



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL



**Comportamiento agronómico y fisiológico de
plántulas de *Agave angustifolia* Haw., cultivadas en
sustratos y fertilización orgánica en vivero**

FRANCISCO DE LOS SANTOS ÁLVAREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

Director: Dr. Juan Elías Sabino López

Co-director: Dr. Elías Hernández Castro

TUXPAN, IGUALA, GUERRERO, MÉXICO, ENERO DE 2022.

La presente tesis titulada “**Comportamiento agronómico y fisiológico de plántulas de *Agave angustifolia* Haw., cultivadas en sustratos y fertilización orgánica en vivero**”, realizada por el alumno: **FRANCISCO DE LOS SANTOS ÁLVAREZ**, Bajo la dirección del comité tutorial indicado y ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

COMITÉ PARTICULAR

Director:

Dr. Juan Elías Sabino López

Co-director:

Dr. Elías Hernández Castro

Asesor:

Dra. Mirna Vázquez Villamar

Asesor:

Dr. Héctor Ramón Segura
Pacheco

Asesor:

Dr. Nicacio Cruz Huerta

RESUMEN

En México el agave es una especie importante económica y socioculturalmente, debido a su versatilidad en usos. Esto ha llevado a la sobre explotación de plantaciones silvestres y establecidas, poniendo en riesgo las poblaciones de agave. Ante esto, una alternativa para incrementar las poblaciones de agave es mediante su propagación usando sustratos orgánicos y biofermentados (fertilizantes líquidos), que favorezcan su crecimiento y mejoren su actividad fisiológica a partir de la actividad bioquímica de las plantas, lo que a futuro puede traer beneficios a los productores. El objetivo fue estudiar el efecto de diferentes sustratos y fertilización orgánica sobre el comportamiento agronómico y fisiológico de plántulas de *Agave angustifolia* provenientes de semillas, hijuelos e *in vitro*, cultivadas en vivero. Para ello se establecieron dos ensayos en un vivero cubierto con malla sombra. El primer ensayo consistió en un arreglo factorial 3x3 en completamente al azar; cuyos factores estudiados fueron: tipo de propagación (semilla, hijuelo e *in vitro*) y concentración de la solución orgánica: testigo (sin solución = 0%), 5% y 10%. La combinación de los factores resultó en nueve tratamientos con 21 repeticiones. Las plantas de agave de 18 meses se trasplantaron en macetas de polietileno llenadas con bagazo de agave precompostado. A los 90 días después del trasplante (ddt) las plántulas se regaron quincenalmente a diferentes concentraciones de la solución orgánica. A los 150 ddt se registró la altura (AR) y diámetro (DR) de la roseta, el largo (LH) y ancho (AH) de la hoja principal y número de hojas por planta (NH). Se empleó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) para examinar los datos. Las plántulas de hijuelos tuvieron mayor AR (54.2 cm), DR (75 cm) y LH (56.3 cm). Las soluciones al 5% y 10% influyeron positivamente en la AR (58.5 a 61 cm), DR (85 a 75 cm) y NH (8 a 9 hojas). El LH (61.9 cm) se incrementó con la solución al 10%. Las plantas provenientes de semillas y regadas con solución al 10% tuvieron la mayor AR (61 cm) y LH (57.9 cm). El riego con solución al 5% y 10% incrementaron AR (15.04 y 8.97%), DR (23.41 y 13.2%), y LH (13.08 y 19.54%) en plantas de hijuelos. Mientras que la biofertilización (solución al 5% y 10%) aumentó el NH en las plantas de diferente procedencia. Para el segundo ensayo se utilizó un arreglo factorial 3x3

completamente al azar; cuyos factores de estudio fueron el sustrato: suelo, bagazo y composta y la concentración de la solución orgánica: sin solución (0%), 5% y 10%, La combinación de niveles de los factores resultando en nueve combinaciones consideradas como tratamientos con 6 repeticiones. Las plantas de un año de edad se trasplantaron en macetas de polietileno. 90 días después del trasplante (ddt) las plantas se regaron quincenalmente con solución orgánica a diferentes concentraciones. A los 270 ddt en la savia de hojas maduras se determinó la concentración de sólidos solubles totales (SST), clorofila total (CT), clorofila a (CA) y b (CB), los iones específicos NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ , los datos se examinaron con un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Las plantas en suelo regadas con solución al 10% concentraron más SST (6.60°brix). La mayor concentración de CA se obtuvo en plantas cultivadas en composta regadas con la solución orgánica al 5% (1.84 mg mL), y la mayor concentración de CB y CT se obtuvo en plantas cultivadas en composta y solución orgánica al 10% (1.66 mg mL y 3.42 mg mL, respectivamente). Respecto a los iones específicos, la mayor concentración de NO_3^- se obtuvo en plantas cultivadas en suelo (2200 mg L⁻¹) y bagazo (2200 mg L⁻¹) sin solución. La mayor concentración de Ca^{2+} se obtuvo en plantas cultivadas en bagazo y con solución orgánica al 5% (63.66 mg L⁻¹). Por último, el mayor contenido de K^+ se tuvo en plantas cultivadas en composta y la solución orgánica al 10% (455 mg L⁻¹). En conclusión, el tipo de propagación y la biofertilización en diferentes concentraciones modifica el crecimiento en plántulas de *agaves angustifolia* cultivadas en vivero. De mismo modo el uso de sustratos y solución orgánica a diferentes concentraciones favorece el estado fisiológico en plántulas de *agave angustifolia* cultivadas en vivero.

ABSTRACT

In Mexico, the agave is an economically and socioculturally important species, due to its versatility in uses. This has led to the over-exploitation of wild and established plantations, putting agave populations at risk. Given this, an alternative to increase agave populations is through its propagation through organic and biofermented substrates (liquid fertilizers), which favors its growth and improves its physiological activity from the biochemical activity of the plants, which in the future it can bring benefits to producers. The objective was to study the effect of different substrates and organic fertilization on the agronomic and physiological behavior of *Agave angustifolia* seedlings from seeds, suckers and *in vitro*, grown in a nursery. For this, two trials were established in a nursery covered with shade mesh. The first trial consisted of a 3x3 factorial arrangement in completely randomized; Factors studied were: type of propagation (seed, sucker and *in vitro*) and concentration of the organic solution: control (without solution = 0%, 5% and 10%). The combination of factors resulted in nine treatments with 21 replicates. The 18-month-old agave plants were transplanted into polyethylene pots filled with precomposted agave bagasse. 90 days after transplanting (dat) the seedlings were watered biweekly at different concentrations of the organic solution. At 150 dat the height (AR) and diameter (DR) of the rosette, length (LH) and width (AH) of the main leaf and number of leaves per plant (NH) were recorded. An analysis of variance and mean comparison (Tukey, $\alpha = 0.05$) were performed. The sucker seedlings had greater AR (54.2 cm), DR (75 cm) and LH (56.3 cm). The 5% and 10% solutions positively influenced the AR (58.5 to 61 cm), DR (85 to 75 cm) and NH (8 to 9 leaves). The LH (61.9 cm) increased with the 1 solution 0%. Plants from seeds and watered with 10% solution had the highest AH (61 cm) and LH (57.9 cm). Irrigation with a 5% and 10% solution increased AR (15.04 and 8.97%), DR (23.41 and 13.2%), and LH (13.08 and 19.54%) in sucker plants. While biofertilization (5% and 10% solution) increased NH in plants from different sources. For the second trial, a completely random 3x3 factorial arrangement was used; whose study factors were the substrate (soil, bagasse, compost and the concentration of the organic solution): without solution (0%), 5% and 10%. The combination of levels of the factors resulted in nine

combinations considered as treatments with 6 repetitions. The one-year-old plants were transplanted into polyethylene pots. 90 days after transplantation (ddt) the plants were watered fortnightly with organic solution at different concentrations. At 270 ddt in the sap of mature leaves, the concentration of total soluble solids (SST), total chlorophyll (CT), chlorophyll a (CA) and b (CB), the specific ions NO_3^- , Ca^{2+} and K^+ were determined, the data They were examined with an analysis of variance and Tukey's test of means ($\alpha = 0.05$). Plants in soil watered with 10% solution concentrated more TSS (6.60°brix). The greatest concentration of CA was obtained in plants grown in compost and watered with 5% organic solution (1.84 mg mL). The greatest concentration of CB was obtained in plants grown in compost with 10% organic solution (1.66 mg mL) and the highest concentration of TC was obtained in plants grown in compost and watered with the 10% organic solution (3.42 mg mL). Regarding specific ions, the highest concentration of NO_3^- was obtained in plants grown in soil (2200 mg L⁻¹) and bagasse (2200 mg L⁻¹) without solution. The highest concentration of Ca^{2+} was obtained in plants grown in bagasse and with a 5% organic solution (63.66 mg L⁻¹). Finally, the greatest K^+ content was found in plants grown in compost and watered with the 10% organic solution (455 mg L⁻¹). In conclusion, the type of propagation and biofertilization in different concentrations modifies growth in seedlings of agaves angustifolia grown in a nursery. In the same way, the use of substrates and organic solution at different concentrations favors the physiological state in agave angustifolia seedlings grown in a nursery.

CONTENIDO

	Pág.
FIRMA DE TUTORES.....	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iv
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Justification.....	4
II. OBJETIVOS.....	6
2.1. Objetivo general.....	6
2.2. Objetivos específicos.....	6
III. HIPÓTESIS.....	6
3.1. Hipótesis general.....	6
3.2. Hipótesis específicas.....	6
3.3. LITERATURA CITADA.....	7
IV. CAPÍTULO II. PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE <i>A. angustifolia</i> HAW. CON BIOFERTILIZACIÓN EN VIVERO.....	12
4.1. RESUMEN.....	12
4.2. ABSTRACT.....	14
4.3 INTRODUCCIÓN.....	15

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
4.4.1. Localización del experimento.....	17
4.4.2. Material vegetal.....	18
4.4.3. Sustratos.....	18
4.4.4. Biopreparado (biofertilizante líquido).....	19
4.4.5. Trasplante.....	19
4.4.6. Riegos y fertilización.....	19
4.4.7. Variables respuesta y análisis estadístico.....	20
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.6. CONCLUSIÓN.....	33
4.7. LITERATURA CITADA.....	34
 V. CAPÍTULO III. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO CON BASE EN LA ACTIVIDAD BIOQUÍMICA DE PLÁNTULAS DE AGAVE ANGUSTIFOLIA CULTIVADAS CON BIOFERTILIZACIÓN EN VIVERO.....	 39
5.1. RESUMEN.....	39
5.2. ABSTRACT.....	41
5.3. INTRODUCCIÓN.....	42
5.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
5.4.1. Localización del experimento.....	45
5.4.2. Biopreparado (biofertilizante líquido).....	45
5.4.3. Material vegetal y trasplante.....	47

5.4.4. Riegos y fertilización.....	47
5.4.5. Cuantificación de solidos solubles totales.....	48
5.4.6. Cuantificación de clorofilas a, b y totales.....	48
5.4.7. Cuantificación de iones específicos en savia.....	49
5.4.8. Análisis estadístico.....	49
5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
5.6. CONCLUSIÓN.....	64
5.7. LITERATURA CITADA.....	65
VI. CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES.....	74
6.1. Conclusiones generales	74

ÍNDICE DE CUADROS	Pág.
Cuadro 1. Características físicas y químicas del bagazo de <i>Agave angustifolia</i> Haw., precompostado durante un año 2019 y del biofermentado de estiércol de bovino.	18
Cuadro 2. Tratamientos resultantes de la combinación de niveles de los factores estudiados en la producción de plantas de <i>A. angustifolia</i> en vivero.	20
Cuadro 3. Valores de p-value del análisis de varianza para efectos principales e interacciones sobre el crecimiento de plantas de <i>A. angustifolia</i> .	21
Cuadro 4. Efecto de la interacción entre el tipo de propagación y la biofertilización sobre el crecimiento de plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en vivero.	32
Cuadro 5. Características físicas de suelo, sustrato y biofertilizante líquido para la adaptación y crecimiento de plántulas de <i>A. angustifolia</i> , en vivero.	46
Cuadro 6. Características químicas de suelo, sustrato y biofertilizante líquido para la adaptación y crecimiento de plántulas de <i>A. angustifolia</i> , en vivero.	47
Cuadro 7. Tratamientos resultantes de la combinación de niveles de los factores estudiados en la producción de plantas <i>in vitro</i> de <i>A. angustifolia</i> en vivero.	48
Cuadro 8. Análisis de varianza para variables bioquímicas en hojas de <i>A. angustifolia</i> Haw, cultivadas con biofertilización en vivero.	50

Cuadro 9. Análisis de varianza para el contenido de NO_3^- , Ca^{+2} y K^+ en hojas de <i>A. angustifolia</i> Haw. cultivadas con biofertilización en vivero.	51
Cuadro 10. Efecto de interacción entre el tipo de sustratos y la biofertilización sobre la concentración de SST en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en vivero.	60
Cuadro 11. Efecto de interacción entre el tipo de sustratos y la biofertilización sobre la concentración clorofila a, b y totales en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en vivero.	61
Cuadro 12. Efecto de interacción entre el tipo de sustratos y la biofertilización sobre la concentración de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en vivero.	63

ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.
Figura 1. Temperaturas máximas (T _{máx}) y mínimas (T _{mín}) mensuales durante el crecimiento de plantas de <i>Agave angustifolia</i> Haw., en vivero, durante el periodo julio 2019-julio 2020.	17
Figura 2: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre la altura de roseta en plántulas de <i>A. angustifolia</i> , cultivadas en vivero.	29
Figura 3: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre el diámetro de la roseta en plántulas de <i>A. angustifolia</i> , cultivadas en vivero.	30
Figura 4: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre la longitud de la hoja principal por plántula de <i>A. angustifolia</i> , cultivadas en vivero.	30
Figura 5: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre el ancho de la hoja principal de plántulas de <i>A. angustifolia</i> , cultivadas en vivero.	31
Figura 6: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre número de hojas de plántulas de <i>A. angustifolia</i> , cultivadas en vivero.	31
Figura 7. Contenido sólidos solubles totales en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero.	58
Figura 8: Contenido de clorofila a en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero.	58
Figura 9: Contenido de clorofila b en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero.	59
Figura 10: Contenido de clorofila total en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero.	59

Figura 11: Contenido nitratos en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero.	61
Figura 12: Contenido de calcio en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero.	62
Figura 13: Contenido de potasio en plántulas de <i>A. angustifolia</i> cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero.	62

CAPITULO I.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El agave es una planta perenne conocida comúnmente como maguey, su origen y diversidad natural es México, en donde se encuentran alrededor de 150 especies de las más de 200 existentes, las cuales se distribuyen principalmente en ecosistemas áridos (Berumen-Barbosa, 2009). Desde épocas prehispánicas, el *Agave* se ha utilizado con fines alimenticios, habitacional, espiritual y de recreación (Sandoval *et al.* 2020).

Su importancia ecológica radica en el número de especies animales y vegetales con las que establece asociaciones y su capacidad de retención de suelos (Sánchez *et al.*, 2009). Su uso principal es para la obtención de bebidas y recientemente ha destacado su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales que contengan inulina y sus derivados, por su alta concentración de este tipo de azúcares (Ravenscroft *et al.*, 2009).

El *Agave angustifolia* Haw., se utiliza para la elaboración del mezcal una bebida que se produce en varios estados de México, del cual se exportan alrededor de 750,000 L a Asia, Europa, Estados Unidos y Canadá (Rodríguez-Hernández *et al.*, 2016). La producción artesanal de mezcal en los últimos años se ha venido reemplazando por la industrialización asociado a la demanda de maguey mezcalero *A. angustifolia* Haw. (Bautista *et al.*, 2015).

La creciente inquietud sobre los efectos negativos de las actividades agrícolas en el ambiente se ha provocado que la producción de cultivos se realice de una manera más sustentable, especialmente en el manejo de la fertilización, en este sentido, la composta es un abono orgánico utilizado como fuente de nutrimentos y como componente de sustratos en la agricultura protegida (Salas-Pérez *et al.*, 2016). Además, la mayoría de los cultivadores de agave no aplican fertilización mineral u orgánica y en caso de realizarse ésta se determina empíricamente, con base en la disponibilidad de productos y recursos económicos (Antonio y Smit, 2012).

Una desventaja de los materiales orgánicos en relación a los inorgánicos es que son susceptibles de continuar su descomposición en mayor o menor medida (Mendoza *et al.*, 2011). Aunque existen varias alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos y líquidos de la industria tequilera, el compostaje aeróbico ha resultado la técnica más utilizada ya que el bagazo junto con otros residuos puede ser reciclado; el compost producido puede emplearse como enmienda para suelos agrícolas y este al humedecerse únicamente con agua puede utilizarse como sustrato para la producción de plantas (Rodríguez *et al.* 2010; Crespo *et al.* 2013).

Por otra parte, el contenido de sólidos solubles totales (SST) es sinónimo de calidad interna del fruto y tejidos de las plantas, por guardar alta correlación positiva con el contenido de azúcares (Mata y Natera, 2009). También la madurez se asocia a una cierta cantidad de SST (Cote, 2011). El contenido de azúcares reductores totales (ART) en los agaves varía de acuerdo a tipo de especie, edad de la planta, manejo del cultivo, condiciones ambientales en las que se desarrolla la planta y el método utilizado para la determinación de los carbohidratos, en las plantas adultas de los azúcares reductores totales constituyen 21% y 27% del peso fresco de la piña (Cruz *et al.*, 2013). La fertilización con nitrógeno en dosis adecuada aumenta la concentración de SST en hojas de agave (Martínez *et al.*, 2012).

De la misma manera, la clorofila es el pigmento más importante en las hojas, y responsable de su verdor (Sánchez *et al.*, 2018). La clorofila total es la suma de las clorofilas a y b. La clorofila a, es el pigmento principal, que transforma la energía lumínica en energía química, la cual contribuye en el crecimiento de las plantas, por lo que se considera un pigmento activo (Jaramillo-Salazar *et al.*, 2018). Mientras la clorofila b absorbe la luz en longitudes de onda diferentes que la clorofila a, la luz se transfiere después a la clorofila a, que la transforma en energía; por esto, a la clorofila b se le considera un pigmento accesorio (Cambrón-Sandoval *et al.*, 2011).

La capacidad fotosintética de las hojas también está relacionada con el contenido de N, principalmente porque las proteínas del ciclo de Calvin y tilacoides representan la mayoría del nitrógeno foliar (Latsague *et al.*, 2014), dicho elemento se puede encontrar en forma de nitrato, el cual es un compuesto químico inorgánico

que se encuentra en las plantas (Salazar-Sosa *et al.*, 2009; Londoño y Gómez, 2020); debido a que este elemento puede ser absorbido como NO_3^- y como NH_4^+ , dependiendo de la preferencia de la planta (Balta-Crisólogo *et al.*, 2015). Cabe mencionar que el nitrógeno se encuentra en mayor concentración en las hojas del agave y su carencia se manifiesta en un crecimiento, desarrollo y producción deficiente (Cruz *et al.*, 2013; Martínez-Ramírez *et al.*, 2013). La aplicación de dosis altas de N (100 y $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) incrementan la altura y el número de hojas en agave (Bautista *et al.*, 2017). Aunado a esto, el contenido de clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto, se refleja el estado nutricional con respecto a este importante nutrimento (Rincón y Ligarreto, 2010). Aunque la actividad fotoquímica del fotosistema II no depende necesariamente de la disponibilidad de nitrógeno, sin embargo, una deficiencia de este elemento afecta directamente el contenido de la clorofila y por ende la tasa efectiva de crecimiento de la planta (Sanclemente y Peña, 2008).

