidos en la prueba de

viabilidad, en donde *A. montana* presentó porcentajes más altos de viabilidad que *A. gentryi*, lo que podría estar relacionado con los factores ambientales con los que interactúa, más que con el ambiente materno (Riveira Rubin, M., 2022).

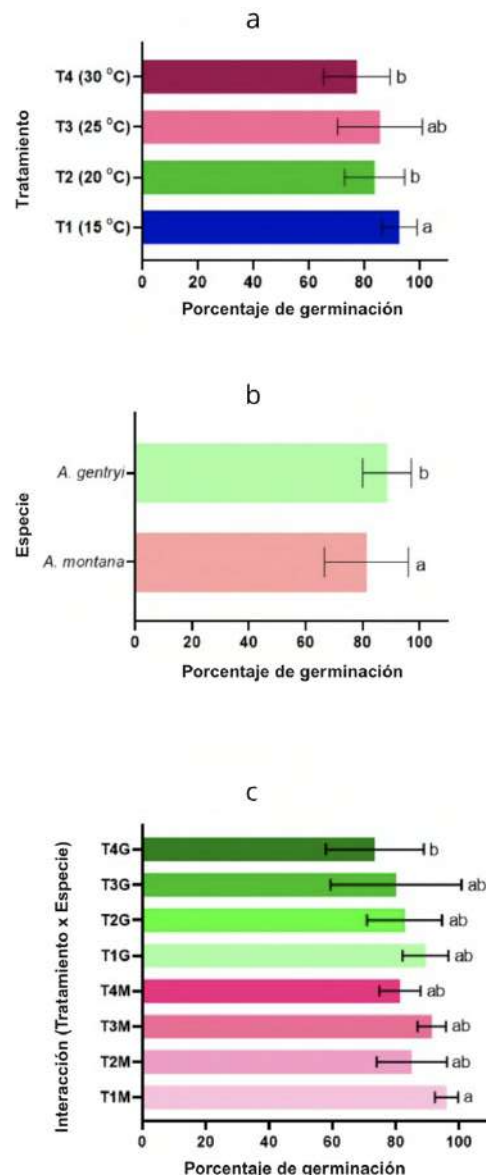


Figura 16. a)Comparación entre tratamientos T1 (15°C), T2 (20°C), T3 (25°C), T4 (30°C), b)Comparación entre especies, c)Interacción entre tratamientos y especies, las letras indican las diferencias entre medias usando la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p=0.05$).

Agave montana resultó ser la especie con mayor tolerancia al T4 (30 °C), rechazando la hipótesis planteada para este estudio, puesto que no presentó un mayor porcentaje de germinación a menor temperatura en comparación con *Agave gentryi*. Estadísticamente, ambas especies obtuvieron el mejor desempeño en la misma temperatura (15 °C), sin embargo, *A. montana* presentó menor porcentaje de

germinación en relación con *A. gentryi*, por lo que un factor que pudiera incrementar el porcentaje de germinación en *A. montana* es la diferencia entre las temperaturas día y noche debido a la altitud, ya que, entre mayor altitud, se encuentran temperaturas más drásticas entre el día y la noche. Se sugiere ampliar la investigación probando diferentes alternancias de temperatura bajo condiciones controladas para simular día y noche en su ambiente natural. Peña-Valdivia *et al.* (2006), obtuvieron un resultado positivo, de incremento en la germinación al alternar temperaturas (26 °C / 14 °C durante 12 / 12 h) en comparación con mantener una temperatura constante, aun siendo la óptima.

9.4 Protocolos de germinación

Como resultado de la investigación y a manera de resumen se elaboraron las fichas explicativas para *A. gentryi* y *A. montana*, conteniendo la información necesaria para su germinación, método de reproducción sexual necesario para preservar y fomentar la variabilidad genética en las especies. Bajo un ambiente controlado dentro de una cámara bioclimática con las condiciones de humedad relativa (HR) de 30%, iluminación a 65000 lx y fotoperiodo de 12/12, se determinaron las temperaturas óptimas para la germinación, la información se completó con bibliografía y observaciones en campo.

Agave gentryi B. Ullrich

Información de la especie	
Nombre científico	<i>Agave gentryi</i> B. Ullrich
Nombre común	Maguey de cerro, maguey verde
Familia	Asparagaceae, subfamilia Agavoideae
Origen	México
Usos	Hojas: para preparar barbacoa Quiote: para preparar dulces Flores: con los botones se preparan diversos guisados Planta completa: como planta delimitante de terrenos y en la formación de terrazas, para retención de suelo. Bebidas: en Querétaro se obtiene aguamiel y se prepara pulque, en otros estados se usa la piña para preparar mezcal.
Colecta	
Caracteres diagnósticos	➤ Rosetas con 25-30 hojas. ➤ Hojas gruesas con una longitud de 45-85 cm y un diámetro de 17-26 cm, profundamente cóncavas en la parte superior. ➤ Inflorescencia en panícula de 3 a 5 m de altura. ➤ Escapo floral con brácteas carnosas y aproximadamente el 50% con flores (umbelas).
Método	➤ Colectar pocas semillas de muchas plantas (máximo una umbela) por cada planta y al menos 10 plantas diferentes. ➤ Usar podadora de altura y poner una tela resistente, de 2 x 2 m para recibir la umbela y las semillas que se desprendan de los frutos. ➤ Poner los frutos en bolsas de papel estraza, etiquetadas con nombre de la especie, fecha y localidad.

