



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

Impulso a la conservación y producción de agaves
utilizados para la producción de pulque:
Diversidad morfológica, germinación y sobrevivencia de
Agave salmiana subsp. *salmiana* "Manso"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Elvira Romano Grande

Directora
Dra. Laura Trejo Hernández

Tlaxcala, Tlax.

Mayo, 2022



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

Impulso a la conservación y producción de agaves
utilizados para la producción de pulque:
Diversidad morfológica, germinación y sobrevivencia de
Agave salmiana subsp. *salmiana* "Manso"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Elvira Romano Grande

Comité Tutorial

Dra. Laura Trejo Hernández
Dra. Susana Guillén Rodríguez
Dr. Arturo Estrada Torres
Dra. Adriana Montoya Esquivel
Dra. Bárbara Cruz Salazar

Tlaxcala, Tlax.

Mayo, 2022

Este proyecto se realizó en el Laboratorio de Ecología Molecular de las instalaciones del Laboratorio Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales del Instituto de Biología de la UNAM (LByCTV, IB-UNAM), Tlaxcala. Los estudios de Maestría se realizaron en el Posgrado en Ciencias Biológicas del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta (CTBC) de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATX) la cual se encuentra registrada en el Programa para el Fortalecimiento del Posgrado Nacional. Padrón Nacional de Posgrado (PNPC). Se contó con el apoyo de beca por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAyT).



**COORDINACIÓN MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA
P R E S E N T E**

Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis que **Elvira Romano Grande** realiza para la obtención del grado de **Maestra en Ciencias Biológicas**, expresamos que, habiendo revisado la versión final del documento de tesis, damos la aprobación para que ésta sea impresa y defendida en el examen correspondiente. El título que llevará es **Impulso a la conservación y producción de agaves utilizados para la producción de pulque: Diversidad morfológica, germinación y sobrevivencia de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* “Manso”**.

Sin otro particular, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
TLAXCALA, TLAX., MARZO 01 DE 2022

DR. ARTURO ESTRADA TORRES

DRA. LAURA TREJO HERNÁNDEZ

DRA. SUSANA GUILLÉN RODRÍGUEZ

Adriana Montoya E

DRA. ADRIANA MONTOYA ESQUIVEL

DRA. BÁRBARA CRUZ SALAZAR

COMITÉ ACADÉMICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Sirva este medio para describir el proceso de revisión de la tesis realizada por la estudiante Elvira Romano Grande titulada "Impulso a la conservación y producción de agaves utilizados para la producción de pulque: Diversidad morfológica, germinación y sobrevivencia de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso"" para optar por su grado de **Maestra en Ciencias Biológicas**.

El documento de la tesis de Elvira Romano Grande fue revisado por mi como directora de tesis antes de presentarse en cada examen tutorial y, posteriormente a los exámenes tutorales, los miembros de su comité tutorial realizaron también sus respectivas observaciones. De manera que el documento, llevó un proceso de revisión por varios profesores expertos en el tema. En el mes de mayo, el documento final de la tesis fue procesado con el programa del Viper marcando poco texto con similitudes (4.8%). Los textos detectados con similitud fueron corregidos por la estudiante. Se volvió a procesar el documento el cual se redujo el porcentaje a 4.4%, sin embargo, examinando los detalles de la búsqueda se observó que las similitudes están marcadas en su mayoría en las referencias bibliográficas. Otras similitudes se observaron en la sección de metodología, donde se describen fórmulas, dichas similitudes en las fórmulas no pueden ser cambiadas ya que alterarían el significado de la ecuación. Cabe resaltar que en dicha sección contiene las citas que indican de donde fue obtenida la información.

Por lo anterior, confirmo que **la estudiante no incurrió en ninguna práctica no deseable** en la escritura de la tesis.

Sin más por el momento, reciban atentos saludos.

CORDIALMENTE

Tlaxcala, Tlax., a 13 de mayo de 2022



Laura Trejo Hernández

Directora de tesis

A G R A D E C I M I E N T O S

Al Posgrado en Ciencias Biológicas del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta de la UATx, por permitirme cursar mis estudios de Maestría, por brindarme las herramientas estos dos años para fortalecer mi vida académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAyT) por otorgarme la beca con número 1006775, la cual fue un apoyo muy importante para poder llevar a cabo mis estudios de Maestría en el Posgrado de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Al Laboratorio Regional de Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales, IB-UNAM por permitirme el uso de sus instalaciones e insumos para poder llevar a cabo mi proyecto de investigación.

A los miembros de mi comité evaluador, a la Dra. Laura Trejo Hernández, la Dra. Susana Guillen Rodríguez, al Dr. Arturo Estrada Torres, la Dra. Adriana Montoya Esquivel y a la Dra. Bárbara Cruz Salazar, gracias por su apoyo, asesoramiento, comentarios, observaciones y correcciones, hicieron que este proyecto mejorara considerablemente. Gracias infinitas por su tiempo y dedicación.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A la **Dra. Laura Trejo** por su dedicación en mi formación académica, en brindarme las herramientas en la construcción de mi camino como Bióloga, en su esmero para brindarme todo lo necesario para realizar este proyecto. Sobre todo, agradezco infinitamente la confianza que me otorgó desde el primer día que llegué a su laboratorio, cada oportunidad que me ha brindado a lo largo de mi estancia en su equipo de trabajo la cual me ha ayudado a crecer no solo a nivel profesional, sino que también a crecer como ser humano. Infinitas gracias.

A la **Dra. Diana Soriano** por su tiempo en la revisión y asesoramiento al comienzo de la construcción de este proyecto, así como la disponibilidad de tiempo en resolver dudas durante el montaje de los experimentos. De verdad muchas gracias.

A la **Mtra. Alma Yadira** y a la **Dra. Ana Laura** por su disponibilidad y asesoramiento en el uso de material y equipo del Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del (LByCTV).

A **Bárbara Carmona** por su tiempo brindado durante su estancia profesional en el Laboratorio de Ecología Molecular para apoyarme el montaje de la parte experimental del proyecto. De igual forma agradezco la confianza brindada hacia mí para poder formar parte de tu desarrollo académico. Gracias por tu amistad.

A mi prima **Laura Nava** y a mis queridos amigos tabasqueños **Gerardo** y **Nayeli** que durante su estancia en el laboratorio de Ecología Molecular me apoyaron incondicionalmente en cada una de las fases del proyecto, principalmente del trabajo experimental. De verdad agradezco todos los minutos y horas para cada bolsa de sustrato empaquetada, cada semilla sembrada sobre todo agradezco que hayan soportado algunas veces mis desplantes. Sin olvidar también el apoyo y sincera amistad de mi querida **Ari**. De verdad chicos agradezco su apoyo sin ustedes no sé qué hubiera hecho, pero principalmente agradezco su sincera amistad y confianza. ¡Los Amo!

A mis **compañeros de Maestría**: Miriam, Guty, Maricarmen, Mayra, Erick, Kevin, Alberto y Frida por los momentos de retroalimentación y apoyo que tuvimos entre nosotros durante cada una de las clases, las risas, los buenos momentos y principalmente gracias por su amistad.

A mis queridas amigas **Mayra, Maricarmen y Miriam** por brindarme su confianza y su sincera amistad, sobre todo por regalarme esas palabras exactas en los malos momentos. De verdad agradezco el haberlas conocido chicas.

A la **Sra. Magdalena** y al **Sr. Senobio** agradecemos infinitamente tanto la Dra. Laura como yo el habernos abierto las puertas de sus Ranchos, agradecemos que también nos brindaron apoyo para poder llevar a cabo cada una de las fases de campo dentro de sus parcelas.

Al **Sr. Miguel** por su apoyo en campo, así como su oportuna presencia en llegar con un buen vaso de pulque para no desistir. Agradezco sus conocimientos compartidos y cabe mencionar que de usted ha sido el mejor pulque que he probado.

A **Laura** por ser mi apoyo, una confidente, una gran amiga, gracias por no haberme abandonado en los malos momentos, en brindarme tu mano para levantarme en cada caída. Gracias por ayudarme a ser una mejor persona, de verdad no tengo palabras para agradecer todo el apoyo que me has otorgado, realmente agradezco al universo el haberte conocido.

A mi **Familia** por todo su apoyo en esta faceta académica de mi vida, por su cariño incondicional, el tenerlos juntos pese a las dificultades por las que hemos atravesado, es el mayor tesoro que puedo poseer. Agradezco infinitamente todo el esfuerzo que han hecho para hacer de mí una mejor persona. Los amo.

*“Sabroso blanco licor,
que quitas todas las penas,
las propias y las ajenas,
no me niegues tu sabor”.*

Dicho popular

“El pulque no es una moda, es una tradición”

A mis padres Crispina y Samuel

A mi hermano Samuel

Con amor

Elvira

RESUMEN

México es centro de diversidad del género *Agave*, su diversificación se asocia principalmente a procesos evolutivos como la selección natural y la selección artificial los cuales han sido dirigidos por el aprovechamiento y manejo humano. Debido a la importancia cultural, económica y ecológica que tienen los agaves pulqueros, durante mucho tiempo han estado sujetos a diferentes formas de manejo con distinta intensidad que influye en su diversidad. Sin embargo, se desconoce el efecto que la propagación vegetativa, intensiva y prolongada ha tenido sobre la diversidad morfológica y procesos fisiológicos de agaves pulqueros. Esta información es relevante para el establecimiento de estrategias de conservación, manejo y producción. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la diversidad morfológica, capacidad reproductiva y el efecto del acondicionamiento mátrico sobre la germinación y sobrevivencia de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" comparando individuos sujetos a un manejo intensivo (monocultivo) y uno menos intensivo o tradicional (metepantle), en el estado de Tlaxcala. Para evaluar la diversidad morfológica se analizaron 54 caracteres vegetativos y reproductivos. La capacidad reproductiva se estimó a través de un índice asociado a la producción de semillas potencialmente viables, además se analizó la viabilidad de las semillas (prueba de Tetrazolio). Se evaluó el efecto del acondicionamiento mátrico sobre el porcentaje de germinación y sobrevivencia de plántulas. En los resultados se observa una mayor homogenización y tamaños más grandes, tanto de caracteres vegetativos (blanco de la selección artificial) como de caracteres reproductivos ante el incremento en la intensidad de cultivo. Los análisis de componentes principales y el discriminante mostraron que el sistema de manejo metepantle y monocultivo representan dos grupos morfológicos claramente diferenciados. Los caracteres, largo del diente y distancia entre dientes se asocian al síndrome de domesticación. Se observó menor capacidad reproductiva y viabilidad en plantas sometidas a un manejo intensivo. No hubo diferencias en la germinación de semillas y sobrevivencia de plántulas de ambos sistemas de manejo. En cambio, el uso del acondicionamiento mátrico no mostró diferencias en la germinación, pero sí aumentó la sobrevivencia de plántulas independiente del manejo. Se concluye que una mayor intensidad de manejo disminuye la variabilidad morfológica de caracteres morfológicos y pudiera ser un factor que influye en una menor capacidad

reproductiva y viabilidad de semillas. Lo anterior pudiera ser el reflejo de la propagación asexual por varias generaciones a partir de una fuente de germoplasma poco diversa. El acondicionamiento mático podría ser una opción para los campesinos como una forma de asegurar la sobrevivencia de plántulas que provienen de semillas de plantas madre con una muy baja capacidad reproductiva.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	17
2. ANTECEDENTES	21
2.1 Manejo.....	21
2.2 Diversidad morfológica.....	23
2.3 Capacidad reproductiva.....	26
2.4 Viabilidad de semillas.....	28
2.5 Germinación.....	29
2.6 Acondicionamiento mátrico como tratamiento pregerminativo.....	30
2.7 Supervivencia bajo condiciones de estrés hídrico.....	31
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	32
4. JUSTIFICACIÓN	32
5. HIPÓTESIS Y PREDICCIONES.....	33
6. OBJETIVOS	35
5.1 Objetivo general	35
5.2. Objetivos particulares	35
7. METODOLOGÍA	36
7.1 Área de estudio	36
7.2 Diversidad morfológica	41
7.2.1 Análisis estadístico de la diversidad morfológica.....	45
7.3 Capacidad reproductiva	46
7.4 Prueba de viabilidad de semillas	46
7.5 Acondicionamiento mátrico.....	48
7.6 Germinación.....	49
7.6.1 Análisis descriptivo de germinación.....	50
7.7 Supervivencia.....	52
8. RESULTADOS	53

	Pág.
8.1 Diversidad morfológica.....	54
8.2 Capacidad reproductiva.....	70
8.3 Viabilidad de las semillas.....	72
8.4 Análisis de germinación.....	73
8.5 Análisis de sobrevivencia	75
9. DISCUSIÓN.....	76
9.1 Diversidad morfológica.....	76
9.2 Capacidad reproductiva	82
9.3 Viabilidad de las semillas	84
9.4 Germinación y sobrevivencia.....	85
10. CONCLUSIÓN	87
11.. PERSPECTIVAS.....	88
12. REFERENCIAS.....	90
13. ANEXOS	97

1. INTRODUCCIÓN

México es el centro de diversidad del género *Agave*, ya que en el país se distribuye el 77% del total de especies descritas en el mundo y, de estas, el 74% son endémicas (García-Mendoza y cols. 2013). Dicha diversidad se debe a la heterogeneidad de hábitats presentes en el país, al alto flujo génico entre especies, a la amplia distribución del género en una gran diversidad de ecosistemas, a la alta capacidad de dispersión de sus semillas y a la interacción que los agaves establecen con organismos polinizadores (García-Mendoza 1992).

La utilización de los agaves en México se remonta a por lo menos 10 mil años (Ilse y cols. 2009). Esto podría explicar por qué varias especies han tenido diversos usos, destacando su utilización como alimento para el humano y el ganado, como materia prima para la obtención de fibras, como material para la construcción y retención del suelo y para la producción de jarabes, bebidas destiladas y fermentadas (Getty 1982).

Entre estas bebidas está la “lechuguilla” que se obtiene de *Agave lechuguilla* y el “pulque” que es una bebida característica del Altiplano Central de México y es producto de la fermentación alcohólica exclusiva de la savia de diversas especies de “magueyes pulqueros” (como comúnmente se les denomina), principalmente de *Agave salmiana* subsp. *salmiana*, *Agave mapisaga* y *Agave atrovirens* (Gentry 1982).

El pulque es una bebida milenaria pues algunos códices como el Aubin (Goncalves 1956) señalan que los mexicas descubrieron esta bebida en el año 7 Ácatl (1187 d. C.), aunque también se estima que pudo haber surgido desde hace más de 4 mil años con los sistemas agroalimentarios de metepantles. Estos son áreas de sembradíos limitadas por hileras de maguey que se siguen ocupando como cercas vivas. Se cree que para la formación de estos sistemas tradicionales se realizaba el desmonte de la cobertura vegetal nativa y que algunos agaves que permanecían remanentes a la orilla de los campos de cultivo fueron tolerados como primera forma de manejo. Conforme los campesinos notaban la importancia del uso de estas plantas, comenzaron a fomentarlas, es decir que, en este punto el manejo tuvo como objetivo aumentar la densidad de las plantas (Casas y cols. 1997; Torres-García cols. 2019). De esta forma el

maguey fue adquiriendo cada vez mayor importancia y el fomento de su plantación respondía a las necesidades de los campesinos, quienes continuamente fueron seleccionando a individuos con atributos de su interés como el tamaño, la cantidad de fibra, color, sabor, etc. De esta forma es como se describe el proceso de selección artificial, teniendo como resultado a través de los años diferenciación y reconocimiento de algunas variedades (Figueredo y cols. 2014).

Actualmente, el maguey pulquero *Agave salmiana* es una especie nativa del Altiplano Central de México que se maneja en cultivo, presenta un gran número de “variedades locales” o cultivares. Esta situación ha dificultado o hasta imposibilitado la identificación de sus parientes silvestres y/o los distintos grupos morfológicos, por lo que esto representa un reto taxonómico que se debe resolver. Contar con esta información es fundamental para cualquier tipo de estudio biológico, ecológico y evolutivo. Además, es la base para la planeación de estrategias para su conservación, manejo y producción, pues *Agave salmiana* es la especie más utilizada para la producción de pulque (Gentry 1982) y el cultivar local "Manso" es el más reconocido (Narváez y cols. 2016).

Tlaxcala ocupa desde hace tiempo el segundo lugar en la producción de pulque en México, después del estado de Hidalgo. Existen evidencias arqueológicas que señalan que la producción de pulque se realizaba en la entidad desde hace por lo menos 500 años (Martínez-Vargas y Jarqui-Pacheco 2016). Tan solo en el periodo de enero a septiembre del año 2017, el estado produjo 31.71 millones de litros de pulque, lo que equivale al 27.18 % del total de la producción nacional (SIAP 2017). Sin embargo, su venta se desplomó y prácticamente desapareció en las décadas de los 80's y 90's con la desaparición de las haciendas pulqueras, la implementación de impuestos y una campaña de desprestigio hacia esta bebida que fue catalogada como poco higiénica. Lo anterior ocasionó el abandono del cultivo de agaves pulqueros y su sustitución por cultivos como cebada y trigo. Por ello, las plantas adultas que quedaron fueron sobreexplotadas sin fomentar el cultivo de nuevas plantas (Trejo 2017). A tal grado que tanto en Tlaxcala como en el resto del centro de México, en las últimas décadas se ha observado una reducción del número de plantas de *Agave* para la producción de pulque (SEFOA, comunicación personal, 29 octubre 2018).

En este nuevo siglo, los jóvenes principalmente comenzaron a impulsar el consumo de pulque, propiciando que a partir del 2005 el gobierno federal y estatal invirtieran en el rescate del agave pulquero a través de nuevos cultivos, la revalorización de la cultura del pulque e investigación. El Laboratorio Regional de Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, sede Tlaxcala (LBCTV, IB-UNAM), desde hace seis años participa con el gobierno de Tlaxcala en la investigación de la diversidad de los agaves pulqueros mediante estudios taxonómicos, morfológicos, ecológicos, genéticos y evolutivos.

Una de las estrategias para aumentar la producción de *Agave* "Manso" es fomentar su floración para que así ocurra la polinización y se produzcan semillas. Es pertinente mencionar que un individuo de *Agave salmiana* puede generar de cientos a miles de semillas potencialmente viables para generar nuevas plantas (Huerta-Lovera y cols. 2018). Sin embargo, su uso intensivo y la cosecha antes de poder desarrollar su inflorescencia limitan la reproducción sexual incrementando el riesgo de una reducción de la diversidad genética, teniendo como consecuencias problemas reproductivos, que pueden llevar a una baja sobrevivencia ante cambios en el ambiente. El método tradicional de propagación de esta especie y que se ha utilizado por mucho tiempo, y que aún se mantiene, es la reproducción asexual por medio de vástagos clonales, la cual ha conducido a una disminución en su capacidad reproductiva, que a su vez se relaciona con la baja producción de estructuras como frutos y semillas potencialmente viables (Colunga y cols. 1996). Ante este panorama la propagación *ex situ* por medio de semillas es una alternativa para aumentar la germinación y sobrevivencia de las plántulas durante las primeras fases de desarrollo (Contreras-Quiroz 2015).

Algunos estudios han documentado la germinación de semillas de especies de *Agave* de zonas áridas y semiáridas en función de factores como: el tipo de sustrato, la temperatura, los procesos de hidratación-deshidratación y distintos potenciales hídricos con la finalidad de evaluar las condiciones que limitan la germinación, establecimiento y sobrevivencia de plántulas (Ramírez-Tobías y cols. 2011 y 2014; Vázquez y cols. 2011; Vargas-Ponce y cols. 2012). Entre los

objetivos de los estudios están: definir la tolerancia de las semillas y plántulas al estrés hídrico, evaluando tratamientos pregerminativos de acondicionamiento en semillas de especies provenientes de ambientes desérticos, y se ha observado un aumento del porcentaje de germinación ante condiciones de bajos potenciales hídricos y altas temperaturas (Aguilar-Ramírez 2014 y Contreras-Quiroz 2015). A pesar de contar con un mayor éxito de germinación mediante el uso de tratamientos pregerminativos, en condiciones naturales de alta temperatura y baja disponibilidad de humedad, la sobrevivencia y velocidad de crecimiento de las plántulas disminuye, limitando a los productores obtener plantas maduras que puedan ser aprovechadas en periodos de tiempo cortos (Sánchez 1989).

En el presente trabajo, se evaluó el efecto de la intensidad de manejo sobre la diversidad morfológica y capacidad reproductiva de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* cultivar "Manso". Además, en semillas provenientes de plantas sometidas a diferente intensidad de manejo, se evaluó el efecto del acondicionamiento mátrico de las semillas sobre la germinación y sobrevivencia de plántulas. Este conocimiento servirá para sentar las bases del manejo adecuado de las semillas con la finalidad de incrementar su establecimiento y con ello impulsar la conservación de los agaves pulqueros.

2. ANTECEDENTES

El género *Agave* pertenece a la subfamilia *Agavoideae* de la familia *Agavaceae* dentro del orden *Asparagales* (Dahlgren y cols. 1985). El maguey pulquero pertenece a la especie *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck subsp. *salmiana*. Presenta rosetas masivas densas; hojas suculentas, lanceoladas a ampliamente lanceoladas, erectas a recurvadas; margen recto a ondulado, ápice sigmoideo, largamente acuminado con espina terminal larga, robusta a subulada. Son plantas de color verde oscuro a verde amarillento. Inflorescencias de más de 8 m de alto cubiertas por brácteas carnosas, sus ramas forman un arreglo piramidal; flores con tépalos amarillos y ovario verde claro (García-Mendoza 2011).

El cultivar "Manso" incluye plantas de apariencia muy robusta, es una de las principales variantes de la especie *Agave salmiana* cultivada para la producción de pulque, entre sus características principales es que presentan pencas de 80 cm de ancho y pueden llegar alcanzar hasta 2 m de largo, las espinas laterales del margen de la hoja presentan distanciamientos entre si de 3 a 6 cm. Alcanza la edad adulta a los 12 años aproximadamente y puede llegar a pesar más de una tonelada. Se distribuye principalmente entre los 2,300 y 3,000 m s.n.m en climas semiáridos y templados (Nieto y cols. 2016).

El agave pulquero es de alto valor agroecológico por su uso en la recuperación de suelos degradados, por prosperar en cerros y lomeríos, y por formar parte de los sistemas de policultivos. El maguey "Manso" es el más cultivado para la producción de pulque, siendo el estado de Hidalgo el mayor productor de esta bebida, con 217.7 millones de litros en 2017, lo que representa el 69.6% de la producción a nivel nacional. Tlaxcala ocupa el segundo lugar en la producción de pulque con 13.3% en 2017 (SIAP 2017).

2.1 Manejo

El cultivo es una de las formas más intensas de manejo de las plantas, siendo esta la actividad cultural que permite al hombre adecuar los sistemas naturales y artificiales en los cuales la diversidad biológica se desarrolla y transformarla a las necesidades humanas (Casas y cols. 1997). Esta manipulación es mantenida y llevada a cabo bajo continua selección artificial

aplicada con diferente intensidad, detonando asimismo un conjunto de formas y estrategias de manejo en distintos grados (Casas y cols. 1997). El manejo se puede definir como, todas las intervenciones, transformaciones o decisiones sobre los sistemas naturales y artificiales y sus procesos funcionales con fines dirigidos (Casas y cols. 1997). Todo este conjunto de patrones y procesos refleja un gradiente de intensidades de manejo, desde el más simple como la manipulación de microespacios, recolección, fomento y tolerancia de especies de interés (manejo *in situ*), hasta llegar al gradiente de alta intensidad que involucra la conjunción de uno o más tipos de manejo simple, pero estructurado en lugares específicos (manejo *ex situ*) en donde las condiciones se tornan más homogéneas a diferencia de las condiciones naturales a las que se enfrentan los parientes silvestres (Casas y cols. 1997, 2014, 2017).

Las diferentes poblaciones generadas por la intensa movilidad de plantas llevaron a procesos de reproducción entre parientes silvestres, silvestres-domesticados y domesticados-domesticados, que en algunos casos fueron favorecidos por la hibridación y en otros ocasionaron desventajas por endogamia (Casas y cols. 2017).

La diversidad existente de grados de intensidad de manejo resultado de la importancia cultural que tiene cada organismo por su uso, detonó una impresionante variabilidad genética que generó variantes morfológicas para distintos fines al igual que cambios en la fisiología reproductiva, todas estas diferencias observables en comparación con los parientes silvestres (Casas y cols. 2014, 2017).