El potasio es un nutriente esencial absorbido por las plantas en grandes cantidades, es esencial para el crecimiento y reproducción de estas (Latsague *et al.*, 2014; Balta-Crisólogo *et al.*, 2015). En general, la deficiencia de N, P y K afecta la fotosíntesis y el crecimiento (Muñoz-Huerta *et al.*, 2013). El K^+ suele acumularse más en el tallo, fruto y por último en las hojas, además presenta una alta velocidad de absorción por los tejidos vegetales (Balta-Crisólogo *et al.*, 2015).

Por otro lado, el Ca^{2+} representa una fuente importante de estos nutrientes para las plantas, su evaluación es más compleja y depende de la capacidad de intercambio catiónico y del contenido de arcilla de los suelos (Ramos *et al.*, 2015). La deficiencia de este elemento modifica el proceso fotosintético al disminuir la eficacia de la carboxilación, además, la carencia de Ca^{2+} se manifiesta en deficiencias en la formación de la pared celular de los tejidos nuevos como puntas de las raíces, hojas jóvenes y brotes (Alarcón, 2017).

1.1. Planteamiento del problema

La producción de plántulas de agave presenta algunos inconvenientes, debido a que la mayoría de los productores reproducen esta especie a través de hijuelos y eso genera una gran pérdida de biodiversidad genética y conlleva a una disminución en la resistencia ante el ataque de plagas y enfermedades (García, 2017). Cuando la producción de planta es por semilla, los productores realizan la propagación de manera artesanal a través almácigos (pacholes) y sin tecnología, pero, se ha observado que no hay homogeneidad en las plántulas (Vázquez, 2011). Además, en los viveros de producción es común la presencia de enfermedades ocasionadas por organismos fitopatógenos tales como hongos y bacterias que provocan pudrición de tallos y raíces en las plántulas de esta especie (Rodríguez *et al.*, 2009). Sin embargo, la producción de plántulas de maguey es de suma importancia, por los múltiples usos que tiene el agave en la actualidad, debido a esto, la planta se encuentra amenazada por la sobre explotación para generar materia prima (Nava-Cruz *et al.* 2015). En los últimos años, han surgido empresas dedicadas a la producción de plántulas de agave, quienes utilizan sustratos comerciales como fibra o polvo de coco, la perlita, la vermiculita, entre otros, los cuales pueden llegar a ser económicamente costosos y de difícil acceso para los productores locales (Crespo *et al.*, 2013).

1.2. Justificación

El uso de sustratos orgánicos como las compostas y residuos de la elaboración de mezcal como bagazo de agave representa una alternativa para los productores, por ser productos de desecho de fácil acceso y que ellos mismos generan. Existen investigaciones que sugieren el uso del bagazo de agave para la producción de plántulas de *Agave tequilana* con efectos positivos (Iñiguez *et al.*, 2014), lo que se traduce en disminución de costos de producción, debido a que los sustratos comerciales suelen tener precios altos (Crespo, 2011). Otra alternativa como sustrato para la producción de plántulas son las compostas, las cuales son de fácil elaboración y favorecen la disminución de costos, además de ser un sistema de producción sustentable, que implica el uso de productos de desechos vegetales y

animales para su elaboración, con la posibilidad de remplazar el tezontle en la producción de plántulas de diversas especies (Corzo *et al.*, 2016), lo que impacta en el estado fisiológico de la planta mediante actividad bioquímica, reflejándose en mayor crecimiento de la misma, lo que hace necesario el estudio del comportamiento agronómico y fisiológico con base en la actividad bioquímica en plántulas de *A. angustifolia* Haw, cuando estas son adaptadas y cultivadas en sustratos orgánicos y regadas con solución orgánica a diferentes concentraciones. Por lo anterior, en la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Estudiar el efecto de sustratos y fertilización orgánica sobre el comportamiento agronómico y fisiológico de plántulas de *A. angustifolia* provenientes de semillas, hijuelos e *in vitro*, adaptadas y cultivadas en vivero.

2.2. Objetivos específicos

Comparar el crecimiento de plántulas de *A. angustifolia* provenientes de semillas, hijuelos e *in vitro*, cultivadas en bagazo con fertilización orgánica en vivero.

Evaluar el estado fisiológico con base en indicadores bioquímicos en las hojas de plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en sustratos y con fertilización orgánica en vivero.

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

El comportamiento agronómico y fisiológico de plántulas de *A. angustifolia* propagadas por semillas, hijuelos e *in vitro*, cultivadas en vivero, será modificado por los sustratos y la fertilización orgánica, en vivero.

3.2. Hipótesis específicas

El crecimiento de plántulas de *A. angustifolia* procedentes de semillas, hijuelos e *in vitro*, cultivadas en vivero, será diferente por efecto de la concentración de la solución orgánica.

El comportamiento fisiológico con base en la actividad bioquímica de las hojas de plántulas de *A. angustifolia* adaptadas y cultivadas en vivero, será modificada por los sustratos y fertilización orgánica donde crecen.

3.3. LITERATURA CITADA

- Alarcón V. A. L. (2017).** *Programación de la fertirrigación en cultivos sin suelo en el sudeste español. estudio de la nutrición cálcica* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Cartagena, 37-47 p.
- Balta-Crisólogo, R. A., Rodríguez-Del Castillo Á. M., Guerrero-Abad R., Cachique, D., Edín A. P., Arévalo-López L. y Oscar, L. O. L. I. (2015).** Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en suelos ácidos, San Martín, Perú. *Folia Amazónica*, 24(2), 23-30.
- Bautista A. G., Sánchez M. S., Bautista C. M. A. (2017).** Efecto de diferentes dosis de n y p en el crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4(2), 1-7.
- Bautista J. A., Orozco Cirilo, S., y Terán Melchor, E. (2015).** La disminución de la producción artesanal de mezcal en la Región del mezcal de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(6), 1291-1305.
- Berumen-Barbosa M. E. (2009).** Oaxaca: La actividad productiva Maguey-Mezcal. Santiago Matatlán, Tlaxiaco, Oaxaca, México, p. 7.
- Cambrón-Sandoval V. H., España-Boquera M. L., Sánchez-Vargas N. M., Sáenz-Romero C., Vargas-Hernández J. J., y Herrerías-Diego Y. (2011).** Producción de clorofila en *Pinus pseudostrobus* en etapas juveniles bajo diferentes ambientes de desarrollo. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 253-260.
- Cassetari, A. (2014).** Fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar inoculada com bacterias diazotróficas. (Tesis de Doctorado en Suelos y nutrición de plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", Piracicaba, SP, Brasil. p. 11-12.

- Castillo Á. R., y Ligarreto G. A. (2010).** Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 122-128.
- Corzo-Romero S. I., Rivero-Bautista, D., Palma-López, D. J., y Mendoza-Hernández, J. R. H. (2016).** Manejo orgánico de hortalizas en Tenosique, Tabasco, México. *Agroproductividad* 9(12), 51-56.
- Cote D. S.P. (2011).** Efecto de la intensidad de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de frutos (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de La Plata Facultad de Ciencias Exactas, La Plata, p. 85.
- Crespo G. M. R., González E. D. R., Rodríguez M. R., Rendón S. L. A., del Real L. J. I., y Torres M. J. P. (2013).** Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(8), 1161-1173.
- Crespo G. M. R., González, E. D. R., Rodríguez, M. R., Rendón, S. L. A., del Real, L. J. I., y Torres, M. J. P. (2013).** Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(8), 1161-1173.
- Crespo R. G. M. (2011).** Proceso de compostaje de bagazo de Agave tequilero a gran escala y uso de la composta para el cultivo del *Agave tequilana* en contenedor. (Tesis de Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, *Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara*, Zapopan, Jalisco, México. p. 173-175.
- Cruz G. H., Del Valle E. J. R., Velasco V. V. A., Ruiz L. J., Campos Á. G. V. y Aquino García D. E. (2013).** Nutrientes y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 1161-1173.

- García C.M. (2017).** Los Agaves en el campo mexicano. *Oikos* 4(18) 7-11.
- Iñiguez C. G., Bernal, C. J. J., Ramírez, M. W., y Villalvazo, N. J. (2014).** Recycling agave bagasse of the tequila industry. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 4(2), 135-142.
- Latsague, M. Sáez P., y Mora M. (2014).** Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hook. f. *Gayana. Botánica*, 71(1), 37-42.
- Londoño P. M. y Gómez R. B. D. (2021).** Nitratos y nitritos, la doble cara de la moneda. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 4(1), 1-15.
- Martínez R. S., Trinidad S. A., Robles C., Galvis S. A., Hernández M. T. M., Santizo R. J. A., y Pedro S. E. C. (2012).** Crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 61-68.
- Martínez-Ramírez S., Trinidad-Santos A., Bautista-Sánchez G. y Pedro-Santos E. C. (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.
- Mata, N. M., y Natera, J. R. M. (2009).** Efecto de reguladores de crecimiento sobre el epicarpo, mesocarpo y sólidos solubles totales del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) cv. Edisto 47. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2), 295-303.
- Mendoza-Hernández D., García-de-la_Fuente R., Belda R. M., Fornes, F., y Abad M. (2011).** Compostaje y vermicompostaje de residuos hortícolas: evolución de parámetros físicos y químicos durante el proceso. Consecuencias ambientales. *Actas de Horticultura*, 59(1), 22-27.
- Muñiz-Márquez D. B., R. M. Rodríguez-Jasso, R. Rodríguez-Herrera, J. C. Contreras-Esquivel y C. N. Aguilar-González (2013).** Producción Artesanal del Agumiel: Una Bebida Tradicional Mexicana Producción Artesanal del

Aguamiel: Una Bebida Tradicional Mexicana Artesanal. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(10), 12-19.

Muñoz-Huerta R. F., Guevara-Gonzalez R. G., Contreras-Medina L. M., Torres-Pacheco I., Prado-Olivarez J. y Ocampo-Velazquez R. V. (2013). A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. *sensors*, 13(8), 10823-10843.

Nava-Cruz N. Y., Medina-Morales, M. A., Martinez, J. L., Rodriguez, R., y Aguilar, C. N. (2015). Agave biotechnology: an overview. *Critical reviews in biotechnology*, 35(4), 546-559.

Ramos Y. C., González A. J. T., Mederos A. G., y Jiménez A. H. (2015). Situación actual de los suelos tabacaleros de la empresa “Lázaro Peña” de la provincia Artemisa. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 80-85.

Ravenscroft N., Cescutti, P., Hearshaw, M.A., Ramsout, R., Rizzo, R., Timme, E.M. (2009). Structural analysis of fructans from *Agave americana* grown in South Africa for spirit production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10), 3995-4003.

Rodríguez A., Tenorio, V., Prado, R., y Campillo, S. (2009). Germinación y manejo de especies forestales tropicales. Xalapa, Veracruz, México. Universidad Veracruzana, Dirección General Editorial. p. 246.

Rodríguez-García L. B., Fernández-Castellanos F. A., Íñiguez-Covarrubias G., Rodríguez-Guzmán, E., Rodríguez-Díaz E., y Arriaga-Ruiz M. C. (2010). Utilización de bagazo de agave como sustrato para producción de plántulas de tomate. *Scientia-CUCBA*, 12(2), 11—15.

Rodríguez-Hernández, R., A. Barrios-Ayala, H. E. Flores-López, V. Sánchez-Vásquez y R. Ariza-Flores (2016). Factibilidad económica de la producción de bioetanol con tres especies de *Agave spp.* en regiones productoras de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(6), 1439-1453.

- Salas-Pérez, L., González-Fuentes J. A., García-Carrillo M., Sifuentes-Ibarra E., Parra-Terrazas S., y Preciado-Rangel P. (2016).** Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova scientia*, 8(17), 310-325.
- Salazar-Sosa E., Trejo-Escareño H. I., Vázquez-Vázquez C., López-Martínez J. D., Fortis-Hernández M., Zuñiga-Tarango R., y Amado-Álvarez J. P. (2009).** Distribución de nitrógeno disponible en suelo abonado con estiércol bovino en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 373-382.
- Sánchez E. Ruiz, J. M. Romero, L. Preciado R. I. P. Flores C. M. A. y Márquez Q.C. (2018).** ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero?. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(15), 387-398.
- Sánchez T. F. L., S. Moreno M., A. Esqueda B., M.L. Robert. (2009).** Genetic variability of wild *Agave angustifolia* populations based on AFLP: a basic study for conservation. *Journal Arid Environments*, 73(6) 611-616.
- Sanclemente M. A., y Peña E. J. (2008).** Crecimiento y eficiencia fotosintética de *Ludwigia decurrens* Walter (Onagraceae) bajo diferentes concentraciones de nitrógeno. *Acta biológica Colombiana*, 13(1), 175-185.
- Sandoval K. V., Rojas, M. M. R., Lagunas, E. A., y Avila, D. D. (2020).** Innovación agroindustrial del agave (*Agave tequilana* Weber var. azul): valoración financiera para la obtención de inulina. *Agro Productividad*, 13(3), 19-24.
- Vázquez-Díaz E., García Nava, J. R., Peña Valdivia, C. B., Tobías, R., Hugo, M., y Morales Ramos, V. (2011).** Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(3), 167-173.

IV. CAPITULO II.

PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE *A. angustifolia* HAW. CON BIOFERTILIZACIÓN EN VIVERO

4.1. RESUMEN

El *Agave angustifolia* es originario de México y usado para obtener diversos productos. Sin embargo, su sistema de producción tradicional presenta algunos inconvenientes. Ante esto, la forma de propagación y fertilización podrían ser una alternativa para mejorar la producción y aclimatación de plántulas de agave en vivero. El objetivo fue estudiar el efecto de la biofertilización sobre el crecimiento de plántulas de *A. angustifolia* en vivero, reproducidas sexual y asexualmente. Se estableció un experimento en un vivero cubierto con malla sombra con 40% de transmitancia. Se utilizó un arreglo factorial 3x3 en distribución completamente al azar; los factores de estudio fueron el tipo de propagación: semilla, hijuelo e *in vitro* y la concentración de la solución orgánica: testigo (sin solución; 0%), 5% y 10%. La combinación de los niveles de cada factor resultó en nueve tratamientos con 21 repeticiones. Las plantas de 18 meses de edad se trasplantaron en macetas de polietileno llenadas con bagazo de agave pre-compostado. A los 90 días después del trasplante (ddt) las plántulas se regaron quincenalmente con las diferentes concentraciones de la solución orgánica. A los 150 ddt se registró la altura y diámetro de la roseta, el largo y ancho de la hoja principal y el número de hojas por planta y los datos se sometieron a un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Las plántulas provenientes hijuelos tuvieron la mayor altura (54.2 cm) y diámetro (75 cm) de roseta y longitud de hoja (56.3 cm). Las soluciones al 5% y 10% influyeron en la altura (58.5 a 61 cm) y diámetro (85 a 75 cm) de la roseta, además del número de hojas por planta (8 a 9 hojas). La longitud de la hoja principal (61.9 cm) se incrementó con la solución al 10%. Las plantas provenientes de semillas y regadas con solución al 10% tuvieron la mayor altura de roseta (61 cm) y longitud de hoja (57.9 cm). El riego con solución al 5% y 10% incrementaron la altura de roseta (15.04 y 8.97%), diámetro de roseta (23.41 y 13.2%) y longitud de la hoja (13.08 y 19.54%) en plantas provenientes de hijuelos.

Mientras que la biofertilización (solución al 5% y 10%) aumentó el número de hojas en las plantas de diferente procedencia. Lo anterior indica que la biofertilización representa una alternativa favorable para mejorar la adaptación y el crecimiento de plantas de *Agave angustifolia* en vivero.

Palabras claves

Agave angustifolia, bagazo, *in vitro*, hijuelos, biofertilización

4.2. ABSTRACT

The *Agave angustifolia* is native to Mexico and used to obtain various products. However, its traditional production system has some drawbacks. Given this, the form of propagation and fertilization could be an alternative to improve the production and acclimatization of agave seedlings in the nursery. The objective was to study the effect of biofertilization on the growth of *A. angustifolia* seedlings in the nursery, reproduced sexually and asexually. An experiment was established in a nursery covered with shade mesh with 40% transmittance. A 3x3 factorial arrangement was used in a completely random distribution; whose study factors were the type of propagation: seed, sucker and *in vitro* and the concentration of the organic solution: control (without solution; 0%), 5% and 10%. The combination of the levels of each factor resulted in nine treatments with 21 repetitions. The one-year-old plants were transplanted into polyethylene pots filled with pre-composted agave bagasse. At 90 days after transplantation (ddt) the seedlings were watered fortnightly with the different concentrations of the organic solution. At 150 dat, the height and diameter of the rosette, the length and width of the main leaf and the number of leaves per plant were recorded and the data were subjected to an analysis of variance and Tukey's mean comparison test ($\alpha = 0.05$). The seedlings from suckers had the highest rosette height (54.2 cm) and diameter (75 cm) and leaf length (56.3 cm). The 5% and 10% solutions influenced the height (58.5 to 61 cm) and diameter (85 to 75 cm) of the rosette, as well as the number of leaves per plant (8 to 9 leaves). The main leaf length (61.9 cm) increased with the 10% solution. Plants from seeds and irrigated with a 10% solution had the highest rosette height (61 cm) and leaf length (57.9 cm). Irrigation with 5% and 10% solution increased rosette height (15.04 and 8.97%), rosette diameter (23.41 and 13.2%) and leaf length (13.08 and 19.54%) in plants from suckers. While biofertilization (solution at 5% and 10%) increased the number of leaves in plants of different origin. This indicates that biofertilization represents a favorable alternative to improve the adaptation and growth of *Agave angustifolia* plants in the nursery.

Keywords

Agave angustifolia, bagasse, *in vitro*, suckers, biofertilization

4.3. INTRODUCCIÓN

El agave es una planta perenne comúnmente conocida como maguey, cuyo centro de origen y diversidad natural es México, donde se encuentran alrededor de 150 especies de las más de 200 existentes (Narváez *et al.*, 2016), distribuidas principalmente en ecosistemas áridos (Pérez *et al.*, 2012). El agave se ha utilizado desde épocas prehispánicas con fines alimenticios, habitacional, espiritual y de recreación (Muñiz-Márquez *et al.*, 2013).

Sin embargo, la producción de plantas de agave presenta algunos inconvenientes, debido a que la mayoría de los productores siembran a través de hijuelos, provocando a largo plazo la pérdida de biodiversidad genética y la disminución de la resistencia a enfermedades y plagas (García, 2017). A pesar que las plantas de agave obtenidas por semilla son de suma importancia para mantener la dinámica de las poblaciones y la estructura debido a la alta variabilidad genética que presentan, estas tienen lento desarrollo (Ramírez-Tobías *et al.*, 2011). Este tipo de propagación no es muy usado, debido a que comúnmente el quiote (tallo) es eliminado para el aprovechamiento de la piña para la elaboración de mezcal; esto evita que las plantas adultas lleguen a presentar inflorescencias y, por ende, que no haya producción de semillas (Brena-Bustamante *et al.*, 2013).

