

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO



Escuela Superior de Apan

TESIS DE LICENCIATURA

Efecto de diferentes esquemas de fertilización sobre el crecimiento de plantas de maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) cultivadas bajo condiciones de campo

Para obtener el título de
Licenciado en Ingeniería en Biociencias

P R E S E N T A
Joel Eduardo Sánchez Gómez (284273)

Director
Dr. Jaime Alioscha Cuervo Parra

Codirector de tesis
Dra. Teresa Romero Cortes

Apan, Hgo., México a junio del 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Escuela Superior de Apan
Campus Apan

Número de control: ESAP-004/2025
Asunto: Autorización de impresión de tesis

Joel Eduardo Sánchez Gómez
P.D.L.I.B.C.
PRESENTE

Por este medio le comunico que, el jurado asignado al pasante de la Licenciatura en Ingeniería en Biociencias **Joel Eduardo Sánchez Gómez** (284273), a quienes les presentó el trabajo para su titulación en la modalidad de tesis con el título **“Efecto de diferentes esquemas de fertilización sobre el crecimiento de plantas de maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) cultivadas bajo condiciones de campo”**, después de la revisión ha autorizado la impresión.

A continuación, se presentan las firmas de conformidad de los miembros de este jurado:

PRESIDENTE: Dra. Teresa Romero Cortes

SECRETARIO: Dr. Jaime Alioscha Cuervo Parra

PRIMER VOCAL: Dra. María Magdalena Armendáriz Ontiveros

SEGUNDO VOCAL: Dr. Martín Peralta Gil

TERCER VOCAL: Dr. José Esteban Aparicio Burgos

SUPLENTE 1: Dra. María del Pilar Gutiérrez Amador

SUPLENTE 2: Dra. Lis Tamayo Rivera

ATENTAMENTE
“Amor, Orden y Progreso”
Chimalpa, Apan, Hgo., México a 27 de mayo de 2025.




Dra. María Magdalena Armendáriz Ontiveros
Coordinador de Ingeniería en Biociencias

“Amor, Orden y Progreso”

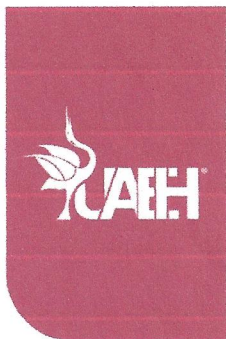


2025



Carretera Apan - Calpulapan Km. 8, Colonia Chimalpa
Tlalayote, Apan, Hidalgo, México C.P. 43900
Teléfono: 7717172000 Ext. 50901
esap@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Escuela Superior de Apan
Campus Apan

Número de control: ESAP-003/2025
Asunto: Solicitud de Incorporación de
Tesis al repositorio institucional

Mtro. Jorge E. Peña Zepeda
Director de Bibliotecas y Centro de Información
P R E S E N T E.

Por medio del presente hago constar que la tesis en formato digital titulado "Efecto de diferentes esquemas de fertilización sobre el crecimiento de plantas de maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) cultivadas bajo condiciones de campo" que presenta Joel Eduardo Sánchez Gómez con número de cuenta 284273 es la versión final validada por el Comité Tutorial y cumple con el oficio de autorización de impresión, por lo que solicito su integración en el repositorio institucional de tesis.

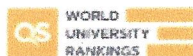
ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
Chimalpa, Apan, Hgo., México a 30 de mayo de 2025.




Dra. María Magdalena Armendáriz Ontiveros
Coordinador de Ingeniería en Biociencias


Joel Eduardo Sánchez Gómez
Autor de tesis

"Amor, Orden y Progreso"



2025



Carretera Apan - Calpulapan Km. 8, Colonia Chimalpa
Tlalayote, Apan, Hidalgo, México C.P. 43900
Teléfono: 7717172000 Ext. 50901
esap@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

DEDICATORIA

A mis padres Estuardo y Elsi porque sin su apoyo no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

Al Dr. Jaime Alioscha Cuervo Parra, por su apoyo para la redacción y su contribución con los insumos necesarios para este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia que me ofreció una segunda oportunidad para terminar mis estudios profesionales.

