

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Análisis de la Respuesta de Germinación y Desarrollo Inicial de Plántulas de *Agave salmiana* Bajo Tres Sustratos.

Por:

MARÍA FERNANDA PÉREZ RIVERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2024.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Análisis de la Respuesta de Germinación y Desarrollo Inicial de Plántulas de *Agave salmiana* Bajo Tres Sustratos.

Por:

MARÍA FERNANDA PÉREZ RIVERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

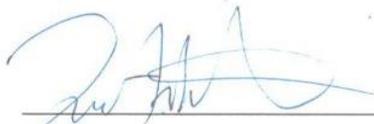
INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Aida Isabel Leal Robles

Asesor Principal



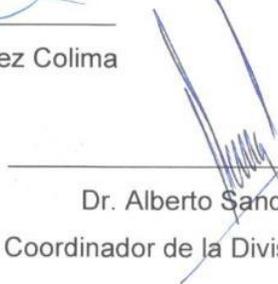
Dr. Juan Antonio Nuñez Colima

Coasesor



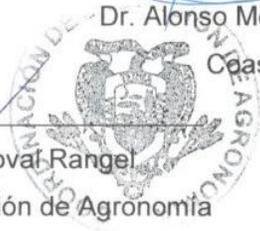
Dr. Alonso Méndez López

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024.

DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Autor principal



María Fernanda Pérez Rivera

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos

Al departamento de botánica por abrirme sus puertas y ser parte de él.

Dra. Aida Leal Robles por siempre ayudarme y por apoyarme a lo largo de la carrera. Estoy muy agradecida que creyó en mí.

Dr. Juan Antonio Núñez Colima por su apoyo en la realización de tesis.

Dr. Alonso Méndez López por su apoyo en la contribución de la composta usada en el experimento y sus conocimientos sobre la misma.

Dedicatorias

A mis padres por siempre creer en mí y guiarme en el camino, por su apoyo incondicional. Los amo mucho, gracias por todo.

A la familia Ramírez Rivera por darme su hospitalidad durante mi estancia en la universidad, se los agradezco de todo corazón.

A mis abuelitos en especial a Herminia Robledo Cruz por su apoyo incondicional, los quiero con todo mi corazón.

A Omar de Jesús López Acosta por todo su apoyo, gracias por llegar en el momento indicado, te quiero mucho.

A mi mejor amiga Rosalba Orozco Rodríguez por siempre estar para mí y por regalarme su amistad tan sincera a pesar de la distancia.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO GENERAL	4
2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
2.2. HIPOTESIS	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1. Agave en México	5
3.1.1. Taxonomía	6
3.2. Agave salmiana	7
3.2.1. Generalidades	8
3.2.2. Distribución geográfica	8
3.2.3. Clima y régimen térmico	10
3.2.4. Prácticas de propagación	10
3.2.5. Usos	11
3.2.6. Otras formas de aprovechamiento	14
3.2.7. Panorama económico	15
3.3. Sustrato	16
3.3.1. Descripción	16
3.3.2. Clasificación	16
3.4. Composta	17
3.4.1. Características físicas y químicas	18

4. METODOLOGIA	19
4.1. Ubicación	19
4.2. Materiales y métodos	19
4.2.1 Preparación de los sustratos	21
4.3. Siembra	21
4.5. Riego	23
4.6. Registro de datos	24
4.7. Análisis estadístico	26
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1 Porcentaje de germinación	27
5.2 Análisis del conteo de hojas	28
5.3 Análisis de la longitud de hoja	30
5.4 Análisis del grosor de roseta	32
5.4 Análisis del peso fresco y seco.	34
5.5 Análisis de longitud de raíz	35
5.6 Variables morfométricas (finales)	36
6. CONCLUSIÓN	38
7. LITERATURA CITADA	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los agaves (magueyes) en México (CONABIO 2020).....	6
Figura 2. Infografía del Maguey Pulquero (<i>Agave salmiana</i>) (IBUAM, 2010).	7
Figura 3. Mapa de distribución potencial por especie <i>Agave salmiana</i> (ZIFOZA, 2007).	9
Figura 4. Vivero del Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides”.....	19
Figura 5. Semillas de <i>Agave salmiana</i>	21
Figura 6. Acomodo de semillas en la charola.	22
Figura 7. Acomodo de los tratamientos (sustratos).	23
Figura 8. Plantas de <i>Agave salmiana</i> en crecimiento.....	24
Figura 9. Registro de datos del grosor de la roseta.....	25
Figura 10. Porcentaje de germinación de semillas de <i>A. salmiana</i>	28
Figura 11. Análisis del conteo de hojas por tratamiento.	29
Figura 12. Porcentaje promedio del conteo de hojas por tratamiento.	30
Figura 13. Análisis de longitud de planta de acuerdo a los tratamientos.....	31
Figura 14. Media de la longitud de la hoja expresada en cm.....	32
Figura 15. Análisis del grosor de roseta por tratamiento.	33
Figura 16. Media del grosor de la roseta expresada en mm.	34
Figura 17. Análisis del peso fresco por tratamiento.....	35
Figura 18. Análisis de longitud de raíz por tratamiento.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Uso tradicional de agave en México (Ramírez, 1982).....	12
Tabla 2 Clasificación de sustratos (Abad, 2004).....	17
Tabla 3 Contenido de sustratos.	20
Tabla 4. Efecto de los diferentes sustratos en las variables morfométricas de <i>A. salmiana</i> a los nueve meses después de la siembra \pm la desviación estándar.....	37

RESUMEN

La presente investigación se centró en analizar la germinación de *Agave salmiana* bajo tres diferentes tipos de sustratos. El objetivo principal fue evaluar cuál de los sustratos favorece un mejor índice de germinación y desarrollo inicial de las plántulas de *Agave salmiana*, especie de interés agrícola y ecológico en México. Para ello, se realizó un experimento bajo condiciones controladas, en el que se sembraron semillas en tres sustratos bajo la composición siguiente: peat moss, vermiculita y perlita (sustrato A), peat moss, vermiculita y perlita + compost de bagazo de *Agave lechuguilla* (sustrato B) y compost de bagazo de *Agave lechuguilla* (sustrato C); en cada sustrato se monitoreaban las variables de germinación, el tiempo de emergencia y la morfología de las plántulas. Para la evaluación final (diciembre 2023) se realizó el análisis de varianza de un factor para las variables (grosor de roseta, longitud de hoja, largo de raíz, peso fresco y seco), para cada uno de los análisis se les aplicó la prueba de comparación de medidas de Tukey. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa computacional estadístico IBM.SPSS 26, con un nivel significativo de $P \leq 0.05$. El tratamiento que combinó el compost de *Agave lechuguilla* más el sustrato de peat moss, agrolita y vermiculita mostró los valores más altos en diámetro de roseta, longitud de hoja, porcentaje de germinación, y peso fresco, lo que indica que este sustrato promueve significativamente el crecimiento y desarrollo de las plántulas de *Agave salmiana*.

Palabras clave: agave, compost, sustratos, crecimiento.

ABSTRACT

The present research was focused on analyzing the germination of *Agave salmiana* under three different types of substrates. Three treatments with different types of substrates were used: peat moss, *Agave salmiana* bagasse compost with manure, vermiculite and perlite. The main objective was to evaluate which of these substrates favored a better germination rate and initial development of *Agave salmiana* seedlings, a species of agricultural and ecological interest in Mexico. For this purpose, an experiment was conducted under controlled conditions, in which seeds were sown in each substrate, monitoring variables such as germination rate, emergence time and seedling morphology. For the final evaluation (December 2023), a one factor analysis of variance was performed for the variables (rosette thickness, leaf length, root length, fresh and dry weight), and Tukey's test for comparison of measures was applied to each of analyses. The statistical analyses were performed with the IBM SPSS 26 statistical software with significant level ≤ 0.05 . The treatment that combined the *Agave salmiana* compost plus the substrate of peat moss, agrolite and vermiculite showed the highest values in rosette diameter, leaf length, germination percentage, and fresh weight which indicates that this substrate significantly promotes the growth and development of *Agave salmiana* seedlings.

Key words: agave, compost, substrates, growth.

1. INTRODUCCIÓN

En México se localizan aproximadamente el 75% de las especies de agave que podemos encontrar en el planeta (García y Mendoza, 2009) y son reconocidas como el ingrediente principal para la elaboración del tequila, pulque, mezcal y otras más. Algunas especies, setenta y cuatro para ser exactos, se utilizan para alimento humano, materia prima y fibras textiles (Colunga *et al.*, 2007).

Los agaves se consideran plantas que se adaptan a ambientes extremos a secos, ya que cuentan con hojas suculentas y cutículas gruesas. Esto les permite realizar adaptaciones en el proceso de la fotosíntesis, además, mantienen y almacenan el agua (Andrade y Nobel, 1997). Los agaves tienen la capacidad de sobrevivir incluso con una reducción de hasta el 90% de agua en sus tejidos (Nobel, 1998).

La estrategia para la apertura de estomas de forma nocturna es muy típica de la ruta de la fijación del carbono tipo CAM que permite que se absorba el dióxido de carbono se intercambia eficientemente cuando la pérdida de agua es mínima (Nobel, 1998). El *Agave salmiana* es conocido por su concentración de prolina en la raíz de las plántulas que se considera como una contestación del estrés hídrico que puede llegar a sufrir. Es una de las doscientas especies que son conocidas como “maguey” en la zona de América latina (Peña *et al.*, 2009).

El *Agave salmiana* entra en el grupo de poblaciones que son cosechadas y de tipo silvestre. Forman poblaciones abundantes, ya que los individuos que las conforman son originados de una planta madre, formando otras plantas o clones con características uniformes. Esta especie tiene una distribución por México especialmente en los estados de Durango, Coahuila, San Luis Potosí, Hidalgo, Zacatecas y Puebla, estableciéndose en alturas de hasta los 2460 metros sobre el nivel del mar, en climas semisecos y secos (Gentry, 1982).