Agave salmiana cuenta con un manejo el cual data de épocas prehispánicas, uno de los principales es el manejo dentro del sistema “Milpa” en asociación a cultivos anuales. También su manejo se asoció a la conservación de suelos con pendientes, formando parte de las denominadas terrazas (Goncalves 1956 y Narváez y cols. 2016). El manejo intensivo de esta especie se reporta en la primera mitad del siglo XIX, donde su cultivo en la zona conocida como “Los llanos de Apan” fue primordial para la producción de pulque. Se calcula que esta zona contaba con más de 250 hectáreas sembradas de maguey con aproximadamente 206 millones de plantas sembradas (Ramírez-Rancaño 2000).

2.2 Diversidad morfológica

Los estudios de diversidad morfológica son fundamentales en la caracterización del germoplasma de cultivos, en estudios taxonómicos, evolutivos y de conservación (Gentry 1982; Franco e Hidalgo 2003). Aunque se han realizado diversos estudios en *Agave*, principalmente estos se han enfocado en agaves mezcaleros o agaves destinados en la producción de fibras (Colunga 1996; Vargas Ponce y cols. 2007; Figueredo-Urbina y cols. 2014; Cabrera-Toledo y cols. 2020) y pocos de estos se enfocan a agaves pulqueros (Alfaro y cols. 2007; Mora-López y cols. 2011; Rocillo 2015) y la relación del tipo de manejo sobre la variación morfológica. La mayoría de dichos estudios solo consideran caracteres vegetativos y no existe un consenso en qué caracteres evaluar y cómo medirlos.

El trabajo realizado por Colunga (1996) es uno de los pocos estudios que, además de los caracteres vegetativos, incorporan caracteres reproductivos para evaluar patrones de variación morfológica de plantas cultivadas de henequén (*Agave furcroydes*) y poblaciones silvestres de *Agave angustifolia*. Con la integración de caracteres vegetativos y reproductivos pudo diferenciar entre las poblaciones cultivadas y ecotipos de poblaciones silvestres. Además, observó una tendencia de algunos caracteres morfológicos que pueden ser indicadores del grado de domesticación de las plantas cultivadas como gigantismo, reducción en el número de dientes, mayor fibrosidad y menor capacidad reproductiva, es decir, frutos más pequeños y una menor presencia de semillas viables.

Vargas Ponce y cols. (2007) estudiaron la diversidad y manejo *in situ* de agaves mezcaleros y registraron una mayor diversidad morfológica en cultivares tradicionales respecto a las plantaciones intensivas de *Agave tequilana*, esto debido a los grados de selección artificial de las plantas, las diferentes procedencias e incluso la gestión de las plantas, es decir el traslado de plantas de un sitio a otro por parte de los campesinos, movilidad de plantas silvestres a parcelas incluso la selección de que individuos dejan reproducirse. Cabe destacar que en este estudio analizaron 19 caracteres morfológicos vegetativos.

Poco se sabe de la influencia de los procesos de selección artificial sobre la variabilidad morfológica de los agaves pulqueros. Por ejemplo, el trabajo de Mora-López (2011) identifica bajo un gradiente de selección artificial una variación morfológica de 62 variantes de agave pulquero de la sección *Salmiane*. La evaluación de solo 13 caracteres morfológicos foliares permitió identificar gradientes de ordenamiento morfológico entre especies, diferenciando a las domesticadas como aquellas con individuos más grandes, con hojas más largas y una reducción en el tamaño de dientes (espinas que rodean al margen de la hoja), al contrario de las especies silvestres que mostraron individuos de menor tamaño con dientes más grandes.

En diversas especies sujetas a manejo así como en especies de *Agave* se han realizado estudios morfológicos enfocados en entender los efectos que tienen los mecanismos de selección artificial y que han ocasionado divergencias fenotípicas entre poblaciones silvestres y manejadas. Figueredo Urbina y cols. (2014) destaca que las diferencias morfológicas observadas entre individuos silvestres y cultivados de *Agave inaequidens* e individuos cultivados de *Agave hookeri* son el resultado de la gestión de las personas y que la selección de ciertos caracteres propicia la generación de poblaciones artificiales, las cuales son conjuntos de individuos que comparten y mantienen ciertos caracteres seleccionados por los campesinos, dichos individuos reciben nombres comunes, identificados como variedades locales. En este estudio analizó 25 caracteres morfológicos vegetativos para poblaciones silvestres y cultivadas de cinco poblaciones de *A. inaequidens* y tres poblaciones cultivadas de *A. hookeri*.

Posteriormente, con las mismas especies y ahora con la integración de *Agave cupreata* Figueredo-Urbina y cols. (2017) determinaron la divergencia morfológica y genética dentro y entre especies del grupo *Crenate*, bajo la hipótesis de una menor variación morfológica y genética de *A. hookeri* debida a la selección artificial y del cultivo asexual en comparación con *A. inaequidens* y *A. cupreata*. En este trabajo, además de los caracteres vegetativos, también se incluyeron caracteres reproductivos con un total de 39 caracteres morfológicos, los cuales proporcionaron información sobre las divergencias entre especies y dentro de especies cultivadas y silvestres. La escasez de inflorescencias en *A. hookeri* debida a su retiro para la

extracción de aguamiel y un continuo cultivo vegetativo ha mostrado una reducción en la presencia de semillas viables (Figueredo-Urbina y cols. 2017).

Es importante resaltar que la limitación para evaluar caracteres morfológicos florales está dada por el manejo, debido a que, para poder obtener ciertos productos para su comercialización, se necesita interrumpir el proceso de floración por parte de los productores. Rivera-Lugo y cols. (2018) evaluaron 46 rasgos e incorporaron caracteres morfológicos reproductivos como tamaño de la inflorescencia, largo y diámetro de las estructuras florales, así como caracteres de los frutos. El objetivo del trabajo fue esclarecer la taxonomía del complejo de *Agave angustifolia*, con lo cual reconocieron grupos a nivel de especie y variedades naturales; sin embargo, se pudo observar una menor proporción de semillas maduras en algunos taxones con características de ser plantas poliploides (plantas que tienen más de dos juegos completos de cromosomas). A pesar de que en el trabajo no se evaluó el efecto del manejo, los resultados dejan entrever que emplear caracteres morfológicos reproductivos aporta una mayor resolución en la identificación de grupos morfológicos a nivel de variedades.

A diferencia del trabajo anterior que analizó la variación morfológica a nivel de especie, Álvarez-Ríos y cols. (2020) evaluaron la influencia del manejo, mecanismos de selección y mantenimiento en la variación fenotípica y genética entre variedades locales de 72 agaves de las especies *Agave salmiana* subsp. *salmiana*, *Agave* aff. *americana* y *Agave mapisaga*. Evaluaron 20 caracteres morfológicos vegetativos para probar la hipótesis que plantea que las variedades con una mayor intensidad de manejo presentarán características más claras del síndrome de domesticación (conjunto de rasgos fenotípicos o fisiológicos modificados que difieren de sus parientes silvestres). A pesar de encontrar diferencias entre variedades tradicionales, los autores no descartaron que estas diferencias sean producto de las características intrínsecas de cada especie.

Confirmando lo anterior, el incorporar caracteres reproductivos da una mayor resolución en la distinción de grupos morfológicos. Otra problemática de los estudios donde se han incorporado caracteres reproductivos es que, además de la dificultad de encontrar individuos que puedan

desarrollar todas sus estructuras reproductivas, es reducido el número de estructuras analizadas. En su gran mayoría analizan entre cinco a diez flores, frutos y semillas de una a diez plantas por taxon o por población. (Colunga-GarcíaMarín y cols. 2006; Vázquez-Pérez y cols. 2015; Rivera-Lugo y cols. 2018). Esto pudiera no estar mostrando la mayor variación morfológica posible.

2.3 Capacidad reproductiva

Los agaves paniculados, como es el caso de *A. salmiana*, además de presentar una reproducción asexual mediante vástagos clonales rizomatosos, se caracterizan por tener una biología reproductiva semélpara (monocárpica), es decir que presentan un solo episodio reproductivo sexual en toda su vida y una vez concluido éste la planta muere (Gentry 1982 y García-Mendoza 2007). Este tipo de plantas producen inflorescencias grandes y llamativas, además de poseer una gran cantidad de flores, lo que se traduce en una producción grande de frutos y semillas (García-Mendoza 2007).

La formación de flores y su transición al desarrollo y maduración de frutos y semillas determinan la capacidad reproductiva de la planta (Stephenson 1981). La descripción de la capacidad reproductiva de los agaves abarca especies tanto silvestres como cultivadas, algunas de estas descripciones se han evaluado bajo un gradiente de intensidad de manejo. Colunga (1996) describió la capacidad reproductiva de *Agave furcroydes* (henequén) y *Agave angustifolia* mediante el Índice de Capacidad Reproductiva (ICR), el cual es la razón entre el número de semillas viables y el número total de semillas por fruto. Este trabajo describió una capacidad reproductiva reducida en cultivares de *A. furcroydes* (ICR=0.1) que se explicó debido a que los cultivares de henequén son los más explotados para la obtención de fibras y su cosecha en la mayoría de los casos limita su reproducción sexual, de tal forma que por años el mantenimiento de los cultivos ha sido por reproducción vegetativa. En comparación, los individuos silvestres de *A. angustifolia* presentaron una capacidad reproductiva mayor (ICR 0.4-0.5).

Por otra parte, Figueredo-Urbina y cols. (2017) compararon especies con diferente intensidad de manejo, registrando que *Agave cupreata* y *Agave hookeri* presentaron una capacidad

reproductiva menor (ICR 0.4 y 0.3, respectivamente) que individuos silvestres de *Agave. inaequidens* (ICR 0.6). *Agave. hookeri* es de las especies más explotadas para la extracción de savia para la elaboración de pulque, lo que limita la reproducción sexual de la especie. Por otra parte, a pesar de que *A. cupreata* es aprovechada de manera intensiva no más allá de 30 años para la elaboración de mezcal, su reproducción es vía semillas (sexual) y su propagación es selectiva, los campesinos eligen las plantas de las cuales obtendrán semillas. En cambio, el nulo manejo de las poblaciones silvestres de *A. inaequidens* favorece su reproducción sexual aumentando con ello número de semillas viables que a su vez se refleja en una mayor capacidad reproductiva (Figueredo-Urbina y cols. 2017).

En los trabajos antes mencionados (Colunga 1996 y Figueredo-Urbina y cols. 2017), se puede apreciar que aquellas especies que han tenido un manejo intensivo durante un periodo de tiempo prolongado y prácticas de manejo dirigidas hacia una reproducción vegetativa exhaustiva tienen una capacidad reproductiva menor respecto a las poblaciones silvestres. Si bien, la capacidad reproductiva en los agaves se ha descrito entre especies, son pocos los estudios que hacen una descripción intraespecífica y en un gradiente de intensidad de manejo (Colunga 1996) e incluso los estudios dentro de una variedad local, como es el caso de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso", son nulos.

Los estudios realizados con *A. salmiana* han sido a nivel de especie, específicamente con poblaciones posiblemente silvestres (Huerta y cols. 2018), donde se describió que la capacidad reproductiva de *A. salmiana* 0.1. Esta es la especie y variedad local más utilizada para la producción de pulque y se encuentra bajo diferentes intensidades de manejo, por lo que es importante mencionar que el hecho de no encontrar o encontrar pocas estructuras reproductivas que lleguen a desarrollar frutos y semillas, dificulta el estudio para estimar su capacidad reproductiva.

2.4 Viabilidad de las semillas

Los estudios que abordan temas relacionados con la viabilidad de las semillas de *A. salmiana* subsp. *salmiana* son nulos, sobre todo si son específicos de una variedad local como lo es "Manso". De igual forma, se desconoce el impacto del manejo del género *Agave* sobre la viabilidad de semillas, ya que algunos trabajos solo mencionan el porcentaje de semillas potencialmente viables y las diferencias observadas entre poblaciones cultivadas y silvestres (Colunga 1996; Figueredo-Urbina y cols. 2017; Rivera-Lugo y Cols. 2018).

Con el objetivo de documentar el desarrollo de gametofitos durante los procesos de floración, la producción de semillas y germinación, Escobar-Guzmán y cols. (2008) realizaron tratamientos de polinización y cruza dentro y entre especies de *A. tequilana* y *A. americana*. Como resultado de las cruza intraespecíficas, se observó una baja producción de frutos y semillas; sin embargo, entre especies se observó una variación importante pues para *A. tequilana* se obtuvo un 10% de semillas potencialmente viables y para *A. americana* un 89%. La fertilidad y viabilidad de las semillas de estas dos especies está relacionada con el desarrollo de gametofitos inmaduros, la viabilidad del polen y un probable efecto de endogamia. La baja viabilidad de semillas registradas en *A. tequilana* puede deberse a la intensa reproducción asexual a gran escala a la que la especie ha estado sometida y que es característica de las plantaciones comerciales.

Ramírez-Tobías (2016) evaluó la viabilidad y germinación de semillas de *Agave tequilana* Weber Azul y *Agave mapisaga*, para evaluar problemas sobre su reproducción sexual relacionados con la selección artificial. En *A. tequilana* Weber Azul se registró que el 53% de las semillas son potencialmente viables (semillas negras) y de estas semillas negras el 28% no poseían embrión. A diferencia *A. mapisaga* que presentó 70% de semillas potencialmente viables y de estas solo el 1% no presentaron embrión. La diferencia en los porcentajes de viabilidad lo atribuye al posible tipo de sistema de cultivo del cual provienen las plantas, *A. mapisaga* proviene de sistemas de cultivo tradicional y presenta un menor grado de selección artificial, a diferencia de *A. tequilana* Weber Azul que proviene de sistemas de cultivo intensivos por cientos de años.

2.5 Germinación

Se han realizado pocos estudios acerca de la caracterización de semillas de *Agave salmiana*, a pesar de la importante contribución que la reproducción sexual tiene para preservar la variabilidad genética de las poblaciones de agaves.

Al respecto, Vázquez y cols. (2011) caracterizaron semillas de las variantes “Blanco”, “Chino” y “Liso” de *A. salmiana* de San Luis Potosí, en cuanto a sus dimensiones (longitud, ancho y peso), potencial de emergencia y crecimiento inicial. Las semillas de la variante “Blanco” fueron las de menor longitud, ancho y peso, mientras que las de la variante “Chino” fueron las mayores, en tanto las semillas de la variante “Liso” fueron las de mayor peso. Para las tres variantes el mayor porcentaje de emergencia se presentó entre los 21 y 51 días a partir de la siembra, es decir, no se encontró una asociación clara entre las características morfológicas de las semillas y el tiempo de emergencia y el desarrollo de las plántulas.

También se ha evaluado el efecto de otros factores sobre la germinación como son las condiciones ambientales. Ramírez-Tobías y cols. (2014) evaluaron el efecto de la temperatura sobre la germinación de semillas de ocho especies de *Agave*, entre ellas la variante “Chino” de *A. salmiana* del Estado de México. Los resultados revelan que a temperaturas mayores a 60 °C, el porcentaje de germinación disminuye en esta variante.

En el cultivar “Manso” no se ha evaluado la germinación a pesar de que es el más cultivado en el centro de México. En este cultivar la reproducción ha sido de manera clonal, debido a que favorece el establecimiento exitoso de las plantas en menor tiempo; sin embargo, se sabe que este tipo de manejo conlleva a que las plantaciones esporádicamente sean más homogéneas y presenten problemas derivados de la disminución de su diversidad genética (Lara-Ávila y Alpuche-Solís 2016). Un ejemplo de la intensiva propagación clonal es el de *A. tequilana* Weber Azul, para la cual Niño (2013) registró un porcentaje de germinación promedio del 26%, en comparación con otras especies de *Agave* que pueden presentar un porcentaje promedio del 80%. Esto puede ser debido a los efectos de la continua e intensiva reproducción asexual y la

endogamia, dando lugar a una afectación en el desarrollo del polen o mal formaciones en el gametofito femenino (Escobar-Guzmán y cols. 2008).

2.6 Acondicionamiento como tratamiento pregerminativo

La aplicación de tratamientos pregerminativos en semillas de interés agrícola es una técnica ampliamente utilizada en especies de alto interés comercial. Para este tipo de tratamientos las semillas se colocan en soluciones osmóticas o en matrices sólidas, de manera que puedan absorber agua e iniciar la fase temprana de la germinación, pero sin llegar a la protrusión de la raíz. Los tratamientos pre-germinativos promueven la sincronía, mayor velocidad y mayor porcentaje final de germinación y, en algunas especies, también aumenta la velocidad de crecimiento y el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas durante su establecimiento aún en condiciones adversas (Garcíadiago 2014).

El acondicionamiento mátrico, es un tratamiento pre-germinativo cuya aplicación radica en el uso de una matriz sólida que facilite a la semilla la absorción de agua, sin que se produzca la protrusión radicular (Retamal y cols. 1997; Varier y cols. 2010). La finalidad que persigue el acondicionamiento mátrico es el mismo a cualquier otro tratamiento pre-germinativo, pero éste tiene ciertas ventajas, principalmente sobre los acondicionamientos osmóticos, tales como, nula toxicidad hacia las semillas debidas a uso de soluciones osmóticas activas de sales. Se evitan problemas de lixiviaciones de iones, no es necesario el requerimiento de sistemas de oxígeno que eviten reacciones de fermentación. Principalmente son tratamientos nada costosos, fáciles de manipular y sobre todo que pueden aplicarse a una diversidad de cultivos (Retamal y cols. 1997).

Recientemente la eficiencia del tratamiento de acondicionamiento mátrico ha ido más allá de su uso en especies cultivadas agrícolas u ornamentales, sino que, también su uso se ha enfocado a restauración de especies silvestres nativas que se desarrollan en sitios áridos estacionales (González-Zertuche 2005). Muy pocos han sido los estudios de acondicionamiento en *Agave*. Así, Aguilar-Ramírez (2014) evaluó el proceso germinativo de *Agave victoria reginae* con tratamientos de imbibición, con la finalidad de aumentar la capacidad germinativa en semillas

de tres años de almacenamiento; sin embargo, aunque no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, algunos de estos presentaron porcentajes mayores en los índices de velocidad de emergencia.

En el género *Agave* no se ha evaluado el efecto del tratamiento de acondicionamiento mátrico comparando poblaciones con diferentes intensidades de manejo. Rangel (2009), realizó estudios que describen la respuesta germinativa de semillas de *Agave potatorum* proveniente de poblaciones de ambientes de mayor cobertura vegetal y suelos someros (ambiente menos estresante) y, poblaciones de ambientes más abiertos y expuestos a mayor radiación solar (ambiente más estresante) donde observó que las semillas provenientes de ambientes menos estresantes presentan porcentajes más altos de germinación. Sin embargo, en otras especies de zonas áridas como las cactáceas columnares sometidas a diferentes intensidades de manejo se ha evaluado el efecto del estrés hídrico en la germinación y sobrevivencia de plántulas. Encontrando que un porcentaje más alto de plantas silvestres germinan en condiciones de baja disponibilidad de humedad respecto a las cultivadas (Guillen y cols. 2009, 2011 y 2013)

2.7 Sobrevivencia bajo condiciones de estrés hídrico.

Para contribuir con el conocimiento en torno a la tolerancia a las restricciones de humedad, Ramírez-Tobías (2014) midió la respuesta en la asignación de biomasa aérea y radicular en *A. salmiana* y observó que pudo mantener el crecimiento (número de hojas y cobertura) durante la restricción de humedad por 60 días, debido a que los agaves son plantas adaptadas a la aridez y con límites de tolerancia ambiental amplios, sin haber cambios en la biomasa radicular tanto en condiciones de humedad como de su restricción.

Es importante conocer los aspectos fisiológicos de tolerancia de las plántulas ya que, se conoce muy poco. Es de entenderse que en campo abierto las plántulas son más susceptibles a presentar bajos porcentajes de sobrevivencia debido a factores como la alta radiación y la baja disponibilidad de agua o posibilidad de ser depredadas (Sánchez 1989).

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Se desconoce el efecto de la intensidad de manejo de los sistemas de cultivo (tradicional y monocultivo) sobre la diversidad morfológica, la capacidad reproductiva, la germinación de semillas y sobrevivencia de las plántulas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso". De igual forma se desconoce la interacción de la intensidad de manejo y el uso del acondicionamiento como tratamiento pre-germinativo sobre el proceso de germinación y la permanencia de plántulas a través de la sobrevivencia

4. JUSTIFICACIÓN

En el presente trabajo se proporcionará información sobre la variación morfológica y la descripción de la capacidad reproductiva, viabilidad y germinación de las semillas, así como la sobrevivencia de plántulas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso". Dicha información ayudará a comprender los patrones de diversidad morfológica además de ser aporte para futuros trabajos como de diversidad genética en los que se encuentran inmersos los agaves bajo diferentes escenarios de manejo. También se proporcionará información básica para disciplinas como ecofisiología, agronomía y evolución, que podrían ayudar a desarrollar estrategias que permitan incrementar el establecimiento en campo, de agaves obtenidos a partir de semillas y de esta forma poder impulsar la conservación y la producción del maguey pulquero en Tlaxcala.

5. HIPÓTESIS Y PREDICCIONES

Las especies del género *Agave* sometidas durante periodos prolongados a manejo intensivo bajo cultivo muestran reducción en la variación morfológica, capacidad reproductiva, así como una baja viabilidad, germinación y sobrevivencia de semillas y plántulas, por lo cual se proponen las siguientes hipótesis:

H: La intensidad de manejo de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo cultivo reduce su variación morfológica.

P: Las plantas de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" de un sistema de cultivo intensivo presentarán una varianza morfológica menor en sus estructuras vegetativas y reproductivas que las plantas de un sistema de cultivo tradicional.

H: Una mayor intensidad de manejo de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo cultivo expresa características asociadas al síndrome de domesticación.

P: Plantas de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" presentarán longitudes más grandes en altura y diámetro de la roseta, largo de la hoja y distancia entre dientes; longitudes más reducidas en el largo, ancho de los dientes. Así como una menor cantidad de dientes.

H: La intensidad de manejo reduce la capacidad reproductiva de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso".

P: Plantas de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" de un sistema de cultivo intensivo presentarán un índice de capacidad reproductiva menor que las plantas que provienen de un sistema de cultivo tradicional.

H: La intensidad de cultivo reduce la viabilidad, germinación y sobrevivencia de plántulas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso".

P: Las plántulas de semillas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" provenientes de un sistema de cultivo intensivo, presentarán porcentajes de viabilidad, germinación y sobrevivencia menores en comparación con plántulas de un sistema de cultivo tradicional por metepantle.

H: El acondicionamiento mátrico aumenta la germinación de semillas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" teniendo un mayor efecto en semillas con una menor intensidad de manejo.

P: Semillas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" tratadas con acondicionamiento mátrico aumentarán su porcentaje, índice, tiempo medio y velocidad de germinación, además se mostrará un mayor porcentaje, índice, tiempo medio y velocidad de germinación en semillas obtenidas de plantas provenientes de un sistema de menor intensidad de manejo.

H: El acondicionamiento mátrico aumenta la sobrevivencia de plántulas de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo estrés hídrico teniendo un mayor efecto en plántulas provenientes de semillas de plantas con una menor intensidad de manejo.

P: Las plántulas provenientes de semillas tratadas con acondicionamiento mátrico aumentará su porcentaje de sobrevivencia a estrés hídrico comparado con aquellas que no fueron acondicionadas. Además se observará un mayor porcentaje de sobrevivencia en las plántulas provenientes de semillas obtenidas de plantas sometidas a un sistema de menor intensidad de manejo.

6. OBJETIVOS

6.1 General

Analizar el efecto de la intensidad de manejo sobre la producción del maguey pulquero en Tlaxcala mediante el estudio de diversidad morfológica, capacidad reproductiva, análisis de germinación y la evaluación de la sobrevivencia de plántulas bajo dos sistemas de cultivo.

6.2 Específicos

- Evaluar la variación morfológica entre dos sistemas de cultivo con distinta intensidad de manejo, tradicional e intensivo de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso".
- Evaluar las diferencias en los caracteres vegetativos y reproductivos entre plantas de dos sistemas de cultivo con distinta intensidad de manejo, tradicional e intensivo.
- Evaluar el efecto de dos sistemas de cultivo con distinta intensidad de manejo sobre la capacidad reproductiva y viabilidad de plantas de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso".
- Evaluar el efecto del acondicionamiento mátrico sobre la capacidad germinativa de las semillas de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" provenientes de dos sistemas de cultivo con distinta intensidad de manejo.
- Evaluar el efecto de la baja disponibilidad de humedad en el sustrato sobre la sobrevivencia de las plántulas de *A. salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" obtenidas de semillas con y sin acondicionamiento mátrico provenientes de dos sistemas de cultivo con distinta intensidad de manejo.