Cuando la reproducción es por semilla, los productores realizan la propagación de manera artesanal por medio de almácigos conocidos localmente como terrarios o pacholes, sin tecnología, lo que provoca que las plantas presenten baja sanidad, vigor y uniformidad (Vázquez *et al.*, 2011). Otra forma de propagación es por cultivo *in vitro*; esta es una técnica importante para la multiplicación masiva en agave, con la ventaja de que se obtienen ejemplares inocuos (Ángeles-Espino *et al.*, 2012), lo que representa una forma de rescatar las especies en peligro de extinción (Garriga *et al.*, 2010).

Otro aspecto importante en el crecimiento de los cultivos es la fertilización, práctica poco común en el cultivo de *Agave*, debido a que se requiere conocer la condición nutrimental de las plantas adultas que se cosechan, ya que la mayoría de las plantaciones, sobre todo silvestres, se desarrollan en suelos con pendientes

prolongadas, pedregosos y con baja fertilidad (Cruz *et al.*, 2013). Es importante mencionar que la fertilización con NPK influye directamente sobre el crecimiento y biomasa de la plántula *Agave* (Martínez-Ramírez *et al.*, 2013). Recientemente el uso de la biofertilización en la agricultura ha tomado auge, debido a su bajo impacto en el ambiente y a su uso como fuente alterna de nutrimentos y hormonas de crecimiento vegetal provenientes de desechos orgánicos que, favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas (Mamani, 2020 y Zagoya *et al.*, 2015). La fertilización orgánica tiene gran importancia en el cultivo de *Agave*, porque además de ser una práctica sustentable, disminuye considerablemente la presencia de plagas (Sierra-Zurita *et al.*, 2019).

Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue estudiar el efecto de la biofertilización sobre crecimiento de plantas de *A. angustifolia* en vivero, reproducidas sexual y asexualmente.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1. Localización del experimento

El experimento se estableció en un vivero cubierto con malla sombra con 40% de transmitancia, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, unidad Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México; en las coordenadas geográficas 20° 34' 01" Latitud N y 99° 30' 10.7" Longitud Oeste, a 766 m de altitud. La temperatura media mensual máxima y mínima en el interior del vivero, durante el crecimiento del cultivo fue de 44 °C y 35 °C, respectivamente (Figura 1).

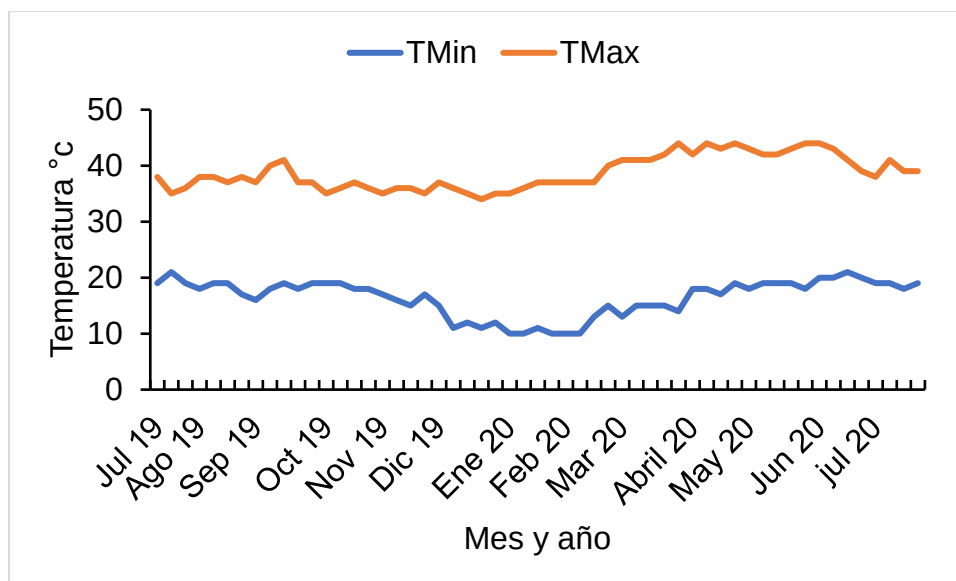


Figura 1. Temperaturas máximas (T_{máx}) y mínimas (T_{mín}) mensuales durante el crecimiento de plantas de *Agave angustifolia* Haw., en vivero, durante el periodo julio 2019-julio 2020.

Se utilizó un arreglo factorial 3x3 en completamente al azar; los factores de estudio fueron el tipo de propagación de las plántulas: semilla, hijuelo e *in vitro* y la concentración de la solución orgánica: sin solución (0%), 5% y 10%. La combinación de los niveles de cada factor resultó en nueve tratamientos (Cuadro 3) con 21 repeticiones. La unidad experimental (repeticion) consistió en una maceta con una planta, con un total de 189 unidades experimentales.

4.4.2. Material vegetal

Se utilizaron plantas de *Agave angustifolia* Haw., propagadas por semillas, hijuelos e *in vitro*, procedentes de la región Centro (Chilapa y Ahuacotzingo) del estado de Guerrero, México, con una edad aproximada de 18 meses.

4.4.3. Sustratos

Se utilizó como sustrato suelo para el testigo, bagazo de *Agave angustifolia* Haw., resultante de los desechos de la destilación de mezcal en el año 2018 y apilado y precompostado a la intemperie durante un año, molido con una trituradora KOHLER®, modelo CH520, serie 4430802021. Y composta que se elaboró de acuerdo a la metodología propuesta por la FAO (2010). En seguida, se colectó una muestra de este, la cual se envió a un laboratorio privado (Fertilab®) para su análisis fisicoquímico (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físicas y químicas del bagazo de *Agave angustifolia* Haw., precompostado durante un año (2019) y del biofermentado de estiércol de bovino.

Determinación	Unidades	Bagazo de agave	Biopreparado
pH		7.51	8.22
Conductividad Eléctrica	dS ⁻¹	1.25	7.80
Nitrógeno total	%	2.09	0.16
Fósforo (P)	%	0.16	0.0034
Potasio (K)	%	0.40	0.19
Calcio (Ca)	%	9.30	0.0099
Magnesio (Mg)	%	0.26	0.04
Sodio (Na)	%	0.0040	0.01
Azufre (S)	%	0.20	0.0039
Hierro (Fe)	ppm	4448	7.86
Cobre (Cu)	ppm	91.70	0.18
Manganeso (Mn)	ppm	60.25	0.15
Zinc (Zn)	ppm	92.16	0.59
Boro (B)	ppm	19.3	0.39
Humedad	%	8.77	99.2
Materia orgánica	%	77.5	0.45
Cenizas	%	22.5	0.40
Carbono orgánico	%	45.0	0.26

4.4.4. Biopreparado (biofertilizante líquido)

La preparación del biofertilizante líquido se realizó siguiendo la metodología descrita por el manual de la FAO (2010), basada en la fermentación anaerobia de una mezcla de estiércol de ganado y diferentes aditivos para acelerar su fermentación dentro de un biodigestor, que consistió en un recipiente de 200 L cerrado herméticamente y se dejó reposar durante 40 d bajo sombra. Una vez abierto el biodigestor, se realizó la cosecha del biofertilizante líquido y se tomó una muestra de 1 L para su análisis químico (Cuadro 1).

4.5.5. Trasplante

El trasplante se realizó cuando las plántulas presentaron una altura de roseta de 40.3 cm, diámetro de roseta de 51.8 cm y un promedio de 7.0 hojas planta, en macetas de polietileno de 3.8 L, llenadas con el sustrato antes descrito. Enseguida, las plantas se sometieron a un periodo de adaptación de 30 d dentro del vivero y regadas con agua de la llave, previo al riego con solución orgánica.

4.4.6. Riegos y fertilización

Durante el periodo de adaptación de las plantas, los riegos se realizaron cada 7 d con 1 L de agua corriente por maceta. La fertilización se inició a los 92 días después del trasplante (ddt) mediante el riego con solución orgánica (biofertilizante), al 5% y 10% de su concentración en los tratamientos correspondientes, mientras que los tratamientos sin solución (0%) fueron regados con agua de la llave. El pH de la solución orgánica se ajustó a 5.5 en cada riego y corroborado con un potenciómetro HANNA® modelo HI 9812-5.

Cuadro 2. Tratamientos resultantes de la combinación de niveles de los factores estudiados en la producción de plantas de *A. angustifolia* en vivero.

Tratamientos	Combinaciones
T1	Plántulas de hijuelos sin solución nutritiva
T2	Plántulas de semilla sin solución nutritiva
T3	Plántulas de in vitro sin solución nutritiva
T4	Plántulas de hijuelos con solución nutritiva al 5 %
T5	Plántulas de semilla con solución nutritiva al 5 %
T6	Plántulas de in vitro con solución nutritiva al 5 %
T7	Plántulas de hijuelos con solución nutritiva al 10 %
T8	Plántulas de semilla con solución nutritiva al 10 %
T9	Plántulas de in vitro con solución nutritiva al 10 %

4.4.7 Variables respuesta y análisis estadístico

A los 150 ddt, la altura (AR) y el diámetro de la roseta (DR), la longitud (LHP) y el ancho de la hoja principal (AHP) fueron registrados con un flexómetro (cm), y se cuantificó el número de hojas (NH) por planta. Finalmente, los datos obtenidos se organizaron en una hoja de cálculo de Excel (2019) y con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.3, se realizó un análisis de varianza, y las variables significativas fueron comparadas con una prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los valores de *p*-value obtenidos en el análisis de varianza se tuvo que la altura y el diámetro de la roseta, la longitud de la hoja principal y el número de hojas por planta presentaron diferencias estadísticamente significativas por el efecto del tipo de propagación, concentración de la solución orgánica y la combinación de ambos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de *p*-value del análisis de varianza para efectos principales e interacciones sobre el crecimiento de plantas de *A. angustifolia*.

Factores de estudio	AR	DR	LHP	AHP	NH
Tipo de propagación (P)	<.0001**	<.0001**	<.0001**	0.0679ns	<.0001**
Concentración de la solución orgánica (F)	<.0001**	<.0001**	<.0001**	0.0043ns	<.0001**
PxF	<.0001**	<.0001**	<.0001**	0.0122ns	<.0001**

Valores de *p*-value > 0.05: no significativo (ns); valores de *p*-value ≤ 0.05: significativo (*); valores de *p*-value ≤ 0.0001: altamente significativo (**); AR: altura de roseta; DR: diámetro de roseta; LHP: largo de la hoja principal; AHP: ancho de la hoja principal; NH: número de hojas.

4.5.1. Altura de la roseta

La altura de la roseta en plantas obtenidas de hijuelos (54.2 cm) y semillas (51.7 cm) superaron en 26.0% y 22.4%, respectivamente a la altura de roseta de las plantas de *in vitro* (40 cm) (Figura 2). Esto se debe a que las plantas provenientes de semillas e hijuelos tuvieron mayor velocidad de crecimiento en comparación con las plantas producidas *in vitro*. Este comportamiento fue similar a lo mencionado por Yescas *et al.* (2016), quienes observaron en plantas de *Agave americana* var.

Oaxacensis propagadas *in vitro*, que estas tardan mayor tiempo en aclimatarse o adaptarse. Lo anterior se atribuye a que las plantas de agave cultivadas *in vitro* experimentan cambios severos en su morfología durante la aclimatación, acentuándose en el desarrollo del aparato estomático (Monja *et al.*, 2015). Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación tienen similitud con lo reportado por González *et al.* (2014), quienes mencionaron que la altura de las plantas de agave (*Agave fourcroydes* Lem.) está relacionada con el tipo de propagación. Mientras que Vázquez *et al.* (2011) indican que la propagación asexual por hijuelos es la forma más común y exitosa de propagación de plantas de *Agave* spp., por desarrollarse más rápido. En este contexto, Zúñiga-Estrada *et al.* (2018), obtuvieron un incremento significativo en plantas de *Agave* provenientes de hijuelos con fertirriego. En contraste, Martínez-Ramírez *et al.* (2013), no tuvieron diferencias en la altura de plántulas de *A. angustifolia* y *A. potatorum*.

Con respecto a la biofertilización, se obtuvo que el riego con solución orgánica al 5% y 10% incrementaron la altura de las plantas (Figura 2); ambos superaron en 14.1% y 18.2% a la altura de roseta en las plantas sin solución. Este comportamiento coincide con lo reportado por Ormeño *et al.* (2013), quienes afirman que la aplicación de abonos orgánicos líquidos favorece el incremento de la altura de las plantas, debido al efecto positivo que provoca la fertilización al aportar nutrimentos. Los resultados del presente trabajo también tienen similitud con lo mencionado por Zúñiga-Estrada *et al.* (2018) quienes encontraron un incremento en la altura de planta en *Agave tequilana* y *A. weber* var. Azul por el efecto de la fertirrigación. Mientras tanto, Arreola *et al.* (2020), al comparar el efecto de la biofertilización y fertilización química en *Agave tequilana* var. Azul, obtuvieron que la biofertilización promueve la altura de planta. En el mismo sentido, Mamani (2020) encontraron que la biofertilización con biol de estiércol de bovino en cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) favoreció la altura de planta. Este efecto también se asemeja con lo mencionado por Ticona *et al.* (2016), al observar un incremento de la altura en cebada (*Hordeum vulgare*) por el efecto del biol; también concuerda con lo indicado por Linares-Gabriel *et al.* (2017), quienes obtuvieron que la aplicación de biol influye en la altura de heliconia (*Heliconia psittacorum* cv. Tropica).

Mientras que Miranda (2018) indica que la aplicación de biol de estiércol de bovino mejora la altura de bolaina blanca (*Guazuma crinita*). Sin embargo, Yescas *et al.* (2016) mencionaron que la mayor altura de roseta en *Agave americana* var. *Oaxacensis* L. la tuvieron en plantas *in vitro* sin fertilización.

Por otro lado, se tuvo que la combinación de niveles de los factores estudiados influyó sobre la altura de roseta (Cuadro 4). El riego con solución orgánica al 10% en plantas provenientes de semillas y el riego con solución al 10% y 5%, respectivamente, en plantas de hijuelos, favoreció el incremento de la altura de la roseta, mientras que las plantas obtenidas de *in vitro* y sin solución presentaron menor altura de roseta (Cuadro 5). Similarmente, las plantas de *in vitro* regadas con solución (5% y 10%), junto con las plantas de semilla sin solución mostraron la misma respuesta y registraron la menor altura. Este resultado coincide con lo reportado por Enríquez *et al.* (2013), quienes después de evaluar diferentes dosis de fertilización en plantas de *A. angustifolia* y *A. potatorum*, obtuvieron un incremento en la altura de roseta por el efecto combinado del genotipo y la fertilización. Esta tendencia es similar a lo mencionado por otros investigadores en diferentes cultivos como pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.), al obtener incrementos en el rendimiento y producción por el efecto combinado de la fertilización orgánica y la variedad (García-Hernández *et al.*, 2020). Sin embargo, Martínez-Ramírez *et al.* (2013), no obtuvieron respuesta favorable en la altura plántulas de *A. angustifolia* y *A. potatorum* con la fertilización.

4.5.2. Diámetro de la roseta

Las plantas procedentes de hijuelos tuvieron mayor crecimiento en el diámetro de la roseta (75 cm) (Figura 3), seguido de las plantas obtenidas por semilla (59.4 cm). Mientras que las plantas de *in vitro* tuvieron menor diámetro de roseta (50.6 cm). Esta respuesta se debe a que las plantas de agave reproducidas por hijuelo o por semilla presentan mejor adaptación al momento del trasplante en campo o en vivero, mientras que las plantas obtenidas *in vitro* presentan mayores problemas en su adaptación, debido a que se obtienen en el laboratorio y por lo tanto son manipuladas en un ambiente controlado (Indacochea-Ganchozo *et al.*, 2017). Los

resultados obtenidos en esta investigación contrastan con lo reportado por Martínez-Ramírez *et al.* (2013), quienes mencionan que el tipo de propagación en plántulas de *Agave* no influye en el diámetro de la roseta. Por otro lado (Martínez-Ramírez *et al.* 2013). También coincide con lo que reportado por Hariyanto *et al.* (2019), encontraron diferencias en el crecimiento de tallo en plantas de orquídeas (*Dendrobium sylvanum rchb.* F.) cultivadas en sustratos orgánicos y fertilizadas.

Por otro lado, el riego con solución orgánica al 5% y 10% incrementó el diámetro de la roseta (Figura 3), con 65.1 y 66.1 cm, respectivamente. En cambio, las plantas sin solución presentaron el menor diámetro de roseta (53.8 cm). Al respecto, algunos estudios indican que el suministro de nutrientes en los cultivos mediante la fertilización orgánica e inorgánica favorecen el crecimiento, lo que incrementa el diámetro del tallo o de la roseta (Martínez-Ramírez *et al.*, 2013; Morales *et al.*, 2017). Estos resultados son similares a lo reportado en otros cultivos por Mamani (2020), quien menciona que el biol favorece el crecimiento de cañahua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*). En el mismo sentido, Ticona *et al.* (2016) encontraron un aumento en el crecimiento del tallo en cebada (*Hordeum vulgare*) con la aplicación de biol de estiércol de bovino. Mientras que, Miranda (2018), demostró que la fertilización con biol incrementa el diámetro del tallo en bolaina blanca (*Guazuma crinita*).

La respuesta positiva de las plantas de agave regadas con solución orgánica evaluadas en este estudio fue evidente, ya que, como se ha demostrado en otras investigaciones, el riego con solución nutritiva incrementa el diámetro de la roseta en *Agave americana* var. *Oaxacensis* L. (Yescas *et al.*, 2016). También, es común observar un incremento en el crecimiento (diámetro de tallo) del agave a medida que se incrementa la concentración de la solución nutritiva, como lo demostraron Morales *et al.* (2017) en *Agave potatorum* Zucc. El mismo efecto se ha observado en plantas de *Agave americana* var. *Oaxacensis*, al incrementarse el diámetro del tallo a medida que aumentó la dosis de fertilización (Enríquez *et al.*, 2013). Mientras que Cruz *et al.* (2019) indican efecto positivo en el diámetro del tallo en plantas de *A. americana* regadas con solución nutritiva.

Por otra parte, la combinación del tipo de propagación y concentración de la solución orgánica afectaron el diámetro de la roseta (Cuadro 4). Las plantas obtenidas por hijuelos regadas con solución al 10% y 5% tuvieron valores promedio de 75 y 85 cm, respectivamente, superando en 13.2% y 23.4% el diámetro de roseta en plantas de semilla e *in vitro* sin solución orgánica, las cuales tuvieron menores promedios (61 y 42 cm) (Cuadro 5). Estos resultados contrastan con lo señalado por Martínez-Ramírez *et al.* (2013), quienes no encontraron respuesta a la fertilización con NPK en plántulas de *A. angustifolia* y *A. potatorum*. Por otra parte, Morales *et al.* (2017) observaron un incremento en el crecimiento (diámetro de tallo) con la aplicación de la solución nutritiva, en *Agave potatorum* Zucc. regadas con solución nutritiva a diferentes concentraciones. Este comportamiento fue constatado por Cruz *et al.* (2019), quienes reportan que la solución nutritiva afecta en el diámetro del tallo en plantas de *A. americana*.