Época de colecta	Octubre y noviembre
Material de propagación	> Cortar los frutos, únicamente cuando muestren color café oscuro y se vean indicios de dehiscencia. > Usar solo semillas negras para su germinación.

Almacenamiento

Una vez colectada la umbela, colocar en bolsas de papel estraza y meter a la secadora de plantas (máximo 35°C) por dos días. Abrir los frutos y separar las semillas negras (viables), de las blancas (no viables). Colocar las semillas en frascos de 250 ml de boca ancha con tapa. Se recomienda agregar sílica gel al interior para reducir la humedad y conservar en buen estado las semillas. También se recomienda mantener los frascos en condiciones de sombra a temperatura y humedad ambiental o en refrigeración (8-15 °C).

Tratamientos pre-germinativos

No necesita tratamiento pregerminativo.

Viabilidad de las semillas

Color blanco	0%.
Color negro	84.22 %.

Método y condiciones de germinación
--

Método	Laboratorio: en cajas Petri de vidrio previamente esterilizadas, pads de algodón y regar con agua destilada.
Humedad Ambiental	Laboratorio: 30%.
Fotoperiodo	Laboratorio: 12 h luz/12 h oscuridad.
Riego	Laboratorio: riego diario a saturación, con agua destilada
Temperatura	El mayor porcentaje de germinación se obtiene a los 15 °C.

Germinación a 15°C

Inicio	Día 1 después de la siembra.
Media	Día 4 después de la siembra.
Término	Día 7 después de la siembra.
Porcentaje obtenido	86.4 %.

Agave montana Villarreal

Información de la especie	
Nombre científico	<i>Agave montana</i> Villarreal
Nombre común	Maguey chino
Familia	Asparagaceae, subfamilia Agavoideae
Origen	México. Registrado solo en algunas zonas montañosas de la Sierra Madre Oriental.
Usos	Quiote: para preparar dulces Flores: con los botones se preparan diversos guisados Planta completa: ornamental. Bebidas: en Querétaro se obtiene aguamiel y se prepara pulque, en otros estados se usa la piña para preparar mezcal.
Colecta	
Caracteres diagnósticos	> Rosetas con 84-112 hojas. > Hojas con una longitud de 30-40 cm y un diámetro de 15-17 cm, ligeramente cóncavas a casi planas. > Inflorescencia en panícula de 3 a 5 m de altura. > Escapo floral con brácteas carnosas y aproximadamente el 30% con flores (umbelas).
Método	> Colectar pocas semillas de muchas plantas (máximo una umbela) por cada planta y al menos 10 plantas diferentes. > Usar podadora de altura y poner una tela resistente, de 2 x 2 m para recibir la umbela y las semillas que se desprendan de los frutos. > Poner los frutos en bolsas de papel estraza, etiquetadas con nombre de la especie, fecha y localidad.
Época de colecta	Octubre y noviembre

Material de propagación	> Cortar los frutos, únicamente cuando muestren color café oscuro y se vean indicios de dehiscencia. > Usar solo semillas negras para su germinación.
--------------------------------	--

Almacenamiento

Una vez colectada la umbela, colocar en bolsas de papel estraza y meter a la secadora de plantas (máximo 35°C) por dos días. Abrir los frutos y separar las semillas negras (viables), de las blancas (no viables). Colocar las semillas en frascos de 250 ml de boca ancha con tapa. Se recomienda agregar sílica gel al interior para reducir la humedad y conservar en buen estado las semillas. También se recomienda mantener los frascos en condiciones de sombra a temperatura y humedad ambiental o en refrigeración (8-15 °C).

<i>Tratamientos pre-germinativos</i>

No necesita tratamiento pregerminativo.

<i>Viabilidad de las semillas</i>
--

Color blanco	0%.
Color negro	88.55 %.

<i>Método y condiciones de germinación</i>

Método	En cajas Petri de vidrio previamente esterilizadas, pads de algodón y regar con agua destilada.
Humedad Ambiental	Laboratorio: 30%.
Fotoperiodo	Laboratorio: 12 h luz/12 h oscuridad.
Riego	Laboratorio: riego diario a saturación, con agua destilada
Temperatura	El mayor porcentaje de germinación se obtiene a los 15 °C

<i>Germinación en 15°C</i>

Inicio	Día 2 después de la siembra.
Media	Día 5 después de la siembra.
Término	Día 8 después de la siembra.
Porcentaje obtenido	80.4 %.