7. METODOLOGÍA

7.1 Área de estudio

El muestreo se realizó en el municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala, ubicado entre los paralelos 19°27' y 19°34' de latitud norte; 98°26' y 98°38' de longitud oeste y a una altitud entre 2,600 y 3,300 m s.n.m Es un municipio en el que las personas tienen una tradición pulquera muy antigua. En este municipio se reconocieron dos zonas de muestreo, la primera ubicada en el Rancho Grupo Pulmex y la segunda en el rancho de Grupo La Soledad.

Rancho Grupo Pulmex

El Rancho Grupo Pulmex (Fig. 1) cuenta con un área de cuatro hectáreas. Inició en 1920, con parcelas completamente limpias, es decir, que se encontraban completamente desmontadas de vegetación nativa y, además de que no se desarrollaba algún tipo de cultivo sobre ellas (S. Becerra, comunicación personal, 22 de junio de 2020). La primera generación de plantas de maguey que se incorporó a estas parcelas fue de la variedad "Manso" con germoplasma adquirido en el estado de Hidalgo. El manejo inicial que tuvieron estas primeras plantas fue: la limitación de bordos y metepantles complementarios para los cultivos de maíz y trigo. Las plantas que se requirieron para poder cubrir todos los bordos y metepantles dentro de las cuatro hectáreas en los siguientes años, se obtuvo de la misma fuente de germoplasma traída del estado de Hidalgo.



Fig. 1 Sistema de manejo intensivo (monocultivo) de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" de Rancho Grupo PULMEX, Nanacamilpa, Tlaxcala.

Durante los primeros 50 años (5 generaciones), las plantas mantuvieron un manejo tradicional simple, que solo consistía en el deshije (retiro de vástagos clonales de las plantas madre) para reubicarlos en nuevos espacios en conjunto con otras formas de cultivo. Conforme las plantas llegaban a la madurez deseada, se procedía a su capado (retiro del meristemo apical foliar) para la obtención de aguamiel, mismo que se utilizaría para la producción de pulque. Es pertinente mencionar que durante este periodo no se consideraba redituable la producción y venta tanto de plantas como de pulque, debido a la competencia con la cerveza, por lo cual el retiro de vástagos clonales y la extracción de aguamiel era ocasional.

A finales de los años 70's, Grupo Pulmex apostó a la producción de pulque, por lo cual se intensificó el cultivo de planta en las cuatro hectáreas de siembra disponible, erradicando el

sistema de policultivo y sustituyéndolo por el sistema de monocultivo de maguey pulquero. Cabe resaltar que durante los últimos 50 años no se incorporó germoplasma nuevo, las nuevas plantas que se sembraban provenían de las plantas madre de generaciones atrás, es decir, se ha mantenido el germoplasma original de las plantas del estado de Hidalgo por 100 años.

Las nuevas técnicas de manejo que se incorporaron al sistema de monocultivo fueron las siguientes: (a) el deshije que considera a hijuelos con una altura de 30 a 50 cm para poder ser retirados de la planta madre, esta técnica cumple con la función de obtener nuevo material vegetal. Dicha actividad solo es realizada dentro de los primeros 5 años de vida de la planta, ya que después de este tiempo los hijuelos que se llegan a desarrollar son considerados de mala calidad, debido a que presentan un deficiente desarrollo foliar; con este tipo de manejo se ha contabilizado que cada planta puede desarrollar hasta 12 vástagos clonales de buena calidad; (b) los hijuelos obtenidos antes de ser sembrados en las áreas de producción definitivamente, tienen una primera siembra en áreas especiales llamadas “viveros” que son espacios de terrenos preparados con suficiente abono orgánico de origen animal y vegetal, estos viveros tienen dos finalidades, la primera es mejorar el desarrollo de la planta durante dos años, que es el tiempo que permanecen las plantas dentro del vivero y la segunda es seleccionar las plantas más vigorosas que serán trasplantadas de forma definitiva al área de producción. Las características que consideran para llamar una planta como vigorosa es que en poco tiempo alcance una altura de 75 cm, que empiece a desarrollar hijuelos dentro del vivero y que presente hojas anchas, de buen color y en mayor cantidad; (c) la siembra definitiva de la planta se realiza cuando esta ha alcanzado una altura aproximada de 75 cm dentro del vivero, luego es trasplantada y abonada en la zona de producción y, por último, (d) se realizan podas a las plantas cada año con la finalidad de que los nuevos hijuelos se desarrollen bien y que las plantas alcancen una mayor talla.

El manejo intensivo que se lleva a cabo en estas cuatro hectáreas de maguey pulquero tiene la finalidad de mantener una producción constante de 180 L de aguamiel diarios, es decir, por las mañanas se recolectan 100 L aproximadamente y por las tardes 80 L. Mantener esta producción significa aprovechar todo el maguey listo para ser capado, por tal motivo el dejar florecer las

plantas significa una pérdida en el aprovechamiento de aguamiel. En los últimos tres años, el Laboratorio de Ecología Molecular del LBCTV ha mantenido colaboraciones con Rancho Grupo Pulmex para impulsar el fomento de la floración de las plantas.

Rancho "La Soledad"

La historia del Rancho La Soledad es más reciente, ya que se remonta a no más de 50 años (M. Taboada, comunicación personal, 22 de junio de 2020). En ese entonces, ya había presencia de plantas de maguey identificadas como maguey "Manso" en las 42 hectáreas que conforman el rancho.

Durante los primeros 25 años, los hijuelos de las plantas madre ya existentes tuvieron un manejo simple que consistía solo en el trasplante, para la formación de cercas vivas y metepantles junto a cultivos de maíz y trigo. La comercialización de planta y pulque en esos años se encontraba mermada debido a la competencia con la cerveza, por tal motivo, el cultivo de maguey se limitaba solo a la formación de metepantles o linderos. Entre los años 1970-1975 comenzó a resurgir el consumo de pulque, por lo cual los propietarios decidieron hacer una compra de 3,000 plantas de maguey "Manso" en el municipio de Zacatlán, Puebla.

El origen de estas plantas tiene dos fuentes de germoplasma, la primera, a partir de plantas nativas del estado de Tlaxcala y la segunda, de plantas provenientes del estado de Puebla. El manejo que se desarrolló para el cultivo del maguey en estas parcelas se describe a continuación:

- (a) el retiro de los hijuelos se realiza cuando estos alcanzan una altura de 50 cm aproximadamente, esta actividad se realiza de forma ocasional;
- (b) los vástagos clonales obtenidos en el deshije se siembran de forma definitiva en linderos o en nuevos metepantles;
- (c) su siembra definitiva va acompañada por una dosis de abono orgánico, lo cual es considerado el único momento en que la planta recibe algún tipo de fertilizante durante todo su desarrollo;
- (d) la poda de las plantas solo se realiza en dos momentos del desarrollo, el primero durante el deshije y el segundo al año de ser sembradas y, por último, (e) los cuidados de mantenimiento como la eliminación de maleza alrededor de las plantas es casi nulo.

Se puede considerar que el manejo de las plantas del Rancho la Soledad es menos intensivo, limitado solo a la formación de metepantles (Fig. 2), por lo que el cuidado en el desarrollo de las plantas es muy deficiente. A pesar de que el Rancho La Soledad consta de 42 hectáreas, la producción de aguamiel al día es de 60 a 70 L, es decir, por las mañanas se obtienen entre 30 y 40 L y por la tarde 20 L. Es importante destacar que en esta parcela se han favorecido eventos de reproducción sexual por la falta de explotación. En los últimos cuatro años, se ha favorecido la floración de plantas para apoyar eventos turísticos.



Fig. 2 Sistema de manejo tradicional (metepantle) de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" de Rancho La Soledad, Nanacamilpa, Tlaxcala.

7.2 Diversidad morfológica

Para evaluar la diversidad morfológica dentro del cultivar "Manso" se llevó a cabo un muestreo por conveniencia. Se eligió este tipo de muestreo no probabilístico basado en plantas que estuvieran disponibles de acuerdo con su desarrollo fisiológico, es decir que la planta estuviera próxima a desarrollar su escapo floral. Como unidad de análisis se tienen individuos de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso". La primera muestra se encuentra integrada por 11 individuos del rancho "La Soledad" medidos en 2017-2018 en tanto la segunda muestra cuenta con 7 individuos de rancho "Grupo Pulmex" medidos en 2018-2019. La mayoría de los caracteres morfológicos que se evaluaron para este estudio, han sido considerados en trabajos previos en la especie *A. salmiana* o en la sección (Vargas-Ponce y cols. 2007, Alfaro y cols. 2017 y Rivera-Lugo y cols. 2018).

El trabajo de campo constó de tres periodos de muestreo. Durante el primer periodo se midieron caracteres morfológicos vegetativos de la roseta (Fig.3), el segundo consistió en la medición de caracteres morfológicos de flores y en el tercer y último periodo se midieron caracteres morfológicos de toda la inflorescencia (Fig.4) realizando la recolección de frutos y semillas. En total, se midieron 61 caracteres morfológicos de los cuales 18 son caracteres vegetativos y 43 son reproductivos (Tablas 1 y 2).

Para los caracteres vegetativos el número, ancho y largo de dientes se obtuvo el promedio por planta. En el caso de los caracteres reproductivos se consideraron promedios de 25 flores y 9 frutos por planta. Mientras que para la descripción de las semillas se consideró el promedio de 9 semillas por fruto y después se estimó un promedio general por planta. Se consideró un mayor número de caracteres morfológicos reproductivos de acuerdo con un consenso del número mínimo y máximo que se han considerado en estudios previos

Tabla 1. Lista de caracteres morfológicos vegetativos evaluados en *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso", en Nanacamilpa, Tlaxcala.

CARACTERES MORFOLÓGICOS	VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
Vegetativos	Cuantitativas	Razón	Altura de la roseta (m)
			Promedio del diámetro de la roseta (m)
			Grosor de la cutícula (mm)
			Largo de la hoja (cm)
			Ancho a la mitad de la hoja (cm)
			Ancho de la base de la hoja (cm)
			Grosor de la base de la hoja (cm)
			Largo de la espina terminal (mm)
			Diámetro de la base de la espina terminal (mm)
			Distancia al primer diente (cm)
	Distancia entre dientes (mm)		
	Largo del diente (mm)		
	Ancho del diente (mm)		
	Cualitativas	Discreta	Número de hojas totales
			Número de dientes de una hoja
Nominales			Forma de la espina terminal de una hoja
			Forma del diente

Tabla 2. Lista de caracteres morfológicos reproductivos evaluados en *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso", en Nanacamilpa, Tlaxcala.

CARACTERES MORFOLÓGICOS	VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
Reproductivos	Cuantitativa	Razón	Altura total de la inflorescencia (m)
			Distancia del ovario al filamento (mm)
			Largo de la inflorescencia (m)
			Largo del pistilo (mm)
			Largo del tallo de la inflorescencia (m)
			Largo de la cabeza del pistilo (mm)
			Diámetro del tallo de la inflorescencia (cm)
			Diámetro del pistilo (mm)
			Largo de la rama más larga (m)
			Largo del filamento (mm)
			Largo de la bráctea (cm)
			Diámetro del filamento (mm)
			Longitud de la base de la bráctea (cm)
			Largo de la antera (mm)
			Ancho a la mitad de la bráctea (cm)
			Diámetro de la antera (mm)
			Largo de la espina de la bráctea (mm)
			Largo del estípite (mm)
			Diámetro de la espina de la bráctea (mm)
			Diámetro del estípite (mm)
			Largo de cada rama (cm)
			Largo de la cápsula (mm)
			Largo de cada subrama (cm)
			Ancho de la cápsula (mm)
	Largo total de la flor (mm)		
	Longitud de la hoja carpelar (mm)		
	Largo de la base de la flor (mm)		
Ancho de la hoja carpelar (mm)			
Largo del tubo floral (mm)			
Largo del pedicelo (mm)			
Diámetro del tubo floral (mm)			
Ancho del pedicelo (mm)			
Largo de los tépalos (mm)			
Largo de la semilla (mm)			
Largo del ovario (mm)			
Ancho de la semilla (mm)			
Discreta	Razón	Distancia del ovario al pistilo (mm)	
		Número total de ramas	
		Número de semillas inviables	
Nominal	Discreta	Número total de brotes	
		Número de semillas viables	
		Número total de semillas	
Cualitativa	Nominal	Forma de la espina de la bráctea	Presencia de apículo

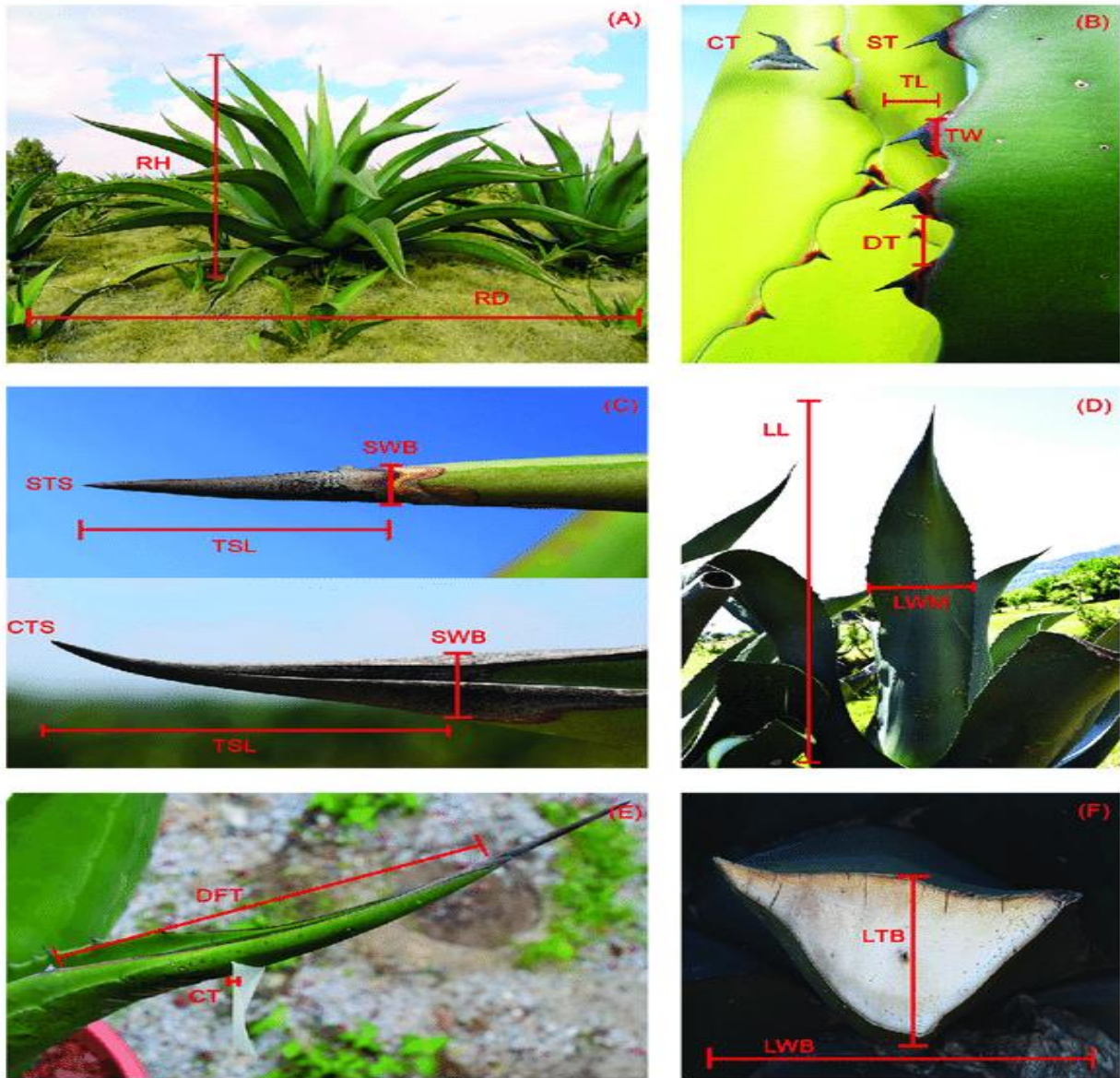


Fig. 3 Caracteres morfológicos vegetativos. **A)** RH. Altura de la roseta, RD. Diámetro de la roseta; **B)** DT. Distancia entre dientes, TW. Ancho del diente, LT. Largo del diente, CT. Diente curvo, ST. Diente recto; **C)** TSL. Largo de la espina de la hoja, SWB. Diámetro de la base de la espina, STS. Espina recta, CTS. Espina curva; **D)** LL. Largo de la hoja, LWM. Ancho de la hoja de la hoja; **E)** DFT. Distancia al primer diente, CT. Grosor de cutícula; **F)** LTB. Largo de la base de la hoja, LWB. Grosor de la base de la hoja. (Tomado de Trejo *et al.* 2020).

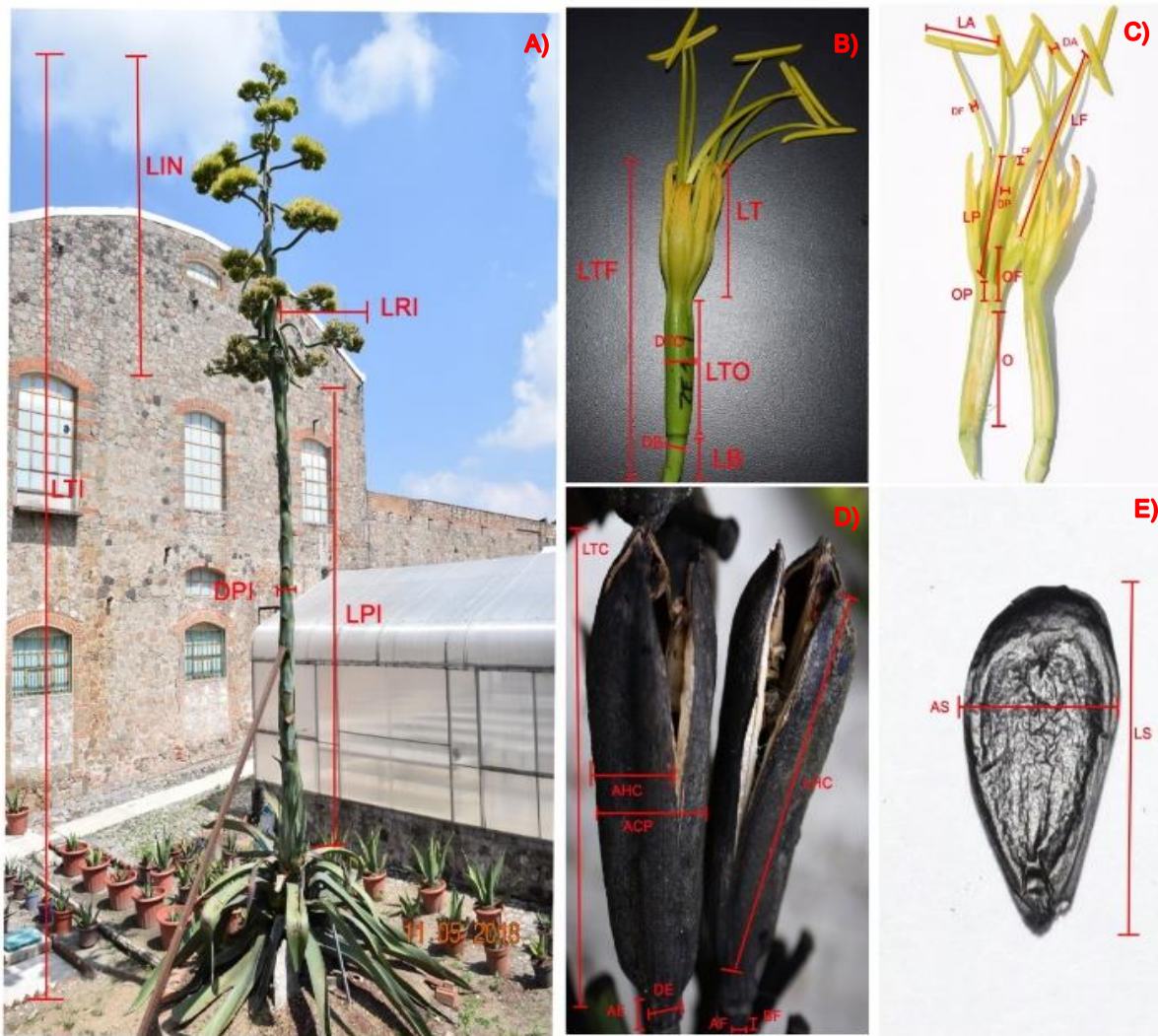


Fig. 4 Caracteres morfológicos reproductivos. **A)** LTI. Altura total de la inflorescencia, LPI. Longitud del tallo de la inflorescencia, LIN. Longitud de la inflorescencia, DPI. Diámetro del tallo de la inflorescencia, LRI. Longitud de la rama más larga; **B)** LTF. Largo total de la flor, LB. largo de la base de la flor, LTO. largo del tubo, LT. largo de los tépalos, DTO. Diámetro del tubo; **C)** O. Largo del ovario, OP. Distancia del ovario al pistilo, OF. distancia del ovario al filamento, LP. largo del pistilo, CP. largo de la cabeza del pistilo, DP. diámetro del pistilo, LF. Largo del filamento, DF. Diámetro del filamento, LE. Largo de la antera, DE. Diámetro de la antera; **D)** DE. Diámetro del estípite, AE. Largo del estípite, LTC. Largo de la cápsula, ACP. Ancho de la cápsula, LHC. Largo de la hoja carpelar, AHC. Ancho de la hoja carpelar, BF. Largo del pedicelo, AF. Ancho del pedicelo; **E)** LS. Largo de la semilla, AS. Ancho de la semilla.

7.2.1 Análisis estadístico de la diversidad morfológica

Se realizó estadística descriptiva de los caracteres morfológicos, se obtuvo la media y mediana como medidas de tendencia central, y el error estándar, el coeficiente de variación y varianza como medidas de dispersión. Se realizó una prueba de F para analizar la variación morfológica de cada carácter vegetativo y reproductivo de los sistemas de manejo, tradicional e intensivo.

A partir de la prueba de F se evaluó la homocedasticidad de ambos sistemas de manejo así como también su normalidad a través de la prueba Shapiro Willk como pruebas a priori para un análisis comparativo entre los dos sistemas de cultivo. Para determinar si la mediana de los caracteres morfológicos difiere entre poblaciones, se realizó una prueba de U-Mann Whitney. Estos primeros análisis se realizaron con el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25 (International Business Machines [IBM] 2017). Para evaluar la relación entre caracteres vegetativos y reproductivos así como la existencia de caracteres correlacionados, se realizó una matriz de correlación de Spearman bajo el supuesto de que no todas las variables cumplen con una distribución normal y algunas de estas son de tipo discreto. Se realizó un diagrama de correlación “heatmap” con ayuda de la librería corrplot en el software Rstudio (RStudio Team 2020).

Se realizó un análisis de Clúster jerárquico con una matriz de un tamaño de 54 caracteres morfológicos para la visualización de agrupamientos, para lo cual se utilizaron las librerías tidyverse, readxl, factoextra, FactoMineR, NbClust, cluster, clustertend, clValid, ggpubr, ggpubr, psych y corrplot en el software Rstudio (RStudio Team 2020). También se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para evaluar la distribución de los caracteres morfológicos en un plano cartesiano, analizar patrones de similitud morfológica entre los individuos. La evaluación de las diferencias de las agrupaciones se realizó mediante un análisis discriminante bajo el estadístico de λ de Wilks, mediante el software IBM SPSS statistics Versión 25.0 (IBM 2013).

7.3 Capacidad reproductiva

Para determinar la capacidad reproductiva de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" se determinó el Índice de Capacidad Reproductiva (Fórmula 1) global para la variedad, así como por sistema de manejo (Colunga 1996). Se realizaron las pruebas *a priori* de Shapiro Wilk y Levene para analizar la normalidad y la homocedasticidad de las varianzas. Para evaluar si existen diferencias entre las medias de la capacidad reproductiva de los dos sistemas de manejo se realizó una prueba de T-Student. Los análisis estadísticos se realizaron en el software IBM SPSS statistics Versión 25.0 (IBM 2013).

$$ICR = \frac{SN}{ST}$$

Fórmula 1. Dónde: ICR= Índice de Capacidad Reproductiva, SN= Promedio del número de semillas negras de 9 frutos por planta y ST= Promedio del número de semillas totales de nueve frutos por planta.