Desde una perspectiva económica, los agaves que son materia prima en especial el *Agave salmiana* comúnmente denominado como “agave pulquero”, es uno de los más

importantes en cuestión de agroecosistemas en México. El *A. salmiana* es una de las principales fuentes de biomasa que son destinadas a la producción de pulque en México, el 75% de las plantas producidas abastece a nivel nacional.

Por lo anterior, en el presente trabajo se abordó evaluar la germinación y el crecimiento de *A. salmiana*, en etapa de plántula, haciendo uso de sustratos amigables con el ambiente. Los principales resultados obtenidos fueron un porcentaje de germinación mayor al 80% en dos de los sustratos utilizados (A y B), aunado al desarrollo regular de las plántulas, en las que destacó la formación de hojas, raíces así como un incremento de biomasa y de los valores registrados en las variables morfométricas, de longitud de hoja y diámetro de roseta, en las plantas que crecieron en el sustrato adicionado con compost, considerando que la fuente de materia orgánica es necesaria para el buen desarrollo de las plantas en etapa de crecimiento.

JUSTIFICACIÓN

Las comunidades en México, hacen uso de plantas silvestres y/o domesticadas, sin embargo, muchas veces se requiere fortalecer sus prácticas agrícolas con alternativas técnicas que fortalezcan su desarrollo. Tal es el caso de los campesinos del ejido de Jalpa en el municipio de General Cepeda, Coahuila, que se dedican a la extracción de fibras de *Agave lechuguilla* y de pulque a partir del fermentado de los azúcares del *Agave salmiana*.

El *Agave salmiana*, conocido como maguey pulquero, es una de las especies clave en México, tanto por su valor económico como por su relevancia cultural y ecológica. El estudio de su germinación y desarrollo inicial de las plantas bajo diferentes sustratos, es crucial para optimizar prácticas agrícolas, facilitar la propagación eficiente de la especie, el reciclaje de residuos agroindustriales, la conservación de la biodiversidad, y preservación de una planta endémica esencial para los ecosistemas semisecos y áridos de México.

Por lo tanto, los resultados del presente trabajo, pueden contribuir de manera directa para hacer un uso responsable de los recursos vegetales, aprovecharlos de manera circular a través del compostaje de los residuos de la lechuguilla, y promover conservación de los ecosistemas del semidesierto de Coahuila.

2. OBJETIVO GENERAL

Comparar la respuesta de germinación y el desarrollo inicial de las plántulas de *Agave salmiana* al cultivarlas en tres diferentes sustratos.

2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar en el porcentaje de germinación de las semillas de *Agave salmiana* al sembrarlas en tres diferentes sustratos.
2. Comparar las características agronómicas de las plántulas establecidas en tres diferentes sustratos y determinar el mejor, de acuerdo al desarrollo vegetativo registrado (número y longitud de hojas, altura de la planta, grosor de la roseta, peso y longitud de raíz).

2.2. HIPOTESIS

La germinación y desarrollo inicial de las plántulas de *Agave salmiana* dependerá de la composición nutricional y física del sustrato en el que son sembradas las semillas.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Agave en México

Los agaves se consideran plantas xerofitas y se destacan por presentar modificaciones morfológicas como estrategia para sobrevivir a climas extremos. Son plantas perennes con hojas en espiral y en rosetas en su ápice del tallo, su estructura da paso al agua en forma de lluvia. El tallo es el principal en almacenar el agua y sus reservas de carbohidratos. Por lo general, las hojas son carnosas, fibrosas, suculentas y su forma es muy variada (Eguiarte y Souza, 2000).

Los agaves, también conocidos como magueyes son ampliamente reconocidos como uno de los cultivos más emblemáticos de México debido a los productos derivados de ellos, como el tequila y el mezcal. Este país no solo cuenta con la mayor diversidad biológica de agaves a nivel mundial, sino que también es un centro de diversificación y domesticación de estas plantas. De las aproximadamente 210 especies existentes, 159 se encuentran en México, lo que se atribuye a un linaje que surgió hace 8 millones de años en este territorio. El género *Agave* tiene su origen en América (Santos *et al.*, 2012).

En México existen registros históricos que evidencian el uso de agave desde hace más de 10,000 años, principalmente como fuente de alimento, bebida, fibras y aplicaciones medicinales. Durante la época prehispánica en Mesoamérica, comenzaron a elaborarse bebidas alcohólicas fermentadas a partir del agave, adquiriendo una gran importancia social y cultural. Por ejemplo, el agua miel es una bebida especialmente relevante en las regiones del centro y norte México (Correa *et al.*, 2014).

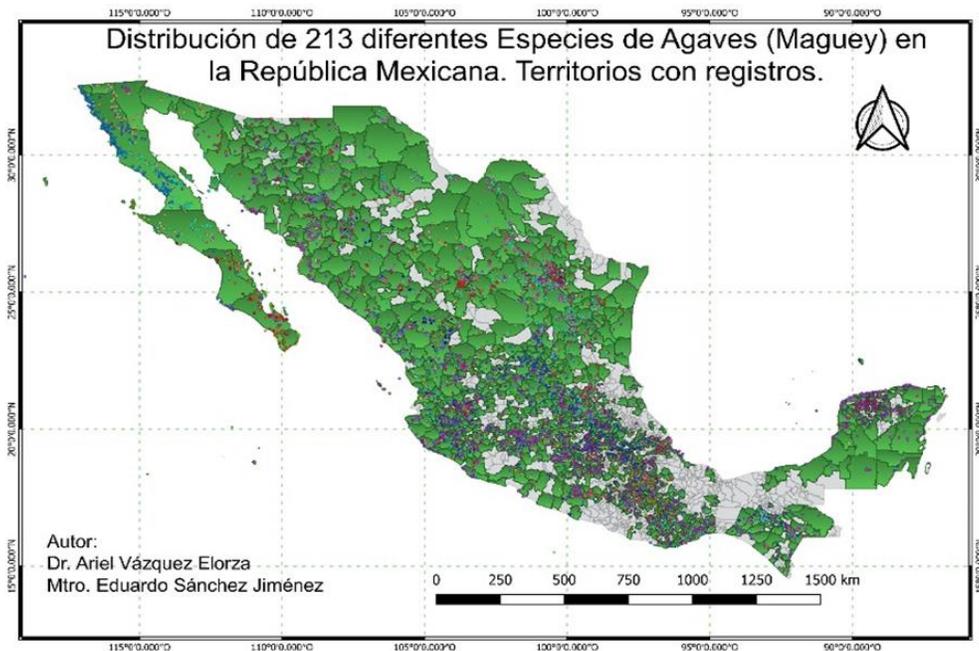


Figura 1. Distribución de los agaves (magueyes) en México (CONABIO 2020).

3.1.1. Taxonomía

La clasificación del género *Agave* de acuerdo a un sistema de clasificación del (Angiosperm Phylogeny Group, 2009):

Reino: Plantae

Phylum: Tracheophyta

Clase: Esquisetopsida

Orden: Asparagales

Familia: Asparagaceae

Subfamilia: Agavoideae

Género: *Agave*

3.2. *Agave salmiana*

El *Agave salmiana* que se le conoce comúnmente como maguey pulquero, se le considera una especie endémica en México. Es una de las 200 especies de agave mexicanas y su distribución en varios estados de la república se debe a las características de clima subhúmedo y en gran parte seco (Gentry, 1982; *et al.*, 2004).



Figura 2. Infografía del Maguey Pulquero (*Agave salmiana*) (IBUAM, 2010).

3.2.1. Generalidades

El *Agave salmiana* es una planta monocotiledónea de tamaño mediano, robusta, con hojas conocidas como pencas que se disponen en espiral, formando una roseta, posee raíces fibrosas y escamosas, con una estructura en forma de roseta que alcanza entre 1 a 2 metros de altura y el doble de ancho. Sus hojas son carnosas y resistentes; las más jóvenes son rectas ligeramente separadas al eje central, mientras las maduras se curvan hacia abajo, adquiriendo un tono verde grisáceo. Estas hojas presentan una base convexa y una parte superior cóncava, además de una espina terminal aguda entre 5 y 8 cm, acompañada de espinas laterales abundantes, largas simples y acanaladas, con un ápice de color verde oscuro en sus primeras etapas.

La inflorescencia es una panícula robusta que se puede medir entre 6 a 8 metros de altura, con un qurote que desarrolla de 15 a 24 ramas laterales o péndulas. El escapo floral está cubierto de brácteas carnosas y suculentas. Las flores son hermafroditas, con un ovario ínfero un perianto compuesto por seis piezas, androceo de seis estambres largos y un gineceo que incluye un ovario oblongo central. Su fruto es una capsula alargada, de tres lóbulos y seis casillas, mientras que las semillas son negras, triangulares, con un embrión recto y endospermo carnoso.

La floración de esta especie ocurre entre mayo y julio, y su ciclo de vida se estima en unos 16 años, desde la germinación de la plántula o el desarrollo del hijuelo hasta la recolección (Aguirre *et al.*, 2001).

3.2.2. Distribución geográfica

El *Agave salmiana* se localiza en la región central de México, principalmente en los estados de:

- Durango
- Zacatecas

- San Luis Potosí
- Morelos
- Michoacán
- Guanajuato
- Querétaro
- Hidalgo
- Puebla
- Tlaxcala

Pero los estados donde constituye el *Agave salmiana* son Zacatecas y San Luis potosí, mientras que en Durango es el segundo más importante para la elaboración del mezcal. Se encuentra en la zona de Pinos-Zacatecas, abarcando alrededor de 60,000 ha (Martinez *et al.*, 2007), y cubre casi todo el Altiplano Potosino. Además, en los estados de Guerrero y Oaxaca también tiene relevancia, donde se emplean diversas especies para la producción de mezcal (Aguirre *et al.*, 2001).