A todos mis profesores que contribuyeron a mi formación.

Al Dr. Jaime Alioscha Cuervo Parra por proporcionar los recursos necesarios para este trabajo y por su ayuda para la realización del escrito.

Al Maestro Alberto Morales Ovando por su apoyo con el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

A los Doctores Víctor Hugo Pérez España, Alberto Navarrete Peón, y Pablo Antonio López Pérez por sus consejos para la realización del escrito.

A mis amigos que me ayudaron a hacer menos pesado este camino.

En México, los magueyes pulqueros son una importante fuente de recursos para la elaboración de fibras textiles, bebidas alcohólicas, alimentos y como plantas de ornato. A partir de esta planta, se extrae el aguamiel, utilizado para elaborar una bebida alcohólica fermentada llamada pulque, cuyo potencial productivo depende del manejo agronómico que se le dé al cultivo y optimizar los rendimientos para conseguirlo una de las estrategias es la aplicación de una adecuada fertilización de las plantas de maguey en explotación. En el presente trabajo se estudió el efecto de diferentes esquemas de fertilización sobre algunas variables de crecimiento en plantas de maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). Se estableció un diseño experimental en bloques completamente al azar con tres repeticiones, donde se evaluó ocho esquemas de fertilización (T1, testigo sin la aplicación de ningún tipo de fertilizante; T2, fertilizante químico (NPK); T3, fertilizante orgánico (tipo Bokashi); T4, biofertilizante a base de una suspensión de *Bacillus subtilis* (1×10^9 UFC/g); T5, fertilizante químico + fertilizante orgánico; T6, fertilizante químico + bioinoculante; T7, fertilizante orgánico + bioinoculante; y T8, fertilizantes químico + fertilizante orgánico + bioinoculante). Las proporciones utilizadas para los componentes de los tratamientos T5 al T8, fueron las mismas que se utilizaron para los tratamientos T2 a T4. Por tratamiento, se utilizó un total de 9 hijuelos de maguey, procedentes de plantas adultas sanas de *Agave salmiana*. El experimento se realizó durante los meses de octubre-diciembre del año 2023 y enero-julio del año 2024. Las variables de crecimiento evaluadas fueron; la longitud de hoja, el diámetro de roseta, la altura de planta, el número de hojas por planta desplegadas y el número de hijuelos. Los análisis estadísticos, mostraron que existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($P \leq 0.05$), siendo los tratamientos T8 y T2, los que mostraron los mejores resultados para las variables longitud de hoja, diámetro de roseta, altura de planta, y número de hojas por planta. Registrándose los valores $87.60 \pm 0.08a$ y $85.68 \pm 0.18b$, para la longitud de hoja; $67.58 \pm 0.08a$ y $62.68 \pm 0.04b$, para el diámetro de roseta; $78.73 \pm 0.15a$ y $75.57 \pm 0.25b$, para la altura de planta, y $11.89 \pm 0.69a$ y $11.78 \pm 0.19a$, para el número de hojas desplegadas por planta. Por otro lado, para el número de hijuelos producidos por planta los mejores tratamientos fueron T2 y T5, con valores de $9.11 \pm 0.19a$ y $9.00 \pm 0.33a$, seguidos del tratamiento T8 con un valor de $6.33 \pm 0.33b$ hijuelos registrados

por planta. Los esquemas de fertilización equilibrados aportan nutrientes necesarios para que las plantas de maguey, se desarrollen de manera adecuada y puedan llegar a la etapa productiva en un menor tiempo.