7.4 Prueba de viabilidad de semillas

La viabilidad de las semillas negras (semillas potencialmente viables) se realizó a través de una prueba de tetrazolio, ésta es una prueba topográfica bioquímica que evalúa la viabilidad de las semillas mediante la actividad de las células y tejidos vivos, actividad que se ve reflejada en una tinción color rojo de los tejidos que conforman el interior de la semilla (ISTA 2019). Dicha tinción se debe a la actividad enzimática en la reducción del cloruro 2, 3, 5- trifeniltetrazolio en los tejidos vivos. Para esta prueba así como para los análisis de germinación y sobrevivencia planteados en este estudio se analizaron semillas de cinco plantas por sistema de manejo, ya que en algunos casos la existencia de un número adecuado de frutos fue muy bajo, dificultando obtener el número mínimo de semillas potencialmente viables.

Para la prueba de tetrazolio se utilizaron 50 semillas por planta, es decir, 250 semillas de cinco plantas del sistema de manejo tradicional y 250 semillas de cinco plantas del sistema de manejo intensivo. Se formaron diez unidades de observación y cada unidad se conformó por 50 semillas, cada grupo de 50 semillas se colocó en frascos de vidrio donde las semillas se dejaron embebiendo en agua destilada durante 24 horas. Antes de colocar la solución de tetrazolio, se

realizó una incisión con bisturí paralela al eje hipocótilo, para facilitar la entrada de la solución de sales a la semilla. Una vez concluidas las incisiones en cada frasco con semillas se agregaron 100 ml de solución de 2,3,5-trifenil tetrazolio al 1% durante 24 horas. Las semillas se dejaron reposar dentro de una incubadora en completa oscuridad a una temperatura constante de 25°C (Niño 2013).

Posteriormente, se realizó la observación de la tinción de los embriones. La viabilidad del embrión se definió con base en el patrón de tinción, considerando el siguiente criterio: embriones teñidos de color rojo en su totalidad o 2/3 partes de este, fueron considerados viables (ISTA 2019), los embriones que no cumplieran este criterio se consideraron inviables. La viabilidad se expresó en porcentaje (Fórmula 2) y se llevó a cabo una prueba de Chi-cuadrada de independencia (χ^2) a partir de una tabla de contingencia 2x2 para evaluar si la viabilidad de las semillas obtenida depende del tipo de manejo.

$$V = \frac{Ns}{NT} \times 100$$

Fórmula 2. Dónde: V= viabilidad, Ns= número de semillas teñidas y NT= número total de semillas

La inviabilidad de las semillas negras se clasificó de la siguiente manera: “semillas sin embrión”, “semillas con embrión” y “semillas sin embrión y sin endospermo”. Se realizó una prueba Chi-cuadrada de independencia (χ^2) para evaluar si la viabilidad de las semillas obtenida depende del tipo de manejo. Para ello se realizó una tabla de contingencia 2x3. Los análisis estadísticos para evaluar la inviabilidad e inviabilidad se realizaron en el software IBM SPSS statistics Versión 25.0 (IBM 2013).

7.5 Acondicionamiento mátrico

Antes de someter las semillas al tratamiento de acondicionamiento mátrico, fueron desinfectadas a través de diferentes sumersiones: primero en una solución jabonosa de detergente líquido comercial durante 20 minutos, seguido de un primer enjuague con agua destilada, después se sumergieron en una solución de etanol al 70% durante un minuto, continuando con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 3% donde permanecieron sumergidas durante 10 minutos. Como último paso, las semillas se pasaron por 3 enjuagues con agua destilada (Santacruz-Ruvalcaba y cols. 1999; Flores y cols. 2008).

El sustrato que se utilizó como matriz sólida para el acondicionamiento mátrico fue turba natural de la marca comercial REKYVA, la cual se esterilizó en una autoclave industrial a una temperatura de 121 °C, a una presión de 15 libras sostenida por 15 minutos. Una vez esterilizado, se humedeció hasta la saturación y se dejó drenar el excedente de agua por un periodo de 24 a 48 horas hasta llegar al punto de capacidad de campo (Fórmula 3), el cual, se define como la cantidad máxima de agua que un suelo puede retener contra el drenaje ante el efecto de gravedad (Aguilera y Martínez 1980).

$$PW = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$$

Fórmula 3. Dónde: PW= % de humedad, con base al peso del suelo seco; Psh= Peso de suelo húmedo (gr) y Pss= Peso de suelo seco (gr).

Posteriormente, se llenaron 10 tinas de aluminio con capacidad de 4 litros con la matriz sólida o sustrato (cada tina estuvo asignada a una planta). En cada tina se enterraron 9 bolsitas de yute sintético (5 x 5 cm) desinfectadas, cada bolsita contiene 10 semillas muy bien distribuidas para asegurar que cada una estuviera en contacto con el sustrato. Para este tratamiento previo a la germinación, se emplearon entonces 90 semillas por planta, es decir, 450 semillas provenientes del sistema de manejo tradicional y 450 semillas del sistema de manejo intensivo.

Las tinas se cubrieron con papel aluminio para asegurar que las semillas fueran mantenidas en condiciones de completa oscuridad. Las semillas permanecieron dentro de la matriz sólida durante 48 horas a temperatura ambiente (15°-25 °C). Transcurrido este tiempo se retiraron y se enjuagaron con agua destilada para retirar restos del sustrato, se colocaron en servilletas de papel absorbente para retirar el exceso de agua y como último paso se dejaron secar a temperatura ambiente y completa oscuridad durante 48 horas (Taylor et al. 1988).

7.6 Germinación

Para el proceso de germinación se emplearon semillas de cinco plantas de sistema de manejo tradicional y cinco plantas del sistema de manejo intensivo. Por cada planta se germinaron 180 semillas de las cuales 90 semillas recibieron previamente acondicionamiento mátrico y 90 semillas (previamente desinfectadas) que constituyeron el grupo control.

Se sembraron sobre la superficie de un sustrato compuesto por una mezcla de turba, perlita, vermiculita y tierra negra contenido en bolsas negras de siembra de polietileno del #1. El porcentaje de humedad se controló en todas las bolsas de siembra durante el proceso de germinación. Cada mesa de trabajo sobre las que se colocaron las bolsas de siembra se cubrió con un hule transparente con la finalidad de mantener una humedad constante durante el proceso de germinación y asegurar que las futuras plántulas crecieran de forma directa en el sustrato, de esta manera se evitarían trasplantes y factores de confusión.

El experimento se llevó a cabo en el invernadero uno que se encuentra dentro de las instalaciones del Laboratorio Regional de Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales, IB-UNAM, sede Tlaxcala. Este invernadero mantiene una temperatura promedio de 18.5 ± 2.2 °C y $56.6 \pm 10.2\%$ de humedad relativa.

7.6.1 Análisis descriptivo de la germinación

Diariamente, durante 60 días, se registró el número de semillas germinadas. Con los datos obtenidos, se calculó el *porcentaje de germinación final* (Fórmula 4) que indica la proporción de semillas que son capaces de germinar en un tiempo determinado, el *tiempo medio de germinación* (Fórmula 5) que evalúa la medida del tiempo promedio que necesitan las semillas para germinar (Come 1968), la *velocidad de germinación* (Fórmula 6), que permite determinar la relación del número de semillas germinadas con el tiempo de germinación y, por último, el *índice de germinación* (Fórmula 7), el cual proporciona una medida del tiempo de germinación en relación con la capacidad germinativa de la semilla (González-Zertuche y Orozco-Segovia 1966).

Fórmula 4	Porcentaje de germinación final	$PG = \left(\frac{N}{N_s}\right) \times 100$	PG= porcentaje de germinación N= Número de semillas germinadas N _s = Numero de semillas totales
Fórmula 5	Tiempo medio de germinación	$T = \frac{\sum(n_i t_i)}{\sum n_i}$	T= Tiempo promedio de germinación t _i = número de días después de la siembra n _i = número de semillas germinadas el día i
Fórmula 6	La velocidad de germinación	$M = \sum \left(\frac{n_i}{t}\right)$	M= Velocidad de germinación n _i = número de semillas germinadas el día i t= tiempo de germinación de la última semilla
Formula 7	Índice de germinación	$IG = \frac{\sum(n_i t_i)}{N}$	IG= índice de germinación n _i = número de semillas germinadas al día i t= número de días después de la siembra N= total de semillas sembradas

El diseño que se usó para evaluar la germinación bajo los factores: tipo de sistema de manejo y acondicionamiento mátrico, es un diseño factorial 2x(2) de tipo mixto, donde la intensidad de manejo (A) es el primer factor de tipo aleatorio, debido a que son dos sistemas de manejo diferentes. Este factor incluyó dos niveles: el primero es el sistema de manejo tradicional (metepantle) (A1) y el segundo es el sistema de manejo intensivo (monocultivo) (A2). El segundo factor fue el tratamiento pregerminativo (B) y se asignó como un factor de medidas repetidas, ya que se obtendrán múltiples valores en el tiempo. Este factor se conformó por dos

niveles, el primero fue acondicionamiento mátrico (B1) y el segundo, el grupo control o sin acondicionamiento mátrico (B2).

Como unidad experimental se consideró una planta de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso". Para este primer experimento se tuvieron 5 unidades experimentales por sistema de manejo, es decir 10 unidades experimentales por todo el experimento (N=10). Por cada planta se evaluaron 180 semillas, 90 semillas que se sometieron a acondicionamiento mátrico y 90 semillas que funcionaron como grupo control. De esta forma, para cada sistema de manejo se tuvo un total de 900 semillas, por lo cual para este experimento se germinaron un total de 1800 semillas.

De esta manera nuestro diseño mixto se establece como un diseño 2x(2):

n = 5 unidades experimentales asignadas a cada tratamiento

K = 4 tratamientos (A1B1, A1B2, A2B1 y A2B2)

N = A x (B) x n = 10 unidades experimentales

a= (B) x n = 5

b= A x n = 10

De este diseño se formulan las siguientes preguntas:

- 1 ¿Cuál es el efecto de la intensidad de manejo sobre la germinación?
- 2 ¿Cuál es el efecto del acondicionamiento mátrico sobre la germinación?
- 3 ¿Existe un efecto de interacción entre los factores intensidad de manejo y acondicionamiento mátrico sobre la germinación?

El diseño experimental se evaluó de forma independiente para tiempo medio, velocidad, índice y porcentaje final de germinación, bajo un modelo lineal general (GLM) en el software IBM SPSS Statistics Versión 25.0 (IBM 2013).

7.7 Sobrevivencia

Para esta parte del proyecto, se evaluó la sobrevivencia de las plántulas obtenidas en el experimento anterior, con el mismo diseño experimental. Para conformar los grupos de observación, las plántulas se fueron considerando para cada grupo hasta que desarrollaron su primera hoja verdadera, con la finalidad de compensar la nula uniformidad en el proceso de germinación.

Todas las plántulas se sometieron a lapsos de restricción de humedad, es decir se realizó un riego a capacidad de campo cada dos meses durante 6 meses. Para evaluar el éxito de establecimiento se estimó la sobrevivencia a través del conteo cada mes del número de plantas vivas, respecto a las muertas, donde se considera como planta muerta aquella en la que sus hojas se hubieran secado completamente.

De igual forma la sobrevivencia se evaluó bajo un diseño mixto de dos factores: tipo de sistema de manejo y tratamiento de germinación, donde el factor tipo de sistema de manejo (A), es de tipo aleatorio, debido a que son dos sistemas de manejo diferente. Este factor incluyó dos niveles: el primero es sistema de manejo tradicional (metepantle) (A1) y el segundo manejo intensivo (monocultivo) (A2). El segundo factor de medidas repetidas es el tratamiento de germinación del que provienen las plántulas, conformado por dos niveles, plántulas obtenidas de semillas que tuvieron acondicionamiento mátrico (B1) y plántulas que provienen de semillas control (B2).

Se contemplaron las mismas 10 unidades experimentales del diseño anterior (5 unidades experimentales por cada sistema de manejo). Considerando que no germinó el 100% de semillas para este segundo experimento se ajustó al mínimo de plántulas germinadas. Como mínimo se buscó analizar 30 plántulas por unidad experimental, es decir 150 plántulas con acondicionamiento mátrico y 150 plántulas sin acondicionamiento para cada grupo de sistema de manejo, con un total de 1200 plántulas para evaluar sobrevivencia.

De esta forma nuestro diseño mixto se establece como un diseño 2 x (2):

$n = 5$ unidades experimentales asignadas a cada tratamiento

$K = 4$ tratamientos (A1B1, A1B2, A2B1 y A2B2)

$N = a \times (B) \times n = 10$ unidades experimentales

$$a = (B) \times n = 5$$

$$b = A \times n = 10$$

De este diseño se formulan las siguientes preguntas:

- 1 ¿Cuál es el efecto de la intensidad de manejo sobre la sobrevivencia de las plántulas?
- 2 ¿Cuál es el efecto del acondicionamiento mátrico sobre la sobrevivencia de las plántulas?
- 3 ¿Existe un efecto de interacción de los factores intensidad de manejo y acondicionamiento mátrico sobre la sobrevivencia de las plántulas?

El diseño experimental se evaluó bajo un modelo lineal general (GLM) en el software IBM SPSS Statistics Versión 25.0 (IBM 2013).

8. RESULTADOS

8.1 Diversidad morfológica

Se realizaron análisis de estadística descriptiva con 54 caracteres morfológicos vegetativos y reproductivos. Un carácter vegetativo y 3 caracteres reproductivos se descartaron por no presentar variación, mientras que un carácter vegetativo y 2 caracteres reproductivos fueron eliminados debido que al momento de ser considerados dentro de los análisis resultan sesgados por ser valores mínimos y máximos debido a la forma de desarrollo (Tabla. 3).

Tabla 3. Caracteres morfológicos descartados para los análisis comparativos y multivariados.

CARACTERES MORFOLÓGICOS	DESCRIPCIÓN
Vegetativos	Forma de la espina de la hoja Forma del diente
Reproductivos	Forma de la espina de la bráctea Largo de la hoja carpelar Largo de cada rama Largo de cada subrama Presencia de ápulo

La comparación de las varianzas de los caracteres vegetativos y reproductivos de los dos sistemas de manejo (Tablas 4-7) muestran que nueve de 54 caracteres morfológicos presentaron diferencias entre sus varianzas, es decir que, el 16.66% de la variación observada es diferente significativamente. Esta diferencia corresponde a ocho caracteres vegetativos y a un carácter floral.

Los ocho caracteres vegetativos que presentaron diferencias significativas corresponden con la *altura de la roseta, grosor de la hoja, diámetro de la base de la espina largo de la espina terminal, número de dientes, número total de hojas, ancho del diente, distancia entre dientes.*

Se puede observar que seis de estos ocho caracteres vegetativos presentan una variación reducida correspondiente con un sistema de manejo intensivo (Figura 5).



Fig. 5 Boxplot de caracteres morfológicos vegetativos que presentaron diferencias significativas entre sus varianzas de plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo un sistema de manejo intensivo y tradicional.

El único carácter reproductivo que presentó diferencia significativa entre las varianzas fue la *distancia del ovario al filamento* ($F=0.219$, $gl=1$, $P=0.038$), presentando una varianza menor para el sistema de manejo intensivo (Figura 6).



Fig. 6 Boxplot de la medida de distancia del ovario al filamento que muestran diferencias significativas entre las varianzas de plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo un sistema de manejo intensivo y uno tradicional.

De 15 caracteres morfológicos vegetativos solo tres presentaron diferencias significativas (Fig. 7): *ancho a la mitad de hoja*, *promedio de la distancia entre dientes* y *promedio en el largo del diente*.

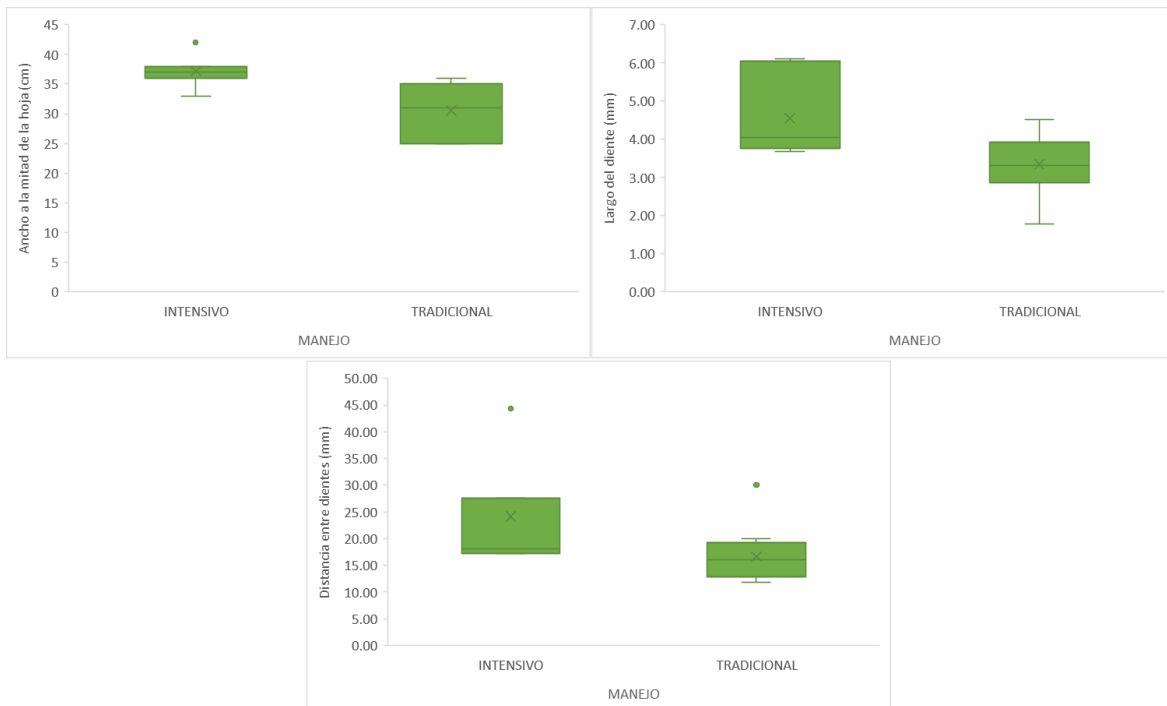


Fig. 7 Boxplot de caracteres morfológicos vegetativos de plantas provenientes de un manejo tradicional e intensivo que presentaron diferencias significativas entre sus medianas.

1 Tabla 4. Descriptores estadísticos de los caracteres vegetativos de las plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" del Rancho La
 2 Soledad y del Rancho Grupo Pulmex.
 3

CARACTERES MORFOLÓGICOS	MANEJO	MEDIA ± E.E	MEDIANA	C.V	VARIANZA	F	P	U	P
ALTURA (m)	INTENSIVO	2.7 ± 0.0597	2.74	0.058	0.025	0.197	0.03	39.5	0.928
	TRADICIONAL	2.702 ± 0.107	2.78	0.131	0.126				
ANCHO BASE DE LAHOJA (cm)	INTENSIVO	56.143 ± 1.933	57	0.091	26.143	0.96	0.5	50.5	0.275
	TRADICIONAL	53.182 ± 1.571	53	0.098	27.164				
ANCHO A LA MITAD DE HOJA (cm)*	INTENSIVO	37.143 ± 1.01	37	0.072	7.143	0.41	0.14	73	0.002
	TRADICIONAL	30.545 ± 1.253	31	0.136	17.273				
CUTICULA (mm)	INTENSIVO	0.114 ± 0.00369	0.11	0.043	0.00002	0.87	0.45	36.5	0.845
	TRADICIONAL	0.303 ± 0.0972	0.12	0.045	0.00003				
DIÁMETRO BASE ESPINA TERMINAL	INTENSIVO	9.179 ± 0.207	9.31	0.060	0.299	0.05	0.0009	59	0.063
	TRADICIONAL	7.929 ± 0.714	7.94	0.299	5.609				
GROSOR DE LA HOJA (cm)	INTENSIVO	23.714 ± 1.742	22	0.194	21.238	5.21	0.01	57	0.084
	TRADICIONAL	21.545 ± 0.608	21	0.094	4.073				
LARGO DE LA HOJA (cm)	INTENSIVO	205.714 ± 3.896	203	0.050	106.238	0.28	0.07	28.5	0.365
	TRADICIONAL	209.091 ± 5.8	219	0.092	370.091				
LARGO_ESPINA TERMINAL(mm)	INTENSIVO	56.653 ± 2.116	57.19	0.099	31.339	0.19	0.03	38	0.963
	TRADICIONAL	54.67 ± 3.789	57.8	0.230	157.923				
N° DE DIENTES	INTENSIVO	99.714 ± 2.485	103	0.066	43.238	0.104	0.005	17	0.051
	TRADICIONAL	117.636 ± 6.14	114	0.173	414.655				
N° TOTAL_HOJAS	INTENSIVO	60.429 ± 1.152	59	0.050	9.286	0.125	0.009	44.5	0.586
	TRADICIONAL	60.182 ± 2.59	58	0.143	73.764				
PROMEDIO ANCHO DIENTE (mm)	INTENSIVO	7.763 ± 0.244	7.802	0.083	0.418	0.166	0.01	37	0.891
	TRADICIONAL	8.051 ± 0.478	7.575	0.197	2.510				
PROMEDIO DIAMETROS ROSETA (m)	INTENSIVO	4.042 ± 0.164	4.285	0.107	0.189	0.69	0.33	4.28	0.277
	TRADICIONAL	4.309 ± 0.157	4.35	0.121	0.272				
PROMEDIO DISTANCIA AL PRIMER DIENTE	INTENSIVO	19.286 ± 1.588	18.5	0.218	17.655	1.25	0.35	30	0.440
	TRADICIONAL	21.041 ± 1.129	21.5	0.178	14.025				
PROMEDIO DISTANCIA ENTRE DIENTES (mm)*	INTENSIVO	24.151 ± 3.788	18.166	0.415	100.459	3.46	0.04	61	0.044
	TRADICIONAL	16.543 ± 1.623	16.104	0.325	28.974				
PROMEDIO LARGO DIENTE (mm)*	INTENSIVO	4.544 ± 0.403	4.038	0.235	1.140	1.646	0.23	63	0.026
	TRADICIONAL	3.345 ± 0.251	3.313	0.249	0.692				

6 Tabla 5. Descriptores estadísticos de los caracteres de la inflorescencia de las plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana*
 7 "Manso" de Rancho La Soledad y del Rancho Grupo Pulmex.
 8

CARACTERES MORFOLÓGICOS	LOCALIDAD	MEDIA ± E.E	MEDIANA	C.V	VARIANZA	F	P	U	P
ALTURA TOTAL DE LA INFLORESCENCIA(m)	INTENSIVO	11.401 ± 0.114	11.35	0.027	0.091	0.107	0.006	53	0.479
	TRADICIONAL	11.137 ± 0.278	11.09	0.083	0.853				
ANCHO DE LA BASE_BRÁCTEA (cm)	INTENSIVO	15.836 ± 0.695	16.22	0.116	3.381	0.531	0.227	39	0.964
	TRADICIONAL	15.836 ± 0.76	16.2	0.159	6.357				
DIÁMETRO DE LA ESPINA_BÁCTEA (mm)	INTENSIVO	3.447 ± 0.119	3.47	0.065	1.028	0.226	0.041	52	0.246
	TRADICIONAL	3.089 ± 0.2	2.99	0.228	9.245				
DIÁMETRO DEL TALLO_INFLORESCENCIA(cm)*	INTENSIVO	17.286 ± 0.421	17	0.064	1.238	0.12	0.009	10.5	0.011
	TRADICIONAL	21 ± 0.953	21	0.151	10.000				
LARGO DE LA BASE_BRÁCTEA (cm)	INTENSIVO	26.854 ± 0.7	27.11	0.069	3.434	0.496	0.202	42	0.751
	TRADICIONAL	26.291 ± 0.793	26.8	0.100	6.911				
LARGO DE LA BRÁCTEA (cm)	INTENSIVO	54.29 ± 0.643	54.1	0.031	2.891	0.071	0.002	17	0.052
	TRADICIONAL	60.673 ± 1.922	59.6	0.105	40.618				
LARGO DE LA ESPINA_BRÁCTEA (mm)	INTENSIVO	15.51 ± 0.383	15.11	0.065	1.028	0.111	0.007	56	0.126
	TRADICIONAL	13.335 ± 0.917	13.92	0.228	9.245				
LARGO DE LA RAMA MÁS LARGA(m)	INTENSIVO	1.406 ± 0.0462	1.4	0.087	0.015	0.612	0.283	59.5	0.057
	TRADICIONAL	1.245 ± 0.0471	1.22	0.126	0.024				
N° TOTAL DE FLORESs*	INTENSIVO	6959 ± 560.887	6678	0.213	2202156.000	0.469	0.183	12	0.016
	TRADICIONAL	9501.818 ± 653.191	9105	0.228	4693236.364				
N° TOTAL RAMAS	INTENSIVO	31.286 ± 0.714	31	0.060	3.571	0.279	0.066	28.5	0.36
	TRADICIONAL	32.818 ± 1.077	33	0.109	12.764				
LARGO DE LA INFLORESCENCIA (m)	INTENSIVO	3.626 ± 0.193	3.54	0.141	0.261	0.228	0.04	41	0.821
	TRADICIONAL	3.686 ± 0.322	3.85	0.290	1.140				
LARGO DEL TALLO DE LA INFLORESCENCIA (m)	INTENSIVO	5.007 ± 0.152	5.09	0.080	0.161	0.254	0.053	52	0.221
	TRADICIONAL	4.36 ± 0.24	4.27	0.182	0.631				