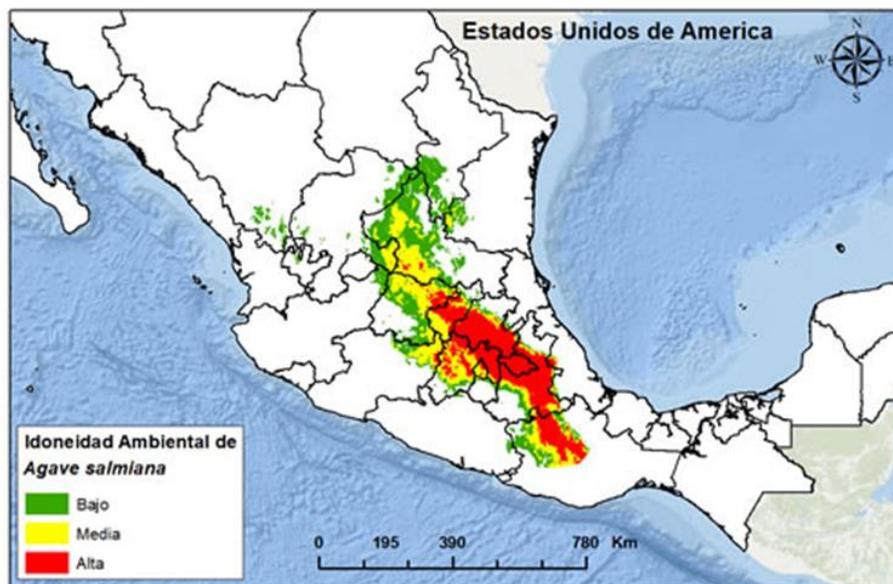


Figura 3. Mapa de distribución potencial por especie *Agave salmiana* (ZIFOZA, 2007).

3.2.3. Clima y régimen térmico

El *Agave salmiana* es fundamental en la producción de pulque en el altiplano mexicano, destacándose por su excelente adaptación en altitudes que oscilan entre 1000 y 2500 msnm, en climas que varían desde secos hasta semisecos con precipitaciones anuales de entre 320 y 720 mm; el 95% de estas precipitaciones que ocurren en verano y el 90% invierno (Gentry, 1982). Este agave se adapta a un régimen térmico que puede ir de templado a semicálido extremo, con temperaturas promedio anuales que oscilan entre los 15° y 22° C. Las temperaturas mínimas registradas han llegado hasta los -22° C, y en verano se puede soportar temperaturas de hasta 36° C, siempre que su reserva de agua sea suficiente. Crece en valles rocosos, cerros y abanicos pluviales, pero no en suelos con altos niveles de sales o sodio, ni en áreas con pronósticos de lluvias excesivas que causen inundaciones. Se les encuentra asociados a bosques de pinos y encinos, en suelos derivados de yeso, sin limitaciones, a altitudes de hasta 2,300 msnm. Sin embargo, la mayor productividad se alcanza en suelos derivados de rocas ígneas, que son ideales para su óptimo desarrollo (Aguirre *et al.*, 2001).

3.2.4. Prácticas de propagación

Los métodos utilizados para la propagación sexual del agave incluyen el uso de semillas y asexual, por los propágulos de la inflorescencia y vástagos, además de otros enfoques como la propagación a través de secciones del tallo, bulbillos y rizomas. Esta última técnica se lleva a cabo mediante la separación de los vástagos (hijuelos) que se originan en el rizoma de la planta madre.

La propagación asexual ofrece ventajas directas a los productores, ya que facilita la transferencia de azúcares y agua desde la planta madre a los hijuelos, favoreciendo su crecimiento adecuado. Este proceso se beneficia de la misma disponibilidad de agua, luz, temperatura y aire, lo que permite que los hijuelos puedan ser plantados tanto en campo abierto como en invernaderos, donde se mantienen por un corto periodo antes de ser

trasplantados al terreno. Sin embargo, la reproducción asexual también tienen inconvenientes, como la clonación de la planta madre, lo que reduce la variabilidad genética entre las especies y las hace más vulnerables a plagas y enfermedades (García et al., 2009).

Por otro lado, la reproducción sexual del agave se realiza a través de flores, semillas y frutos. Las flores del agave contienen polen y estambres, cuyo polen debe ser transferidos al estigma de la misma flor u otra diferente. La mayoría de los agaves son monocárpicos, lo que significa que se reproducen solo una vez antes de morir. Para que la reproducción sexual sea exitosa, es esencial una adecuada transferencia de polen, proceso que es principalmente realizado por murciélagos (Nobel, 1988). En la naturaleza, la tasa de supervivencia de las plántulas de agave provenientes de semillas no es muy alta, ya que estas tienen una capacidad limitada para retener agua y regular la temperatura (García et al., 2009).

3.2.5. Usos

La savia que es segregada por el mismo agave tras su corte en la penca céntrica del tallo se le conoce comúnmente como “aguamiel”. Este líquido contiene una alta concentración de carbohidratos fermentados como se les conoce como fructanos (agavinas y levanos) polímeros de la fructosa con actividad prebiótica, que sirve como sustrato para el crecimiento de algunas bacterias que nos ayudan en la microbiota del intestino, también contiene hierro, zinc y calcio y magnesio.

El principal uso del *Agave salmiana* es la elaboración de mezcal, un proceso que se lleva a cabo mediante la fermentación de los carbohidratos presentes en la piña del agave. Otro uso relevante de este agave es la producción de aguamiel, que también se fermenta para convertirse en pulque, una bebida alcohólica tradicional. El pulque es además un ingrediente esencial en la producción de pan de pulque. Las pencas, son residuos agrícolas del cultivo de agave, se utilizan en el proceso, junto con las piñas que quedan después de extraer la savia, se utilizan como forraje en la industria ganadera, alimentando

principalmente vacas, ovejas y cabras. Se estima que, solo el estado de San Luis Potosí, entre 2,000 y 8,000 toneladas de agave se destinan como forraje cada año (Martínez et al., 2013).

Las pencas también se emplean en la fabricación de fibras, de las cuales se producen cuerdas, redes, telas y bolsas. Además, se han utilizado en la fabricación de colchones y asientos de automóvil. El “quiote” (vara floral de la planta) se usaba como material para la construcción (Gentry, 1982). En el estado de Puebla, los agaves se han implementado como barreras naturales, formando enormes cercas que pueden alcanzar hasta 2 metros de altura y 6 metros de ancho, con filas de 2 a 4 agaves que sirven como barreras y rompe vientos.

El agave se considera una planta que contiene importantes fitoquímicos como saponinas y vitaminas, que dan muchos beneficios. Algunas veces con los procesos que sufre el agave como la cocción de la piña los beneficios se pierden o disminuyen en su mayoría y es muy poco el beneficio. En el territorio mexicano se utiliza el agave como ya lo sabemos su utilización es muy variada (Tabla 1) y depende del lugar en donde se utilice.

Tabla 1. Uso tradicional de agave en México (Ramírez, 1982).

Concepto	Uso	Partes que se obtienen de la planta
Alimenticio	Aguamiel Jugo dulce Atoles Jarabe Mezcales	Piña del agave Quiote Aguamiel Aguamiel concentrado Piña del agave
Condimento y comida	Pulque Aguardiente Miel Vinagre	Aguamiel fermentado Pulque destilado Aguamiel concentrado Aguamiel fermentado

	Postre Saborizante de tamales y pan Levadura Tortillas Condimento	Quiote asado Aguamiel y piña Residuos del pulque Quite Pulque
Tejido y vestuario	Hilos para costales, bolsas, mantas, telas, lazos, cuerdas para instrumentos musicales, cuerdas, redes para pesca.	Fibra de la penca
Construcción	Aditivo para mezcla Vigas Techos a modo de tejado	Baba de la penca Quiote seco Pencas frescas
Uso domestico	Jabón Recipiente para agua Recipiente de comida	Raíces y penca Piña Penca
Ornato	Adornos de navidad Deslinde de terrenos	Agave completo Agave completo
Agrícola	Abono	Cenizas de la piña y fibras

	Protección contra la erosión	Agave completo
Forraje	Alimento para aves Alimento para ovinos y bovinos	Residuos del pulque Pencas
Religioso	Bebida ritual	Aguamiel y pulque

3.2.6. Otras formas de aprovechamiento

Mixiote: Se le denomina mixiote a la epidermis de la cara superior de la hoja que se desprende al realizar un corte en ella. Se obtiene del agave Salmiana, específicamente de las hojas nuevas, es decir, de aquellas más cercanas al “meyolote” en botánica este término se le da a este tipo de hojas. Esta epidermis está recubierta por una capa cerosa exterior que protege contra la reducción de agua. Sin embargo, la práctica intensiva de desmixiotado puede impedir que la especie controle su pérdida de agua.

Semillas: Las semillas del agave son utilizadas en la creación de adornos corporales. Los frutos o cápsulas perforadas se emplean para hacer collares, algunos de los cuales son pintados y considerados productos.

Retención de suelos: El agave se ha utilizado en terrazas de cultivo, colocándose en filas en dirección a la pendiente del terreno con el objetivo de prevenir la, compactación, y erosión del suelo, reducir el escurrimiento y favorecer la infiltración del agua.

Combustible: El material lignocelulósico presente en las paredes celulares de la hoja y los quiotes, cuando están secos, se considera como buen material combustible debido a sus excelentes propiedades caloríficas. Por esta razón los campesinos suelen almacenarlos para su uso posterior. Las hojas maduras de la planta se recolectan y se

dejan secar durante al menos una semana o hasta que estén completamente secas (Fournier, 2007).

Uso medicinal: El uso medicinal del agave es poco común y carece de suficiente respaldo científico, sin embargo, las personas que lo han utilizado con fines curativos aseguran que la penca es buen calmante para quemaduras (Fournier, 2007).