4.5.3. Longitud de la hoja principal

Se obtuvo que las plantas provenientes de hijuelos (56.3 cm) y semillas (48.4 cm) superaron en 30.1% y 20.6% la longitud de la hoja alcanzado por las plantas de *in vitro* (38 cm) (Figura 4). Esto se debió a que las plantas de semillas e hijuelos tienden a tener hojas con mayor longitud (Morales *et al.*, 2017; Vázquez *et al.*, 2011). Los resultados del presente trabajo presentan tiene similitud con lo señalado por Imery y Cequea (2012), quienes mencionan que el tipo de propagación de *Aloe vera* (L.), influye en la longitud de planta.

También, se tuvo que el riego con solución orgánica al 5% y 10%, incrementó la longitud de la hoja principal (Figura 4) en 19.6% y 30.4% con respecto a la longitud de la hoja sin biofertilización. Esta respuesta positiva sobre la longitud de la hoja también se ha observado en *A. tequilana* y *A. Weber* var. Azul, por efecto de la biofertilización (Arreola *et al.*, 2020). Comportamiento que es constatado por Morales *et al.* (2017), quienes indican que la concentración de la solución nutritiva afecta la longitud de la hoja de *A. Potatorum* Zucc. El mismo efecto también se ha reportado en plantas de *Agave americana* var. Oaxacensis con fertilización (Enríquez *et al.*, 2013). En contraste, Yescas *et al.* (2016), mencionan que la

fertilización no influye en la longitud de la hoja en plantas de *Agave americana* var. Oaxacensis. En el mismo sentido, la respuesta de la longitud de hoja encontrada en la presente investigación difiere de lo señalado por Cruz *et al.* (2019), al indicar que la fertilización no incrementó la longitud de hoja en plantas *A. americana*. Contrario a lo reportado por Harynto *et al.* (2019), quienes demostraron que el incremento de la longitud de hojas es atribuido a la aplicación de fertilizante en orquídea. Mismo resultado obtuvo Hazrati *et al.* (2012), con la aplicación de N en Aloe vera.

Por otro lado, la combinación de niveles del tipo de propagación y de la solución orgánica modificó la longitud de la hoja principal (Cuadro 4). Por un lado, las plantas obtenidas por semillas e hijuelos regadas con solución orgánica al 5% y 10%, alcanzaron la mayor longitud de hoja con 57.9 y 61.9 cm, respectivamente. Mientas que las plantas de *in vitro* sin solución presentaron menor longitud de hoja (Cuadro 5). Esta respuesta es similar con lo reportado por Arreola *et al.* (2020) en *A. tequilana* y *A. Weber* var. Azul, donde observaron efectos positivos en la longitud de la hoja por el efecto de la biofertilización. También es común encontrar el incremento de la longitud de la hoja en respuesta a la fertilización en *A. Potatorum* Zucc. (Morales *et al.*, 2017). Dicho comportamiento fue constatado por Enríquez *et al.* (2013), quienes atribuyen el incremento de la hoja en *Agave americana* var. Oaxacensis a la fertilización. Por otra parte, Adriano *et al.* (2011), mencionaron que la biofertilización mejora el crecimiento y desarrollo de las plantas.

4.5.4. Ancho de la hoja principal

El tipo de propagación no afectó el ancho de la hoja principal de las plántulas de agave. Sin embargo, algunas plantas con el mismo metabolismo (*Aloe vera*) llegan a presentar modificaciones en el ancho de la hoja por efecto de tipo de propagación o variedad (Imery y Cerqueda, 2012).

Por otra parte, el ancho de la hoja no fue afectado por la biofertilización, se observó que, las plantas sin solución orgánica (testigo) tuvieron hojas más anchas. Esta respuesta coincide con lo mencionado por Arreola *et al.* (2020), quienes no

encontraron efecto de la biofertilización en el ancho de la hoja en *Agave tequilana*. Mientras que Martínez *et al.* (2012), obtuvieron mayor anchura de hojas en plantas de *A. potatorum* sin solución nutritiva que con solución. Lo que indica que en algunos casos la biofertilización no siempre afecta el tamaño de la hoja como se ha reportado en otras especies como lechuga (*Lactuca sativa* L.) (Mamani-Mamani *et al.*, 2015). Sin embargo, Morales *et al.* (2017), indican que el aumento de la concentración de la solución nutritiva genera hojas más anchas en *Agave potatorum* Zucc. Este efecto positivo también se ha reportado en *A. americana*, donde el aumento de la concentración de la solución nutritiva incrementó el ancho de las hojas (Cruz *et al.*, 2019). Harynto *et al.* (2019) mencionan que el ancho de la hoja en orquídea (*Dendrobium sylvanum* rchb. F.), se debe al efecto de la fertilización. dicho comportamiento coincide con lo reportado por Hazrati *et al.* (2012) quienes entraron efecto positivo de la fertilización en el ancho de la hoja de Aloe vera.

Con respecto a la interacción de los factores de estudio, se tuvo que el ancho de la hoja principal no se modificó por el efecto combinado del tipo de propagación y la biofertilización (Cuadro 4), cuyos promedios oscilaron de 2.2 a 2.9 cm (Cuadro 5). Esto se debe a que de manera individual ninguno de los factores estudiados influyó en el incremento del tamaño de la hoja (Figura 5). Sin embargo, la biofertilización si afecta el ancho de la hoja en otros cultivos (Mamani-Mamani *et al.*, 2015). Al respecto, Martínez *et al.* (2012) mencionan que la fertilización no modificó el ancho de la hoja en *Agave potatorum*. Este comportamiento es contrario a lo reportado por Morales *et al.* (2017), quienes observaron que la solución nutritiva si afecta el aumento de ancho de hoja en *Agave potatorum* Zucc. Dicho comportamiento es afirmado por Cruz *et al.* (2019), quienes observaron que la fertilización afecta el ancho de hoja en *A. americana* var. Oaxacensis.

4.5.5. Número de hojas

Los análisis estadísticos indican que la forma de propagación no influyó en el número de hojas en las plantas de agave evaluadas, cuyo valor promedio fue de 8

hojas por planta (Figura 6). Estos resultados son similares con el número de hojas reportado por Arreola *et al.* (2020) en *Agave tequilana* Weber. Sin embargo, algunos trabajos indican que la propagación *in vitro* favorece el incremento en número de hojas en plantas de agave (González *et al.*, 2014). Este comportamiento también ha sido demostrado en otras especies, (i. e. *Psidium guajava* L.), donde plantas obtenidas por *in vitro* presentaron mayor número de hojas durante su crecimiento, en comparación con las plantas obtenidas por semilla (Vilchez *et al.*, 2015). En cambio, Imery y Cequea (2012), obtuvieron mayor número de hojas en plantas de *Aloe vera* cuando estas se obtuvieron por semilla.

Con respecto a la biofertilización, el riego con solución al 5% y 10% favorecieron la producción de hojas en las plantas de agave estudiadas (Figura 6), estas superaron en 19.2% y 27.1%, respectivamente, al número de hojas producidas en plantas regadas sin solución, lo cual se atribuye al efecto positivo de los nutrimentos proporcionados por la solución orgánica. Respuesta que también ha sido confirmada en *Agave tequilana*, donde el número de hojas por planta se incrementó al ser fertirrigadas con solución nutritiva (Zúñiga-Estrada *et al.*, 2018). Este comportamiento también ha sido corroborado por Cruz *et al.* (2019), quienes también demostraron que la solución nutritiva influyó sobre el número de hojas en *Agave americana*. En el mismo contexto, los resultados de la presente investigación indican que el riego con solución nutritiva incrementa el número de hojas en diferentes especies de agave (Enríquez *et al.*, 2013; Morales *et al.*, 2017). Estos resultados son similares a lo reportado por Hazrati *et al.* (2012), quienes demostraron que el número de hojas de las plantas es atribuido a la aplicación de fertilizante. También tiene similitud con lo que reportado por Chowdhury *et al.* (2020), quienes mencionan que la fertilización orgánica tiene efecto significativo en número de hojas de *Aloe vera*.

Por otro lado, la combinación de la forma de propagación con la biofertilización provocó diferencias en el número de hojas por planta (Cuadro 4). Se obtuvo que tanto las plantas provenientes de semillas, hijuelos e *in vitro* regadas con solución al 5% y 10% presentaron mayor número de hojas, mientras que las plantas obtenidas

por hijuelos e *in vitro* sin biofertilización tuvieron el menor número de hojas por planta (Cuadro 5), lo que indica que independientemente del tipo de propagación, la biofertilización influyó en el crecimiento de las plantas y por ende, la producción de hojas (Abanto-Rodríguez *et al.*, 2019). Sin embargo, Martínez-Ramírez *et al.* (2013) no detectaron incrementos en el número de hojas por la fertilización en *A. angustifolia* y *A. potatorum*. Este comportamiento es constatado por Yescas *et al.* (2016), quienes observaron que la fertilización no influyó en un incremento de hojas en *Agave americana* var. *Oaxacensis* L. obtenidas por *in vitro*.

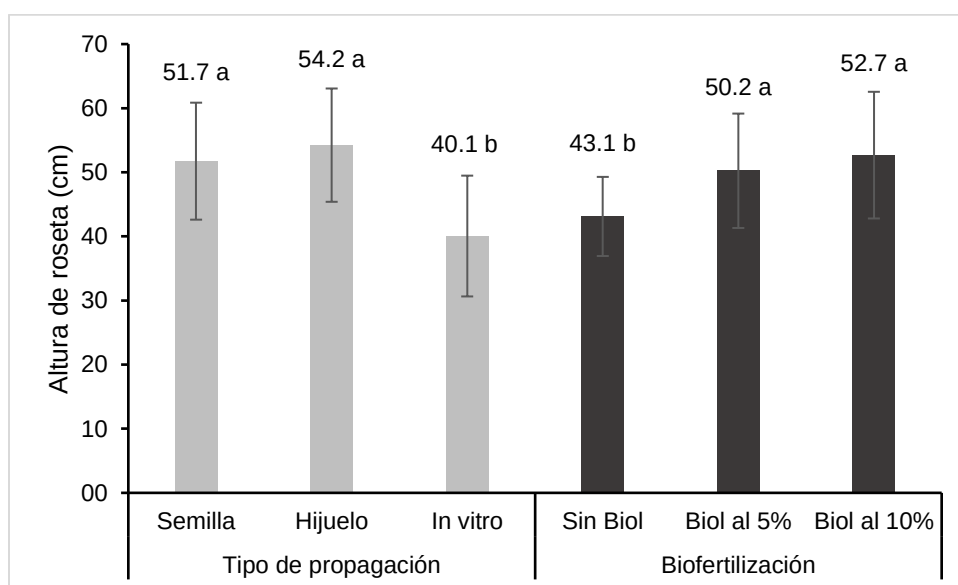


Figura 2: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre la altura de roseta en plántulas de *A. angustifolia*, cultivadas en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de propagación: 4.10; DMS para biofertilización: 4.10.

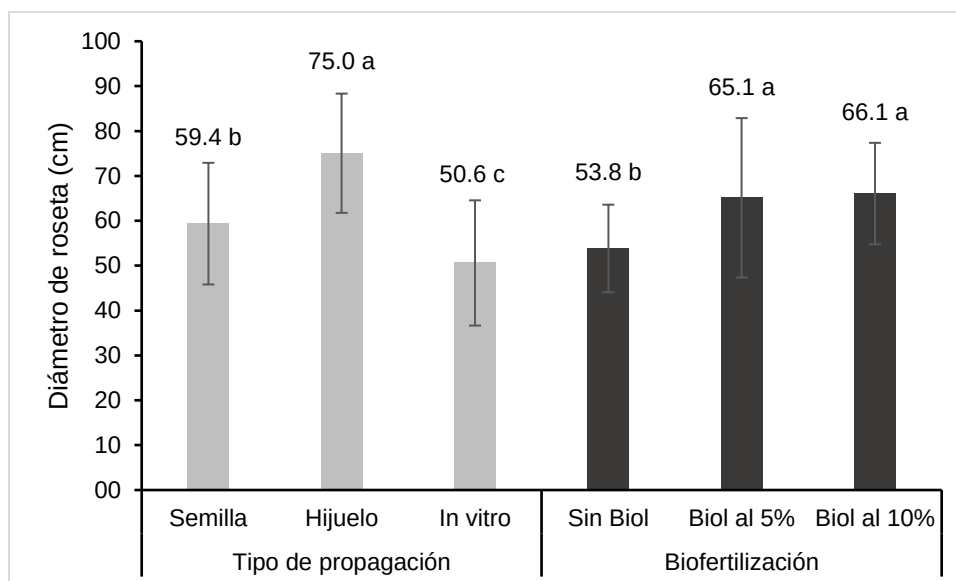


Figura 3: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre el diámetro de la roseta en plántulas de *A. angustifolia*, cultivadas en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de propagación: 6.44; DMS para biofertilización: 6.44.

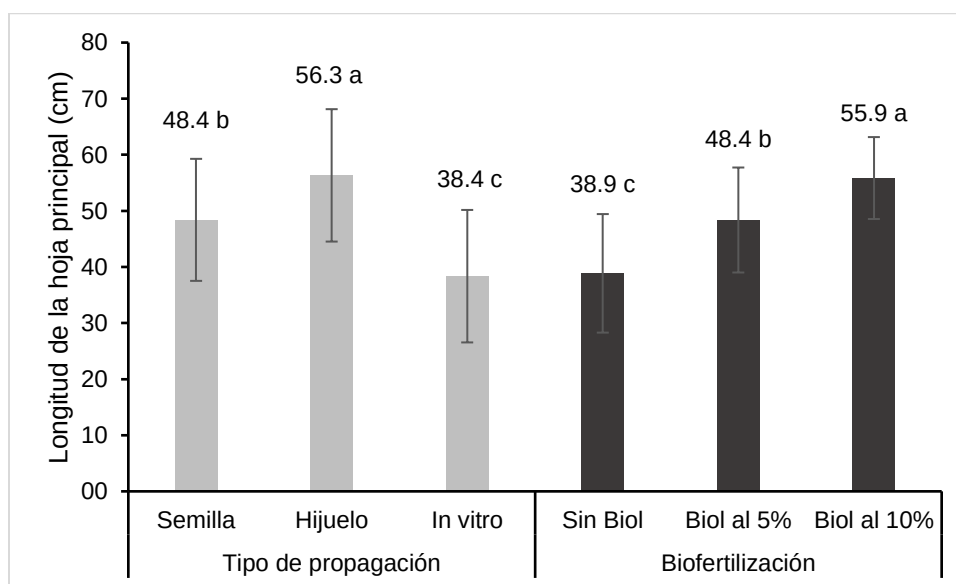


Figura 4: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre la longitud de la hoja principal por plántula de *A. angustifolia*, cultivadas en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes.

Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de propagación: 4.23; DMS para biofertilización: 4.23.

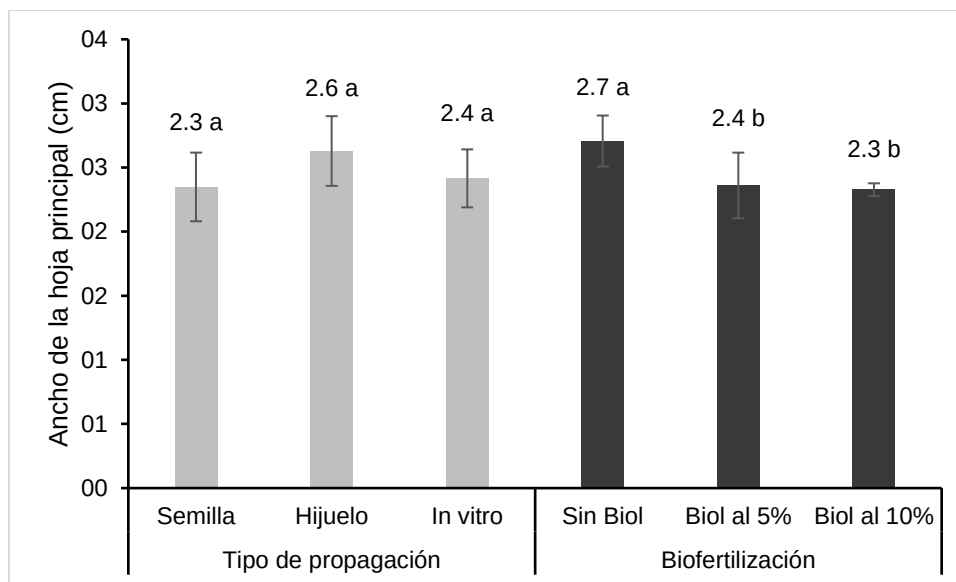


Figura 5: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre el ancho de la hoja principal de plántulas de *A. angustifolia*, cultivadas en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de propagación: 0.29; DMS para biofertilización: 0.29.

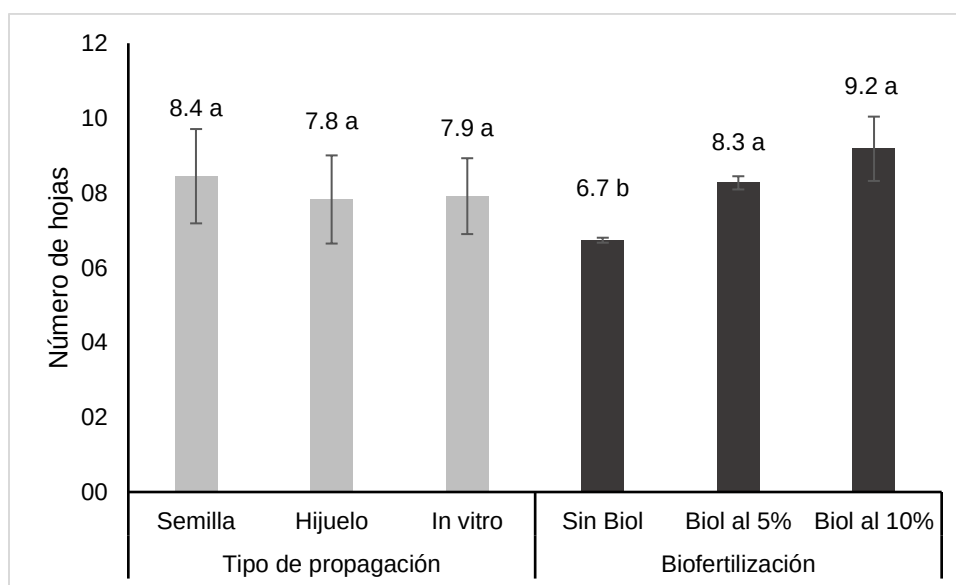


Figura 6: Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre número de hojas de plántulas de *A. angustifolia*, cultivadas en vivero. Valores con letras

diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de propagación: 1.02; DMS para biofertilización: 1.02.

Cuadro 4. Efecto de la interacción entre el tipo de propagación y la biofertilización sobre el crecimiento de plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en vivero.