11 Tabla 6. Descriptores estadísticos de los caracteres reproductivos florales de las plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana*
 12 "Manso" de Rancho La Soledad y del Rancho Grupo Pulmex.
 13

CARACTERES MORFOLÓGICOS	LOCALIDAD	MEDIA ± E.E	MEDIANA	C.V	VARIANZA	F	P	U	P																																																																																																																																																																																																													
LARGO DE LA CAPEZA DEL PISTILO (mm)**	INTENSIVO	3.733 ± 0.112	3.765	0.080	0.088	1.508	0.269	71	0.002																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	3.242 ± 0.0729	3.321	0.075	0.058					DIÁMETRO DE LA ANTERA (mm)*	INTENSIVO	3.318 ± 0.148	3.146	0.118	0.154	2.842	0.063	68	0.006	TRADICIONAL	2.873 ± 0.0701	2.924	0.081	0.054	DIÁMETRO DEL ESTAMBRE (mm)*	INTENSIVO	2.75 ± 0.0559	2.689	0.054	0.022	0.36	0.116	57	0.104	TRADICIONAL	2.533 ± 0.0736	2.624	0.096	0.060	DIÁMETRO DEL PÍSTILO (mm)	INTENSIVO	2.718 ± 0.0694	2.672	0.068	0.034	0.48	0.191	53	0.211	TRADICIONAL	2.513 ± 0.0799	2.61	0.105	0.070	DIÁMETRO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	17.098 ± 5.261	11.708	0.063	0.532	2.44	0.101	74	0.001	TRADICIONAL	10.868 ± 0.141	10.956	0.043	0.217	LARGO DE LA BASE DE LA FLOR (mm)	INTENSIVO	14.519 ± 1.051	13.836	0.191	7.728	1.06	0.44	55	0.151	TRADICIONAL	12.701 ± 0.813	11.782	0.212	7.276	LARGO DE LA ANTERA (mm)*	INTENSIVO	29.821 ± 0.613	29.418	0.054	2.627	0.578	0.259	55	0.151	TRADICIONAL	27.776 ± 0.643	28.713	0.077	4.544	LARGO DEL FILAMENTO (mm)**	INTENSIVO	82.135 ± 0.622	81.857	0.020	2.711	0.194	0.029	77	0.000	TRADICIONAL	72.608 ± 1.124	73.885	0.051	13.908	LARGO DEL PÍSTILO (mm)**	INTENSIVO	48.964 ± 0.59	49.607	0.032	2.441	1.247	0.36	69	0.004	TRADICIONAL	45.953 ± 0.422	46.349	0.030	1.956	LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948	LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479
DIÁMETRO DE LA ANTERA (mm)*	INTENSIVO	3.318 ± 0.148	3.146	0.118	0.154	2.842	0.063	68	0.006																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	2.873 ± 0.0701	2.924	0.081	0.054					DIÁMETRO DEL ESTAMBRE (mm)*	INTENSIVO	2.75 ± 0.0559	2.689	0.054	0.022	0.36	0.116	57	0.104	TRADICIONAL	2.533 ± 0.0736	2.624	0.096	0.060	DIÁMETRO DEL PÍSTILO (mm)	INTENSIVO	2.718 ± 0.0694	2.672	0.068	0.034	0.48	0.191	53	0.211	TRADICIONAL	2.513 ± 0.0799	2.61	0.105	0.070	DIÁMETRO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	17.098 ± 5.261	11.708	0.063	0.532	2.44	0.101	74	0.001	TRADICIONAL	10.868 ± 0.141	10.956	0.043	0.217	LARGO DE LA BASE DE LA FLOR (mm)	INTENSIVO	14.519 ± 1.051	13.836	0.191	7.728	1.06	0.44	55	0.151	TRADICIONAL	12.701 ± 0.813	11.782	0.212	7.276	LARGO DE LA ANTERA (mm)*	INTENSIVO	29.821 ± 0.613	29.418	0.054	2.627	0.578	0.259	55	0.151	TRADICIONAL	27.776 ± 0.643	28.713	0.077	4.544	LARGO DEL FILAMENTO (mm)**	INTENSIVO	82.135 ± 0.622	81.857	0.020	2.711	0.194	0.029	77	0.000	TRADICIONAL	72.608 ± 1.124	73.885	0.051	13.908	LARGO DEL PÍSTILO (mm)**	INTENSIVO	48.964 ± 0.59	49.607	0.032	2.441	1.247	0.36	69	0.004	TRADICIONAL	45.953 ± 0.422	46.349	0.030	1.956	LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948	LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303										
DIÁMETRO DEL ESTAMBRE (mm)*	INTENSIVO	2.75 ± 0.0559	2.689	0.054	0.022	0.36	0.116	57	0.104																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	2.533 ± 0.0736	2.624	0.096	0.060					DIÁMETRO DEL PÍSTILO (mm)	INTENSIVO	2.718 ± 0.0694	2.672	0.068	0.034	0.48	0.191	53	0.211	TRADICIONAL	2.513 ± 0.0799	2.61	0.105	0.070	DIÁMETRO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	17.098 ± 5.261	11.708	0.063	0.532	2.44	0.101	74	0.001	TRADICIONAL	10.868 ± 0.141	10.956	0.043	0.217	LARGO DE LA BASE DE LA FLOR (mm)	INTENSIVO	14.519 ± 1.051	13.836	0.191	7.728	1.06	0.44	55	0.151	TRADICIONAL	12.701 ± 0.813	11.782	0.212	7.276	LARGO DE LA ANTERA (mm)*	INTENSIVO	29.821 ± 0.613	29.418	0.054	2.627	0.578	0.259	55	0.151	TRADICIONAL	27.776 ± 0.643	28.713	0.077	4.544	LARGO DEL FILAMENTO (mm)**	INTENSIVO	82.135 ± 0.622	81.857	0.020	2.711	0.194	0.029	77	0.000	TRADICIONAL	72.608 ± 1.124	73.885	0.051	13.908	LARGO DEL PÍSTILO (mm)**	INTENSIVO	48.964 ± 0.59	49.607	0.032	2.441	1.247	0.36	69	0.004	TRADICIONAL	45.953 ± 0.422	46.349	0.030	1.956	LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948	LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																									
DIÁMETRO DEL PÍSTILO (mm)	INTENSIVO	2.718 ± 0.0694	2.672	0.068	0.034	0.48	0.191	53	0.211																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	2.513 ± 0.0799	2.61	0.105	0.070					DIÁMETRO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	17.098 ± 5.261	11.708	0.063	0.532	2.44	0.101	74	0.001	TRADICIONAL	10.868 ± 0.141	10.956	0.043	0.217	LARGO DE LA BASE DE LA FLOR (mm)	INTENSIVO	14.519 ± 1.051	13.836	0.191	7.728	1.06	0.44	55	0.151	TRADICIONAL	12.701 ± 0.813	11.782	0.212	7.276	LARGO DE LA ANTERA (mm)*	INTENSIVO	29.821 ± 0.613	29.418	0.054	2.627	0.578	0.259	55	0.151	TRADICIONAL	27.776 ± 0.643	28.713	0.077	4.544	LARGO DEL FILAMENTO (mm)**	INTENSIVO	82.135 ± 0.622	81.857	0.020	2.711	0.194	0.029	77	0.000	TRADICIONAL	72.608 ± 1.124	73.885	0.051	13.908	LARGO DEL PÍSTILO (mm)**	INTENSIVO	48.964 ± 0.59	49.607	0.032	2.441	1.247	0.36	69	0.004	TRADICIONAL	45.953 ± 0.422	46.349	0.030	1.956	LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948	LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																								
DIÁMETRO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	17.098 ± 5.261	11.708	0.063	0.532	2.44	0.101	74	0.001																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	10.868 ± 0.141	10.956	0.043	0.217					LARGO DE LA BASE DE LA FLOR (mm)	INTENSIVO	14.519 ± 1.051	13.836	0.191	7.728	1.06	0.44	55	0.151	TRADICIONAL	12.701 ± 0.813	11.782	0.212	7.276	LARGO DE LA ANTERA (mm)*	INTENSIVO	29.821 ± 0.613	29.418	0.054	2.627	0.578	0.259	55	0.151	TRADICIONAL	27.776 ± 0.643	28.713	0.077	4.544	LARGO DEL FILAMENTO (mm)**	INTENSIVO	82.135 ± 0.622	81.857	0.020	2.711	0.194	0.029	77	0.000	TRADICIONAL	72.608 ± 1.124	73.885	0.051	13.908	LARGO DEL PÍSTILO (mm)**	INTENSIVO	48.964 ± 0.59	49.607	0.032	2.441	1.247	0.36	69	0.004	TRADICIONAL	45.953 ± 0.422	46.349	0.030	1.956	LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948	LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																							
LARGO DE LA BASE DE LA FLOR (mm)	INTENSIVO	14.519 ± 1.051	13.836	0.191	7.728	1.06	0.44	55	0.151																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	12.701 ± 0.813	11.782	0.212	7.276					LARGO DE LA ANTERA (mm)*	INTENSIVO	29.821 ± 0.613	29.418	0.054	2.627	0.578	0.259	55	0.151	TRADICIONAL	27.776 ± 0.643	28.713	0.077	4.544	LARGO DEL FILAMENTO (mm)**	INTENSIVO	82.135 ± 0.622	81.857	0.020	2.711	0.194	0.029	77	0.000	TRADICIONAL	72.608 ± 1.124	73.885	0.051	13.908	LARGO DEL PÍSTILO (mm)**	INTENSIVO	48.964 ± 0.59	49.607	0.032	2.441	1.247	0.36	69	0.004	TRADICIONAL	45.953 ± 0.422	46.349	0.030	1.956	LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948	LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																						
LARGO DE LA ANTERA (mm)*	INTENSIVO	29.821 ± 0.613	29.418	0.054	2.627	0.578	0.259	55	0.151																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	27.776 ± 0.643	28.713	0.077	4.544					LARGO DEL FILAMENTO (mm)**	INTENSIVO	82.135 ± 0.622	81.857	0.020	2.711	0.194	0.029	77	0.000	TRADICIONAL	72.608 ± 1.124	73.885	0.051	13.908	LARGO DEL PÍSTILO (mm)**	INTENSIVO	48.964 ± 0.59	49.607	0.032	2.441	1.247	0.36	69	0.004	TRADICIONAL	45.953 ± 0.422	46.349	0.030	1.956	LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948	LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																																					
LARGO DEL FILAMENTO (mm)**	INTENSIVO	82.135 ± 0.622	81.857	0.020	2.711	0.194	0.029	77	0.000																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	72.608 ± 1.124	73.885	0.051	13.908					LARGO DEL PÍSTILO (mm)**	INTENSIVO	48.964 ± 0.59	49.607	0.032	2.441	1.247	0.36	69	0.004	TRADICIONAL	45.953 ± 0.422	46.349	0.030	1.956	LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948	LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																																																				
LARGO DEL PÍSTILO (mm)**	INTENSIVO	48.964 ± 0.59	49.607	0.032	2.441	1.247	0.36	69	0.004																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	45.953 ± 0.422	46.349	0.030	1.956					LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948	LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																																																																			
LARGO TOTAL DE LA FLOR (mm)*	INTENSIVO	119.196 ± 1.246	119.916	0.028	10.864	0.286	0.069	65	0.015																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	111.134 ± 1.857	108.098	0.055	37.948					LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577	LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																																																																																		
LARGO DE LOS TÉPALOS (mm)*	INTENSIVO	50.614 ± 0.685	50.465	0.036	3.282	0.433	0.159	64	0.021																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	47.578 ± 0.83	48.318	0.058	7.577					LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497	LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																																																																																																	
LARGO DEL TUBO FLORAL (mm)**	INTENSIVO	56.555 ± 0.626	56.788	0.029	2.745	0.323	0.089	71	0.002																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	51.743 ± 0.879	51.355	0.056	8.497					LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393	DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																																																																																																																
LARGO DEL OVARIO (mm)	INTENSIVO	44.126 ± 0.639	43.878	0.038	2.855	0.303	0.079	58	0.085																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	42.381 ± 0.924	41.969	0.072	9.393					DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259	DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																																																																																																																															
DISTANCIA DEL OVARIO AL FILAMENTO (mm)*	INTENSIVO	22.032 ± 0.266	21.81	0.032	0.496	0.219	0.038	65	0.015																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	20.203 ± 0.453	19.97	0.074	2.259					DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																																																																																																																																														
DISTANCIA DEL OVARIO AL PISTILO (mm)	INTENSIVO	9.086 ± 0.255	9.278	0.074	0.455	0.348	0.104	47	0.479																																																																																																																																																																																																													
	TRADICIONAL	8.536 ± 0.344	8.888	0.134	1.303																																																																																																																																																																																																																	

14
15

16 Tabla 7. Descriptores estadísticos de los caracteres del fruto y semillas de las plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana*
 17 "Manso" de Rancho La Soledad y del Rancho Grupo Pulmex.
 18

CARACTERES MORFOLÓGICOS	LOCALIDAD	MEDIA ± E.E	MEDIANA	C.V	VARIANZA	F	P	U	P
Ancho Capsula (mm)	INTENSIVO	18.071 ± 0.523	18.44	0.077	1.916	1.52	0.265	46	0.536
	TRADICIONAL	17.651 ± 0.338	17.664	0.064	1.260				
Ancho Estipite (mm)*	INTENSIVO	7.798 ± 0.202	7.68	0.069	0.287	0.954	0.5	68	0.006
	TRADICIONAL	7.018 ± 0.165	6.779	0.078	0.300				
Ancho H. Carpelar (mm)	INTENSIVO	12.909 ± 0.292	12.902	0.060	0.598	1.533	0.262	53	0.210
	TRADICIONAL	12.422 ± 0.188	12.631	0.050	0.390				
Ancho Pedicelo (mm)*	INTENSIVO	4.771 ± 0.215	4.809	0.119	0.324	1.2	0.376	67	0.006
	TRADICIONAL	3.944 ± 0.156	3.877	0.131	0.269				
Largo Capsula (mm)	INTENSIVO	73.127 ± 1.534	72.03	0.056	16.481	1.132	0.41	62	0.035
	TRADICIONAL	69.186 ± 1.15	68.93	0.055	14.555				
Largo Estipite (mm)	INTENSIVO	4.698 ± 0.198	4.724	0.111	0.274	0.341	0.1	30	0.479
	TRADICIONAL	4.932 ± 0.27	4.947	0.182	0.803				
Largo-Pedicelo (mm)	INTENSIVO	12.116 ± 0.665	12.491	0.145	3.098	0.904	0.471	54	0.179
	TRADICIONAL	10.907 ± 0.558	10.605	0.170	3.425				
No. Semillas vanas*	INTENSIVO	514.317 ± 16.751	525.444	0.086	1964.277	1.334	0.326	67	0.008
	TRADICIONAL	472.263 ± 11.568	480.778	0.081	1472.119				
No. semillas viables	INTENSIVO	23.54 ± 3.473	23.889	0.390	84.454	0.447	0.17	22	0.151
	TRADICIONAL	32.283 ± 4.169	27.333	0.428	191.193				
P_Largo_ancho	INTENSIVO	4.853 ± 0.0917	4.858	0.050	0.059	1.067	0.44	46	0.536
	TRADICIONAL	4.798 ± 0.0708	4.742	0.049	0.055				
P_Largo_semilla	INTENSIVO	6.853 ± 0.155	6.767	0.060	0.169	1.57	0.25	18	0.479
	TRADICIONAL	6.999 ± 0.0987	6.938	0.047	0.107				
P_No. total semillas*	INTENSIVO	537.857 ± 16.601	551.111	0.082	1929.151	1.126	0.41	64	0.021
	TRADICIONAL	500.144 ± 12.476	512.222	0.083	1712.263				

19

Aunque no se observaron diferencias significativas en la mayoría de los caracteres morfológicos vegetativos, se puede distinguir una tendencia hacia tener tamaños más grandes y homogéneos en plantas provenientes de un sistema de manejo intensivo. En este sistema de manejo los individuos presentaron hojas con una menor cantidad de dientes (117.636 ± 6.14) y un mayor distanciamiento entre ellos (24.151 ± 3.788) (Tabla 4).

En cuanto a la comparación de las medianas de los caracteres morfológicos reproductivos se analizaron 39 descriptores, de los que 16 presentaron diferencias significativas. La mayoría corresponden con estructuras florales. De 15 caracteres morfológicos florales analizados, nueve presentaron diferencias significativas, mientras que, para los caracteres de la inflorescencia solo dos presentaron diferencias significativas. (Tablas 5-6). La mediana de la mayoría de los caracteres reproductivos responde a tamaños más grandes para plantas (Fig. 8).

Las inflorescencias de plantas de metepantle (manejo tradicional) presentaron diámetros significativamente más grandes (21 cm) y una mayor cantidad de flores (9105 flores) (Fig. 9). En cuanto al análisis comparativo de los caracteres del fruto, los descriptores en su mayoría también presentan medianas más grandes (Fig. 10) para los frutos de las plantas de un sistema de manejo intensivo. Solo cinco de 12 variables morfológicas del fruto presentaron diferencias significativas: *ancho del estípite*, *ancho del pedicelo*, *largo de la cápsula*, *promedio de número de semillas inviábiles* y *promedio del número total de semillas por fruto* (Tabla 7).



Fig. 8 Boxplot de los caracteres morfológicos florales de plantas de *Agave* provenientes de un manejo tradicional y uno intensivo que presentaron diferencias significativas entre los valores de las medianas.

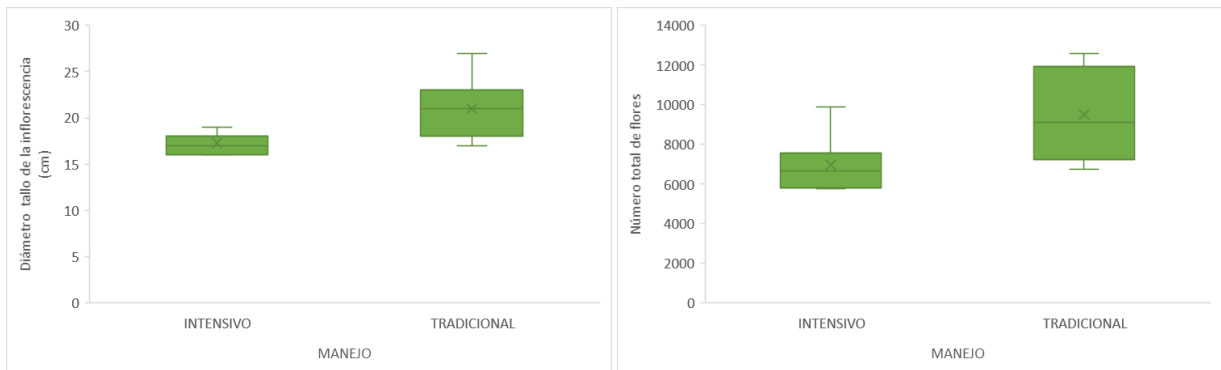


Fig. 9 Boxplot de los caracteres morfológicos de la inflorescencia de plantas de *Agave* provenientes de un manejo tradicional y uno intensivo que presentaron diferencias significativas entre los valores de las medianas.

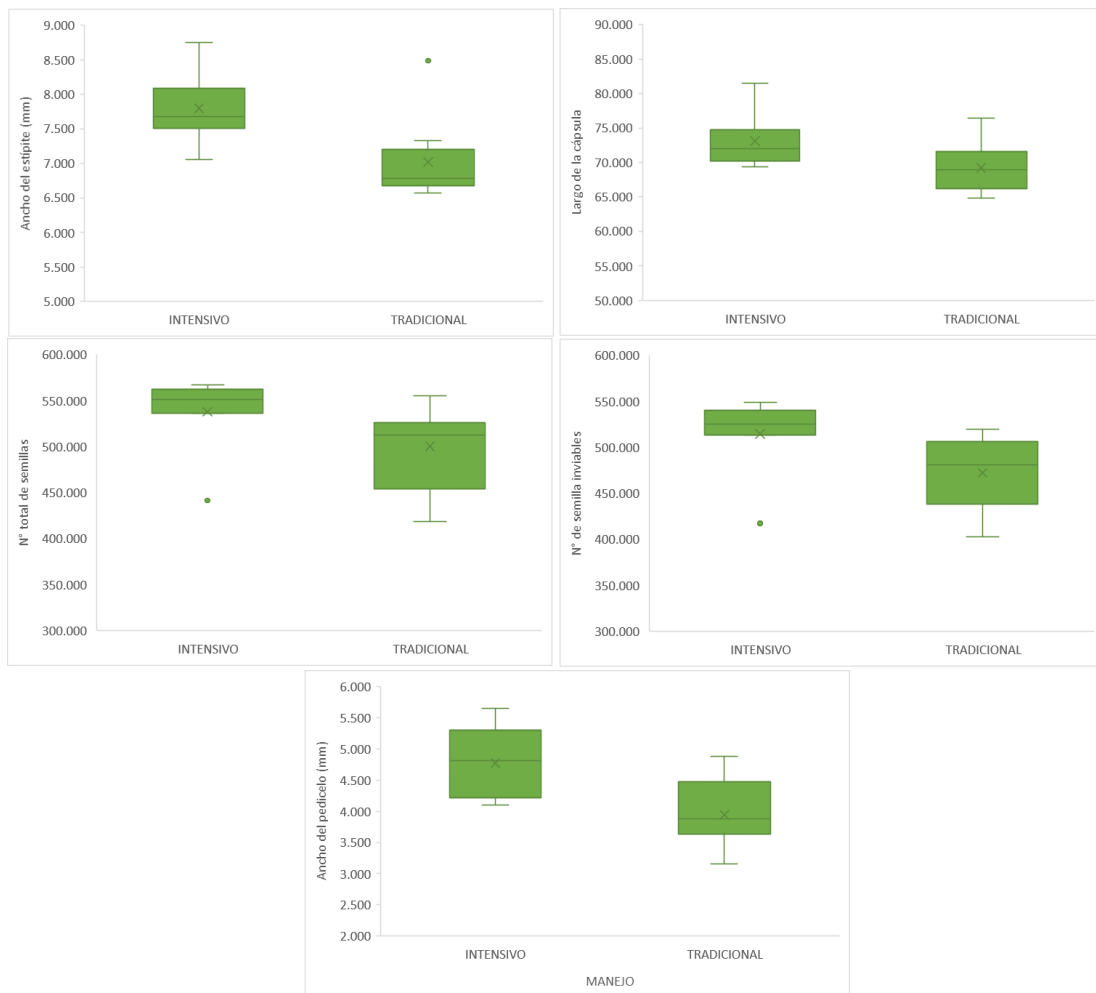


Fig. 10 Boxplot de los caracteres morfológicos del fruto de plantas de *Agave* provenientes de un manejo tradicional y uno intensivo que presentaron diferencias significativas entre los valores de las medianas.

Análisis de correlación

Después de realizar un análisis de correlación se obtuvo una matriz que incluyó 54 variables morfológicas, lo que permitió determinar la intensidad y dirección de la asociación entre cada variable. Una vez que se identificó a las variables morfológicas vegetativas y reproductivas correlacionadas, solo se tomaron en cuenta valores de correlación con un valor (*Rho*) mayor a 0.7 y significativos (Fig.9). De acuerdo con estos criterios, únicamente se obtuvo una correlación significativa entre los caracteres vegetativos *Altura de la planta* y *Número total de hojas* ($Rho = 0.79$).