10. CONCLUSIONES

- No hay diferencia en el número de umbelas por planta entre ambas especies.
- Se presentó alta variabilidad en el tamaño de los frutos y semillas de *Agave gentryi*.
- Los frutos y semillas de *Agave gentryi* son más grandes que los de *Agave montana*.
- Los descriptores morfoagronómicos de peso y tamaño en frutos y semillas son indicadores para diferenciar las especies de *Agave gentryi* y *Agave montana*.
- Ambas especies presentan un mayor porcentaje de semillas blancas (no viables) que de semillas negras (viables).
- Para *Agave gentryi* el tratamiento recomendado para realizar la prueba de viabilidad con tetrazolio al 1% es el T2 (48 h), mientras que para *Agave montana* es el T3 (72 h).
- El tratamiento a 15 °C (T1) fue el óptimo para la germinación de ambas especies.
- *Agave gentryi* presentó un porcentaje de germinación de 86.4% a 15 °C con un t 50 de 3.5 días, mientras que *Agave montana* presentó un porcentaje de germinación de 80.4%, y un t 50 de 4.5 días.
- Se rechazó la hipótesis planteada, *Agave montana*, que se encuentra a una mayor altitud que *Agave gentryi*, no presenta un mayor porcentaje de germinación a menor temperatura en comparación con *Agave gentryi*.

11. LITERATURA CITADA

Arellano-Plaza, M., Paez-Lerma, J. B., Soto-Cruz, N. O., Kirchmayr, M. R., & Gschaedler Mathis, A. (2022). *Mezcal production in Mexico: Between tradition and commercial exploitation*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 832532.

Bewley, J. D., et al., (1994). *Seeds: germination, structure, and composition* (pp. 1-33). *Springer Us*.

Borbón-Palomares, D., et al. (2018). Reproductive ecology of *Agave colorata*: the importance of nectar-feeding bats and the germination consequences of self-pollination. *Plant Ecology*, 219, 927-939.

Castellanos, A. P. S. (2023). Protocolo de germinación de *Clinopodium mexicanum* (Benth.) Govaerts (Poleo verde). Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Horticultura Ambiental.

Castillo-Hernández, H., & Treviño-Carreón, J. (2009). Biología floral de *Agave gentryi* Ullrich (Agavaceae) en la localidad de la Marcela, Miquihuana, Tamaulipas. *CienciaUAT*, 4(2), 62-66.

Courtis, A. (2013). Cátedra de Fisiología Vegetal. Germinación de semillas. Guía de Estudio. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura FaCENA. Departamento de biología. Área de botánica. Universidad Nacional del Nordeste UNNE.

Eguiarte, L. E., Souza, V., & Silva-Montellano, A. (2000). Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Botanical Sciences*, (66), 131-150.

Flores, J., González-Salvatierra, C., & Jurado, E. (2016). Effect of light on seed germination and seedling shape of succulent species from Mexico. *Journal of Plant Ecology*, 9(2), 174-179.

García-Marín, P. C. (2007). *En lo ancestral hay futuro: Del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICY. México.

Good-Avila, S. V., Souza, V., Gaut, B. S., & Eguiarte, L. E. (2006). Timing and rate of speciation in *Agave* (Agavaceae). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(24), 9124-9129.

González-Álvarez, M. (2005). *Revisión taxonómica de la sección Salmianae Berger del género Agave L. (Agavaceae)*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Biológicas.

Hartmann, H. T. *et al.* (2011). *Hartmann & Kesters's Plant Propagation Principles and Practices*. (7ª ed.). Pearson.

Hernández-Castro, *et al.* (2021). Análisis morfométrico de semilla y desarrollo de plántulas de maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw.). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(3).

Hernández-Villarreal, A. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Bio Ciencias*, 2(3).

Magallán-Hernández, F., & Hernández-Sandoval, L. (2000). La familia Agavaceae en el estado de Querétaro, México. *Botanical Sciences*, (66), 103-112.

Márquez-Guzmán, J. *et al.* (2013). Biología de angiospermas. *Facultad de Ciencias, UNAM, Coordinación de la Investigación Científica*.

McDonald, M. B. (1995). Standardization of seed vigour tests. In *Congress of the International Seed Testing Association* (Vol. 24, pp. 88-97).

Mendoza, A. G. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, (087).

Morales, A. F., Avila, V. M. C., & Estrada, M. J. (2021). Evaluación de una alternativa de propagación de maguey pulquero (*Agave salmiana*) variedad púa larga. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(1), 46-58.