Propagación	Solución orgánica (%)	AR	DR	LHP	AHP	NH
		cm				
Semilla	0	42.3 cde	48.9 e	38.1 de	2.5 a	6.8 b
	5	51.5 bc	59.4 cde	49.1 bc	2.2 a	8.4 ab
	10	61.0 a	69.8 bc	57.9 ab	2.3 a	10.1 a
Hijuelos	0	49.7 bcd	65.1 bcd	49.8 bc	2.9 a	6.7 b
	5	58.5 ab	85.0 a	57.3 abc	2.7 a	8.3 ab
	10	54.6 ab	75.0 ab	61.9 a	2.4 a	8.5 ab
<i>In vitro</i>	0	37.4 e	47.5 e	28.7 e	2.8 a	6.7 b
	5	40.8 de	50.9 de	38.7 d	2.2 a	8.1 ab
	10	42.0 de	53.4 de	47.7 cd	2.3 a	8.9 ab
DMS		9.45	14.86	9.77	0.68	2.35

DMS= Diferencia significativa mínima

AR: Altura de roseta; DR: Diámetro de roseta; LHP: Largo de la hoja principal; AHP: Ancho de la hoja principal; NH: Número de hojas.

4.6. CONCLUSIÓN

La forma de propagación influyó en el crecimiento de las plántulas de *Agave angustifolia* Haw. Sobre todo, cuando estas provienen de hijuelos, al presentar mayor crecimiento en altura y diámetro de la roseta, así como en la longitud de la hoja principal.

La biofertilización con biol de estiércol de bovino favoreció el crecimiento de plántulas de *Agave angustifolia* Haw., en vivero. cuando estas se regaron con solución al 5% y 10% se incrementó la altura y diámetro de la roseta además de la longitud de la hoja principal y el número de hojas por planta, independientemente del tipo de propagación utilizada.

Por lo anterior, la biofertilización representa una alternativa sustentable para la producción y adaptación de plántulas de *Agave angustifolia* en vivero.

4.7. LITERATURA CITADA

- Abanto-Rodríguez, C., G. M. Soregui-Mori, M. H. Pinedo-Panduro, E. V. Velazco-Castro, E. J. Paredes-Dávila y E. Medeiros-Oliveira (2019)** Uso de biofertilizantes en el desarrollo vegetativo y productivo de plantas de camu-camu en Ucayali, Perú. *Revista Ceres*, 66, 108-116.
- Adriano A M. D. L., R. Jarquín G., C. Hernández R., M. Salvador F. y C. T. Monreal V. (2011)** Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2, 417-431.
- Angeles-Espino, A. J. Valencia-Botín, G. Virgen-Calleros, C. Ramírez-Serrano, L. Paredes-Gutiérrez y S. Hurtado-De la Peña (2012)** Micropropagation of agave (*Agave tequilana* Weber. var. Azul) through axillary buds. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15, 693-698.
- Arreola T. J. M., V. M. Montoya J., J. M. Arreola N., X. Castillo V., E. A. Olivares A., y A. Báez P. (2020)** Efecto de la aplicación de levasa (mosto de caña de azúcar) en la producción y calidad de *Agave Tequilana* Weber. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11, 1311-1324.
- Brena-Bustamante P., R. Lira-Saade, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares, H. Cervantes-Maya, M. López-Carrera y S. Chávez-Herrera (2013)** Aprovechamiento del escapo y los botones florales de *Agave kerchovei* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Botanical Sciences*, 91, 181-186.
- Chowdhury T., Chowdhury, M. A. H., Rahman, M. A., Nahar, K., Chowdhury, M. T. I., y Khan, M. S. I. (2020).** Response of *Aloe vera* to inorganic and organic fertilization in relation to leaf biomass yield and post harvest fertility of soil. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(2), 346-354.
- Cruz G. H., G. V. Campos Á., J. R. Enríquez D. V., G. Rodríguez O. y V. A. Velasco V. (2019).** Desarrollo de plantas micropropagadas de *Agave americana* var. *Oaxacensis* durante su aclimatización en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 1491-1503.

- Cruz G. H., J. R. Enríquez V., V. A. Velasco V., J. Ruiz L., G. V. Campos Á., y D. E. Aquino G. (2013)** Nutrientes y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, 1161-1173.
- Enríquez V. J. R., A. Estrada S., G. Rodríguez O., V. A. Velasco V. y G. V. Campos Á. (2013)**. Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatización de vitroplantas de *Agave americana* var. oaxacensis. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 45, 341-348.
- FAO (2010)**. Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana. Primera Edición, noviembre de 2010. 56 p.
- García C.M. (2017)**. Los Agaves en el campo mexicano. *Oikos* 18,7-11.
- García-Hernández S. A., J. Marín-Sánchez, M. Romero-Méndez, C. Hernández-Pérez y S. López-Aguirre (2020)**. Respuesta productiva y de calidad de seis variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) a la fertilización orgánica en Guadalajara, SLP. *Revista Bio Ciencias*, 7, 1-12.
- Garriga C. M., G. González O., S. Alemán G., E. Abreu C., K. Quiroz B., P. D.S. C., y R. García G. (2010)** Management of Auxin-Cytokinin inter-actions to improve micropropagation protocol of Henequen (*Agave fourcroydes* Lem.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70, 545-551.
- González O. G., M. Sosa. C., S. Alemán G. y E. Abreu C. (2014)** Efecto de diferentes tipos de semilla en la propagación de *Agave fourcroydes* Lem. variedad Sac Ki'sobre indicadores relacionados con el crecimiento en vivero. *Biotecnología Vegetal*, 14, 169-178.
- Gutiérrez J. L., M. A. Villalobos, H. De la O Á. y L. Morales R. (2015)** Evaluación de Cuatro dosis de fertilización en el desarrollo de *Paulownia* en Zumpango, Estado de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2, 39-46.
- Hariyanto S., A Ridlwan J. y Purnobasuki, H. (2019)**. Effects of Plant Media And Fertilization on The Growth of Orchid Plant (*Dendrobium sylvanum* rchb. F.)

- in Acclimatization Phase. *PLANTA TROPIKA: Jurnal Agrosains (Journal of Agro Science)*, 7(1), 66-72.
- Hazrati S., Sarvestani, Z. T., y Salehi, A. (2012).** The effect of differential nitrogen fertilization on morphological and physiological traits of *Aloe vera* plants. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3, 682-687.
- Imery B. J. D. V. y H. Cequea. R. (2012)** Estudio morfológico y citogenético del híbrido experimental *Aloe vera* (L.) Burm. f. x *A. jacksonii* Reyn. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12, 267-274.
- Indacochea-Ganchozo B., Parrales-Villacreses J., Castro-Piguave C., Vera-Tumbaco M. y Gabriel-Ortega J. (2017)** Aclimatación *in vitro* de especies forestales nativas del Sur de Manabí en peligro de extinción. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8, 124-134.
- Linares-Gabriel A., C. J. López-Collado, C. A. Tinoco-Alfaro, J. Velasco-Velasco y G. López-Romero (2017)** Application of biol, inorganic fertilizer and superabsorbent polymers in the growth of heliconia (*Heliconia psittacorum* cv. Tropica). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23, 35-48.
- Mamani R. F. (2020)** Producción de grano de ecotipos locales de Cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) con aplicación de biol de estiércol bovino en la Estacion Experimental Choquenaira. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7, 30-39.
- Mamani-Mamani V., M. Loza-Murguía, L. Coronel-Quispe, H. Sainz-Mendoza, V. Paye-Huaranca, y F. Coronel (2015)** Uso de la orina humana como fertilizante en la producción de lechuga Waldmann green (*Lactuca sativa* L.). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 3, 24-38.
- Martínez R. S., A. Trinidad S., C. Robles, A. Galvis S., T. M. Hernández M., J. A. Santizo R... E. C. Pedro S. (2012)** Crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35, 61-68.

- Martínez-Ramírez S., A. Trinidad-Santos, G. Bautista-Sánchez, y E. C. Pedro-Santos, (2013)** Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 387-393.
- Miranda R. E. (2018)** Efecto de tres tipos de abono orgánico líquido (biol), en la etapa de desarrollo en vivero de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius). *Tzhoecon*, 10, 371-382.
- Monja M. M. K., F. Barredo P., G. Herrera H., M. Esqueda, V. y R. L. M. (2015)** Development of the stomatal co plex and leaf surface of *Agave angustifolia* Haw. 'Bacanora' plantlets during the *in vitro* to *ex vitro* transition process. *Scientia Horticulturae*, 189, 32-40.
- Morales I., G. A. Martínez G., C. I. Cortés M., T. Aquino B., C. Escamirosa T. y M Hernández T. (2017)** Crecimiento de *Agave potatorum* cultivado en ambientes contrastantes y fertirrigación. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4,18-27.
- Muñiz-Márquez D. B., R. M. Rodríguez-Jasso, R. Rodríguez-Herrera, J. C. Contreras-Esquivel, y C. N. Aguilar-González (2013)** Producción Artesanal del Aguamiel: Una Bebida Tradicional Mexicana Producción Artesanal del Aguamiel: Una Bebida Tradicional Mexicana. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5, 12-19.
- Narváez S. A. U., T. Martínez S., y M. A. Jiménez V. (2016)** El cultivo de maguey pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. *Revista de Geografía Agrícola*, 56, 33-44.
- Ormeño D. M. O., A. Ovalle, N. Terán, y J. C. Rey B. (2013)** Evaluación de diferentes abonos orgánicos en el desarrollo de plantas de guayaba y calidad de los suelos en vivero. *Agronomía Trop*, 63, 73-84.
- Pérez M. B. E., M. J. Esparza A. y M. E. Pérez R. (2012)** Conservación in vitro de germoplasma de *Agave* spp. bajo condiciones de crecimiento retardado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35, 279-287.

- Ramírez-Tobías H. M., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre-R, J. A. Reyes-Agüero, A. B. Sánchez-Urdaneta, and G. S. Valle-G. (2011)** Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Plant Species Biology*, 27, 124-137.
- Sierra-Zurita D., S. Santana-Espinoza, J. C. Ríos-Saucedo, R. Rosales –Serna y P. A Domínguez-Martínez (2019)** Identificación de insectos asociados al cultivo de sotol y *Agave* con diferente manejo de fertilización. *Ciencia e Innovación*, 2, 199-203.
- Ticona G. O., R. Céspedes, Z. Martínez, y G. Chipana (2016)** Aplicación de Biol y riego por aspersión en la producción de cebada forrajera (*Hordeum vulgare*) en el municipio de Viacha. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3, 39-47.
- Vázquez D.E., J. R. García N., C. B. Peña V., H. M. Ramírez T. y V. Morales R. (2011)** Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista Fitotecnica Mexicana*, 34, 167-173.
- Vilchez, J., L. Martínez y N. Albany (2015)** Comparación del crecimiento en vivero entre plántulas y vitroplantas de guayabo cultivar enana roja cubana Eea-1840. *Interciencia*, 40, 270-274.
- Yescas A. E., G. V. Campos Á., J. R. Enríquez V., V. A. Velasco V., G. Rodríguez O. y J. Ruiz L. (2016)** Aclimatación de *Agave americana* var. Oaxacensis obtenidas in vitro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 911-922.
- Zagoya Martínez. J., J. Ocampo M., I. Ocampo F., A. Macías L., y P. De La Rosa P. (2015)** Caracterización fisicoquímica de biofermentados elaborados artesanalmente. *Biotecnia*, 17, 14-19.
- Zúñiga-Estrada L., E. Rosales-Robles, M. D. J. Yáñez-Morales, y C. Jacques-Hernández (2018)** Características y productividad de una planta MAC, *Agave tequilana* desarrollada con fertigación en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9, 553-564.

V. CAPITULO III.

Comportamiento fisiológico con base en la actividad bioquímica de plántulas de *Agave angustifolia* cultivadas con biofertilización en vivero.

5.1. RESUMEN

Agave angustifolia es la especie más cultivada en el mundo, cuyo tiempo de maduración es de 6 a 8 años, lo cual es una ventaja sobre otras especies de agave, así como su tipo de reproducción, que puede ser sexual y asexual. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos sustratos orgánicos y dos concentraciones de biofermentado de estiércol de bovino, sobre el comportamiento fisiológico de plántulas de *Agave angustifolia* Haw., provenientes de *in vitro*, adaptadas y cultivadas en vivero. Se estableció un experimento en vivero cubierto con malla sombra con 40% de transmitancia. Se utilizó un arreglo factorial 3x3 en completamente al azar; cuyos factores de estudio fueron el tipo de sustratos: suelo, bagazo y composta y, la concentración de la solución nutritiva de fuentes orgánicas: sin solución (0%), 5% y 10%. La combinación de los niveles de cada factor resultó en nueve tratamientos con 6 repeticiones. Las plantas de un año de edad se trasplantaron en macetas de polietileno. A los 90 días después del trasplante (ddt) las plantas se regaron quincenalmente con solución orgánica a diferente concentración. A los 150 ddt se registró la altura y diámetro de la roseta, el largo y ancho de la hoja principal y el número de hojas por planta y los datos se sometieron a un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Las plantas cultivadas en suelo y fertilizadas con solución orgánica al 10%, tuvieron mayor concentración de SST (6.60°brix). Las plantas cultivadas en suelo presentaron mayor concentración de clorofila (1.30 mg mL) con respecto al en bagazo (1.24 mg mL) y composta (1.42 mg mL). La biofertilización aumentó la clorofila a con la concentración al 5% (1.69 mg mL) y al 10% (1.67 mg mL), en comparación con el testigo (sin solución) presentaron mayor concentración de clorofila b (0.81 mg mL). Por otra parte, los iones específicos se comportaron de la siguiente manera; la mayor concentración de NO_3^- se obtuvo en plantas cultivadas en suelo (2200 mg L⁻¹) y bagazo (2200 mg L⁻¹) sin fertilizar. La mayor concentración de Ca^{2+} se obtuvo en plantas cultivadas en bagazo y regadas con la solución

orgánica al 5% (63.66 mg L⁻¹). Por último, el mayor contenido de K⁺ se obtuvo en plantas cultivadas en composta y regadas con la solución orgánica al 10% (455.00 mg L⁻¹).

Palabras claves

Agave angustifolia, bagazo, *in vitro*, clorofila, grado brix

5.2. ABSTRACT

Agave angustifolia is the most cultivated species in the world, whose maturation time is 6 to 8 years, which is an advantage over other species of agave, as well as its type of reproduction, which can be sexual or asexual. The objective of this research was to evaluate the effect of two organic substrates and two concentrations of biofermented bovine manure, on the physiological behavior of *Agave angustifolia* Haw. seedlings, from *in vitro*, adapted and cultivated in a nursery. An experiment was established in a nursery covered with shade mesh with 40% transmittance. A completely random 3x3 factorial arrangement was used; whose study factors were the type of substrates: soil, bagasse and compost, and the concentration of the nutrient solution from organic sources: without solution (0%), 5% and 10%. The combination of the levels of each factor resulted in nine treatments with 6 repetitions. One-year-old plants were transplanted into polyethylene pots. At 90 days after transplantation (ddt) the plants were watered fortnightly with organic solution at different concentrations. At 150 dat, the height and diameter of the rosette, the length and width of the main leaf and the number of leaves per plant were recorded and the data were subjected to an analysis of variance and Tukey's test of means ($\alpha=0.05$). Plants grown in soil and fertilized with 10% organic solution had a higher TSS concentration (6.60°brix). Plants grown in soil had a higher concentration of chlorophyll (1.30 mg mL) compared to that in bagasse (1.24 mg mL) and compost (1.42 mg mL). Biofertilization increased chlorophyll a with a concentration of 5% (1.69 mg mL) and 10% (1.67 mg mL), compared to the control (without solution) they presented a higher concentration of chlorophyll b (0.81 mg mL). On the other hand, the specific ions behaved in the following way; the highest concentration of NO_3^- was obtained in plants grown in soil (2200 mg L^{-1}) and bagasse (2200 mg L^{-1}) without fertilization. The highest concentration of Ca^{2+} was obtained in plants grown on bagasse and irrigated with the 5% organic solution (63.66 mg L^{-1}). Finally, the highest content of K^+ was obtained in plants grown in compost and irrigated with the 10% organic solution (455.00 mg L^{-1}).

Keywords

Agave angustifolia, bagasse, *in vitro*, chlorophyll, brix degree

5.3. INTRODUCCIÓN

El agave es una planta suculenta, que tiene múltiples usos en México (García-Mendoza y Meave, 2011). Además, este tipo de plantas presentan metabolismo fotosintético CAM (metabolismo del ácido crasuláceo), que permite a sus estomas cerrar durante el día y abrir en la noche, de esta manera reduce la pérdida de agua (González, 2012). El agave, por sus adaptaciones morfológicas, reproductivas y ecológicas, su tolerancia ecológica, la capacidad de dispersión y germinación de sus semillas es considerado una planta eficiente (León Vázquez *et al.*, 2013).

La calidad de los sustratos es importante para la producción de plántula en términos de sus características físico-químicas, debe poseer buenas propiedades que posibiliten su uso en la producción en contenedores (López-Baltazar *et al.*, 2013). El bagazo de agave con un proceso de compostaje puede tener uso como sustrato para la producción de cultivos (Íñiguez *et al.* 2011). Por sus propiedades aceptables, estos sustratos orgánicos alternativos pueden ser usados en contenedores (López-Baltazar *et al.*, 2013).

El uso de sustratos y soluciones hidropónicas en la fase de aclimatación de *in vitro* de algunas especies del género *Agave* ha mejorado el crecimiento de las mismas (Enríquez *et al.* 2012). Por otro lado, los biofermentos son preparados biológicos a base de la fermentación anaeróbica (Ortega *et al.*, 2019). Estos fertilizantes orgánicos líquidos tales como lixiviados, téis de compost, biofermentos etcétera, se suelen usar para mejorar la nutrición de los cultivos en condiciones de pH alcalino o en suelos salinos, por lo pueden sustituir el uso de la fertilización química, y son un componente fundamental en un programa de fertilización en agricultura orgánica (Medeiros *et al.*, 2011; Cruz-Hernández *et al.*, 2015).

Los sólidos solubles totales son empleado como índice de calidad del fruto, por guardar una alta correlación positiva con el contenido de azúcares (Mata *et al.*, 2009). Los sólidos son polímeros de fructosa con grandes aplicaciones en la industria de alimentos funcionales (Godínez-Hernández *et al.*, 2016).

El conocer la composición elemental de las plantas es útil desde varios puntos de vista, como el saber sus necesidades nutricionales (Raya y Aguirre 2009). La clorofila es un pigmento verde de las plantas que absorbe la energía lumínica y la transforma en energía química a través de la fotosíntesis, esto para la síntesis de compuestos orgánicos que necesita la planta (Fortes *et al.* 2009). Por sus características y beneficios a la salud se extrae de las plantas y se utiliza en alimentos, farmacia y cosmética (Ruiz *et al.* 2019). La concentración de clorofila es el principal factor que determinan la productividad de una planta (Álvarez-Holguín *et al.*, 2018). El equilibrio de los nutrientes en el sustrato proporciona mejores condiciones y índices relativos de clorofila en las plántulas, que pueden favorecer la captación de luz por la clorofila y mejorar la regulación fotosintética de la misma (Braga *et al.*, 2017; Li y col., 2018).

Así mismo, el contenido de nitratos (NO_3^-) en hojas es un aspecto importante en la calidad de las plantas (Sánchez, 2010). Cabe mencionar que el NO_3^- aumenta la eficiencia de absorción de N y promueve mayor crecimiento en las plantas (Antúnez-Ocampo *et al.*, 2014).