Insectos asociados: El uso y aprovechamiento de los gusanos en el valle de México es bastante común, aunque no todos los productores se benefician de estos insectos. Aquellos que obtienen aguamiel y pulque de agave no obtienen un beneficio directo de los gusanos, aunque los productores de pulque si lo hacen. Se aprovechan tres tipos de insectos en el agave: los escamoles *Liomepum apiculatum*, el gusano blanco *acentrocneme hesperiaris* y el gusano rojo *Hypoptya agavis*. Estos gusanos se venden frescos. El agave es esencial para el proceso vital entorno de estas especies.

3.2.7. Panorama económico

El cultivo del agave utilizado principalmente para la producción de pulque se utiliza de manera total, lo que lo convierte en una opción económica que beneficia el crecimiento de las comunidades rurales que tienen las condiciones necesarias para establecer el cultivo. Desde una perspectiva económica, se considera viable según una valoración realizada. Una hectárea de este agave, aprovechando todas las partes de las plantas, genera diversos ingresos, lo que lo convierte en un cultivo altamente rentable dentro del sector agropecuario y contribuye significativamente a la economía local. Este cultivo puede impulsar la creación de empresas enfocadas a la agroindustria, ya que los productos derivados del agave pueden ser industrializados y comercializados. El aprovechamiento sostenible del agave representa un modelo de negocio ambientalmente responsable y favorable para la economía.

3.3. Sustrato

El sustrato se define como un material sólido diferente al suelo en común que pueda ser natural, sintético o residual, y de origen mineral u orgánico. Cuando se coloca en un depósito, ya se forma sin alteraciones o combinado, permite que las raíces del organismo vegetal se anclen. Su función principal es brindar soporte a la planta, y puede influir o no en la nutrición mineral de la misma.

Actúa como un medio que brinda agua y oxígeno a las raíces favoreciendo su desarrollo y crecimiento adecuado de la planta. Para seleccionar el sustrato adecuado y gestionar correctamente el riego y la fertilización, es necesario analizar sus características químicas, físicas y biológicas, así como la relación de rentabilidad y su disponibilidad (Bures, 1997).

3.3.1. Descripción

Las características generales de los sustratos a continuación se describen:

- Tiene una alta capacidad para retener agua fácilmente disponible para las raíces.
- Proporcionan buen suministro de aire.
- Las distribuciones del tamaño de las partículas se mantienen en condiciones óptimas, con baja densidad aparente.
- Presentan una elevada porosidad.
- Poseen una estructura adecuada que previene la contracción.

3.3.2. Clasificación

Los sustratos se clasifican (tabla 2) de acuerdo con su origen: en sintéticos, orgánicos naturales, residuales o subproductos, inorgánicos de origen natural, transformados.

Tabla 2 Clasificación de sustratos (Abad, 2004).

Clasificación	Sustrato
Sintéticos	Espuma de poliuretano Poliestireno expandido
Orgánicos naturales	Turba
Residuales o subproductos	Bagazo de caña Bagazo de agave Bagazo de corteza de arboles Bagazo de fibra de coco
Inorgánicos de origen natural	Rocas de origen volcánico
Transformados	Perlita Vermiculita Lana de roca Arcillas expandidas
Residuos o subproductos industriales	Escoria de horno alto

3.4. Composta

La producción de abonos orgánicos es una práctica que implica el reciclaje de ciertos residuos generados en la agricultura y la agroindustria, así como la transformación de estos productos en materiales que pueden ser utilizados para mejorar la calidad del suelo. Este proceso se conoce como composta (Uribe, 2003).

3.4.1. Características físicas y químicas

La composta es un proceso con actividad biológica en el que la materia orgánica se convierte en humus gracias a la acción de microorganismos, siempre y cuando se den las condiciones óptimas (temperatura, relación carbono-nitrógeno, humedad y aireación) para que se lleve a cabo la fermentación aerobiótica de los materiales residuales. Se considera un alimento para la cadena trófica del suelo y favorece la función biológica de los microorganismos del suelo. Además, actúa como un sustrato con propiedades para controlar las enfermedades que podrían afectar el cultivo (Fernández, 2004).

4. METODOLOGIA

4.1. Ubicación

El experimento se llevó a cabo en el vivero (Figura 4) del Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides” dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila.



Figura 4. Vivero del Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides”.

4.2. Materiales y métodos

- Material biológico

Se utilizaron 450 semillas de *Agave salmiana* (50 semillas por repetición). El material biológico se obtuvo en septiembre del 2022 y el bagazo de agave lechuguilla, utilizado para elaborar el compostaje, se obtuvo en el mes de abril del mismo año, en el ejido de Jalpa del municipio de General Cepeda, Coahuila, ubicado a una latitud de 25.5°30'10.12" norte, longitud -101°42'11.2" oeste y altitud de 1,353m, temperaturas

anuales máxima 24.5°C y mínima 11.1°C y precipitación anual 409.1 mm (Conagua, 2024).

- Composta

La composta fue elaborada en el área agroecológica que está ubicada en el Departamento de botánica, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Durante los meses de agosto a diciembre del 2022, se preparó una cama sobre el suelo con dimensiones de 1 m por 2.5, con una cubierta del bagazo del agave y otra de estiércol de vaca, hasta que se formaron cuatro capas de los dos materiales antes mencionados. Después se procedió a hidratar y se cubrió con un plástico negro, cada cinco días se aplicaban los riegos y la homogenización de los materiales durante su descomposición. En un periodo de cuatro meses se obtuvo el resultado para pasar a hacer un tamizado del mismo para eliminar el material que no degradó.

- Sustratos

Se prepararon tres sustratos (tabla 3) bajo las siguientes composiciones:

Tabla 3 Contenido de sustratos.

Sustrato	A	B	C
	Sustrato convencional peat moss: agrolita: vermiculita	Sustrato convencional + composta	Composta
Partes	8:1:1	1:1	1

4.2.1 Preparación de los sustratos

Para el sustrato A:

En el invernadero se preparó el sustrato en una proporción de (peat moss, agrolita, vermiculita 80%,10%,10). Se hizo el traslado del invernadero al laboratorio de Fisiología Vegetal, posteriormente se procedió a esterilizar en la autoclave por 15 minutos a una temperatura de 121°C. Terminado el proceso de esterilización se llevó el sustrato al invernadero.

Para el sustrato B y C:

Se acudió al área agroecológica del mismo jardín botánico en donde se encontraba la composta (elaborada a partir de bagazo de lechuguilla más estiércol). Se obtuvieron 3 kg de composta para posteriormente cribarla.

4.3. Siembra

Se sumergieron las semillas 24 horas antes de la siembra a temperatura ambiente.



Figura 5. Semillas de *Agave salmiana*.

Se llenó cada charola con el sustrato correspondiente, previamente hidratado y dispersándolo para que se mantuviera uniforme el acomodo de las semillas.



Figura 6. Acomodo de semillas en la charola.

4.4. Acomodo de los tratamientos

Se procedió a realizar el acomodo de los tratamientos con sus respectivas repeticiones.

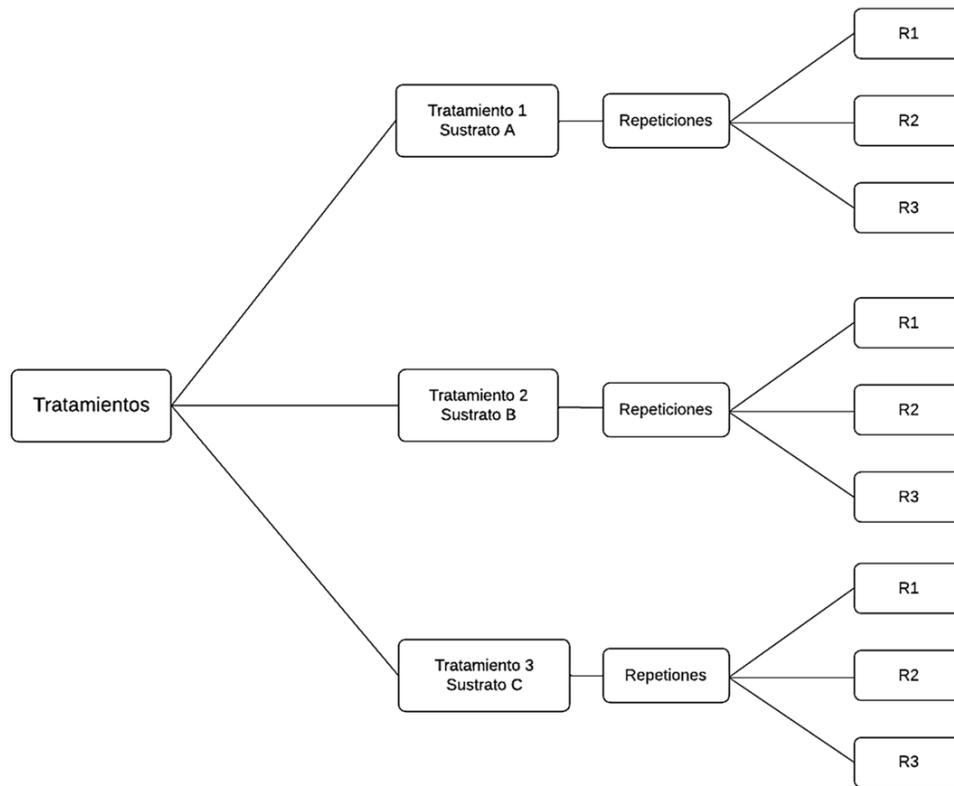


Figura 7. Acomodo de los tratamientos (sustratos).

Se etiquetaron las charolas de acuerdo al ordenamiento de los sustratos (T1:R1, R2, R3. T2:R1, R2, R3. T3:R1, R2, R3) correspondiente para su posterior identificación.

4.5. Riego

Durante la primera semana de germinación el riego se realizó diariamente, a partir de la segunda semana el riego se realizó cada tercer día.

4.6. Registro de datos

Se contó el número de semillas germinadas, considerando la respuesta de germinación cuando se formó la radícula, y se realizaron observaciones diariamente hasta que la planta creciera de un tamaño aproximado de 5 cm.