Con los resultados obtenidos se comprobó que cuando se proporciona a las plantas de maguey un esquema de fertilización equilibrado se obtienen los mejores resultados para las mismas variables de crecimiento. Siendo el esquema de fertilización del tratamiento T8 el que proporcionó a las plantas de maguey pulquero una dosis adecuada de humedad, microorganismos y fertilidad a través de los macro y micronutrientes, disponibles en el suelo. Constituyendo una alternativa viable para que los productores de maguey fertilicen sus cultivos de una manera adecuada.

In Mexico, pulque magueys are an important source of resources to produce textile fibers, alcoholic beverages, food, and as ornamental plants. Aguamiel (watermelon) is extracted from this plant, used to make a fermented alcoholic beverage called pulque. Its productive potential depends on the agronomic management of the crop. One of the strategies to optimize yields is to properly fertilize the maguey plants in operation. In the present work, the effect of different fertilization schemes on some growth variables in maguey pulquero plants (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) was studied. A completely randomized block experimental design with three replications was established, where eight fertilization schemes were evaluated (T1, control without the application of any type of fertilizer; T2, chemical fertilizer (NPK); T3, organic fertilizer (Bokashi type); T4, biofertilizer based on a suspension of *Bacillus subtilis* (1×10^9 CFU/g); T5, chemical fertilizer + organic fertilizer; T6, chemical fertilizer + bioinoculant; T7, organic fertilizer + bioinoculant; and T8, chemical fertilizer + organic fertilizer + bioinoculant). The proportions used for the components of the T5 to T8 treatments were the same as those used for the T2 to T4 treatments. For each treatment, a total of 9 maguey offspring were used, from healthy adult plants of *Agave salmiana*. The experiment was conducted during the months of October-December 2023 and January-July 2024. The growth variables evaluated were leaf length, rosette diameter, plant height, number of unfolded leaves per plant, and number of magueys offsprings. Statistical analyses showed significant differences between the treatments evaluated ($P \leq 0.05$), with treatments T8 and T2 showing the best results for the variables leaf length, rosette diameter, plant height, and number of leaves per plant. The values were recorded $87.60 \pm 0.08a$ and $85.68 \pm 0.18b$ for leaf length; $67.58 \pm 0.08a$ and $62.68 \pm 0.04b$ for rosette diameter; $78.73 \pm 0.15a$ and $75.57 \pm 0.25b$ for plant height; and $11.89 \pm 0.69a$ and $11.78 \pm 0.19a$ for the number of leaves displayed per plant. On the other hand, for the number of maguey offspring produced per plant, the best treatments were T2 and T5, with values of $9.11 \pm 0.19a$ and $9.00 \pm 0.33a$, followed by treatment T8 with a value of $6.33 \pm 0.33b$ offsprings recorded per plant. Balanced fertilization schemes provide the nutrients needed for agave plants to develop properly and reach the productive stage in less time.

The results showed that providing maguey plants with a balanced fertilization regimen yields the best results for the same growth variables. The T8 treatment fertilization regimen provided the pulque maguey plants with an adequate dose of moisture, microorganisms, and fertility through the macro- and micronutrients available in the soil. This constitutes a viable alternative for maguey producers to fertilize their crops appropriately.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
NOMENCLATURA Y ABREVIATURAS	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
ANTECEDENTES	3
1.1 Origen y distribución de los agaves	4
1.2 Descripción botánica del género <i>Agave</i>	7
1.3 Clasificación taxonómica de <i>Agave salmiana</i>	8
1.3.1 <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	8
1.3.2 <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck ssp. <i>salmiana</i> Gentry	9
1.3.3 <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck ssp. <i>crassispina</i> (Trel.) Gentry	10
1.3.4 <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck ssp. <i>ferox</i> (Koch) Gentry	11
1.4 Usos de las plantas de <i>Agave salmiana</i>	12
1.4.1 Ornato	13
1.4.2 Usos domésticos	14
1.4.2.1 Construcción	14
1.4.3 Usos en la alimentación	14
1.4.3.1 Comida y condimentos (cutícula, pencas, insectos asociados)	15
1.4.3.2 Bebidas (aguamiel, y pulque)	15
1.4.4 Usos en la medicina	16
1.4.5 Usos en la agronomía	17
1.5 Variables agronómicas	18
1.5.1 Suelo y clima	18
1.5.2 Fertilidad del suelo	19
1.5.3 Importancia de los fertilizantes	19
1.5.4 Tipos de fertilizantes	19
1.5.4.1 Fertilizantes sintéticos	19
1.5.4.2 Fertilizantes orgánicos	20
1.5.4.3 Fertilizantes mixtos	21
1.5.5 Productividad	21
1.5.5.1 Nutrición	22
1.5.5.1.1 Nutrientes mayores	22
1.5.5.1.2 Nutrientes menores	24
1.5.5.2 Interacción raíz-microorganismos	24
1.5.5.3 Sanidad	24
1.6 Esquemas de fertilización en <i>Agave</i>	25
1.6.1 Fertilización tradicional	26
1.6.1.1 Esquema químico	26
1.6.1.2 Esquema orgánico	26
1.6.1.3 Esquema biológico (bioinoculantes)	27