Moreno, J. T. H. *et al.* (2023). Caracterización de semillas de *Agave* spp., por el método de ISTA. *South Florida Journal of Development*, 4(1), 438-453.

Mosquero, M., Rodríguez, R., & Díaz, J. (2004). Observaciones micro-morfológicas y anatómicas en núculas de *Prunella* L. y *Cleonia* L. (Lamiaceae) del suroeste de España. *Acta botánica malacitana*, (29), 203-214.

Munsell. (2011). *Munsell Soil Color Book*. X-rite.

Niño Vazquez, R. (2013). Germinación y viabilidad seminal de *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* y *Agave mapisaga*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista.

Peña-Valdivia, C. B. *et al.* (2006). Temperature and mechanical scarification on seed germination of 'maguey' (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science and Technology*, 34(1), 47-56.

Pritchard, H. W., & Miller, A. P. (1995). The effects of constant temperatures, light and seed quality on the germination characteristics of *Agave americana*. *Botanical Sciences*, (57), 11-14.

Ramírez Medina, R. (2016). Geología y evaluación del yacimiento de mármol blanco Los Trejo delegación El Doctor, Municipio de Cadereyta, Querétaro. Instituto Politécnico Nacional. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Geólogo.

Ramírez Tobías, H. M. *et al.* (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, H. M. *et al.* (2012). Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Plant Species Biology*, 27(2), 124-137.

Rangel, D. V. R. (2023). Protocolo de propagación por semilla de *Gentiana spathacea* Kunth. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Horticultura Ambiental.

Riveira Rubin, M. (2022). *Regulación de la dormición por el ambiente materno en frutos de girasol (Helianthus annuus L.): estudio de los mecanismos fisiológicos involucrados* (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados. Tesis para obtener el grado de doctora en Ciencias Agropecuarias.

Rodriguez Quilón, I., Adam, G., & Durán, J. M. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 78(912).

Rodríguez-Servín, J., Castro-Lara, D. & Bye-Boettler, R. (2010). Protocolo de germinación de dos especies de quelites: *Crotalaria pumila* "Chepil" y *Porophyllum ruderale* var. *macrocephalum* "Pápalo". Universidad Nacional Autónoma de México

Rojas-Aréchiga, M., Vázquez-Yanes, C., & Orozco-Segovia, A. (1998). Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. *Plant Ecology*, 135, 207-214.

Santillán Arias, M. E., & Segovia Salcedo, M. C. Determinación de un protocolo de germinación in vitro de semillas de cuatro especies del género.

Spracklin, P. (2007). Searching for hardy *Agave*. *Plantsman-London-*, 6(3), 146.

Thiede, J., & Eggli, U. (2020). Agavaceae. *Monocotyledons*, 9-19.

Trejo-Salazar, R. E., Scheinvar, E., & Eguiarte, L. E. (2015). ¿Quién poliniza realmente los agaves? Diversidad de visitantes florales en 3 especies de *Agave* (Agavoideae: Asparagaceae). *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(2), 358-369.

Trejo-Salazar, R. E., Eguiarte, L. E., Suro-Piñera, D., & Medellín, R. A. (2016). Save our bats, save our tequila: industry and science join forces to help bats and agaves. *Natural Areas Journal*, 36(4), 523-530.

Treviño-Carreón, J., Mora-Olivo, A., Carreón-Pérez, A., & Valiente-Banuet, A. (2011). Descubriendo el valor de los magueyes tamaulipecos. *CienciaUAT*, 5(3), 34-40.

Valiente-Banuet, A. *et al.* (2015). Beyond species loss: the extinction of ecological interactions in a changing world. *Functional ecology*, 29(3), 299-307.

Valiente-Banuet, A. (2023). Mezcal Boom and Extinction Debts. In *Mexican Fauna in the Anthropocene* (pp. 303-318). Cham: Springer International Publishing.

Vázquez Díaz, E. *et al.* (2011). Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista fitotecnia mexicana*, 34(3), 167-173.

Vázquez-García *et al.* (2022). *Agave martaelenae* y *A. servandoana* (sección *Inermes*, Asparagaceae), Dos especies nuevas endémicas de Jalisco, México, con aptitud ornamental.

Villarreal Q, J. A. (1996). Una nueva especie de “Agave” subgénero “Agave” (Agavaceae) de México. *SIDA, Contributions to Botany*, 191-195.

Zamorano, A. V. (2024). Distribución y pruebas pregerminativas en las especies del género *Agave* (Asparagaceae) en Cadereyta, Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Biología.

Zamudio, S., Aguilar-Gutiérrez, G. y J. Rzedowski. (2013). Flora vascular y endemismos de las partes altas de varios macizos montañosos de Querétaro y norte de Michoacán-1ra Fase. Instituto de Ecología A. C. Centro Regional del Bajío. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JE011. México, D.F.