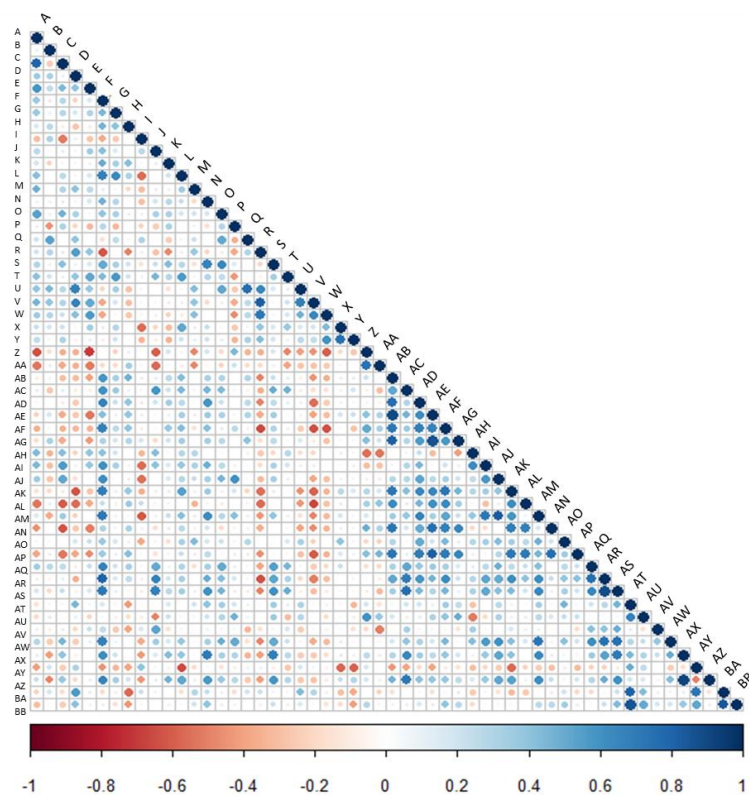


Fig. 11. Heatmap de las correlaciones de 54 caracteres morfológicos vegetativos y reproductivos de las plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" sujetas a un manejo tradicional y uno intensivo.

El mayor número de correlaciones significativas se obtuvo entre los caracteres morfológicos reproductivos, de los cuales se distinguen nueve asociaciones con valores mayores a 0.7 pero menores de 0.8 y cinco asociaciones con valores de correlación buenos, con *Rho* mayor que 0.8 (Tabla 8).

Dentro de las correlaciones con valores de Rho mayores que 0.8, se encuentran las siguientes variables asociadas *largo total de la flor y largo del tépalo*, *largo total de la flor y largo del ovario*, *largo de los tépalos y largo del ovario*, *largo de los tépalos y diámetro de la antera* y, *ancho de la cápsula y ancho de la semilla*. La correlación entre el *largo de la cápsula y n° total de semillas* que tiene un valor de correlación medianamente alto ($Rho= 0.703$), puede estar relacionada con la capacidad reproductiva.

Tabla 8. Correlaciones significativas de los caracteres morfológicos vegetativos y reproductivos de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo un manejo tradicional y uno intensivo

<i>Carácter morfológico</i>	<i>Clave</i>		<i>Rho</i>	<i>P</i>
	<i>Heatmap</i>	<i>Asociación de variables</i>		
Vegetativo	A/C	Altura/ N° total de hojas	0.79	<0.001
Reproductivo	R/V	Diámetro de la inflorescencia/ N° total de flores	0.818	<0.001
	X/Y	Largo de la bráctea/ Ancho de la bráctea	0.747	0.009
	AB/AD	Largo total de la flor/Largo del tubo ovárico	0.759	0.002
	AB/AE	Largo total de la flor/Largo del tépalo	0.893	<0.001
	AB/AF	Largo total de la flor/Diámetro del tubo ovárico	0.719	0.001
	AB/AG	Largo total de la flor/Largo del ovario	0.818	<0.001
	AB/AH	Largo total de la flor/Largo de la cabeza del pistilo	0.728	0.001
	AB/AN	Largo total de la flor/Diámetro del filamento	0.728	0.001
	AB/AP	Largo total de la flor/Diámetro de la antera	0.721	0.001
	AE/AG	Largo de los tépalos/Largo del ovario	0.866	<0.001
	AE/AN	Largo de los tépalos/Diámetro del filamento	0.75	<0.001
	AM/AJ	Largo del filamento/Largo del pistilo	0.719	<0.001
	AQ/AR	Largo del pedicelo/Ancho del pedicelo	0.756	<0.001
	AS/AX	Largo la cápsula/ N° de semillas totales	0.703	0.001
	AT/BB	Ancho de la cápsula/Ancho de la semilla	0.858	<0.001

Clúster jerárquico

Considerando que el estudio cuenta con un número reducido de individuos, se realizó la prueba de Hopkins para evaluar si existe tendencia al agrupamiento. Este estadístico mostró un valor de $H=0.43$, lo que permitió realizar un análisis Clúster jerárquico de dos grupos, bajo el método de Ward. El *clúster 1* incluyó todos los individuos de manejo intensivo (monocultivo) más dos individuos del sistema de manejo tradicional, en tanto el *clúster 2* incluye el resto de los individuos de manejo tradicional (Fig. 12). Se obtuvo un coeficiente de la silueta (CS) de 0.14 reflejando que el valor obtenido es positivo se considera que la consistencia de los dos grupos es buena (Fig. 13).

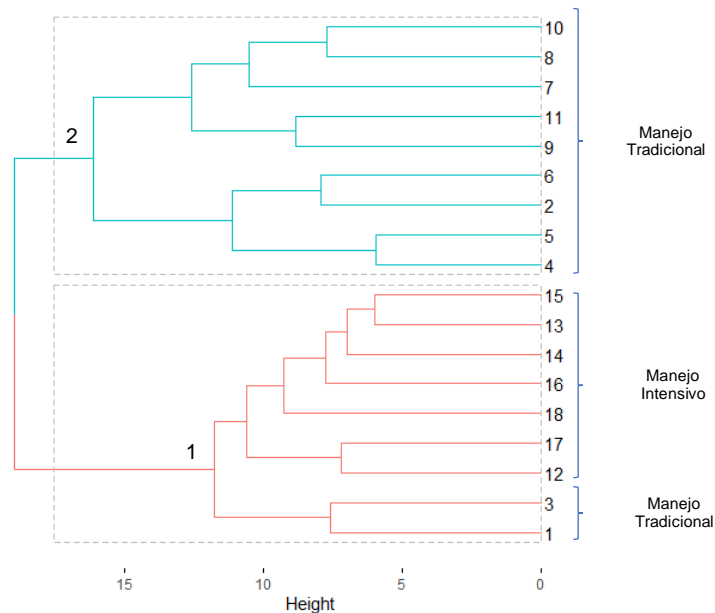


Fig. 12. Clúster jerárquico de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo dos sistemas de manejo (intensivo y tradicional), con base en variables morfológicas vegetativas y reproductivas.

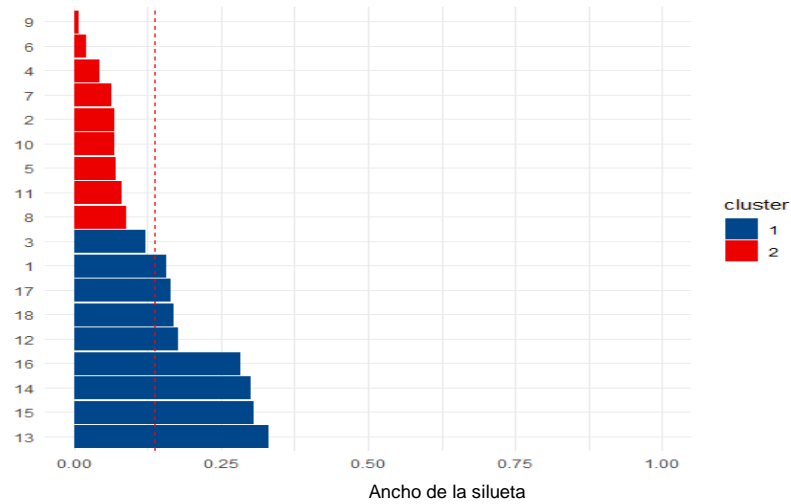


Fig. 13. Gráfico de silueta de los dos clústeres jerárquicos obtenidos en el dendrograma (Clúster1 azul, manejo tradicional; Clúster 2 rojo, manejo tradicional e intensivo) de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso".

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales se realizó con 54 caracteres morfológicos y muestra que los primeros ocho componentes explican el 82% de la variación total (Tabla 9). Para determinar los componentes principales significativos, se graficaron las varianzas de cada componente principal obteniendo un diagrama que muestra las varianzas más significativas, en este caso los primeros tres componentes principales son los que presentan las varianzas más altas (Fig. 14). El CP1 explica el 22.5% de la variación, el CP2 el 17.4% y el CP3 explica el 10% de la variación observada (Tabla 9).

Tabla 9. Descripción de los primeros ocho componentes principales que explican el 82% de la variación de los datos observados de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso".

Número de Componentes principales	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Desviación estándar	3.487	3.0647	2.32155	2.14412	1.95328	1.83734	1.77541	1.57547
Varianza explicada	0.225	0.1739	0.09981	0.08513	0.07065	0.06252	0.05837	0.04597
Varianza acumulada	0.2252	0.3991	0.49891	0.58404	0.6547	0.71721	0.77558	0.82155

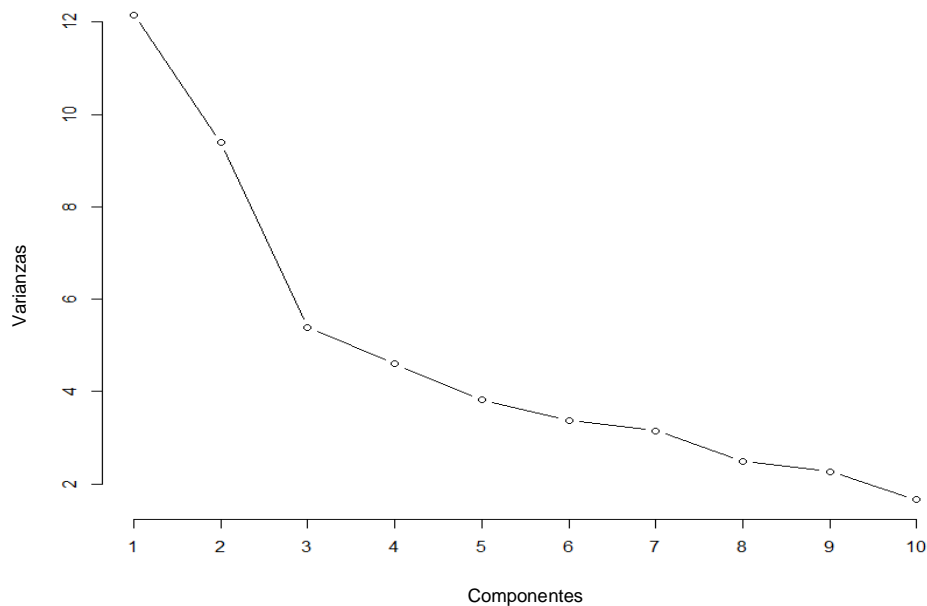


Fig. 14. Gráfica lineal de las varianzas de los diez primeros componentes principales de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso".

Las variables de mayor peso que explican el CP1 son: *ancho a la mitad de la hoja, largo total de la flor, largo total del tubo floral, largo de la cabeza del pistilo, largo del filamento, ancho del pedicelo y largo de la cápsula*. El CP2 es explicado por: *altura total de la roseta, número total de hojas, grosor de la cutícula, largo de la hoja, largo y diámetro de la espina de la bráctea, diámetro del pistilo y diámetro del filamento*. Para el CP3, las variables de mayor peso son: *Largo y ancho de la base de la bráctea, ancho de la cápsula, ancho de la hoja carpelar, número de semillas viables, largo y ancho de las semillas* (Anexo 1.).

El CP1 explica la variación observada de las plantas provenientes de un sistema de manejo intensivo, donde la selección fenotípica de las características deseables es mantenida bajo una reproducción asexual ininterrumpida, tipo de manejo propio de monocultivos. En cuanto al CP2, explica la variación de plantas con un manejo tradicional, mantenidas bajo un cultivo de metepantle y una nula selección de caracteres fenotípicos de interés (Fig. 15).

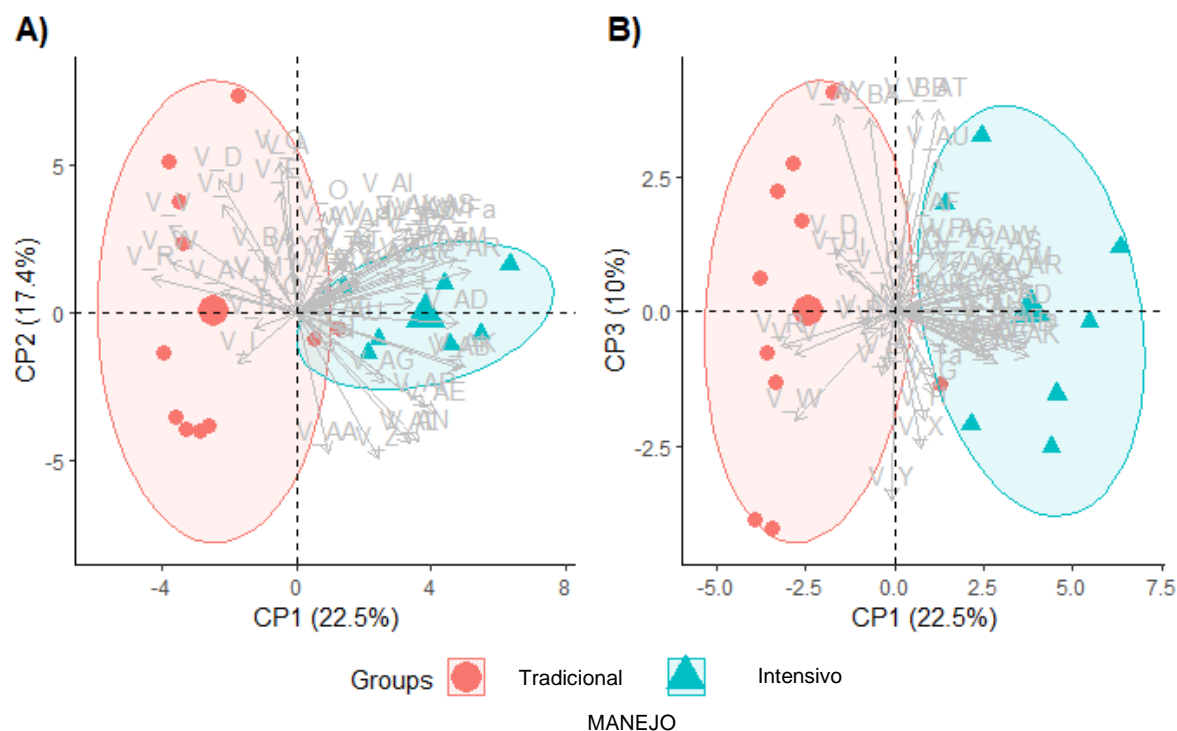


Fig. 15. Biplot de los tres primeros componentes principales los cuales explican el 49.9% de la variación observada de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo dos sistemas de manejo (tradicional e intensivo)

Los caracteres que tienen mayor peso en la explicación de la variación de los datos observados son los reproductivos (17 de 22 caracteres), mientras que solo cinco caracteres vegetativos explican la variación observada.

El análisis discriminante muestra que existe una sola función que permite clasificar de forma significativa ($\lambda=0.696$, $P<0.05$) a los individuos en dos grupos, los pertenecientes a un manejo intensivo (monocultivo) y el manejo tradicional (metepantle). Las variables independientes significativas para la función discriminante la integran cinco caracteres vegetativos (*Altura de*

la roseta, diámetro de la roseta, ancho de la base de la hoja, largo de la hoja y diámetro de la base de la espina) y, siete caracteres reproductivos (*largo del filamento, diámetro de la espina de la bráctea, largo total de la flor, largo del pistilo, largo de la antera, largo de la cápsula y largo del pedicelo*).

8.2 Capacidad reproductiva

Las pruebas *a priori* realizadas con los Índices de Capacidad Reproductiva de dos poblaciones de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" que se encuentran bajo dos intensidades de manejo diferentes (tradicional e intensivo) muestra que las dos poblaciones presentan una distribución normal ($P= 0.308$ y $P=0.432$), así como homocedasticidad de varianzas ($P=0.087$ y $P=0.53$). El estadístico de T-student muestra que la capacidad reproductiva entre las poblaciones es diferente significativamente ($T= 2.79$, $DF=16$, $P=0.04$). Las plantas provenientes del sistema de manejo tradicional presentan un índice de capacidad reproductiva promedio mayor ($ICR= 0.64$), que las plantas sometidas a un sistema de manejo intensivo cuyo índice de capacidad reproductiva promedio menor ($ICR=0.43$) (Fig. 16).

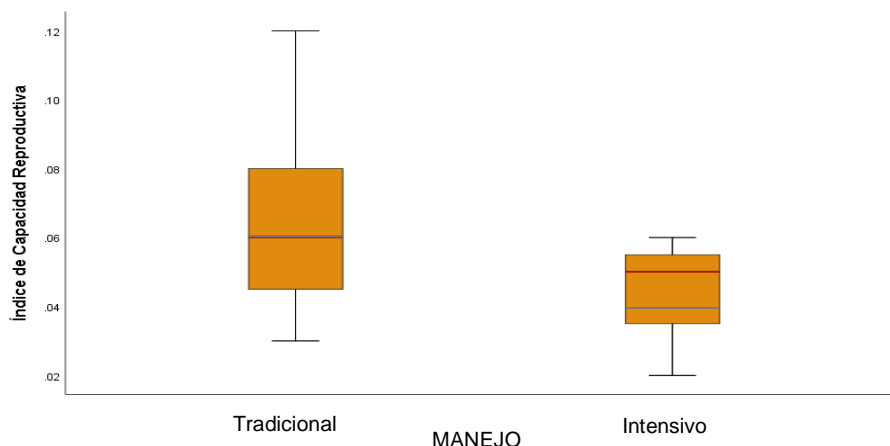


Fig. 16 Boxplot que compara los valores del Índice de Capacidad Reproductiva de plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" proveniente de dos sistemas de manejo (tradicional e intensivo). Línea azul representa la capacidad reproductiva media.

Detallando algunas características, los frutos de plantas de un sistema de manejo tradicional presentan un promedio menor en el número de semillas totales (500.144 ± 12.476). Sin embargo, pesar de que hay un mayor número de semillas en los frutos de plantas de manejo intensivo (537.857 ± 16.601), muchas de estas son inviables (514.317 ± 16.751) y se asemeja al número

total de semillas por fruto, observando una cantidad muy baja de semillas viables (23.54 ± 3.473). Las plantas provenientes de un manejo tradicional presentan un promedio de semillas inviables menor (472.263 ± 11.568) y un promedio mayor de semillas viables (32.283 ± 4.169).

8.3 Análisis de viabilidad de semillas

Las semillas provenientes de plantas bajo un manejo tradicional presentaron los porcentajes de viabilidad más altos (68.8%), mientras que las semillas de plantas que reciben un manejo intensivo presentaron un porcentaje de inviabilidad del 44.8% (Fig. 17a). El análisis de Chi-cuadrada mostró que la viabilidad de las semillas depende del tipo de manejo ($X^2= 9.813$, $DF= 1$, $p= 0.002$).

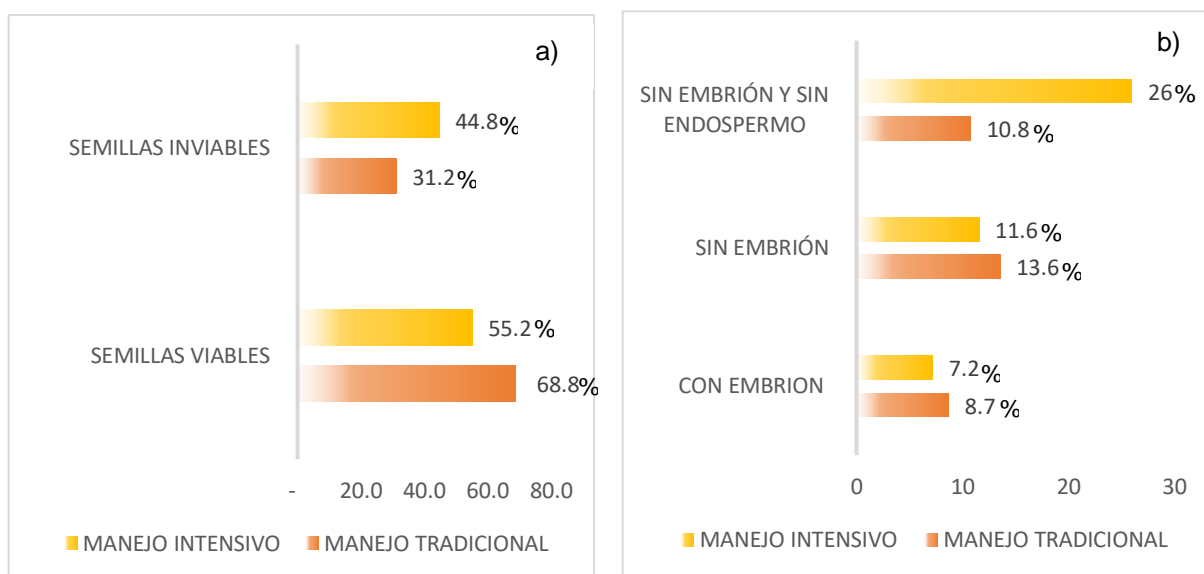


Fig. 17 Gráfico de barras en el que se muestra a) el porcentaje de semillas viables e inviables y b) el porcentaje de inviabilidad de semillas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" provenientes de un sistema de manejo tradicional vs intensivo.

En cuanto a las clasificaciones particulares de la inviabilidad, estas son independiente del tipo de manejo ($X^2= 5.062$, $DF= 2$, $p= 0.080$). Después de observar que el mayor porcentaje de semillas inviables provienen de un manejo intensivo, y que el 26% de estas semillas no poseían embrión ni endospermo. Mientras que las semillas inviables de un sistema de manejo tradicional estuvieron representadas por un mayor porcentaje de semillas sin embrión (13.6%), seguido de semillas inviables con embrión (8.7%) (Fig. 17b).

8.4 Análisis de germinación

En las pruebas descriptivas del análisis de germinación se apreció que los porcentajes de germinación para ambos sistemas de manejo son menores de 52%. El acondicionamiento mátrico disminuyó el porcentaje, velocidad e índice de germinación en semillas provenientes de plantas de un sistema de manejo intensivo. También, el acondicionamiento disminuyó ligeramente el tiempo medio de germinación en semillas provenientes de una parcela con manejo tradicional. (Tabla 10).

Tabla 10. Valores promedio de las variables del análisis de germinación de semillas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo dos sistemas de manejo con acondicionamiento mátrico (AC) y sin éste (Control).

	Porcentaje de germinación		Velocidad de germinación		Tiempo medio de germinación		Índice de germinación	
	Control	AC	Control	AC	Control	AC	Control	AC
Manejo tradicional	51.33±5.76	51.33±7.51	3.42±1.07	3.48±1.33	24.50±4.37	17.95±5.47	7.28±1.31	7.38±2.24
Manejo intensivo	52.00±7.46	45.33±7.92	3.48±1.05	2.87±1.17	17.38±6.20	18.87±7.15	7.53±2.69	6.92±2.62

Los resultados obtenidos en el Modelo Lineal General (MLG), para cada una de las variables (porcentaje, velocidad, tiempo medio e índice de germinación), muestran que no existe algún efecto significativo de los factores tipo de manejo vs tratamiento pregerminativo. De igual forma, no mostró efecto de la interacción de estos factores para cada una de las variables analizadas (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de varianza de la germinación basado en un Modelo Lineal General (MLG), para semillas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* “Manso” provenientes de dos sistemas de manejo

Variable	Factores	gl	F	P	n²
<i>Porcentaje de germinación</i>	Tipo de manejo	1,8	0.07	>0.05	0.009
	Tratamiento pregerminativo	1,8	1.93	>0.05	0.195
<i>Índice de germinación</i>	Tipo de manejo*Tratamiento pregerminativo	1,8	1.94	>0.05	0.19
	Tipo de manejo	1,8	0.005	>0.05	0.001
	Tratamiento pregerminativo	1,8	0.34	>0.05	0.041
<i>Velocidad de germinación</i>	Tipo de manejo*Tratamiento pregerminativo	1,8	0.68	>0.05	0.782
	Tipo de manejo	1,8	0.14	>0.05	0.018
	Tratamiento pregerminativo	1,8	3.05	>0.05	0.276
<i>Tiempo medio de germinación</i>	Tipo de manejo*Tratamiento pregerminativo	1,8	4.7	>0.05	0.373
	Tipo de manejo	1,8	0.69	>0.05	0.086
	Tratamiento pregerminativo	1,8	4.77	>0.05	0.374
	Tipo de manejo*Tratamiento pregerminativo	1,8	12.56	>0.05	0.611

8.5 Análisis de sobrevivencia

Después de siete meses se observó que las plántulas provenientes del sistema de manejo intensivo mostraron un mayor porcentaje de sobrevivencia ($97.15 \pm 2.52\%$) con respecto a las plantas provenientes de un manejo tradicional ($91.04 \pm 9.60\%$). Este porcentaje aumentó en las plántulas que fueron sometidas a tratamiento pregerminativo de acondicionamiento mátrico, no obstante que las plántulas del sistema de manejo tradicional fueron las que presentaron un incremento más notorio ($95.19 \pm 5.88\%$) (Tabla 12).