El calcio (Ca^{2+}) forma parte importante de la constitución de la membrana de las células, acumulándose entre la pared celular y la lámina media, en donde interacciona con el ácido péctico para formar pectato de calcio dándole estabilidad y la integridad de éstas (Martínez *et al.*, 2017). Este nutrimento, se encuentra estrechamente relacionado con la actividad meristemática, tiene influencia en la regulación de los sistemas enzimáticos, la actividad de fitohormonas y aumenta la resistencia de los tejidos a patógenos, incrementando la vida útil postcosecha y calidad nutricional (Pérez y Quintero, 2015).

La concentración de K^+ en la hoja varía a lo largo de la estación de crecimiento (Salas *et al.* 2014). El contenido de K^+ en los tejidos de la planta se define generalmente como bajo (deficiente), adecuado (suficiente), o alto (excesivo) para un determinado órgano de la planta (Novoa *et al.*, 2018). El K^+ se caracteriza por la gran movilidad y solubilidad en el interior de los tejidos, ejerce una gran influencia en la permeabilidad de las membranas celulares y en la hidratación de los tejidos,

su deficiencia es poco visible en las hojas, produce fundamentalmente una reducción del tamaño de los frutos con corteza más fina y lisa, y se lo asocia con el agrietamiento de la corteza (Yfran *et al.*, 2017). El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos sustratos orgánicos y dos concentraciones de biofermentado de estiércol de bovino, sobre el comportamiento fisiológico de plántulas de *Agave angustifolia* Haw.

5.4. MATERIALES Y MÉTODOS

5.4.1. Localización del experimento

El experimento se estableció en un vivero cubierto con malla sombra al 40% de transmitancia, con temperatura media máxima de 44 °C y mínima de 35 °C y una humedad relativa máxima media de 72% y mínima de 56% dentro del vivero, durante el periodo de crecimiento del cultivo; localizado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, unidad Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México; en las coordenadas geográficas 20° 34' 01" Latitud Norte y 99° 30' 10.7" Longitud Oeste, a 766 m de altitud.

Se utilizó un arreglo factorial 3x3 completamente al azar; los factores de estudio fueron el sustrato: suelo, bagazo y composta; la concentración de la solución orgánica: sin solución (0%), 5% y 10%, cuyas características físico-químicas se indican en los cuadros 5 y 6. La combinación de niveles de cada factor resultó en nueve combinaciones que fueron considerados como tratamientos (Cuadro 7) con 6 repeticiones. La unidad experimental (repeticón) consistió en una planta, dando lugar a 54 unidades experimentales.

5.4.2. Biopreparado (biofertilizante líquido)

La preparación del biofertilizante líquido se realizó siguiendo la metodología descrita por la FAO (2010), basada en la fermentación anaerobia de una mezcla de estiércol de ganado y diferentes aditivos, para acelerar su fermentación dentro de un biodigestor, que consistió en un tambo de 200 L cerrado herméticamente. La mezcla se dejó reposar durante 40 días bajo sombra. Una vez abierto el biodigestor, se realizó la cosecha del biofertilizante líquido y se tomó una muestra de 1 L para su análisis químico (Cuadros 5 y 6).

Cuadro 5. Características químicas de suelo, sustratos y biofertilizante líquido para la adaptación y crecimiento de plántulas de *A. angustifolia*, en vivero

Determinación	Unidades	Resultados			
		bagazo	composta	suelo	biol
pH		7.51	7.57	7.37	8.22
Nitrógeno total	%	2.09	1.09	--	0.16
Fósforo (P)	%	0.16	0.21	--	0.0034
Potasio (K ⁺)	ppm	0.40	0.62	180	0.19
Calcio (Ca ²⁺)	ppm	9.30	6.13	392	0.0099
Magnesio (Mg)	ppm	0.26	0.65	162	0.04
Sodio (Na)	ppm	0.0040	0.11	120	0.01
Hierro (Fe)	ppm	4448	14876	23.0	7.86
Zinc (Zn)	ppm	92.16	141	1.71	0.59
Manganeso (Mn)	ppm	60.25	495	11.3	0.15
Cobre (Cu)	ppm	91.70	26.54	1.47	0.18
Boro (B)	ppm	19.3	8.81	0.11	0.39
Azufre (S)	ppm	0.20	0.27	61.1	0.0039
Nitrato (NO ₃ ⁻)	ppm	--	--	69.3	--
Carbonatos Totales	%	--	--	11.9	--
Salinidad	dS m ⁻¹	--	--	1.35	--
Carbono orgánico	%	45.0	7.66	--	0.26
Conductividad Eléctrica	dS m ⁻¹	1.25	3.00	--	7.80
Cenizas	%	22.5	86.8	--	0.40

--: no detectado.

Cuadro 6. Características físicas de suelo, sustrato y biofertilizante líquido para la adaptación y crecimiento de plántulas de *A. angustifolia*, en vivero.

Determinación	Unidades	Resultados			
		bagazo	composta	suelo	biol
Clase Textural		--	--	F. A. A.	--
Punto de Saturación	%	8.77	3.92	30.2	99.2
Capacidad de Campo	%	--	--	15.9	--
Punto March. Perm	%	--	--	9.46	--
Conductividad Hidráulica	m/s	--	--	7.40	--
Densidad Aparente	g/cm ³	--	--	1.44	--
Materia orgánica	%	77.5	13.2	2.19	0.45
P-Olsen	ppm	--	--	57.7	--

F.A.A.: Franco arenoso arcilloso; --: no detectado

5.4.3. Material vegetal y trasplante

Se utilizaron plantas de *Agave angustifolia* Haw., propagadas vía *in vitro*, procedentes de la región Centro (Chilapa y Ahuacotzingo) del estado de Guerrero, México, con una edad aproximada de 18 meses. Las plantas se trasplantaron con una altura de roseta (AR) de 40.3 cm, diámetro de roseta (DR) de 51.8 cm y un promedio de 7.0 hojas por planta (NH), en macetas de polietileno de 3.8 L, llenadas con bagazo precompostado, composta y suelo, respectivamente. Enseguida, las plantas se sometieron a un periodo de adaptación de 30 días en el vivero y regadas con agua de la llave, previo al suministro de la solución orgánica.

5.4.4. Riegos y fertilización

Durante el periodo de adaptación de las plantas, estas se regaron cada 8 días. La fertilización se inició a los 92 d después del trasplante (ddt) mediante el riego con solución orgánica (biofertilizante), al 5% y 10% de su concentración, mientras que el testigo se regó con agua de la llave (sin solución). El pH de la solución orgánica

se ajustó a 5.5 y en cada riego fue corroborado con un potenciómetro HANNA® modelo HI 9812-5.

Cuadro 7. Tratamientos resultantes de la combinación de niveles de los factores estudiados en la producción de plantas *in vitro* de *A. angustifolia* en vivero.

Tratamientos	Descripción
T1	Suelo sin solución nutritiva
T2	Bagazo sin solución nutritiva
T3	Composta sin solución nutritiva
T4	Suelo con solución nutritiva al 5 %
T5	Bagazo con solución nutritiva al 5 %
T6	Composta con solución nutritiva al 5 %
T7	Suelo con solución nutritiva al 10 %
T8	Bagazo con solución nutritiva al 10 %
T9	Composta con solución nutritiva al 10 %

5.4.5. Cuantificación de sólidos solubles totales

Para cuantificar sólidos solubles totales (SST), se realizó un corte transversal en la parte media de la hoja con una tijera para podar, tomando como criterio hojas recientemente maduras. En seguida, se extrajo la savia con un extractor de jugo entre las 7:30 a.m. a 11:30 a.m. Enseguida, se colocó una gota (aproximadamente 0.5 mL) de savia en el prisma de un refractómetro ATAGO® previamente calibrado. Los valores fueron obtenidos en °Brix.

5.4.6. Cuantificación de clorofilas a, b y totales

La cuantificación de clorofilas totales, clorofila a y b en hojas maduras se realizó a los 420 ddt. Para la determinación se utilizó la metodología propuesta por Bojovic y Stojanovic (2005). Que consiste en cortar 500 mg de tejido fresco, enseguida, fueron fraccionados (aproximadamente 0.5 cm) y molidos en un mortero. A continuación, se colocaron en un tubo Falcon (20 mL) y se agregaron 10 mL de acetona al 80%

(v/v). Posteriormente, la mezcla se dejó reposar durante 30 min y fue centrifugada a 2500 rpm durante 5 min. Después, se tomaron 0.5 mL del sobrenadante y se diluyó en 4.5 mL de acetona al 80% (v/v). La muestra diluida se analizó en un espectrofotómetro UV-Vis (2800, HACH) con una longitud de onda de 664 nm y 647 nm para clorofila a y b, respectivamente. Para el cálculo de clorofila (a y b) se utilizaron las ecuaciones propuestas por Wellburn (1994).

5.4.7. Cuantificación de iones específicos en savia

Para la cuantificación de iones específicos de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ , se hizo una selección de hojas recientemente maduras por tratamiento y se obtuvo un corte (aproximadamente 5 g), estos fueron depositados en un extractor de jugo de ajo y se obtuvo savia. Posteriormente se colocó 1 mL de savia en cada uno de los medidores de bolsillo LAQUAtwin Horiba® previamente calibrados con las soluciones respectivas para cada ion (NO_3^- , Ca^{2+} y K^+), en seguida la lectura fue registrada entre las 7:30 a.m. y 11:30 a.m.

5.4.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se organizaron en una hoja de cálculo de Excel (2019) y con el software estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.3, se realizó un análisis de varianza, y las variables significativas fueron comparadas con una prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo el análisis de varianza, se observaron diferencias significativas en los SST y clorofila en respuesta a la biofertilización líquida, Mientras que la clorofila b fue modificada por el sustrato. En lo que corresponde a clorofila total, se presentaron efectos significativos por la combinación de ambos (Cuadro 8). Los resultados encontrados en el presente trabajo a partir del perfil bioquímico, son un indicativo del estado fisiológico de las plántulas de agave, el cual puede ser modificado en respuesta al sustrato usado como medio de crecimiento y a la biofertilización en vivero.

Cuadro 8. Análisis de varianza para variables bioquímicas en hojas de *A. angustifolia* Haw, cultivadas con biofertilización en vivero.

Factores de estudio	Sólidos solubles totales	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Sustratos	0.0130*	0.1201ns	0.0046*	0.0103*
Biofertilización	<.0001**	<.0001**	0.0540ns	<.0001**
Sust*Fert	<.0001**	<.0001**	0.0061*	<.0001**

Valores ≥ 0.05 : no significativo (NS); valores $0.05 \leq$ significativo (*); valores ≤ 0.001 : altamente significativo (**).

De acuerdo con el análisis de varianza, la concentración de nitrato tuvo diferencias significativas por el efecto de la biofertilización y en combinación con el sustrato. La concentración de calcio se vio afectado por el sustrato y en la combinación de este con la solución orgánica, por otra parte, la concentración de potasio varió por el efecto del sustrato, la biofertilización y por la combinación de ambos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza para el contenido de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ en hojas de *A. angustifolia* Haw. cultivadas con biofertilización en vivero.

Factores de estudio	NO_3^-	Ca^{2+}	K^+
Sustratos	0.1015ns	<.0001**	<.0001**
Biofertilización	<.0001**	0.138ns	<.0001**
Sust*Fert	<.0001**	<.0001**	<.0001**

Valores ≥ 0.05 :no significativo (NS); valores $0.05 \leq$ significativo (*); valores ≤ 0.001 : altamente significativo (**).

5.5.1 Sólidos solubles totales en savia

De acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró mayor concentración de SST en hoja de las plantas cultivadas en suelo (5.61°Brix) y composta (5.74°Brix), mientras que las plantas cultivadas en bagazo de agave, presentaron la menor concentración (Figura 8). Adicionalmente, Arrazola-Cárdenas *et al.* (2020), encontraron que la concentración de SST en *Agave salmiana* no es afectado por el sustrato donde creció el cultivo. En adición Salas-Pérez *et al.* (2016) reporta que el uso de composta como sustrato en el cultivo de tomate aumenta el contenido de SST (4.0 , 4.3 y 4.5°Brix) en fruto.

Las plantas fertilizadas con la solución nutritiva orgánica al 10%, presentaron mayor concentración de SST en hojas de *Agave angustifolia* (6.31°Brix) superando al testigo en un 12.83% (Figura 8). No obstante, es recomendable probar otras concentraciones de la solución orgánica en suelo, para constatar que a mayor dosis de aplicación de la solución orgánica se incrementa la concentración de sólidos solubles totales. Al respecto Martínez *et al.* (2012), reporta una acumulación de 21.7 % (6.9°Brix) de SST en hojas de *Agave potatorum* Zucc. En el mismo contexto García-Martínez *et al.* (2020) detectaron concentraciones de 5.0 a 11.0°Brix en *Agave potatorum* Zucc. por efecto de la fertilización. Este efecto positivo de la fertilización orgánica sobre la concentración de SST también ha sido reportado en otros cultivos como papaya (Aguilar *et al.*, 2019) y en hortalizas como el jitomate,

por la fertilización con diferentes concentraciones de macronutrientes (Contreras *et al.*, 2020).

En cuanto a la combinación de los factores se obtuvo que las plantas cultivadas en suelo y regadas con la concentración al 10% tuvieron mayor contenido de SST superando al resto de los tratamientos con 45.75% y 42.72% (Cuadro 10). Este comportamiento coincide con lo mencionado por Hernández-Fuentes *et al.* (2010), quienes detectaron concentraciones de SST en pimiento morrón que oscilaron de 3.80, 4.00, 4.26 y 4.43°Brix por efecto de la vermicomposta y dosis de fertilización. En el mismo sentido, Preciado *et al.* (2011) encontraron diferencias en la concentración de SST en jitomate provocadas por las diferentes fuentes de biofertilización mediante soluciones orgánicas (te de composta, te de vermicompost y lixiviado de vermicompost). En el mismo contexto, Martínez -Rodríguez *et al.* (2017), indican que el uso de tezontle combinado con vermicomposta y la concentración solución nutritiva al 80% y 100% tiene efecto positivo en la concentración de SST en tomate bola. Al respecto, Aguilar *et al.* (2019), reportan que la fertilización biológica y orgánica con el uso de sustratos orgánicos tiene efecto positivo en la concentración de SST en papaya.

5.5.2. Clorofila en hojas

5.5.2.1. Clorofila a

La mayor concentración de clorofila a en las hojas de *Agave* se presentó en las plantas cultivadas en composta, superando a las plantas cultivadas en suelo en 8.45% (Figura 9). Este comportamiento fue similar a lo mencionado por, Pérez *et al.* (2018), quienes reportaron que la pulpa de henequén en combinación con gravilla influye en el contenido de clorofila a, en *Agave fourcroydes* Lem. Adicionalmente, Ebrahimi *et al.* (2012) señalaron el efecto positivo de la turba en combinación con la perlita sobre el contenido de clorofila a, en el cultivo de fresa.

Con respecto a la biofertilización, la mayor concentración de clorofila a se manifestó en aquellas plantas regadas con solución nutritiva al 5%, superando al testigo en 63.90% y 63.47% (Figura 9), este efecto también fue corroborado por Bakhshande *et al.* (2014), al demostrar que la biofertilización afecta la concentración de clorofila a en albahaca dulce (*Ocimum basilicum* L.).

Por otro lado, se tuvo que la combinación de niveles de los factores de estudio influyó en la concentración de clorofila a, el mayor contenido se detectó cuando las plantas se regaron con la solución orgánica al 5% y 10% en cualquiera de los sustratos (Cuadro 11). En contraste, Pereira *et al.* (2018) reportan que los sustratos y la fertilización orgánica no modifican el contenido de clorofila a en plantas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) (0.40 mg mL). Por su parte, Mota *et al.* (2018), señalan que el aumento de los niveles de clorofila en plántulas mediante su cultivo en sustratos con residuos orgánicos es una forma rápida y sencilla de incrementar la calidad de las plántulas.

5.5.2.2. Clorofila b

La mayor concentración de clorofila b se presentó en plantas producidas en composta, superando a las plantas cultivadas en suelo en un 28.94%, mientras que la menor concentración se manifestó plantas producidas en bagazo (Figura 10). Al respecto Roy *et al.* (2015) reportan que los sustratos de hongos ostra favorecen el contenido de clorofila b en *Capsicum annuum* L. por el contenido de nutrientes que aporta. Este comportamiento también ha sido reportado en fresa, al verse afectado el contenido de clorofila b, cuando este cultivo se estableció en turba con perlita (Ebrahimi *et al.*, 2012). Sin embargo, Pérez *et al.* (2018) encontraron que los sustratos no afectan o no contribuyen a modificar la concentración de clorofila b en *Agave fourcroydes* Lem.

Con respecto a la biofertilización, las plantas que presentaron mayor concentración de clorofila b, fueron las que se regaron con la solución orgánica al 10%, superando al testigo en 8.98% (Figura 10). Lo que demuestra que la aplicación de biofertilizante

influye significativamente en el contenido de clorofila b (Bakhshande *et al.*, 2014). Al respecto Latsague *et al.* (2014), reportan que el aumento de clorofila en las hojas es influenciado por el incremento de la fertilización. En el mismo contexto Roy *et al.* (2015) encontraron mayor contenido de clorofila mediante la fertilización con lixiviado de hongos (champiñones), mientras que Preciado *et al.* (2011), reportaron que la fertilización con solución orgánica de té de vermicomposta favorece el contenido de clorofila por la fuente de nutrientes que contiene, sobre todo de N, P y K.

En la combinación de niveles de los factores, las plantas producidas en composta tuvieron mayor contenido de clorofila b cuando éstas fueron regadas con solución orgánica al 10% (Cuadro 11). Al respecto Pérez *et al.* (2018) reportan mayor contenido de clorofila en plantas de *Agave fourcroydes* Lem. producidas en pulpa de henequén, como sustrato. Lo anterior se atribuye a que los sustratos junto con la fertilización orgánica generan un equilibrio de los nutrimentos presentes para la planta, lo que contribuye en un aumento de la concentración de algunos compuestos, entre ellos la clorofila b (Pereira *et al.*, 2018).

5.5.2.3. Clorofila total

La mayor concentración de clorofila total se tuvo en las plantas producidas en composta, superando a las plantas cultivadas en suelo en 17.35%, mientras que las plantas cultivadas en bagazo presentaron menor concentración de clorofila total (Figura 11). En este contexto Ebrahimi *et al.* (2012) reportan que el uso de los sustratos orgánicos como turba tienen efectos positivos en el contenido de clorofila total en plantas de fresa. En el mismo sentido, Pérez *et al.* (2018) mencionan que uso de pulpa de henequén descompuesto como sustrato influyen en el contenido de clorofila total en *Agave fourcroydes* Lem.

En cuanto al efecto de la biofertilización, las plantas regadas con la concentración al 10% fueron las que presentaron mayor contenido de clorofila total superando al testigo en 49.6 y 44.96, respectivamente (Figura 11). Al respecto Zhang *et al.* (2017)

señalan que la fertilización con N incrementa el contenido de clorofila en las hojas de las plantas de *Brassica oleracea*. Mientras que Mahmood *et al.* (2019), indican que la fertilización orgánica a base de estiércol de oveja, incrementa el contenido de clorofila en coliflor, debido a su alto contenido de nutrientes.

En la combinación de los factores se tuvo que las plantas cultivadas en composta presentaron mayor contenido de clorofila total cuando estas se regaron con la solución orgánica al 10% (Cuadro 11). Por su parte, Pereira *et al.* (2018), reporta que el uso conjunto de la composta y la fertilización favorece el contenido de clorofila total en las plantas de Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), debido a su contenido de nutrientes.