Figura 8. Plantas de Agave salmiana en crecimiento.

Una vez que el tamaño de las plantas fue adecuado, se eligieron 5 individuos por repetición.

Durante los meses de abril, mayo, y junio del 2023 (etapa de crecimiento) por cada individuo se hizo el conteo de hojas. Para registrar la longitud de planta se utilizó un flexómetro (Truper®), midiendo desde el tallo hasta la espina apical.



Figura 9. Registro de datos del grosor de la roseta.

El grosor de la roseta se midió con el calibrador del vernier (Steren® Digital Caliper). Se realizó una evaluación final para obtener los pesos fresco y seco, así como valores del largo de la raíz, como referencia de su crecimiento desde la etapa de germinación hasta plántula.

Las charolas se trasladaron al laboratorio de fisiología vegetal, para medir y procesar las plantas que se colocaron en la estufa, colocándolas en bolsas de papel etiquetadas con su respectivo tratamiento y repetición, para obtener el peso seco (T1:R1, R2, R3. T2:R1, R2, R3. T3:R1, R2, R3).

4.7. Análisis estadístico

En la evaluación final realizada en diciembre del 2023, se llevó a cabo un análisis de varianza de los parametros cuantificados: grosor de roseta, longitud de hoja, longitud de raíz, peso fresco y seco. A cada análisis se le aplico la prueba de comparación de medias de Tukey. Los análisis estadísticos fueron procesados utilizando el software IBM SPSS versión 26, con un nivel de significancia establecido en $P \leq 0.05$.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de variables se tomaron 5 plantas diferentes de cada repetición, obteniendo valores máximos y mínimos, así como los porcentajes de cada variable.

La respuesta de crecimiento de los agaves en los diferentes tratamientos se evaluó mediante los siguientes parámetros:

- Porcentaje de germinación (%)
- Número de hojas
- Longitud de hoja (cm)
- Grosor de roseta (mm)
- Peso fresco y seco de la planta (gr)
- Longitud de raíz (cm)

5.1 Porcentaje de germinación

En el sustrato A se obtuvo un 62% de germinación, asumiendo este resultado a que en el sustrato se mantuvo humedad, característica necesaria para el proceso de imbibición. En el sustrato B el porcentaje fue 85.33%, incrementando en 20% respecto al sustrato A, cabe destacar que la mezcla B además del peat moss, se incorporó una proporción de composta, la cual se asume, incorpora nutrientes al “suelo” (sustrato). (Maçik et al., 2020) mencionan que se describe como abono orgánico que facilita la disponibilidad de nutrientes que la planta necesita y la cual incorpora microorganismos benéficos, lo que da resultado a un suelo sano.

En el sustrato C se observó germinación deficiente, respecto a los sustratos anteriores, obteniendo un porcentaje de 19.33%, atribuyendo el nivel bajo de germinación, ya que el sustrato estaba muy compacto y no permitía la aireación ni la disponibilidad de agua. La aireación se considera un parámetro importante para mantener a los microorganismos y una buena humedad (Moreno y Moral 2008).

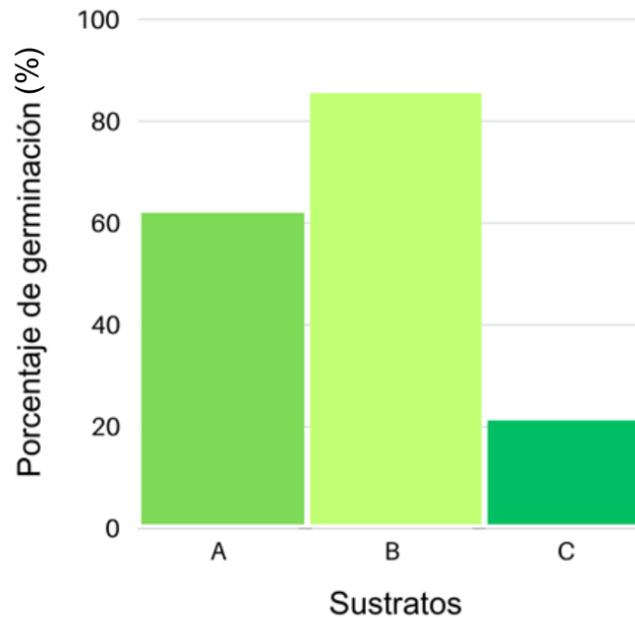


Figura 10. Porcentaje de germinación de semillas de *A. salmiana*.

5.2 Análisis del conteo de hojas

Se hizo un conteo de hojas en las diferentes repeticiones de los tratamientos, se pudo notar la diferencia de acuerdo con los tratamientos A y B su número de hojas a comparación del tratamiento C fue mayor, en promedio, en orden de mayor a menor respuesta se obtuvo que el sustrato A presentó 6 hojas, el B 4 hojas y el C 3 hojas. Estas respuestas las atribuimos, en particular a la composición y textura de los sustratos empleados. En este caso la composta contribuye a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

En términos físicos, la composta, optimiza su textura, conductividad eléctrica, porosidad y capacidad de retención de agua. En cuanto a las propiedades químicas, incrementa el intercambio catiónico, aporta elementos esenciales y regula el pH. Desde el aspecto biológico, favorece el incremento de microorganismos benéficos del suelo. (Soto-Paz, 2017; SAGARPA, 2009).

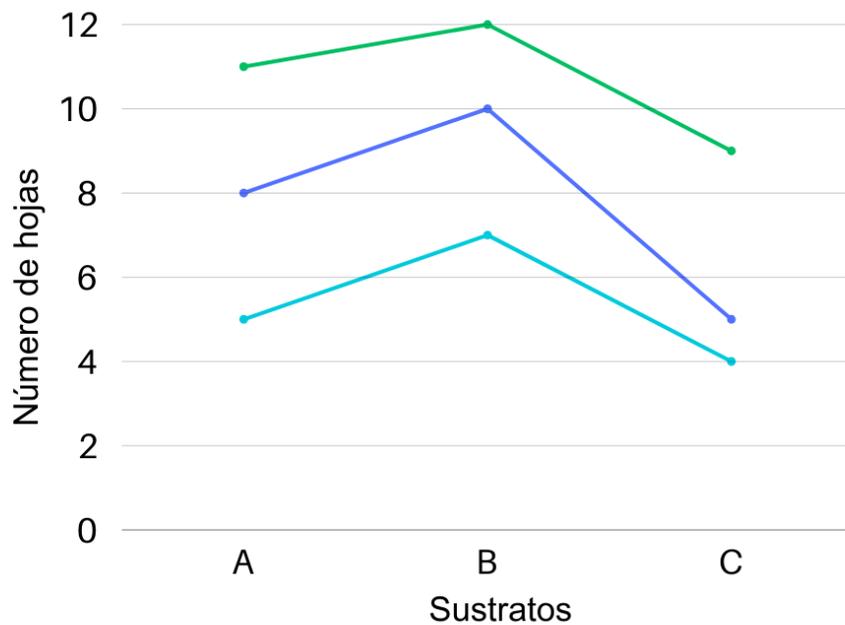


Figura 11. Análisis del conteo de hojas por tratamiento.

Se calculó el porcentaje promedio de acuerdo a las hojas de cada planta, de manera general los mejores resultados con un 38.9% se atribuyen al tratamiento B cuando las plantas crecieron con el sustrato compuesto (50%) y compost (50%) genero un buen número de hojas de calidad adecuada.

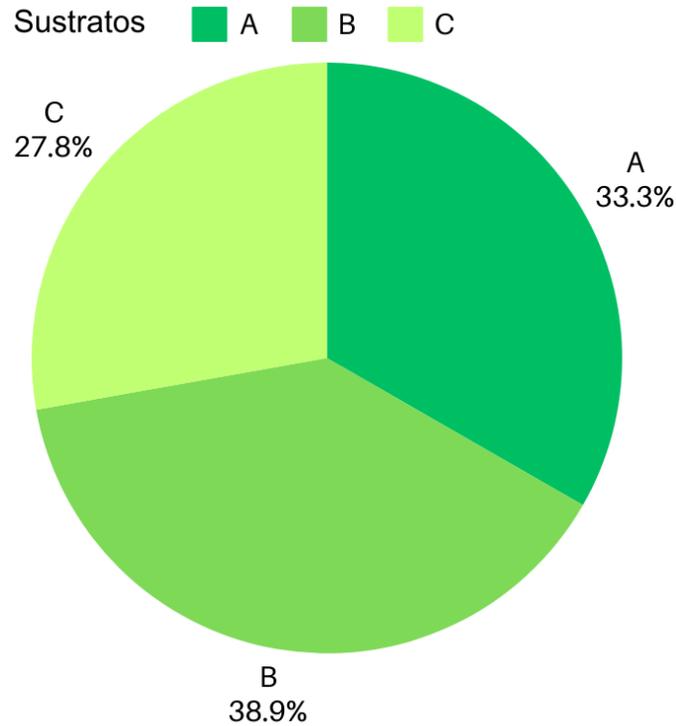


Figura 12. Porcentaje promedio del conteo de hojas por tratamiento.

5.3 Análisis de la longitud de hoja

La longitud de hoja presentó tamaños diferentes para cada uno de los tratamientos en el transcurso del experimento, de acuerdo con las mediciones correspondientes de las hojas entre el tratamiento A con 6 cm y B con 7.2 cm a diferencia el tratamiento C con 5.5 cm que tuvo la longitud menor a comparación de los otros tratamientos (Fig. 13). Lo anterior concuerda con los resultados de Martínez *et al.* (2013) que notaron que al utilizar suelo con mayor proporción de materia orgánica tuvo un efecto relevante sobre la longitud de la hoja y diámetro de la roseta en *Agave angustifolia*.