Tabla 12. Porcentajes de sobrevivencia para plántulas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" provenientes de dos sistemas de manejo.

	Porcentaje de sobrevivencia	
	Control	AC
Manejo tradicional	91.04±9.60	95.19±5.88
Manejo intensivo	97.15±2.52	97.90±4.68

Al respecto, un análisis de varianza evaluado mediante un MLG muestra que el acondicionamiento mátrico ejerce un efecto significativo ($F(1,8) = 5.37, P=0.049, n^2=0.402$), independiente del tipo de manejo y no existe un efecto significativo del factor *Manejo* ni de la interacción *Manejo*Tratamiento pregerminativo* (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis de varianza del porcentaje de sobrevivencia basado en un Modelo Lineal General (MLG), para semillas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" bajo manejo tradicional e intensivo.

Variable	Factores	gl	F	P	n
Porcentaje de sobrevivencia	Tipo de manejo	1,8	0.07	>0.05	0.009
	Tratamiento pregerminativo	1,8	5.37	0.049	0.402
	Tipo de manejo*Tratamiento pregerminativo	1,8	2.58	>0.05	0.244

9. DISCUSIÓN

9.1 Diversidad morfológica

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo se distingue una tendencia hacia una mayor homogeneización de los caracteres morfológicos en las plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" sometidas a mayor intensidad de manejo. Estos resultados coinciden con los reportados para diferentes especies de *Agave* (Colunga y cols. 1996) donde no solo se ha encontrado una mayor homogeneización, sino que también se ha observado divergencia morfológica principalmente a nivel de especie (Alfaro y cols. 2007), entre plantas silvestres y manejadas bajo cultivo (Colunga y cols. 1996 y Figueredo-Urbina y cols. 2017) y además entre variedades locales, aunque en estos casos siendo tenue (Colunga y cols. 1996).

La selección artificial en diferentes intensidades dirigida hacia la selección de estructuras vegetativas de interés y puede ser una de las fuerzas por la cual se observan dichas tendencias asociadas principalmente con el tamaño. Se ha apreciado un mayor tamaño de las plantas, así como también reducción de tamaño en ciertas estructuras como dientes. Factores ambientales también pudieran estar repercutiendo, ya que de forma indirecta la selección artificial actúa sobre las modificaciones que el hombre realiza al ambiente en el que se desarrollan las plantas. En variedades silvestres como *A. angustifolia* y *A. maximiliana* se ha observado que la heterogeneidad del ambiente influye en la variabilidad de las plantas, a diferencia de poblaciones que se encuentran en ambientes más homogéneos, lo que se ve reflejado en los coeficientes de variación (Colunga y cols. 1996; Casas y cols. 2017, Cabrera y cols. 2020).

En el Rancho La Soledad, los metepantles se encuentran influenciados por diferentes factores, destacando los microclimas generados por los cultivos anuales de maíz, trigo y cebada. Además de la presencia de árboles perennifolios y caducifolios que en ciertas zonas tienen la función de cortinas rompe vientos. Estas condiciones podrían tener influencia en la heterogeneidad morfológica de las plantas de esta parcela. Otros factores importantes serían que en este rancho han existido eventos reproductivos con flujo génico que pudieron dar origen a plantas con mayor diversidad genética que se desarrollaron con éxito hasta la edad adulta y a que esta parcela se

encuentra conformada por dos fuentes de germoplasma, una propia de la zona, con una historia de más de 50 años y una un poco más reciente traída del estado de Puebla mantenida por 50 años.

En Rancho Grupo Pulmex la propagación asexual, intensiva y prolongada se ha mantenido una sola fuente de germoplasma posiblemente poco diversa por más de 100 años lo que pudiera llevar a la homogeneización de caracteres vegetativos. Además el nulo flujo génico, debido a que nunca se permitió que las plantas tuvieran eventos reproductivos (debido a la eliminación de las estructuras reproductivas) puede llevar a problemas como es la disminución en su diversidad genética, el cual puede ser uno de los factores de depresión por endogamia. Dentro de esta parcela, las plantas y los vástagos clonales reciben de forma constante fertilizaciones y podas foliares. Una vez que surgen, los vástagos clonales pasan por un proceso de selección por parte del productor antes de ser sembrados de forma definitiva, en el que se ponderan aspectos de interés como son: plantas más grandes, de hojas más anchas y que presenten un crecimiento más rápido.

Una mayor diversidad morfológica va a estar favorecida por la integración constante de plantas de diferentes orígenes y la incorporación de plantas derivadas de la reproducción sexual. Tal es el caso de *Agave maximiliana* cuyo cultivo va desde sistemas de monocultivos, sistemas agroforestales y manejo *in situ* de las poblaciones silvestres. Cabrera-Toledo y col. (2020) describieron que los sistemas de monocultivo intensivos pueden albergar una diversidad morfológica alta. Esto si se considera los múltiples sitios de origen de los que provienen las plantas y se procura la incorporación de plantas, no solo provenientes de reproducción vegetativa sino también de plantas provenientes de una reproducción sexual por semilla.

El manejo de plantas de agave para la producción de pulque está guiado por la selección de caracteres vegetativos más grandes; sin embargo, poco se sabe sobre su impacto sobre los caracteres reproductivos, ya que estos quedan fuera de la selección que hacen los campesinos. En este trabajo se observó que una mayor proporción de caracteres de las flores y de los frutos tienden a ser de tamaños más grandes, lo que pudiera deberse a una respuesta alométrica de

seleccionar y mantener caracteres vegetativos más grandes en plantas provenientes de un sistema de manejo intensivo. Colunga y cols. (1996) observaron pedúnculos más robustos y ramas más largas asociados posiblemente al gigantismo de las plantas cultivadas. Aunque en caracteres florales o del fruto no se observó este patrón de menos a más, de acuerdo con la intensidad de manejo, no se puede descartar una posible expresión fenotípica asociada con el ambiente.

Se ha realizado una amplia diversidad de estudios morfológicos en agaves para evaluar las divergencias debidas al manejo, muchos de ellos se han centrado en caracteres vegetativos, con el supuesto de que solo las estructuras vegetativas son el blanco de la selección (Colunga y cols. 1996, Mora-López y cols. 2011, Figueredo-Urbina y cols. 2014 y 2017; Álvarez-Ríos y cols. 2020). Aunque también se han llevado a cabo algunos estudios en los que han incluido estructuras florales, del fruto y semillas, muchos de ellos concuerdan en la dificultad que se tiene para poder recolectar estas estructuras. De igual manera, en estos trabajos se discute que con la incorporación de caracteres reproductivos pudiera haber una mayor resolución morfológica y, poder distinguir divergencias entre variedades locales.

Pocos estudios han incorporado caracteres reproductivos en el análisis de la diversidad morfológica, la inclusión de estos caracteres ha llegado a mostrar diferencias morfológicas entre ecotipos (Colunga y cols. 1996), entre especies y variedades botánicas del complejo de *A. angustifolia* (Rivera-Lugo y cols. 2014). Incorporar caracteres reproductivos conlleva muchas dificultades, como encontrar plantas con inflorescencias desarrolladas, se sabe que estas estructuras son eliminadas en especies que son utilizadas para la producción de bebidas fermentadas y destiladas (Figueredo-Urbina y cols. 2017). Además, las flores son consumidas en gran parte del centro de México (Figueredo-Urbina y cols. 2019), lo que limita la disponibilidad de integrar flores desarrolladas y que estas a su vez lleguen a desarrollar frutos. Incluso cuando estas llegan a desarrollar frutos, muchos de ellos pueden llegar a ser abundantes en plantas de poblaciones silvestres pero muy escasos en poblaciones manejadas. Esto puede estar asociado a eventos endogámicos, donde estos son más frecuentes en cultivos ya que la mayoría de estos son mantenidos por vástagos clonales durante mucho tiempo, a diferencia de

las poblaciones silvestres que están constituidas por un mayor número de individuos que continuamente presentan eventos reproductivos reduciendo los efectos por endogamia (Colunga y cols. 1996; Rivera-Lugo y cols. 2014; Vázquez y cols. 2015; Figueredo-Urbina y cols. 2017; Álvarez-Ríos y cols. 2020). Por lo que el análisis de estructuras reproductivas se ve limitado a su disponibilidad.

Trabajos previos no han sido específicos sobre el número de plantas utilizadas para los análisis multivariados, Colunga y cols. (1996) analizaron 168 individuos entre silvestres y cultivados. Rivera-Lugo y cols. (2014) mencionaron que al menos evaluaron cinco individuos por taxon, con un total de 30 individuos, en cambio Figueredo-Urbina y cols. (2017) solo mencionaron que analizaron plantas de tres poblaciones de *A. inaequidens*, además de dos individuos de *A. hookerii* y seis individuos cultivados de *A. cupreata*. De igual forma, no han sido específicos en el número de estructuras florales, frutos y semillas. Algunos basados en el antecedente de Colunga y cols. (1996), midieron al menos cinco flores y frutos por individuo y obtuvieron los promedios de 10 semillas por fruto. En este trabajo se midieron por individuo 25 flores, nueve frutos y valores medios de 9 semillas por fruto, con un total de 450 flores, 162 frutos y 1458 semillas. Se realizó de esta manera para tratar de abarcar la mayor variación morfológica posible.

La baja variación morfológica observada en las plantas que están bajo un manejo intensivo es propia de sistemas de monocultivo como son por ejemplo, los sistemas de cultivo de *Agave fourcroydes* (henequén) y *A. tequilana* (Colunga y May-Pat 1993, Colunga y cols. 1996 y Vargas-Ponce y cols. 2007). Este patrón se ha observado en la formación de grupos, de acuerdo con un gradiente de manejo, también se observó en trabajos en los que se han investigado la delimitación morfológica en otras especies de *Agave* (Colunga y cols. 1996; Rivera-Lugo y cols. 2014; Vázquez, 2015). Si bien el manejo que reciben las especies de *Agave* antes mencionadas, incluida la variedad local "Manso", está dirigido hacia la selección de estructuras vegetativas como *altura de la roseta*, *diámetro de la roseta*, *ancho de la base de la hoja*, *largo de la hoja*, y la integración de las estructuras reproductivas para un análisis en conjunto, aumenta la resolución de las diferencias morfológicas entre variedades con respecto al manejo. Por ello se

propone que los análisis que incluyen caracteres vegetativos y reproductivos deberían de incrementarse para poder entender de una mejor manera el efecto de la selección artificial en la diversidad de este tipo de plantas

Las diferencias morfológicas están explicadas en su mayoría por caracteres morfológicos reproductivos, en este trabajo resaltan los siguientes caracteres reproductivos que explican la variación con una sola función discriminante: *largo del filamento, diámetro de la espina de la bráctea, largo total de la flor, largo del pistilo, largo de la antera, largo de la cápsula y largo del pedicelo*. La divergencia en algunos de estos caracteres morfológicos coincide con lo encontrado en trabajos previos (Colunga y cols. 1996; Rivera-Lugo y cols. 2014; Vázquez, 2015; Figueredo-Urbina y cols. 2017).

Síndrome de domesticación

En *Agave* se ha registrado la expresión de características propias del síndrome de domesticación, como gigantismo en diferentes caracteres de la planta destacando el gigantismo en estructuras como las cabezas (tallos), hojas y dientes. También se ha observado una mayor cantidad de savia, mayor concentración de carbohidratos, menor dentición de las hojas, menor cantidad de saponinas, mayor cantidad de fibra. Estos síndromes pueden variar dentro de una misma especie o variedad de acuerdo con el uso, el manejo y el contexto ecológico (Colunga y cols. 1996, 2017).

En este trabajo se apreció que *Agave salmiana* subsp. *salmiana* “Manso” presenta algunas tendencias asociadas con el síndrome de domesticación, como se ha observado en otras especies sometidas a diferentes gradientes de manejo como *Agave fourcroydes*, *A. inaequidens* y *A. cupreata* (Colunga y cols. 1996; Figueredo-Urbina cols. 2017). Las plantas de “Manso” del sistema de monocultivo son más homogéneas y con algunas estructuras más prominentes como hojas más anchas y de mayor grosor en la base, a diferencia de las plantas del sistema tradicional que presentan un menor manejo.

Uno de los síndromes de domesticación que resalta para el género *Agave* es la disminución en la cantidad de dientes y un mayor distanciamiento entre ellos, en comparación con variedades silvestres o con manejo incipiente (Colunga y cols. 1996; Figueredo-Urbina y cols. 2014, 2017). Dentro de la variedad “Manso”, evaluada en este estudio, se observa este mismo patrón, las plantas de monocultivo presentan una menor cantidad de dientes y mayor distanciamiento entre ellos, a diferencia de las plantas de cultivo tradicional. La selección constante de plantas menos armadas para una fácil manipulación puede verse más favorecida bajo un manejo continuo e intensivo, como el que se lleva a cabo en el Rancho Grupo Pulmex.

9.2 Capacidad reproductiva

Las plantas que provienen de un manejo intensivo registraron una capacidad reproductiva menor, que se refleja en la producción de menos semillas potencialmente viables. Esto se debe posiblemente al manejo intensivo que han recibido por décadas, pues las plantas de las cuales se recolectaron las semillas provienen del germoplasma adquirido en el año 1920, es decir han sido 100 años de reproducción asexual constante, que en los últimos 50 años se ha ido intensificando a un monocultivo de maguey pulquero. Es posible inferir que todas las plantas de las parcelas son muy similares genéticamente entre sí, con altos niveles de endogamia. Tal y como ocurre con *Agave tequilana* Weber “Azul” donde su cultivo altamente intensivo se ha mantenido únicamente por reproducción vegetativa durante cientos de años. Mantener una producción altamente industrial de esta especie, ha llevado a una drástica disminución en su diversidad genética (Trejo y cols. 2018)

Se ha observado que la capacidad reproductiva de las especies y variedades cultivadas de *Agave* tiende a sufrir una reducción de acuerdo con la intensidad de manejo, ejemplo de esto, se ha observado en especies como *A. americana*, *A. furcroydes* y *A. tequilana* quienes presentan un ICR de 0.1 (Colunga y cols. 2006; Escobar-Guzmán y cols. 2008), en comparación con especies o variedades silvestres o con manejo incipiente como *A. angustifolia*, *A. cupreata*, *A. inaequidens* y *A. macrocantha*, las cuales presentan una capacidad reproductiva alta, con ICR de 0.2 a 0.6 (Gonçalves de Lima 1986; Arizaga y cols. 2000; Avendaño-Arrazate y cols. 2015; Figueredo-Urbina y cols. 2017).

Los índices de capacidad reproductiva estimados en el presente estudio (manejo tradicional ICR=0.064 y manejo intensivo ICR=0.043) son los más bajos reportados hasta el momento en comparación con los reportados para especies cultivadas, como las antes mencionadas y mucho más drásticos para lo reportado en *A. salmiana* (ICR=0.1-0.3) y para *Agave salmiana* subsp. *crassispina* (ICR= 0.3-0.6) (Medrano y cols. 2000; Huerta-Lovera y cols. 2018). La baja capacidad reproductiva estimada en *Agave salmiana* subsp. *salmiana* “Manso” por un lado, podría estar asociada al tiempo de manejo que llevan las plantas dentro de las parcelas y, también a la historia del cultivo del maguey pulquero que data de épocas prehispánicas (Goncalves,

1956). Por lo que posiblemente la variedad local “Manso” ha estado sometida a diferentes intensidades de manejo que pudieran repercutir en su capacidad reproductiva.

En los últimos dos años los propietarios de Rancho Grupo Pulmex han dejado desarrollar algunas inflorescencias. Sin embargo, se han reportado plantas que en la etapa de floración presentan la pérdida de un alto número de flores y, en algunas plantas las flores son deformes y/o mantienen botones florales que no alcanzaron a desarrollarse y mal formaciones en las ramas. En la etapa de fructificación ocurre algo similar, pues las plantas perdieron un número considerable de frutos. Estos registros permiten hacer inferencias sobre la posible existencia de un deterioro genético que está repercutiendo en la capacidad que tiene la planta para desarrollar estructuras reproductivas sanas, esto debido a un posible efecto por depresión por endogamia. Este efecto también pudiera llevar a las plantas a desarrollar semillas sin embrión y sin endospermo, además de una posible deficiencia en la polinización debido a la presencia de un alto número de semillas inviables (Colunga 1996 y Escobar y cols. 2008).

En cambio, una mayor capacidad reproductiva de las plantas con manejo tradicional puede estar influenciado por el origen de las fuentes de germoplasma que conforman esta. El sistema de manejo tradicional implementado desde hace no más de 50 años ha mantenido, probablemente inconscientemente, la heterogeneidad de las dos fuentes de origen de las plantas, ya que la extracción de hijuelos no está sometida a una selección en la que los hijuelos cumplan ciertas características. Además en esta parcela ha existido mayor número de eventos de reproducción sexual y todos estos eventos reproductivos son fundamentales en la incorporación de variación.

Con base en los resultados de este trabajo, es muy necesario tomar medidas urgentes para poder cambiar las estrategias de manejo de las plantas cultivadas sometidas a manejo intensivo. Es necesario generar un programa de información, sensibilización, acompañamiento y entrenamiento para dar a conocer la importancia de mantener algunas plantas que puedan producir semillas y que éstas sean utilizadas para la propagación. Es indispensable que los productores sean estimulados para promover la diversidad de plantas en los sistemas de cultivo de los agaves, no obstante que su interés se enfoque en la producción de magueyes pulqueros,

se les debe de informar la necesidad de cambiar las estrategias y los beneficios y consecuencias de llevarlo a cabo o no. Es prudente que se genere un mayor vínculo entre los investigadores y los productores y/o los dueños de los Ranchos para una más productiva colaboración y que los resultados de este trabajo se den a conocer ante los productores

9.3 Viabilidad de las semillas

La viabilidad observada para *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" es de 63%, porcentaje por debajo del observado en otras especies que también se utilizan para la producción de pulque, como *Agave mapisaga* (68%) y *Agave americana* (90%) (Ramírez-Tobías y cols. 2016; Escobar-Guzmán 2009). La viabilidad de las semillas de la variedad "Manso" fue diferente significativamente entre los sistemas de manejo evaluados. El sistema de manejo tradicional presentó el porcentaje de viabilidad más alto (68.8%), esto pudiera deberse a que las plantas que integran el Rancho La Soledad son de dos fuentes de germoplasma diferentes. La integración de plantas de diferentes orígenes a sistemas agroforestales o de monocultivos de agaves aumenta su diversidad genética lo que podría contrarrestar los efectos de la depresión por endogamia (Cabrera-Toledo y cols. 2020; Vargas-Ponce y cols. 2009).

La baja viabilidad de las semillas observada en el sistema de monocultivo puede deberse a la existencia de depresión por endogamia (Escobar-Guzmán y cols. 2008 y Ramírez-Tobías y cols. 2016). Las plantas que se propagan de manera intensiva en el Rancho Grupo Pulmex provienen de una sola fuente de germoplasma, misma que se ha mantenido por más de 100 años. *Agave angustifolia* subsp. *tequilana*, es un ejemplo de una especie que predomina en extensos monocultivos para la producción de tequila, su reproducción asexual es intensiva en gran escala y ha presentado porcentajes de viabilidad de un 19%, además se resalta la existencia de problemas reproductivos asociados con atrofas en estructuras reproductivas que conllevan a una mortalidad pronta del embrión (Niño 2013).

La inviabilidad observada en las semillas de "Manso" muestra de forma más clara los posibles efectos que se generan al mantener una reproducción clonal constante, depresión por endogamia, autopolinización y aborto predisposición de semillas (Escobar-Guzmán y cols. 2008 y Ramírez-

Tobías y cols. 2016). Además, durante el muestreo de las estructuras flores se observaron atrofiadas en ramas florales y en flores, donde se apreció que en plantas del Rancho PULMEX (manejo intensivo) se acentúan más estas deformaciones.

En ambos sistemas de manejo predominaron las semillas vacías (sin embrión y endospermo) y semillas sin embrión. La ausencia de algunas estructuras en las semillas, como es el caso del embrión o el endospermo, puede ser reflejo de fertilización de óvulos por polen defectuoso (Ruvalcaba-Ruíz y Rodríguez-Garay, 2002), lo cual puede acentuarse más en especies con un manejo altamente intensivo, como *A. tequilana*, especie que ha registrado hasta 28% de semillas sin embrión de 50% de semillas potencialmente viables, a diferencia de *A. mapisaga* que proviene de un sistema de manejo tradicional y que presentó 70% de semillas potencialmente viables, de las cuales solo el 1% no presentó embrión (Ramírez-Tobías y cols. 2016).

9.4 Germinación y sobrevivencia

El uso de tratamientos pregerminativos en especies hortícolas y forestales tienen como finalidad aumentar significativamente su germinación y sobrevivencia en los primeros días de desarrollo de la nueva plántula (Hernández-García 1980). Tal es el caso del acondicionamiento mátrico, que a diferencia de otros tratamientos pregerminativos realizados en laboratorio, asemeja las condiciones naturales de hidratación y deshidratación que encuentran las semillas en sus ambientes naturales. Este tipo de acondicionamiento no se ha llevado a cabo en semillas de *Agave*, y este es el primer trabajo exploratorio sobre la respuesta en la germinación y sobrevivencia en semillas de *Agave* después de su aplicación. La iniciativa por la cual se optó por este tipo de tratamiento pregerminativo, fue elegir un tratamiento al alcance del campesino-productor, es decir que fuera fácil de llevar a cabo sin necesidad de contar con condiciones de laboratorio.

En este trabajo no se observaron diferencias significativas en los porcentajes de germinación en las semillas de acuerdo con el tipo de manejo y el tratamiento pregerminativo. Si bien se han reportado porcentajes de germinación de *Agave salmiana* en poblaciones silvestres de menos

del 60% (Peña-Valdiva y cols. 2006), en ensayos de laboratorio en condiciones óptimas se ha registrado del 90% al 100% de germinación (Peña-Valdiva y cols. 2006).

Poco se ha evaluado la respuesta de la germinación de semillas de *Agave* bajo diferentes grados de manejo. Si bien en especies de cactáceas columnares hay ensayos que han evaluado la germinación de poblaciones sometidas a diferentes intensidades de manejo (Cruz y Casas, 2002; Arellano y Casas, 2003), no observaron diferencias significativas en la germinación de semillas de poblaciones silvestres o con diferentes grados de manejo bajo condiciones ambientales constantes, mientras que las diferencias encontradas son debidas a la manipulación extrema de factores ambientales (Cruz y Casas, 2002; Arellano y Casas, 2003).

Las divergencias en la germinación de semillas y sobrevivencia de las plántulas provenientes de plantas madre silvestres o bajo manejo se han observado mejor en los estudios de Guillen (2009, 2011), en los cuales la manipulación de diferentes grados de humedad muestran una respuesta más notoria sobre la germinación y sobrevivencia; semillas provenientes de cactus silvestres germinan mejor bajo condiciones de baja disponibilidad de humedad mientras que semillas provenientes de cactus con un alto grado de manejo presentaron bajos porcentajes de germinación a baja disponibilidad de humedad.

El acondicionamiento mátrico no presentó diferencias significativas en la germinación y sobrevivencia de plántulas con respecto al tipo de manejo, pero si se observó diferencia significativa en la sobrevivencia de plántulas independiente al tipo de manejo. Para estudios posteriores se podría considerar someter a las semillas y plántulas a diferentes factores que asemejen el ambiente en el que se desarrollan y llevarlos a los extremos tanto altos como bajos, como por ejemplo temperatura, disponibilidad hídrica. De esta forma se espera observar una respuesta más evidente y significativo del acondicionamiento mátrico.

10. CONCLUSIONES

La propagación asexual prolongada de germoplasma poco diverso en los sistemas de manejo intensivo y prolongado se asocia a la homogeneización de caracteres vegetativos y reproductivos, baja capacidad reproductiva y viabilidad de semillas.

Si bien la selección artificial está enfocada en los caracteres vegetativos, la mayor diferencia proviene de los caracteres reproductivos, lo que podría ser el reflejo de una respuesta alométrica de caracteres los vegetativos hacia los reproductivos.