5.5.3. Iones específicos en savia

5.5.3.1. Concentración de NO_3^-

El mayor contenido de nitratos en savia se obtuvo en aquellas plantas cultivadas en suelo, en comparación con las plantas cultivadas en bagazo y composta (Figura 12), resultados que difieren de los encontrados por Olivares-Campos *et al.* (2012), quienes mencionan que, la concentración de macro y micronutrientes presentes en el estierco de vacuno no afectan la acumulación de NO_3^- en lechuga, lo cual se atribuye a los cambios de temperatura. Mientras que Grijalva-Contreras *et al.* (2016), reportaron que la acumulación de nitrato se debe a los contenidos de nitrógeno en la fertilización, como lo observaron en trigo (*Triticum aestivum* L.).

La biofertilización no afectó en el contenido de nitratos en las plantas, ya que las plantas regadas sin solución alcanzaron la mayor concentración, superando a las plantas fertilizadas en 21.83%. Este comportamiento también fue reportado por Rodríguez-Echeverría (2009), quienes no encontraron diferencias en la concentración de nitrato en savia por la fertilización en el cultivo de maíz. Estos resultados son contrarios a lo que reporta Sánchez (2010) que determinó un contenido de nitratos en lechuga de hojas crespas (*Lactuca sativa* L.) significativamente mayor con las dosis de 150 y 200 kg N ha⁻¹.

En la combinación de los factores se obtuvo que las plantas cultivadas en suelo y sin fertilizar fueron las que alcanzaron mayor contenido de nitrato (Cuadro 12), resultados que contrastan con lo mencionado por Martínez-Alcántara *et al.* (2016), quienes mencionan que la aplicación de fertilizantes orgánicos líquidos favorece a la concentración de nitratos en plantas de cítricos cultivados en suelo. Así mismo, Barrios *et al.* (2012) encontraron efecto positivo de la fertilización nitrogenada en la concentración de NO_3 , en la savia de plantas de maíz.

5.5.3.2. Concentración de Ca^{2+}

La mayor acumulación de calcio se obtuvo en las plantas cultivadas en bagazo superando a las plántulas cultivadas en suelo en 7.74% (Figura 13). A pesar de que el calcio es absorbido en grandes cantidades y su contenido en los tejidos vegetales es elevado, la concentración de Ca^{2+} libre en el citoplasma y los cloroplastos es muy baja (Dodd y Col, 2010). Además, se ha observado que la fertilización orgánica mediante estiércol de bovino no influye en la concentración de Ca^{2+} en hojas de *Ficus carica* L. (Mordoğan *et al.* (2013). La baja concentración de Ca^{2+} en el sustrato composta estiércol de vaca influye en la concentración del mismo en las plantas (Vélez-Carvajal *et al.*, 2014). En el mismo sentido, Baldi *et al.* (2014) no detectaron efecto sobre la concentración de Ca^{2+} en hojas de *Prunus persica* var. Nucipersica, debido a la liberación lenta de nutrimentos presentes en la composta.

Las plantas que tuvieron mayor contenido de Ca^{2+} en savia fueron las que se regaron con la solución orgánica al 5% (Figura 13), esto debido al efecto positivo que la fertilización produce en la acumulación de este elemento en el tejido (Vélez-Carvajal *et al.*, 2014) lo que, a su vez, además de incrementar el Ca^{2+} en la planta, contribuye a un mayor desarrollo y crecimiento de la misma (Balta-Crisólogo *et al.*, 2015).

Se encontró que las plantas cultivadas en bagazo de agave sin solución y con solución orgánica al 5% tuvieron mayor contenido de Ca^{2+} en savia (Cuadro 12),

mientras que, las plantas cultivadas en suelo y regadas la solución orgánica al 10% alcanzaron mayor concentración de este ion. Esta tendencia en los resultados del presente estudio, tiene similitud con lo reportado por Guerra y Bautista (2002), al demostrar el efecto positivo del estiérco de gallina y la fertilización química en la concentración de Ca^{2+} en *Psidium guajava* L. En el mismo sentido, Vélez-Carvajal *et al.* (2014) señalan que la concentración de Ca^{2+} está en función de la dosis de fertilización y de los sustratos utilizados, de manera que las mayores concentraciones se presentan en la primera y en la última etapa fenológica en la planta.

5.5.3.3. Concentración de K^+

La mayor concentración de K^+ se tuvo en plantas cultivadas en composta superando las plantas cultivadas en suelo en 14.49% y 0.68%, mientras que el menor contenido se presentó en las plantas cultivadas en suelo (Figura 14). Al respecto, Mordoğan *et al.* (2013) reportan que la composta de estiérco de bovino no influye en la concentración de K^{+1} en las hojas en plantas de *Ficus carica* L. esto se debe a la cantidad de nutrimentos que puede proporcionar el estiérco. En el mismo sentido Baldi *et al.* (2014), detectaron que la composta no afecta el contenido de potasio en hojas de *Prunus persica* var. Nucipersica, esto se atribuye a la lenta liberación de nutrimentos de la composta.

En cuanto a la fertilización, se encontró mayor contenido de K^+ en las plantas regadas con la solución al 10% (Figura 14)., lo cual puede estar relacionado con el contenido de K^+ en la solución orgánica, cuyo suministro favoreció la absorción y la acumulación de K^+ en las hojas (Balta-Crisólogo *et al.*, 2015). En el mismo sentido, Novoa *et al.* (2018) no encontraron incrementos en el contenido de K^+ por efecto de la fertilización en *Persea americana*. Saeed *et al.* (2009) sostiene que la deficiencia de K^+ no tiene un efecto significativo sobre la eficiencia potencial en las plantas.

Por otro lado, en la combinación de los factores se tuvo que las plantas cultivadas en composta, fertilizadas y sin fertilizar, presentaron mayor concentración de K^+

(Cuadro 12) en la savia de las hojas de agave, lo cual se atribuye al buen equilibrio de nutrimentos suministrados por la composta (Cruz *et al.*, 2016). Lo anterior combinado con la fertilización incrementa el contenido de K^+ en las plantas (Grijalva-Contreras *et al.*, 2016).

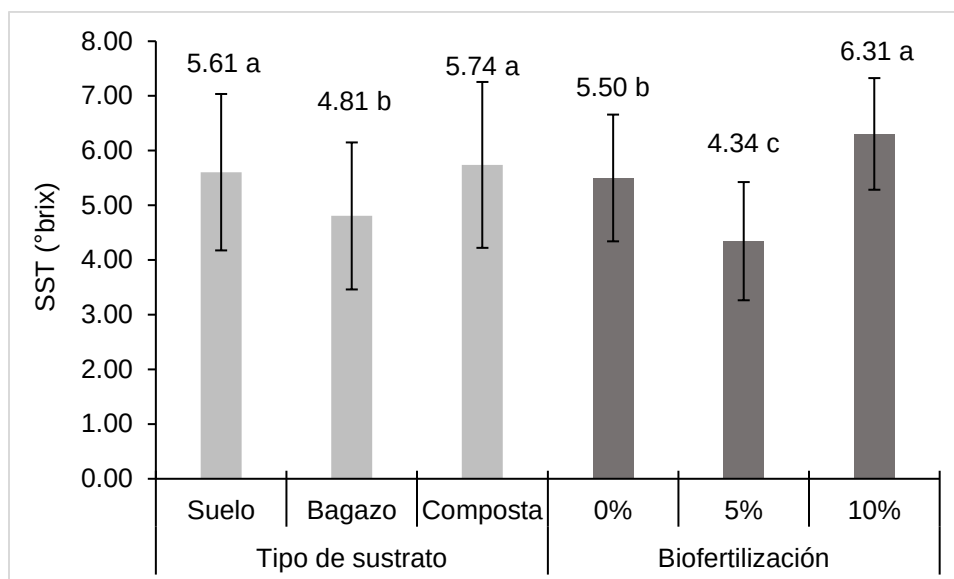


Figura 7: Contenido sólidos solubles totales en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de sustratos: 0.7904; DMS para biofertilización: 0.7904.

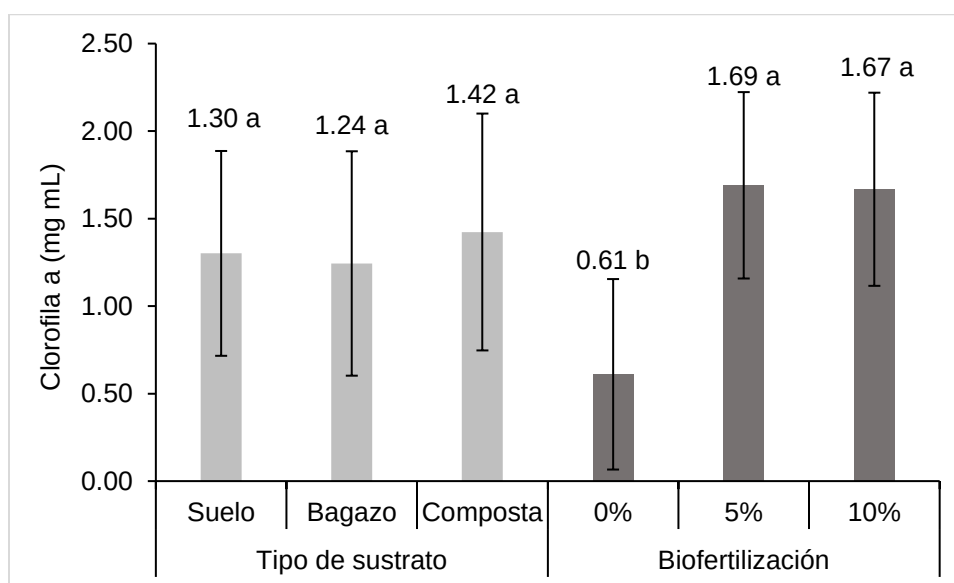


Figura 8: Contenido de clorofila a en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de sustratos: 0.211; DMS para biofertilización: 0.211.

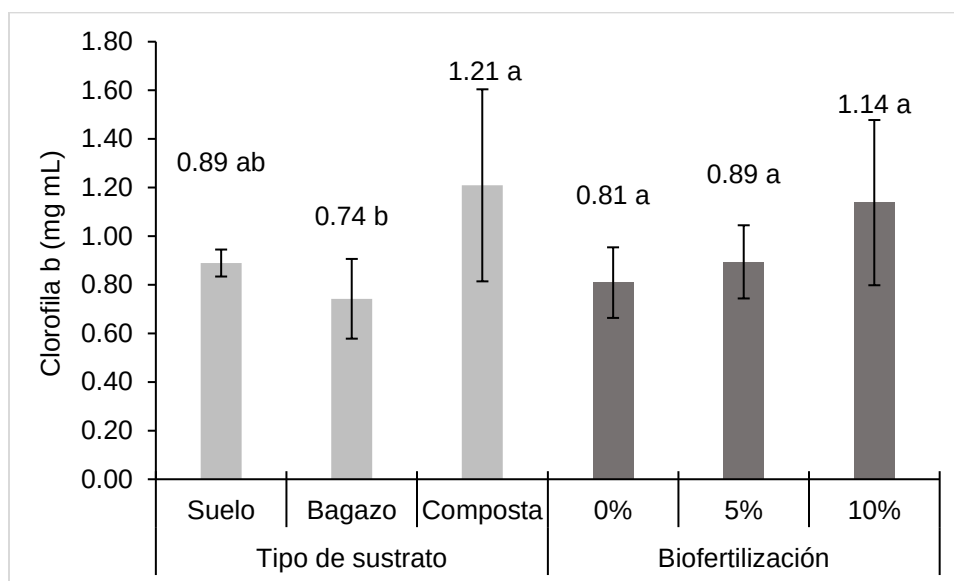


Figura 9: Contenido de clorofila b en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de sustratos: 0.331; DMS para biofertilización: 0.331.

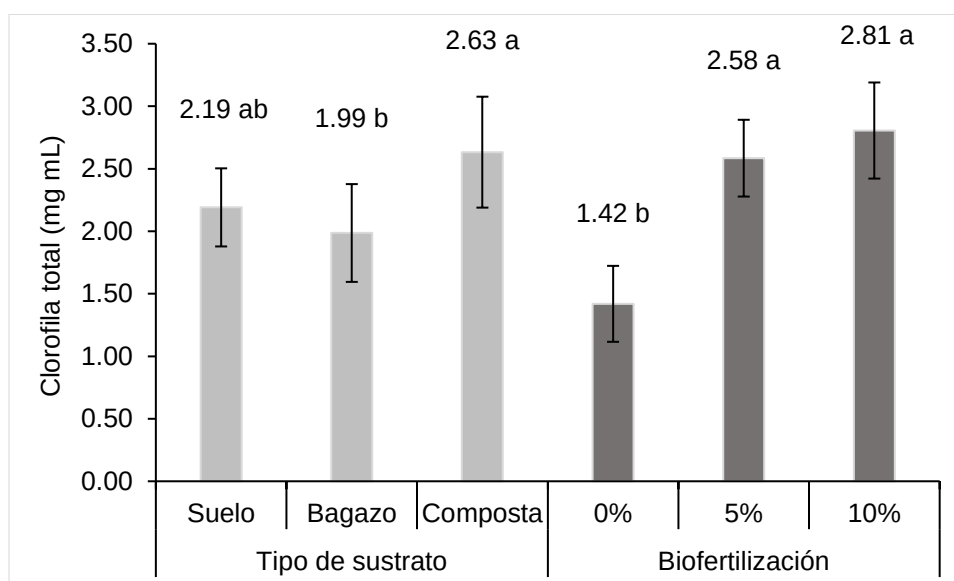


Figura 10: Contenido de clorofila total en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de sustratos: 0.254; DMS para biofertilización: 0.254.

Cuadro 10. Efecto de interacción entre el tipo de sustratos y la biofertilización sobre la concentración de SST en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en vivero.

Sustratos	Solución orgánica (%)	Sólidos solubles
		(°brix)
Suelo	0	6.25± 1.77 a
	5	3.96± 0.67 bc
	10	6.60± 1.78 a
Bagazo	0	4.81± 0.31 abc
	5	3.58± 0.42 c
	10	6.01± 0.25 a
Composta	0	5.43± 0.81 ab
	5	5.48± 0.89 ab
	10	6.30± 0.30 a
DMS		1.8399

Medias con igual letra, en la misma columna son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$); DMS: Diferencia significativa mínima.

Cuadro 11. Efecto de interacción entre el tipo de sustratos y la biofertilización sobre la concentración clorofila a, b y totales en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en vivero.

Sustratos	Solución orgánica (%)	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
		(mg mL)		
Suelo	0	0.63± 0.16 b	0.85± 0.27 b	1.48± 0.24 cd
	5	1.53± 0.32 a	0.86± 0.21 b	2.40± 0.44 abc
	10	1.73± 0.08 a	0.95± 0.42 ab	2.68± 0.50 ab
Bagazo	0	0.53± 0.14 b	0.55± 0.33 b	1.09± 0.24 d
	5	1.68± 0.25 a	0.87± 0.18 b	2.55± 0.47 abc
	10	1.50± 0.29 a	0.79± 0.71 b	2.30± 0.64 abc
Composta	0	0.65± 0.27 b	1.01± 0.50 ab	1.67± 0.43 bcd
	5	1.84± 0.22 a	0.94± 0.41 ab	2.79± 0.56 ab
	10	1.76± 0.43 a	1.66± 0.40 a	3.42± 0.40 a
DMS		0.49	0.77	0.58

Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$); DMS: Diferencia significativa mínima.

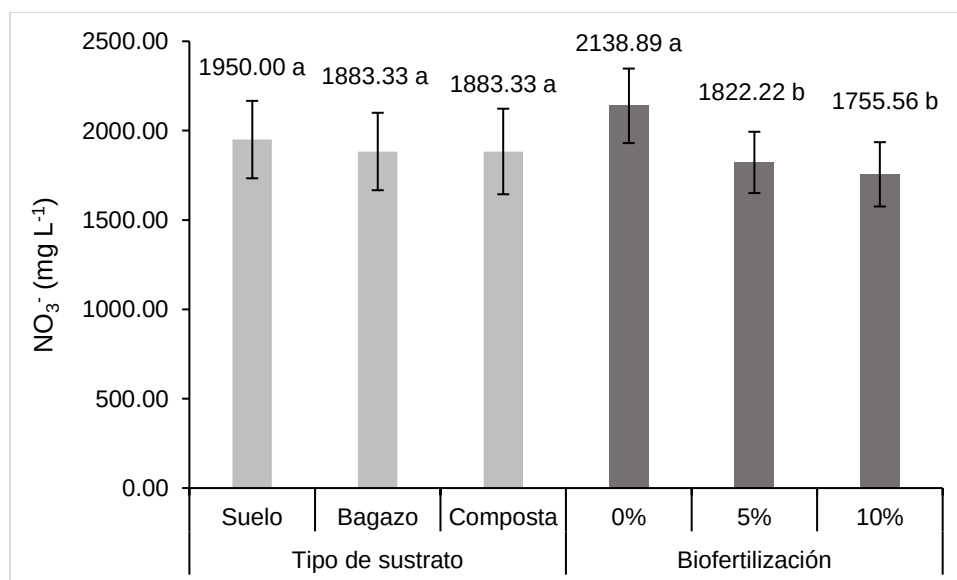


Figura 11: Contenido NO₃⁻ en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo

color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de sustratos: 85.015; DMS para biofertilización: 85.015.

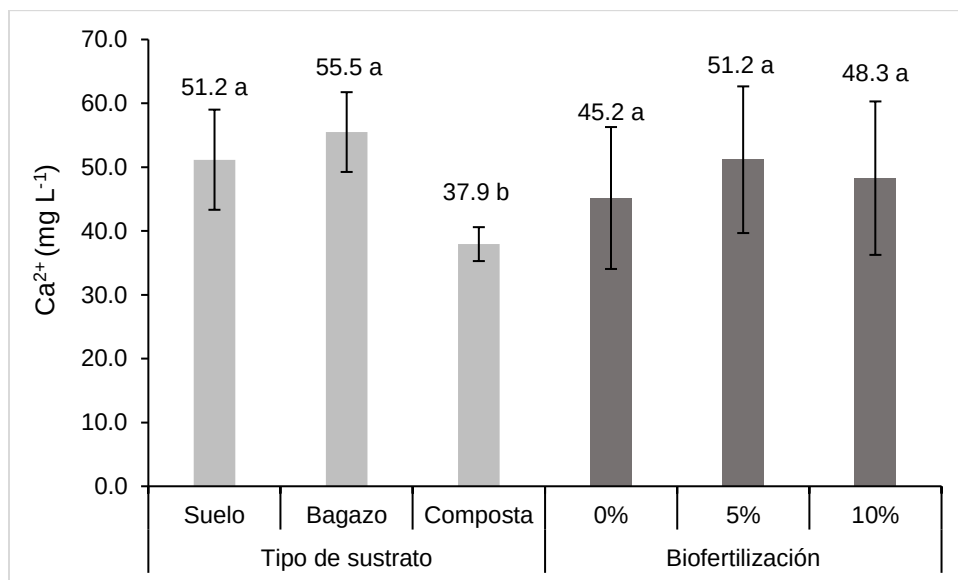


Figura 12: Contenido de Ca^{2+} en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de sustratos: Ca^{2+} 7.1537; DMS para biofertilización: 7.1537.