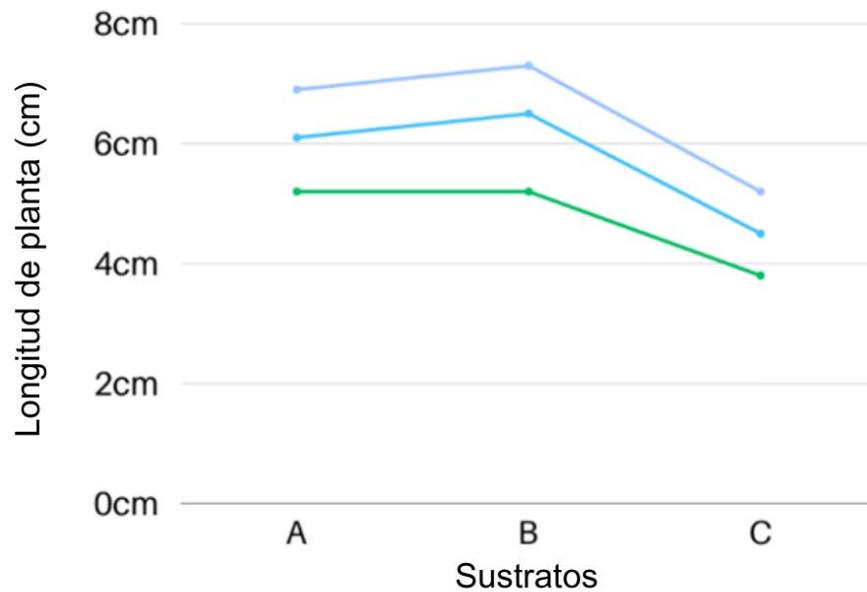


Figura 13. Análisis de longitud de planta de acuerdo a los tratamientos

Se pudo observar que durante tres meses de crecimiento se siguió un patrón en el incremento de la longitud de la hoja (Fig. 14) puesto que fue en aumento con respecto a los sustratos utilizados, evidenciando por el valor de medias que después de tres meses de crecimiento, las plántulas del sustrato B, alcanzaron un tamaño promedio de 7.2 cm, superando por 1.2 cm la longitud de las plantas que crecieron el sustrato A y 2.7 cm respecto al tamaño de las del sustrato C.

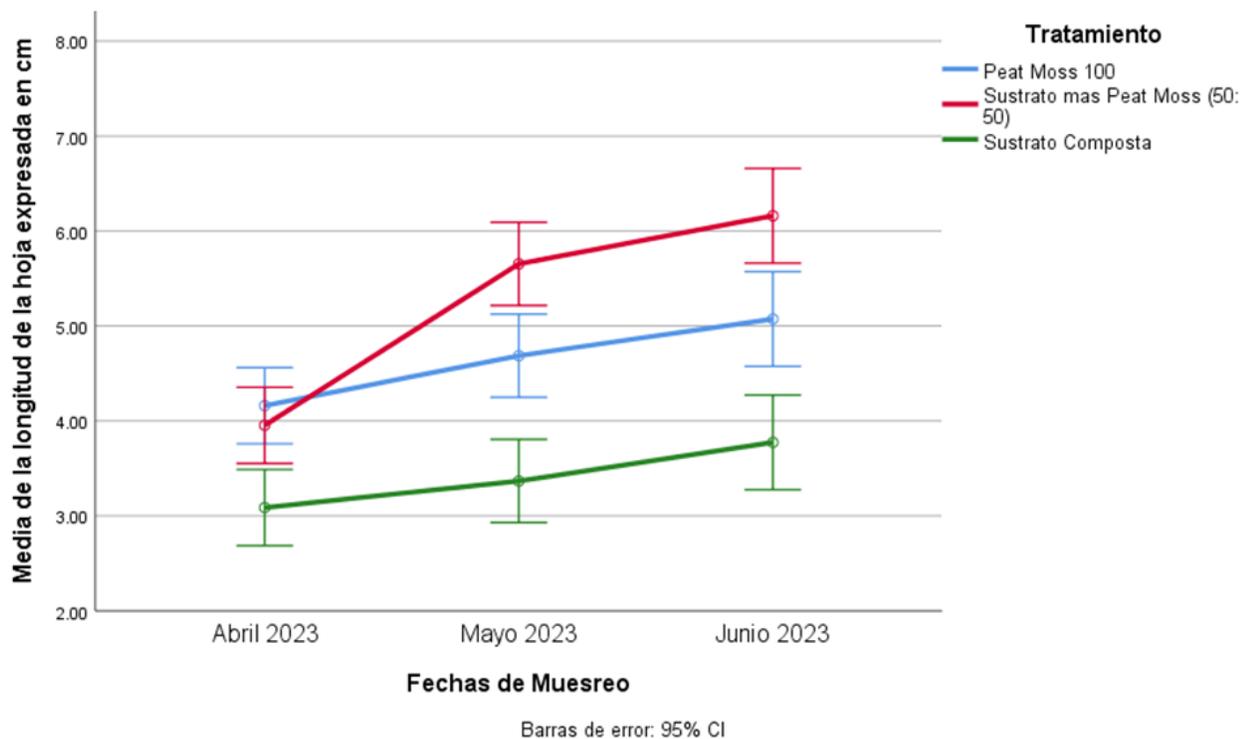


Figura 14. Media de la longitud de la hoja expresada en cm.

5.4 Análisis del grosor de roseta

El grosor de la roseta en las plántulas del tratamiento B fue 12 mm mayor respecto a las mediciones de las plántulas que crecieron en el sustrato A y C, ya que este contenía la proporción de 50% de la mezcla de sustrato (peat moss, agrolita, vermiculita) y 50% de compost (bagazo de lechuguilla con estiércol). Los parámetros de respuesta de grosor de roseta fueron susceptibles a los sustratos, especialmente el tratamiento B el cual marco una clara distinción. Varios autores reconocen el uso de la composta para cultivos, como Raviv y Leith (2008), quienes obtuvieron efectos beneficiosos en cultivos para trasplante como jitomate y brócoli. Aunado a lo anterior, pudimos observar que la textura de la composta de bagazo de agave es similar en sus características a la turba de Canadá y el costo es mucho menor (Rodríguez, 2004)

según lo expuesto anteriormente, se propone que existe una respuesta de crecimiento favorable del *Agave salmiana* al utilizar el sustrato adicionado con compost.

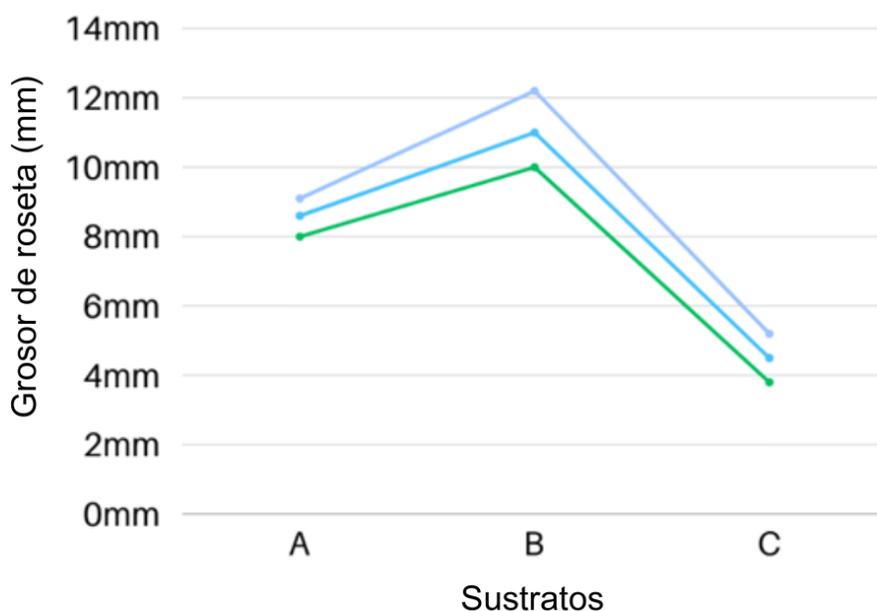


Figura 15. Análisis del grosor de roseta por tratamiento.

Se pudo observar que durante tres meses de crecimiento se siguió un patrón en el incremento del grosor de la roseta (Fig. 16) puesto que fue en aumento con respecto a los sustratos utilizados, evidenciando por el valor de medias que el sustrato B, fue en aumento hasta alcanzar un tamaño promedio de 10 mm, superando por 2 mm el grosor de las plantas que crecieron el sustrato A y 6 mm a las del sustrato C. Con estos resultados, se confirma una vez más que el crecimiento de plántulas en el sustrato B se ve favorecido respecto a las otras dos mezclas de sustrato.