La inclusión de caracteres reproductivos en conjunto con los caracteres vegetativos permitió evidenciar divergencias morfológicas debidas a la intensidad de manejo dentro de la variedad local "Manso".

Las plantas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" que reciben una mayor intensidad de manejo presentan un mayor distanciamiento entre dientes y por consiguiente un menor número de dientes; además, de dientes más largos. Estas respuestas forman parte del síndrome de domesticación en agaves.

El proceso de germinación bajo condiciones ambientales controladas y constantes con un tratamiento pregerminativo de acondicionamiento mátrico no aumenta los porcentajes de germinación. Además, no se observa efecto con respecto al sistema de manejo del cual provienen las semillas. Esto debido posiblemente a que las semillas se encuentran en condiciones ambientales homogéneas y óptimas para su germinación.

El uso del acondicionamiento mátrico como tratamiento pregerminativo pudo tener como respuesta el desarrollo de cotiledones más vigorosos. Lo que favoreció la sobrevivencia de plántulas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso". El acondicionamiento mátrico podría ser una opción para los campesinos para asegurar la sobrevivencia de plántulas de semillas que provienen de plantas madre con una muy baja capacidad reproductiva.

11. PERSPECTIVAS

Desarrollar estudios futuros en los que se integren análisis de diversidad genética en conjunto con los análisis de diversidad morfológica, más la integración de poblaciones silvestres de la especie *Agave salmiana* permitirán ayudarnos a comprender mejor las relaciones ecológicas y evolutivas de las divergencias asociadas al manejo.

Se necesitan proponer mejores estrategias en conjunto con los campesinos y productores, quienes albergan más de una variedad local, para el estudio de sus plantas hasta una fase reproductiva. Contemplar para estos futuros estudios poblaciones de plantas de diferentes procedencias. Además aumentar el número de factores a analizar cómo, diferentes gradientes de manejo, factores ambientales, incluso incidencia de polinizadores.

Se recomienda evaluar la capacidad reproductiva de todas las variedades locales registradas para la especie *Agave salmiana* subsp. *salmiana* y compararla con poblaciones silvestres, incluso con otras especies utilizadas para la producción de pulque, lo que brindaría mejor información sobre su situación actual.

El considerar para estudios futuros la manipulación de factores como humedad y temperatura en los niveles máximos y mínimos de tolerancia fisiológica en los procesos germinativos y de sobrevivencia de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" aportará información de su respuesta debida al manejo.

La propagación por medio de semillas sería la alternativa adecuada para incorporar variación morfológica y genotípica. De una planta madre se pueden obtener miles de semillas potencialmente viables, una desventaja de optar por esta alternativa es la obtención de plántulas distintas a la planta madre.

Es necesario diseñar un plan de manejo para realizar de forma manual y controlada la reproducción sexual de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" cuya finalidad es la de

proteger a las poblaciones silvestres ante posibles amenazas de la depresión por endogamia que sufren las plantaciones que se encuentran bajo un manejo intensivo.

Se requiere dar continuidad a los estudios de sobrevivencia de plántulas en condiciones naturales para conocer los factores ambientales que inciden en sobrevivencia de los agaves.

12. REFERENCIAS

- Afifi AA y Clark V. 1996. Computer-Aided multivariate analysis. Third Edition. Texts in Statistical Science, Chapman y Hall.
- Aguilar Ramírez JO. 2014. Análisis del proceso de la germinación en el *Agave victoriae-reginae* T. Moore. Tesis de Ingeniería. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Saltillo, Coahuila
- Aguilera CM y Martínez RE. 1980. Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Segunda edición Imprenta de la Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. De México.
- Alfaro RG, Legaria SJP y Rodríguez PJE. 2007. Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*Agave* spp.) del Nororiente del Estado de Mexico. Revista Fitotecnia Mexicana 30: 1-12.
- Álvarez-Ríos GD, Pacheco F, Figueredo Urbina CJ y Casas A. 2020. Management, morphological and genetic diversity of domesticated agaves in Michoacán, México. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine. 16: 3.
- Andrews DF. 1972. Plots of high-dimensional data. Biometrics 28: 125-136.
- Arellano E y Casas A. 2003. Morphological variation and domestication of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) under silvicultural management in Tehuacán Valley, Central Mexico. Gen. Resour. Crop Evol. 50: 439-453.
- Arizaga S, Ezcurra E, Peters E, de Arellano FR y Vega E. 2000. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican tropical desert. II. The role of pollinators. American Journal of Botany, 87(7):1011-1017.
- Arredondo V y Espinosa A. 2005. Manual del magueyero. Comisión de trabajo para el desarrollo responsable de la industria del maguey y del mezcal.
- Avendaño-Arrazate CH, Iracheta-Donjuan L, Gódinez-Aguilar, JC, López-Gómez P y Barrios-Ayala A. 2015. Caracterización morfológica de *Agave cupreata*, especie endémica de México. Phytion (Buenos Aires). 84(1):148-162.
- Berumen-Barbosa ME. 2009. Oaxaca: La actividad productiva Maguey-Mezcal. Santiago Matatlan, Tlacolula, Oaxaca, Mexico.
- Cabrera-Toledo D, Vargas-Ponce O, Ascencio-Ramírez S, Valadez-Sandoval L, Pérez-Alquicira J, Morales-Saavedra J and Huerta-Galván O. 2020. Morphological and Genetic Variation in Monocultures, Forestry Systems and Wild Populations of *Agave maximiliana* of Western Mexico: Implications for Its Conservation. Frontiers in Plant Science. 11: 817
- Casas A, Caballero J, Mapes C y Zárata S. 1997. Manejo de la Vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 61:31-47.
- Casas A, Camou A, Otero-Arnaiz A, Rangel-Landa S, Cruse-Sanders J, Solis-Rojas L, Torres-García I, Delgado A, Moreno CA, Vallejo M, Rodríguez S, Vázquez J, Parra F, Berenice F,

- Aguirre-Dugua X, Arellanes-Cancino Y, y Pérez-Negrón, Y. 2014. Manejo tradicional de biodiversidad y ecosistemas en Mesoamérica: el Valle de Tehuacán. *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública*. 6: 23-44.
- Casas A, Parra F, Torres-García I, Rangel-Landa S, Zarazúa M y Torres-Guevara. 2017. Estudios y patrones continentales de domesticación y manejo de recursos genéticos: perspectivas. En: *Domesticación en el continente americano*. Casas A, Torres-Guevara J y Parra-Rondinel F (eds.) UNAM/UNALM. Vol. 2, Capítulo 23, pp. 537-569.
- Casas A, Caballero J, Mapes C and Zárata S. 2017. Management of vegetation, plant domestication and origins of agriculture in Mesoamerica. *Botanical Sciences*. 61: 31 – 47
- Colunga GP, May-Pat F. 1993. Agave studies in Yucatan, Mexico. Past and present germplasm diversity and uses. *Econ Bot* 47: 312–327.
- Colunga GM, Estrada-Loera PE and May-Pat F. 1996. Patterns of morphological variation, diversity, and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatan, Mexico. *Am. J. Bot.* 83:1069-1082.
- Colunga-GarcíaMarín P y Zizumbo-Villarreal D. 2006. Tequila and other agave spirits from west-central Mexico: Current germplasm diversity, conservation, and origin. *Biodiversity and Conservation* 16: 1653-1667.
- Colunga-GarcíaMarín P, Torres-García I, Casas A, Figueredo-Urbina CJ, Rangel-Landa S, Delgado-Lemus A y Carrillo-Galván G. 2017. Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. *Domesticación en el continente americano*. 2: 273-308.
- Côme D. 1968. Problèmes of terminologie posés par la germination et ses obstacles. *Bulletin Societé Francaise Physiologie Végétale*.14:3-9.
- Contreras-Quiroz M. 2015. Tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación de semillas de especies de ecosistemas semiáridos. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Cruz M and Casas A. 2002. Morphological variation and reproductive biology of *Polaskia chende* (Cactaceae) under domestication in Central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 51(4): 561-576.
- Cruz-Castillo JG, Mackay BR, Lawes CR and Wooley O. 1994. Aplication of canonical discriminante analysis horticulture research. *HorteScience*. 29: 1115-1119.
- Dahlgren RM, Clifford HT and Yeo PF. 1985. The families of the monocotyledons. Structure, evolution, and taxonomy. Springer, Berlin.
- Escobar-Guzmán RE, Zamudio HF, Gil VK, June S. Seed production and gametophyte formation in *Agave tequilana* and *Agave americana*. 2008. *Botany NRC Canada*. 86:1343-1353.

- Figueredo CJ, Casas A, Colunga-GarcíaMarín, Nassar MJ and González-Rodríguez A. 2014. Morphological variation, management and domestication of ‘maguey alto’ (*Agave inaequidens*) and ‘maguey manso’ (*A. hookeri*) in Michoacán, México. *J Ethnobiology Ethnomedicine* 10: 66.
- Figueredo Urbina CJ, Casas A y Torres-García I. 2017. Morphological and genetic divergence between *Agave inaequidens*, *A. cupreata* and the domesticated *A. hookeri*. Analysis of their evolutionary relationships. *PLoS ONE* 12(11): e0187260.
- Figueredo-Urbina CJ, Octavio-Aguilar P, Pulido SM. 2019. Flores comestibles como acervo cultural mexicano. *Ciencia y desarrollo*. 304.
- Flores GA, Álvarez MJG, Rodríguez de la O JL y Corona AA. 2008. Germinación in vitro de semillas de *Nolina parviflora* (H.B.K.) Hemsl. *Forestal Veracruzana*, 10(2): 27-33.
- Franco TL y Hidalgo R. 2003. Análisis estadísticos de datos de caracterización de recursos fitogenéticos. Boletín Técnico no. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia.
- GarcíaDiego-San Luis MM. 2014. Expresión genética de pectin metil esterasa en semillas de *Ceiba aesculifolia* tratadas con acondicionamiento matricio. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Mendoza AJ. 1992. Con sabor a maguey. Guía de la colección Nacional de *Agavaceas* del Jardín Botánico del Instituto de Biología, Jardín Botánico, UNAM, México.
- García-Mendoza AJ. 2007. Los agaves de México. Universidad Autónoma de México. *Ciencia* 87: 14-23.
- García-Mendoza AJ. 2011. Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlan. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. 88: 1-95.
- García-Mendoza AJ & Chávez-Rendón C. 2013. *Agave kavandivi* (*Agavaceae*: grupo *Striatae*), una especie nueva de Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 84: 1070-1076.
- Gentry HS. 1982. *Agaves of continental North America*. The University of Arizona Press, Tucson. Arizona.
- Godoy A, Herrera T y Ulloa M. 2003. Más allá del pulque y del tepache, las bebidas alcohólicas no destiladas indígenas de México. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM. México.
- González-Zertuche L y Orozco-Segovia A. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58: 15-30.
- González-Zertuche L, 2005. Tratamientos de endurecimiento en semillas de *Buddleja cordata* (Loganiaceae) y *Wigandia Urens* (Hydrophyllaceae), dos especies útiles para reforestar o restaurar áreas perturbadas. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México.

Gonçalves de Lima O. 1956. El Maguey y el pulque en los códices mexicanos. Vázquez-García JA, Cházaro M de J, Hernández-Vera G, Flores-Berrios E, Vargas-Rodríguez YL (eds), Editorial: Fondo de Cultura Económica. México, D. F.

Gower JC. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika*. 53: 315-28.

Gower JC. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*. 27: 857-871.

Guillén S, Casas A, Benítez J and Martínez M. 2009. Seed Germination of Wild, Managed in Situ and Cultivated Populations of Columnar Cacti in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. *Journal of Arid Environments* 73:407–413.

Guillen S, Terrazas T, De la Barrera E and Casas A. 2011. Germination differentiation patterns of wild and domesticated columnar cacti in a gradient of artificial selection intensity. *Genet Resour Crop Evol*. 58: 409-423.

Guillén S, Casas A, Terrazas T, Vega E and Martínez-Palacios A. 2013. Differential survival and growth of wild and cultivated seedlings of columnar cacti: Consequences of domestication. *American journal of botany*. 100(12): 2364

Huerta-Lovera M, Peña-Valdivia CB, García-Esteva A, Kohasshi-Shibat J, Campos-García H and Aguirre-Rivera JR. 2018. Maguey (*Agave salmiana*) infructescence morphology and its relationship to yield components. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 65: 1649-1661.

IBM Corporation Released. 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0 Armonk, NY: IBM Corp.

Illsley C, Vega E, Pisanty I, Tlacotempa A, García P, Morales P, Rivera G, García J, Jiménez V, Castro F y Calzada M. 2007. Maguey papalote: hacia el manejo campesino sustentable de un recurso colectivo en el trópico seco de Guerrero México. En: Colunga-García M, Saavedra AL, Eguiarte LE y Zizumbo-Villareal D (eds.). En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. CICY, CONACYT, CONABIO, SEMARNAT e INE, México. pp: 319-340.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI). 2009. Prontuario de información municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Nanacamilpa de Marino Arista, Tlaxcala.

Kaufman L and Rousseeuw PJ, 2005. Finding groups in data: An introduction to cluster analysis. New York: Wiley.

Lara-Ávila JP, Alpuche-Solís AG. 2016. Análisis de la diversidad genética de agaves mezcaleros del centro de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3): 323-330.

Maguire JD. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2: 176-177.

Martínez-Vargas E y Jarquín-Pacheco AM. 2016. Zultépec-Tecoaque. Una nueva página histórica de la conquista de México. GET, Instituto Tlaxcalteca de la Cultura, México.

- Mora-López JL, Reyes-Agüero JA, Flores-Flores JL, Peña-Valdivia CN y Aguirre-Rivera JR. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección *salmiane* del género *Agave*. *Agrociencia*. 45: 465-477.
- Narváez SA, Martínez ST and Jiménez VM. (2016). El cultivo de maguey pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. *Revista de Geografía Agrícola*. 54:33-44
- Nieto RA, Vargas JM, Nieto JCA, Rodríguez AO, Jiménez VMP, Hernández JC y Ortiz MB. 2016. El cultivo de maguey pulquero (*Agave salmiana*) en el Valle del Mezquital. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Hidalgo. pp. 21.
- Niño VR. 2013. Germinación y viabilidad seminal de *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* y *Agave mapisaga*. Tesis de Ingeniería Agronómica y Fitotecnia. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Pardo O. 2005. El agave americano (*Agave americana* L.): uso alimentario en el Perú. *Chloris Chilensis* Año 8 No 2. URL: <http://www.chlorischile.cl>.
- Peña-Valdivia CB, Sánchez-Urdaneta AB, Aguirre RJR, Trejo C, Cárdenas E and Villegas MA. 2006. Temperature and mechanical scarification on seed germination of 'maguey' (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science and Technology*, 34(1): 47-56.
- Ramírez Rancaño, M. 2000. Ignacio Torres Adalid y la industria pulquera (1st ed.). México: Plaza y Valdés.
- Ramirez-Tobias HM, Pena-Valdivia CB, Aguirre RJR, Reyes-Agüero JA, Sanchez-Urdaneta AB and Valle-Guadarrama S. 2012. Seed germination temperatures of eight Mexican species with an extensive history of human use. *Plant Species Biology*. 27: 124-137
- Ramírez-Tobías HM, Peña-Valdivia CB y Aguirre R. 2014. Respuesta bioquímico-fisiológicas de especies de *Agave* a la restricción de humedad. *Botanical Sciences*. 92: 131-139.
- Ramírez-Tobías HM, Niño VR, Aguirre-Rivera JR, Aguirre-Rivera JR, Flores J, De Nova-Vázquez y Jarquin GR. 2016. Seed viability and effect of temperature on germination of *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* and *A. mapisaga*; two useful *Agave* species. *Genet Resour Crop Evol* 63: 881–888.
- Rangel LS, 2009. Germinación y establecimiento de *Agave potatorum* Zucc. En el Valle de Tehuacán: Bases ecológicas para la reforestación. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Retamal PN, Guash R, Duran AJM, 1997. El acondicionamiento mátrico. *Revista agropecuaria y ganadera*. 775: 120-122
- Rivera-Lugo M, García-Mendoza A, Simpson J, Solano, E., Gil-Vega, K. 2018. Taxonomic implications of the morphological and genetic variation of cultivated and domesticated populations of the *Agave angustifolia* complex (*Agavoideae*, *Asparagaceae*) in Oaxaca, Mexico. *Plant Systematics and Evolution*. 304: 969-97

Rocillo ZI, 2015. Caracterización morfológica y bioquímica de tres especies de maguey pulquero (*Agave spp.*) en la región de San Martín de las Pirámides, Estado de México. Tesis de Ingeniería agrónoma Universidad Autónoma Chapingo.

RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

Ruvalcaba-Ruíz D. y Rodríguez BG. 2002. Aberrant meiotic behavior in *Agave tequilana* Weber var. *azul*. Plant Biology 2: 10-14.

Rzedowski J. Calderón de Rzedowski G. 1990. Nota sobre el elemento africano en la flora adventicia de México. Acta Botánica Mexicana. 12: 21-24.

Sánchez L.A. 1989. Oaxaca, Tierra de Maguey y Mezcal. Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca.

Santacruz-Ruvalcaba F, Gutiérrez PH, and Rodriguez-Garay, Benjamin. (1999). Efficient in vitro propagation of *Agave parrasana* Berger. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 56: 163-167.

SIAP. 2017. Servicio de información Agroalimentaria y Pesca. Cierre de la producción agrícola por cultivo. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Stephenson AG. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. Ann. Rev. Syst. 12: 253-279

Taylor AG, Klein DE, Whitlow TH. 1988. Smp: solid priming of seeds. Scientia horticultrae. 37: 1-11.

Thiele K. 1993. The holy grail of the perfect character: The cladistics treatment of morphometric data. Cladistics. 9: 275-334.

Torres-García I, Rendón-Sandoval FJ, Blancas J y Moreno-Calles AI. 2019. El género *Agave* en los sistemas agroforestales de México. Ciencias Botánicas. 97 (3): 263-290.

Trejo-Hernández, L. 2017. De Dioses a Hipsters: El resurgimiento del pulque, una moda de antigua tradición. Oikos, Instituto de Ecología, UNAM. <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php>.

Trejo L, Reyes M, S-Toto D, Romano-Grande E and Muñoz-Camacho L. 2020. Morphological Diversity and Genetic Relationships in Pulque Production Agaves in Tlaxcala, Mexico, by Means of Unsupervised Learning and Gene Sequencing Analysis. Frontiers in Plant Science. 11: 524812.

Variar A, Kuriakose VA y Dadlani M. 2010. The subcellular basis of seed priming. Current Science 99: 450–457.

Vargas V, Lara GO, León AC, y Ortíz, SG. 2012. Desarrollo de plantas de *Agave durangensis* en tres sistemas de enviverado. VIDSUPRA. 2:33-38.

Vargas-Ponce O, Zizumbo-Villarreal D, Colunga GM. 2007. In situ diversity and maintenance of traditional *Agave* landraces used in Spirits production in west-central Mexico. *Economic Botany*. 64: 362-375.

Vázquez E, Garcia R, Valdivia-Peña C B, Ramírez-Tobías H. y Morales 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.

Vázquez-Pérez N. 2015. Variación morfológica y genética de *Agave Karwinskii* (Agavaceae) en los estados de Oaxaca y Puebla. Tesis de Maestría. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ward JH Jr, 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Amer. Statist. Assoc.*, 58: 236-244.

13. ANEXOS

Anexo 1. Tablas

Tabla 1. Caracteres morfológicos con más peso que describen la variación de los caracteres morfológicos vegetativos y reproductivos de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* "Manso" en los tres primeros componentes principales, en el análisis multivariado (ACP).

Caracteres morfológicos vegetativos	PC1	PC2	PC3
<i>Altura total de la roseta</i>	0.013761785	0.257991498	0.097069683
<i>Diámetro de la roseta</i>	0.058963352	-0.026200297	0.03749765
<i>Nº total de hojas</i>	0.02299356	0.26699683	0.045374607
<i>Cutícula</i>	0.105224974	0.236844244	-0.108327759
<i>Largo de la hoja</i>	0.023132934	0.214014142	0.111263251
<i>Ancho a la mitad de la hoja</i>	-0.233462475	0.14247906	0.051992831
<i>Ancho de la base de la hoja</i>	-0.068459829	0.093760793	0.142836061
<i>Grosor de la base de la hoja</i>	-0.051647083	-0.068224124	0.187712627
<i>Nº de dientes</i>	0.078589772	-0.089139158	-0.070318674
<i>Largo de la espina terminal de la hoja</i>	-0.100294648	0.139435583	0.017317785
<i>Diámetro de la espina de la hoja</i>	-0.085147689	0.054254247	-0.005437543
<i>Promedio de la distancia entre dientes</i>	-0.159112877	0.017962412	0.083128676
<i>Promedio del ancho del diente</i>	0.051132712	0.04289198	0.028452482
<i>Promedio del Largo del diente</i>	-0.146649808	0.076710492	0.00940317
Caracteres morfológicos de la inflorescencia	PC1	PC2	PC3
<i>Altura total de la inflorescencia</i>	-0.039663389	0.177739138	-0.083125499
<i>Largo del pedúnculo de la inflorescencia</i>	-0.086205824	0.052380865	-0.102935002
<i>Largo de la inflorescencia</i>	0.021723737	0.009530306	-0.048765617
<i>Diámetro de la inflorescencia</i>	0.197034144	0.060582611	0.059334244
<i>Largo de la rama más larga</i>	-0.151654653	0.129894548	-0.010292307
<i>Promedio del largo de la rama</i>	-0.065869626	0.078631424	0.114638077
<i>Nº total de ramas</i>	0.101249385	0.189910295	-0.081943277
<i>Nº total de flores</i>	0.173193519	0.15424381	0.074867833
<i>Largo de la bráctea</i>	0.171695246	0.089702717	0.188702526
<i>Largo de la base de la bráctea</i>	-0.04586204	0.057183439	0.235729233
<i>Ancho de la base de la bráctea</i>	0.005937454	0.077489663	0.325030142
<i>Largo de la espina de la bráctea</i>	-0.113215526	-0.257352831	-0.084520436
<i>Diámetro de la espina de la bráctea</i>	-0.042778491	-0.248977963	-0.011125968

Caracteres morfológicos florales	PC1	PC2	PC3
<i>Largo total de la flor</i>	-0.223851741	-0.098939367	0.057118802
<i>Largo de la base de la flor</i>	-0.176778389	0.062444505	0.089319563
<i>Largo del tubo</i>	-0.220046872	-0.016889226	0.010529046
<i>Largo de los tépalos</i>	-0.19085998	-0.177753436	-0.004452563
<i>Diámetro del tubo</i>	-0.063729687	-0.031682525	-0.147817945
<i>Largo del ovario</i>	-0.11922035	-0.12313333	-0.102489863
<i>Distancia del ovario al pistilo</i>	-0.088807536	0.128876326	0.073011017
<i>Distancia del ovario al filamento</i>	-0.127118131	0.18909773	0.06514311
<i>Largo del pistilo</i>	-0.193182261	0.093528532	-0.038352303
<i>Largo de la cabeza del pistilo</i>	-0.230999607	-0.093543024	0.078649086
<i>Diámetro del pistilo</i>	-0.154627168	-0.229755565	0.067159152
<i>Largo del filamento</i>	-0.219199844	0.094769641	-0.054348036
<i>Diámetro del filamento</i>	-0.16754797	-0.226898112	0.027751491
<i>Largo de la antera</i>	-0.128475153	0.067119424	-0.045699235
<i>Diámetro de la antera</i>	-0.176880709	-0.163997467	0.064961528
Caracteres morfológicos del fruto	PC1	PC2	PC3
<i>Largo del pedicelo</i>	-0.173150456	0.139371834	0.038554958
<i>Ancho del pedicelo</i>	-0.23852689	0.074550041	-0.04197194
<i>Largo de la capsula</i>	-0.201417568	0.152584062	-0.082342471
<i>Ancho de la capsula</i>	-0.077436729	0.089039218	-0.346547306
<i>Ancho de la hoja carpelar</i>	-0.076437124	-0.038064915	-0.261708461
<i>Largo del estípite</i>	-0.045507608	0.131499895	-0.064768881
<i>Ancho del estípite</i>	-0.185749445	0.14548135	-0.09041539
<i>Promedio número total de semillas por fruto</i>	-0.152315991	0.148408094	-0.02840046
<i>Promedio número de semillas viables</i>	0.101963913	0.036658747	-0.339148068
<i>Promedio número de semillas vanas</i>	-0.164890728	0.117292077	0.07642884
<i>Promedio del Largo de la semilla</i>	0.043529499	0.095490502	-0.332500885
<i>Promedio del ancho de la semilla</i>	-0.041167189	0.047955493	-0.346126369