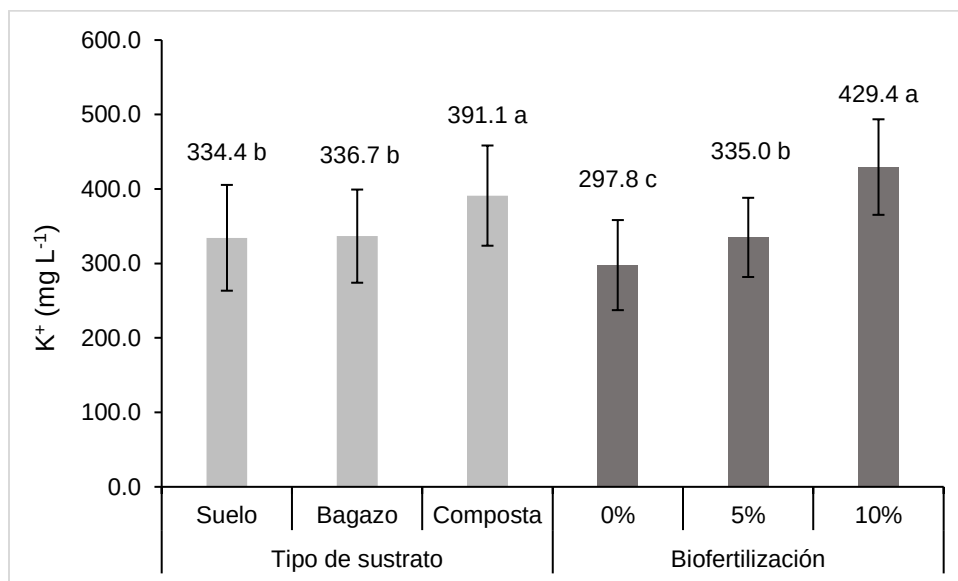


Figura 13: Contenido de K⁺ en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en sustrato y fertilización orgánica en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de sustratos: 20.426; DMS para biofertilización 20.426.

Cuadro 12. Efecto de interacción entre el tipo de sustratos y la biofertilización sobre la concentración de NO₃⁻, Ca²⁺ y K⁺ en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en vivero.

Sustratos	Solución orgánica (%)	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	K ⁺
		(mg L ⁻¹)		
Suelo	0	2200.00± 260.77 a	45.00± 11.88 bc	266.67± 25.82 f
	5	1816.67± 40.82 cd	48.50± 6.38 abc	328.33± 18.35 de
	10	1833.33± 81.65 bcd	60.00± 4.98 ab	408.33± 43.09 ab
Bagazo	0	2200.00± 89.44 a	58.50± 15.51 ab	285.00± 13.78 ef
	5	1750.00± 54.77 cd	63.66± 12.48 a	300.00± 32.86 def
	10	1700.00± 63.25 d	44.33± 4.76 bc	425.00± 15.17 a
Composta	0	2016.67± 40.82 ab	32.00± 5.48 c	341.67± 14.72 cd
	5	1900.00± 63.25 bc	41.33± 2.34 c	376.67± 32.66 bc
	10	1733.33± 51.64 cd	40.50± 6.66 c	455.00± 10.49 a
DMS		197.89	16.652	47.546

Medias con igual letra, en la misma columna son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$); DMS: Diferencia significativa mínima; NO₃⁻: nitrato; Ca²⁺: calcio; K⁺: potasio.

5.6. Conclusión

Los sólidos solubles totales, clorofilas b y totales en hojas de *A. angustifolia* mejoraron cuando las plantas se cultivaron en composta y en suelo. El K^+ aumentó con la composta y el Ca^{2+} cuando las plantas crecieron en suelo y bagazo.

El contenido de sólidos solubles totales y el K^+ en las hojas aumentaron cuando las plantas se regaron con solución orgánica al 10%. Así mismo, el riego con solución al 5% y 10% favorecieron la producción de clorofilas b y totales.

La combinación de sustratos y solución orgánica a diferentes concentraciones, modificaron el comportamiento bioquímico relacionado con el estado fisiológico de plantas de *A. angustifolia* en vivero, sobre todo, cuando las plantas se regaron con solución orgánica al 5 y 10%, lo que incrementó la concentración de clorofilas (a, b y totales) y K^+ , mientras que los SST y el Ca^{2+} respondieron favorablemente a algunos sustratos (suelo y bagazo) y concentración de la solución orgánica (5 y 10%).

5.7. LITERATURA CITADA

- Aguilar C. C., Alcántara J. J. Á., Leyva B., S., Ayvar S. S., y Díaz V., G. E. (2019).** Rendimiento y rentabilidad de genotipos de papaya en función de la fertilización química, orgánica y biológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 575-584.
- Aguilar C. C., Alcántara J.J. Á., Leyva B. S., Ayvar S. S., y Díaz Villanueva G. E. (2019).** Rendimiento y rentabilidad de genotipos de papaya en función de la fertilización química, orgánica y biológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 575-584.
- Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C. R., Corrales-Lerma, R., Avendaño-Arrazate, C. H., Rubio-Arias, H. O., and Villarreal-Guerrero, F. (2018).** Stomatal characterization, chlorophyll concentration and their relation with biomass production of *Bouteloua curtipendula*. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 251-261.
- Antúnez-Ocampo O. M., Sandoval-Villa M., Alcántar-González G. y Solís-Martínez M. (2014).** Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia*, 48(8), 805-817.
- Arrazola-Cárdenas L., García-Nava J. R., Robledo-Paz A., Ybarra-Moncada M. C., y Muratalla-Lúa A. (2020).** Sustratos y dosis de fertirrigación en la acumulación de Azúcares totales y el crecimiento de *Agave salmiana* (Asparagaceae). *Polibotánica*, 50(1), 109-118.
- Bakhshande, I. S. Shakiba, M., Dabbagh, M. A., and Moghaddam, V. M. (2014).** Changes in nitrogen and chlorophyll density and leaf area of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) affected by biofertilizer and nitrogen application. *International Journal of Biosciences*, 5(9), 256-265.
- Baldi, E., Marcolini, G., Quartieri, M., Sorrenti, G., and Toselli, M. (2014).** Effect of organic fertilization on nutrient concentration and accumulation in nectarine

(*Prunus persica* var. *nucipersica*) trees: The effect of rate of application. *Scientia Horticulturae*, 179, 174-179.

Balta-Crisólogo R. A., Rodríguez-Del Castillo Á. M., Guerrero-Abad R., Cachique D., Alva-Plasencia E., Arévalo-López L., and, Arévalo-López L. I. L. O. (2015). Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en suelos ácidos, San Martín, Perú. *Folia Amazónica*, 24(2), 23-30.

Barrios M., García J. y Basso, C. (2012). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrato y amonio en el suelo y la planta de maíz. *Bioagro*, 24(3), 213-220.

Bojórquez, A. D. A., Gutiérrez, C. G., Báez, J. R. C., Sánchez, M. Á. A., Montoya, L. G., y Pérez, E. N. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra Ximhai: *Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible*, 6(1), 51-56.

Braga B. B., Junior, F. N., Barbosa, R. M., Brito, P. O. B., Martins, K., Medeiros, P. H. A., and Gondim, F. A. (2017). Biomass production and antioxidative enzyme activities of sunflower plants growing in substrates containing sediment from a tropical reservoir. *Journal of Agricultural Science*, 9(5), 1-12.

Contreras, R. G. C., Pérez, J. J. R., Contreras, C. J. C., Hernández, L. V., y Montiel, L. H. (2020). Efecto de rizobacterias y dosis reducidas de fertilizantes sintéticos sobre la expresión morfo-productiva de tomate en invernadero. ITEA, información técnica económica agraria: *Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA)*, 116(1), 19-29.

Cruz F. R. D. S., Andrade, L. A. D., and Feitosa, R. C. (2016). Produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. *Ciência Florestal*, 26(1), 69-80.

Cruz-Hernández, J., Acevedo-Alcalá, P., y Báez-Cruz, G. (2015). Fitotoxicidad de abonos orgánicos líquidos en especies hortícolas indicadoras, un método de

pre-selección. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 3(5), 964-971.

Del Valle, J. R. E., Silias, A. E., Ortiz, G. R., Velasco, V. A. V., y Ángeles, G. V. C. (2013). Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatización de vitroplantas de *Agave americana* var. *oaxacensis*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 45(2), 341-348.

Ebrahimi, R., Ebrahimi, F., and Ahmadizadeh, M. (2012). Effect of different substrates on herbaceous pigments and chlorophyll amount of strawberry in hydroponic cultivation system. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12(2), 154-158.

Enríquez-Del Valle, J. R., Cruz-Valdez, I., y Carrillo-Castañeda, G. (2012). Acclimatization of *Agave angustifolia* Haw. *Vitroplants* in inert substrates and fertigated with different nutrimental dose. *Acta Horticulturae*, 947, 101-104.

FAO (2010). Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana. *Primera Edición*, noviembre de 2010. 56.

Fortes D., Herrera R. S., González S., García M., Romero A., y Cruz A. M. (2009). Comportamiento de los pigmentos fotosintéticos, según la edad de rebrote después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en la estación poco lluviosa. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(2), 183-186.

García, M. A. j. y MEAVE, J. A. (2011). Reseña de "Diversidad florística de Oaxaca: de musgos a angiospermas (colecciones y lista de especies)" de GARCÍA MENDOZA AJ Y MEAVE JA EDS. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (89), 132-134.

García-Martínez L. I., Sánchez-Mendoza S., y Bautista-Cruz A. (2020). Combinación de hongos micorrízicos y fertilización fosforada en el crecimiento de dos *agaves* silvestres. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 771-780.

- García-Martínez, L. I., Sánchez-Mendoza, S., y Bautista-Cruz, A. (2020).** Combinación de hongos micorrízicos y fertilización fosforada en el crecimiento de dos agaves silvestres. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 771-780.
- Godínez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera, J. R., Juárez-Flores, B. I., Ortiz-Pérez, M. D., y Becerra-Jiménez, J. (2016).** Extracción y caracterización de fructanos de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(1), 59-72.
- González, M. F. (2012).** Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Jardines en la montaña, Delegación Tlalpan, México, CDMX. *Printed in Mexico*.15-16.
- Grijalva-Contreras R. L., Robles-Contreras F., Macías-Duarte R., Santillano-Cázares J., y Núñez-Ramírez F. (2016).** Nitrógeno en trigo y su efecto en el rendimiento y en la concentración de nitratos y potasio en el extracto celular de tallo (ECT). *Acta universitaria*, 26(5), 48-54.
- Guerra, E., y Bautista, D. (2002).** Contenido foliar de elementos nutricionales en tres clones de guayaba (*Psidium guajava* L.) en época de alta actividad de crecimiento. *Bioagro*, 14(2), 99-104.
- Hernández-Fuentes, A. D., Montiel, R. C., y Pinedo-Espinoza, J. M. (2010).** Comportamiento poscosecha de pimiento morron (*Capsicum annum* L.) var. california por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 82-91.
- Íñiguez, G., MARTÍNEZ, G. A., Flores, P. A., y Virgen, G. (2011).** Utilización de subproductos de la industria tequilera: Parte 9. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de agave para la obtención de un sustrato para jitomate. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(1), 47-59.

- Jaramillo-Salazar M. T. Marín-Giraldo Y. y Ocampo-Serna D. M. (2018).** Efectos en el nivel fotosintético en tres especies de plantas acuáticas sometidas a un tratamiento con agua residual de origen minero. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 22(1), 43-57.
- Latsague M., Sáez P. y Mora M. (2014).** Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hook. f. Gayana. *Botánica*, 71(1), 37-42.
- León Vázquez, N. I., Campos Á., G. V., Enríquez-del Valle, J. R., Velasco V., V. A., Marini Zúñiga, F., y Rodríguez Ortiz, G. (2013).** Diversidad de especies de agave en San Miguel Tilquiapam, Ocotlán, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 1185-1195.
- Li Y., Liu C., Zhang J., Yang H., Xu L., Wang Q., and He N. (2018).** Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to cold-temperate forests: association with gross primary productivity. *Ecological Indicators*, 85(1), 383-389.
- López-Baltazar, J., Méndez-Matías, A., Pliego-Marín, L., Aragón-Robles, E., y Robles-Martínez, M. L. (2013).** Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile'onza'(*Capsicum annuum*) en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(SPE6), 1139-1150.
- Mahmood, Y. A., Ahmed, F. W., Juma, S. S., and Al-Arazah, A. A. (2019).** Effect of solid and liquid organic fertilizer and spray with humic acid and nutrient uptake of nitrogen, phosphorus and potassium on growth, yield of cauliflower. *Plant Archives*, 19(2), 1504-1509.
- Martínez B. M., Martínez B. L., Guzmán D. A., Gómez J. R. y Reyes R. A. L. (2017).** Calcio y ácido giberélico en el bretado de frutos de litchi (*Litchi chinensis* Soon.) cultivar Mauritius. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 837-848.

- Martínez R. S., Trinidad Santos, A., Robles, C., Galvis Spinola, A., Hernández Mendoza, T. M., Santizo Rincón, J. A., ... y Pedro Santos, E. C. (2012).** Crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 61-68.
- Martínez-Alcántara, B., Martínez-Cuenca, M. R., Bermejo, A., Legaz, F., and Quinones, A. (2016).** Liquid organic fertilizers for sustainable agriculture: Nutrient uptake of organic versus mineral fertilizers in citrus trees. *PLOS ONE*, 11(10), 1-20.
- Martínez-Rodríguez, O. G., Can-Chulim, Á., Cruz-Crespo, E., y García-Paredes, J. D. (2017).** Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 53-65.
- Mata, N. M., y Natera, J. R. M. (2009).** Efecto de reguladores de crecimiento sobre el epicarpo, mesocarpo y sólidos solubles totales del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) cv. Edisto 47. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2), 295-303.
- Medeiros, R. F., Cavalcante, L. F., Mesquita, F. O., Rodrigues, R. M., Sousa, G. G. and Diniz, A. A. (2011).** Crescimento inicial do tomaleiro-ceja sob irrigação com águas salinas em solo com biofertilizantes bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 15(5), 505-5011.
- Mordoğan, N., Hakerlerler, H., Ceylan, Ş., Aydın, Ş., Yağmur, B., and Aksoy, U. (2013).** Effect of organic fertilization on fig leaf nutrients and fruit quality. *Journal of Plant Nutrition*, 36(7), 1128-1137.
- Mota C. S., Silva F. G., Dornelles P., Freiburger M. B., Reis D. N., and Mendes G. C. (2018).** Parameters of physiology, nutrition and quality of *Eugenia dysenterica* DC seedlings grown in organic substrates from the agricultural industry. *Journal of Agricultural Science*, 10(1), 73-84.
- Novoa M. A., Miranda D., y Melgarejo L. M. (2018).** Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas

de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 293-307.

Novoa M. A., Miranda, D., y Melgarejo L. M. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 293-307.

Olivares-Campos M. A., Hernández-Rodríguez A., Vences-Contreras C., Jáquez-Balderrama J. L., y Ojeda-Barrios D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y ciencia*, 28(1), 27-37.

Ortega, R., Samuels, J. Z., Segura, R. A., Torres, P., Blanco, F. A., y Sandoval Fernandez, J. A. (2019). Biofertilización como suplemento en la nutrición del cultivo de banano (*Musa AAA*). *Corbana*, 45 (65), 51-66.

Pereira C. A. C., Guilherme C. A., da S. J., Cardoso Z. J. F., Medeiros D. M. M., and da Costa A. R. (2018). Organic substrate and organic foliar fertilizer effect on chlorophyll index and growth in Umbuzeiro seedlings. *Agronomía Colombiana*, 36(2), 152-157.

Pérez A. R., y Quintero E. M. (2015). Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. *Revista Alimentos hoy*, 23(34), 13-25.

Pérez H., Y., Sosa d. C. M., Rubio F. Y., Fuentes A. L., Pérez R. J., and Cortés H. Y. (2018). Acclimatization of cultured plantlets of *Agave fourcroydes* Lem. (henequén). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 23(2), 84-94.

Preciado R. P., Fortis H. M., García H.J. L., Rueda P. E. O., Esparza. R. J. R., Lara H. A., y Orozco V. J. A. (2011). Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9), 689-693.

- Raya P. J. C., y Aguirre M., C. L. (2009).** Composición elemental de algunas especies de plantas silvestres mexicanas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(2), 95-99.
- Roy, S., Barman, S., Chakraborty, U., and Chakraborty, B. (2015).** Evaluation of spent mushroom substrate as biofertilizer for growth improvement of *Capsicum annuum* L. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 3(03), 022-027.
- Ruiz S. F. L., Ruiz Velázquez, J. A., Hernández Becerra, J. A., García Jiménez, R., y Valadez Villarreal, A. (2019).** Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco. *Revista Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 944-949.
- Saeed A. M., Ashraf M., Shahbaz M., and Aisha A. N. (2009).** Growth and photosynthesis of salt-stressed sunflower (*Helianthus annuus*) plants as affected by foliar-applied different potassium salts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(6), 884-893.
- Salas M., Pernasetti, O., Watkins P., y Alurralde A. (2014).** Dinámica del potasio foliar en un ensayo de fertilización potásica en olivo. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 16(2), 21-23.
- Sánchez T.M. (2010).** Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de La Pampa* 21(1), 29-36.
- Sánchez, T. M. (2010).** Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21, 29-36.
- Santis Santis, M., Cabrera De la Fuente, M., Benavides Mendoza, A., Sandoval Rangel, A., Ortega Ortiz, H., y Robledo Olivo, A. (2019).** Rendimiento

agronómico del jitomate suplementado con microelementos Fe, Cu y Zn. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1379-1391.

Vélez-Carvajal N. A., Melo-Martínez S. E., y Flórez-Roncancio V. J. (2014).

Comportamiento de Ca, Mg y S en un sistema de cultivo sin suelo para clavel. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(2), 171-185.

Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144(3), 307-313.

Yfran M. D. L. M., Chabbal M. D., Píccoli A. B., Giménez L. I., Rodríguez V. A., y

Martínez G. C. (2017). Fertilización foliar con potasio, calcio y boro. incidencia sobre la nutrición y calidad de frutos en mandarina 'nova'. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 22-29.

Zagoya-Martínez, J., Ocampo-Mendoza, J., Ocampo-Fletes, I., Macías-López,

A., y Peñaloza, P. D. L. R. (2015). Caracterización fisicoquímica de biofermentados elaborados artesanalmente/physicochemical characterization of handmade bioferments. *Biotechnia*, 17(1), 14-19.

Zhang J., Wang, Y., Wang, P., an Zhang, Q., Yan, C., Yu, F. and Fang, L. (2017).

Effect of different levels of nitrogen, phosphorus, and potassium on root activity and chlorophyll content in leaves of *Brassica oleracea* seedlings grown in vegetable nursery substrate. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 58(1), 5-11.

VI. CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES.

6.1. Conclusiones generales

La biofertilización mediante sustratos y soluciones orgánicas, es una alternativa para mejorar el crecimiento y fisiología a partir de la actividad bioquímica de las plantas de *Agave angustifolia* en vivero, a través del incremento de SST, clorofilas totales y nutrimentos (iones) en las hojas.