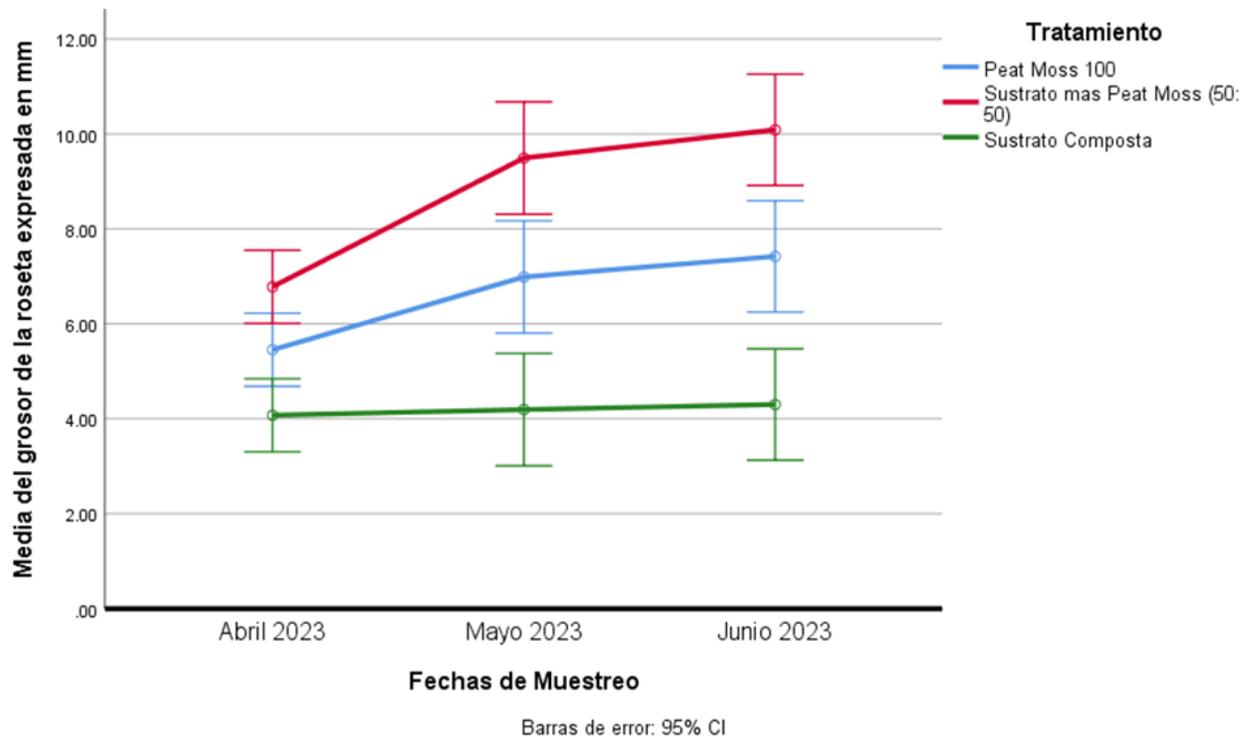


Figura 16. Media del grosor de la roseta expresada en mm.

5.4 Análisis del peso fresco y seco.

En el análisis final de las variables de peso fresco y seco nos permite tener como referencia la acumulación de biomasa de toda la planta desde la etapa de germinación hasta la etapa vegetativa juvenil, el tratamiento que promovió la mayor acumulación de biomasa y agua, con 6.3 gr de peso fue el de compost más el sustrato de peat moss, agrolita, y vermiculita, seguido del sustrato de peat moss al 100% pesando 3.8 gr y al final el de solo compost con 1.7 gr.

Por lo anterior y de acuerdo con Vázquez y Torres (2006) cuando existe una expresión del producto seco obtenido o su unidad de área, el valor obtenido es un referente del balance que existe entre la fotosíntesis y la respiración efectuada por la planta durante su crecimiento.

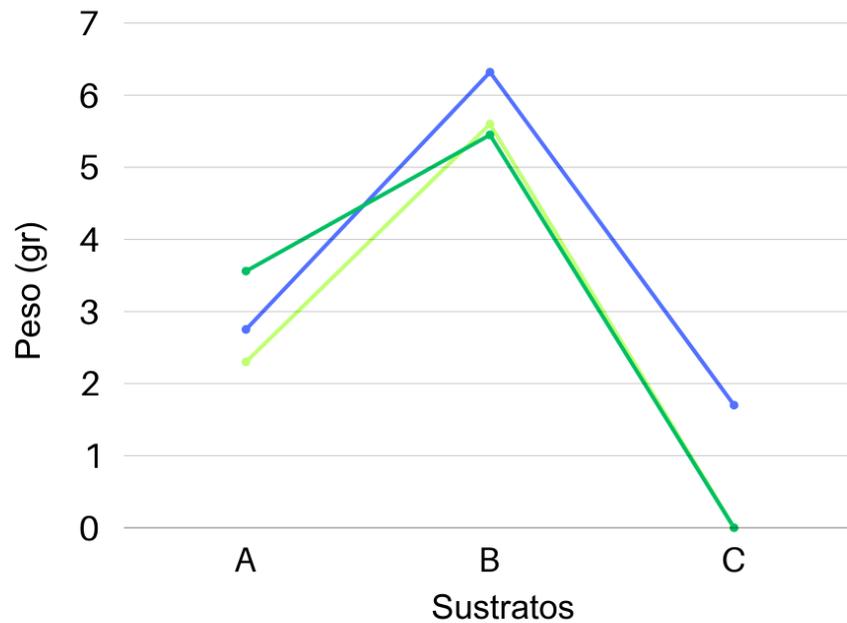


Figura 17. Análisis del peso fresco por tratamiento.

5.5 Análisis de longitud de raíz

Los valores de la longitud de la raíz fueron mayores en el sustrato B y A con resultados similares a comparación del sustrato C respecto a la longitud menor de las plantas desarrolladas. En los dos primeros sustratos se encontraban en su composición agrolita y vermiculita. Para obtener buenos resultados de vida de la planta requiere un sustrato suave que ofrezca un buen drenaje y capacidad para retener la humedad, lo que facilita un crecimiento rápido de las raíces. En esta etapa las raíces logran su función de absorber agua y nutrientes, y en los estomas que controlan la respiración y la pérdida de agua (Monja-Mio et al., 2015).

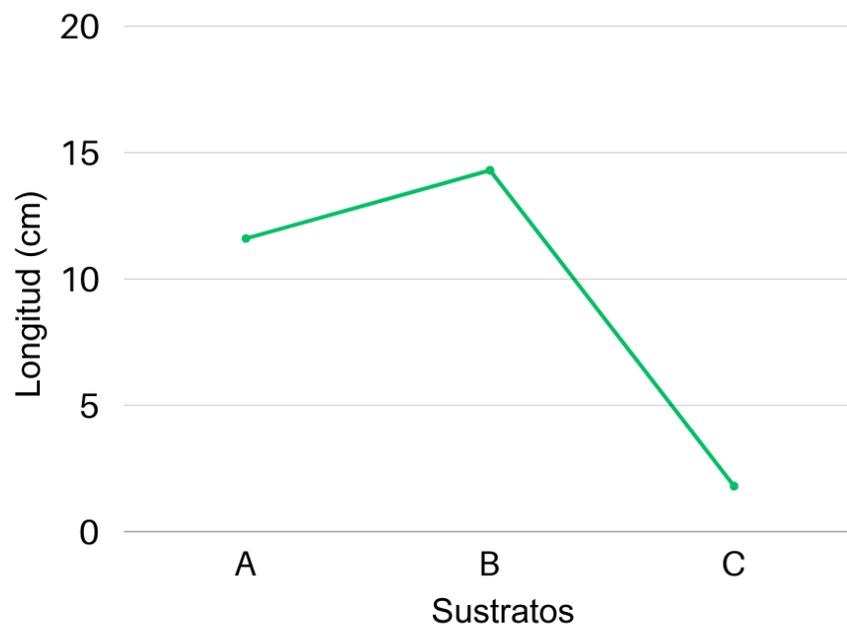


Figura 18. Análisis de longitud de raíz por tratamiento.

5.6 Variables morfométricas

En la evaluación estadística final de las variables de peso fresco y peso seco de toda la planta, como referencia de su crecimiento desde la etapa de germinación hasta la etapa vegetativa juvenil se obtuvo que, el tratamiento que favoreció el crecimiento de las estructuras vegetativas de la planta fue el de compost más peat Moss, seguido del sustrato de peat Moss 100% y por último el de solo compost, además, fueron estadísticamente diferentes para grosor de roseta ($F=30.83$, g.l.=2, 39, $P=0.00$), longitud de hoja ($F=15.45$, g.l.=2, 39, $P=0.00$), largo de raíz ($F=24.66$, g.l.=2, 39, $P=0.00$), peso fresco ($F=25.73$, g.l.=2, 39, $P=0.00$), sin embargo para la variable peso seco únicamente se observó diferencia numérica ($F=1.068$, g.l.=2, 39, $P=0.354$), como se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4. Efecto de los diferentes sustratos en las variables morfométricas de *A. salmiana* a los nueve meses después de la siembra \pm la desviación estándar.

Tratamiento	GR	LH	LR	PF	PS
SA	10.50 \pm 2.34 ^a	5.94 \pm 1.2 1 ^b	6.96 \pm 2.22 ^a	2.11 \pm 0.83 ^b	0.17 \pm 0.12 ^a
SB	12.08 \pm 2.28 ^a	7.66 \pm 1.21 ^a	6.34 \pm 2.54 ^a	3.85 \pm 1.27 ^a	0.32 \pm 0.49 ^a
SC	4.87 \pm 2.27 ^b	4.85 \pm 1.32 ^b	1.32 \pm 0.43 ^b	1.160 \pm 0.467 ^c	0.14 \pm .30 ^a

SA: sustrato peat Moss, SB: sustrato compost+peat Moss, SC: sustrato compost, GR: Grosor de roseta, valor en mm, LH: Longitud de hojas, valor en cm, LR: longitud de raíz, valor en cm, PF: peso fresco, valor en g, PS: peso seco, valor en gr. ^z Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey \leq 0.05).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se considera que el uso de compost combinado con peat moss se presenta como una alternativa económica que favorece el desarrollo de estructuras anatómicas como hojas y raíces. Caballero- Salinas *et al.*, (2020), señalan que es esencial recurrir a sustratos alternativos para la germinación y el crecimiento de plantas, ya que el peat moss, uno de los materiales más comunes, tiene alto costo y su extracción ha generado preocupaciones ambientales debido a la sobreexplotación de este mismo. Por otro lado, Domínguez y Espinoza (2021) obtuvieron resultados comparables en variables morfométricas, destacando que la combinación de peat moss con un componente orgánico, como compost o tierra negra, mejora la disponibilidad de nutrientes, promoviendo un adecuado desarrollo de las raíces. Sin embargo, el uso exclusivo de abonos orgánicos, al ser metidos a riegos frecuentes, tiende a compactarse, lo que limita la expansión radicular. De manera similar, Medina *et al.*, (2022) subrayan que los abonos enriquecen nutricionalmente los sustratos, lo que impacta directamente en el crecimiento de raíces y estructuras

vegetativas como el grosor de tallo y la longitud de las hojas. Gaviláñez *et al.*, (2023) también resaltan no solo la importancia de emplear técnicas ecológicas con menor impacto ambiental. Para finalizar, Bänzinger *et al.*,(2016) explican que, en las plantas jóvenes, se acumula una mayor cantidad de agua debido a la demanda asociada a procesos metabólicos de la fotosíntesis, lo que incrementa tanto su peso fresco como seco.

6. CONCLUSIÓN

La investigación concluye que el tratamiento B, compuesto por una mezcla de compost y sustrato convencional (peat moss, agrolita y vermiculita), favorece significativamente la germinación y el desarrollo inicial de *Agave salmiana* en comparación con los otros tratamientos evaluados. Este sustrato proporcionó las condiciones óptimas para el crecimiento de las plántulas al ofrecer un equilibrio adecuado de nutrientes, retención de humedad y aireación.

Los resultados destacan la importancia de integrar compost en la formulación de sustratos, tanto por sus beneficios en el desarrollo de la planta como por su viabilidad económica y ambiental. Además, esta investigación respalda la utilización de recursos agroindustriales reciclados, como el bagazo de agave, en la mejora de prácticas agrícolas sostenibles. Los hallazgos pueden contribuir al diseño de estrategias para optimizar la propagación y cultivo de *Agave salmiana*, promoviendo su conservación y uso en ecosistemas áridos y semisecos de México.

7. LITERATURA CITADA

- Aguirre J. R., Charcas-Salazar H., Flores-Flores J. L. (2001). El Maguey Mezcalero Potosino. Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Andrade J.L. y Nobel P. S. (1997). Microhabitats and water relations of epiphytic cacti and ferns in a lowland neotropical forest. *Biotropica* 29: 261-270.
- Angiosperm Phylogeny Group. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2): 105-121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.01002.x>
- Bänzinger M., Edmeades G.O., Bolaños J. (2016) Relación entre el peso fresco y el peso seco del rastrojo de maíz en diferentes estados fenológicos del cultivo. *Agronomía Mesoamericana* 8(1): 20-25. DOI:10.15517/am.v8i1.24719
- Burés, S. (1997). Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid
- Caballero-Salinas, J.C., Ovando-Salinas, S.G., Núñez-Ramos, E., Aguilar-Cruz, F. (2020). Sustratos alternativos para la producción de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Chiapas. *Siembra* 7(2): 14-21. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.1916>
- Colunga-García Marín, P., Zizumbo-Villarreal, D., y Martínez-Torres, J. (2007). Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: Una aportación a su protección legal y conservación biológica y cultural. En P. Colunga-García Marín, L. Eguiarte, A. Larqué S., & D. Zizumbo-Villarreal (Eds.), *En lo ancestral hay futuro: Del tequila, los mezcales y otros agaves* (pp. 229–248). CICY-CONACYT-CONABIO-INE.
- CONAGUA (2024). Normales climatológicas por Estado. Coahuila. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=coah>

- Correa-Ascencio M., Robertson I., Oralia Cabrera-Cortés., Cabrera-Castro R., Evershed R. (2014). Pulque production from fermented agave sap as a dietary supplement in Prehispanic Mesoamerica. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(39): 2-6.
- Domínguez-Liévano A, Espinosa-Zaragoza S (2021). Evaluación de sustratos alternativos en la germinación y crecimiento inicial de *Hymenaea courbaril* L. en condiciones de vivero *Revista Forestal del Perú* 36 (1): 107 – 117. <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1707>
- Eguiarte L. Souza V., Silva-Montellano A. (2000). Evolution of the Agavaceae family: Phylogeny, reproductive biology and population genetics. *Botanical Sciences*, 66: 131 – 150.
- Fernández-Larrea, V. O. (2004). Tecnologías para la producción de biopesticidas a base de hongos entomopatógenos y su control de la calidad. Laboratorio de Hongos Entomopatógenos. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV). La Habana Cuba. 10 p.
- Fournier García, P. (2007). Los hñähñü del Valle del Mezquital: Maguey, pulque y alfarería. ENAH, INAH, CONACYT.
- García Mendoza, A. (2009). Los agaves de México. *Ciencias*, (087). <https://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/12113>
- García-Pedraza, L. G., Juárez-Flores, B. I., Aguirre-Rivera, J. R., Pinos-Rodríguez, J. M.; Martínez, J. F., Santoyo, M. E. (2009). Effects of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dick high-fructose syrup on nondiabetic and streptozotocin-diabetic rats. *J. Med. Plants*, 3 (11): 932-940.
- Gavilánez T., Salazar J., Lozano N., Rivera J., Ramirez-Rivera J. (2023). Efecto de abonos orgánicos foliares y edáficos en el crecimiento vegetativo de la conchita azul (*Clitoria ternatea*). *Nexo Agropecuario* 11(2): 91-97. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/43201>

- Gentry, H.S. (1982). *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press. Arizona, U.S. A.
- González A.D., Álvarez H.U., Lima O.R. (2018) Acumulación de biomasa fresca y materia seca por planta en el cultivo intercalado caupí – sorgo. *Revista Centro Agrícola* 45(2): 77-82.
- Granados S.D. (1993). *Los Agaves en México*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 180 p.
- Hernández S.R., Fernández C.C., Baptista L.P. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill. Perú. 601 p.
- Macik, M., Gryta, A. y Frac, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 160: 31-87. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001>
- Martínez-Ramírez, S., Trinidad-Santos, A., Bautista-Sánchez, G., & César Pedro-Santos, E. (2013). Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4): 387-393.
- Martínez-Salvador M., L. Beltrán-Morales L., Valdéz-Cepeda R., Arias-Rubio H., Troyo-Diegez E., B. Murillo-Amador B., Galindo-Jiménez J., y A. Ortega Rubio A. (2007). Assessment of sustainability performance on the utilization of Agave (*Agave salmiana* ssp. *crassispina*) in Zacatecas, México. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*.
- Medina Saavedra T., Mexicano Santoyo L., Espinoza Castro M.G., Hernández Ramírez V.M., Martínez Ayala N., Pérez Casique B.A., De Jesús Ramírez Arroyo A. (2022). Evaluación del efecto de composta tipo bocashi en germinación y desarrollo de plántulas jóvenes en *La Ciencia*, 16: 1–7. Recuperado a partir de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3625>

- Monja-Mio K. M., F. Barredo P., G. Herrera H., M. Esqueda V. y M. L. Robert (2015). Development of the stomatal complex and leaf surface of *Agave angustifolia* Haw. 'Bacanora' plantlets during the in vitro to ex vitro transition process. *Scientia Horticulturae* 189: 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.032>
- Moreno, C., J. y Moral, H. R. (2008). Compostaje. Mundi Prensa. https://books.google.com.pe/books?id=IWYJAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Narváez-Suárez, A.U., Jiménez-Velázquez, M.A., Martínez-Saldaña, T., Cruz-Galindo, B (2018). Maguey Pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck): Opción para el Desarrollo Rural. *Agroproductividad*, 9 (10): 57-60.
- Nobel, P. S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Editorial Trillas. México. 37-58 pp.
- Peña-Valdivia C.B. y Sánchez-Urdaneta A.B. (2009). Effects of substrate water potential in root growth of *Agave salmiana* otto ex Salm-Dyck seedlings. *Biological Research* 42: 239-248.
- Pinos-Rodríguez, J. M., Aguirre-Rivera, J. R., García-López, J. C., Rivera-Miranda, M. T., González-Muñoz, S., López-Aguirre, S., Chávez-Villalobos, D. (2006). Use of "maguey" (*Agave salmiana* Otto ex. Salm-Dick) as forage for ewes. *J. Appl. Animal Res.*, 30 (2): 101-107.
- Pinos-Rodríguez, J. M., González-Muñoz, S., Badillo, B., GarcíaLópez, J. C., Aguirre-Rivera, J. R., Infante, S. (2008) Chemical composition and ruminal in vitro degradation of fresh or silage of *Agave salmiana* Otto ex. Salm-Dick. *J. Appl. Animal Res.*, 33 (1): 45-48.
- Pinos-Rodríguez, J. M.; Zamudio, M.; González, S. S.; Mendoza, G. D.; Bárcena, R.; Ortega, M. E.; Miranda, L. A. (2009). Effects of maturity and ensiling of *Agave salmiana* on nutritional quality for lambs. *Animal Feed Sci. Technol.*, 152 (3-4): 298-306.

- Raviv, M. and Leith, J. H. (2008). *Soilless culture: theory and practice*. Elsevier, San Diego, CA, U.S.A. 587p.
- Rodriguez, M. R. (2004). *Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a partir de bagazo de agave tequilero*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. 128 p.
- Sanchez-Marroquín, A.; Hope, P. H. (1953) Fermentation and chemical composition studies of some species. *J. Agric. Food Chem.*, 1 (3): 246-249.
- Santos-Zea, L., Leal Díaz, A., Cortes-Ceballos., Gutiérrez-Uribe, J. (2012). Agave (*Agave spp.*) and its Traditional Products as a Source of Bioactive Compounds. *Current Bioactive Compounds* (8): 218-231.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2009). *Estudio orientado a identificar los mercados y canales de comercialización internacionales para la oferta de productos de ixtle con valor agregado*. 388 p.
- Soto-Paz, J., Oviedo-Ocaña, R., Torres-Lozada, P., Marmolejo-Rebellón, F. y Manyoma-Velásquez, C. (2017). Compostaje de biorresiduos: Tendencias de investigación y pertinencia en países en desarrollo. *DYNA*, 84 (203): 334-342.
- Uribe, L. 2003. *Inocuidad de abonos orgánicos*. Memorias, Taller de abonos orgánicos. San José, Costa Rica, CIA-UCR. 16 p.
- Vázquez, E. y Torres, S. (2006). *Fisiología Vegetal*, 2da parte. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana, Cuba. 207 p.