1.6.1.4 Esquema mixto	27
1.6.2 Fertilización foliar	27
1.7 Métodos de propagación	28
1.7.1 Asexual	29
1.7.1.1 Hijos de rizoma	29
1.7.1.2 Hijos basales o axiales	29
1.7.1.3 Hijos de quiote (apomixis)	29
1.7.2 Sexual	30
1.7.2.1 Propagación por semilla	30
JUSTIFICACIÓN	31
HIPÓTESIS	33
CAPÍTULO II	34
OBJETIVOS	34
2.1 Objetivo General	34
2.2 Objetivos Específicos	34
CAPÍTULO III	35
MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1 Material biológico	35
3.1.1 Cepa de estudio	35
3.1.2 Material vegetal de estudio	36
3.1.2.1 Criterios de selección	36
3.2 Recolección de las plántulas de maguey	36
3.3 Definición espacial y temporal	37
3.3.1 Clima del sitio de estudio	38
3.3.2 Tipo de suelo del sitio de estudio	38
3.3.3 Flora y fauna del sitio de estudio	38
3.4 Tipo y diseño de la investigación	39
3.4.1 Tratamientos y diseño experimental	39
3.4.2 Variables de respuesta	41
3.4.2.1 Altura de planta	41
3.4.2.2 Diámetro de roseta	41
3.4.2.3 Longitud de penca	41
3.4.2.4 Número de pencas verdes	42
3.4.2.5 Número de hijuelos por planta	42
3.4.3 Aplicación de los tratamientos	42
3.4.3.1 Aplicación del fertilizante químico	42
3.4.3.2 Aplicación del fertilizante orgánico	42
3.4.3.3 Aplicación del fertilizante biológico (bioinoculante)	42
3.5 Análisis estadístico	42
CAPÍTULO IV	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 Variables de respuesta	43
4.1.1 Variables de respuesta evaluadas a los 90 días	43
4.1.1.1 Altura de planta	43
4.1.1.2 Diámetro de roseta	44
4.1.1.3 Longitud de hoja	45
4.1.1.4 Número de pencas verdes	47

4.1.1.5 Número de hijuelos por planta	48
4.1.2 Variables de respuesta evaluadas a los 180 días	49
4.1.2.1 Altura de planta	49
4.1.2.2 Diámetro de roseta	51
4.1.2.3 Longitud de penca	52
4.1.2.4 Número de pencas verdes	53
4.1.2.5 Número de hijuelos por planta	54
4.1.3 Variables de respuesta evaluadas a los 272 días	55
4.1.3.1 Altura de planta	55
4.1.3.2 Diámetro de roseta	56
4.1.3.3 Longitud de penca	57
4.1.3.4 Número de pencas verdes	59
4.1.3.5 Número de hijuelos por planta	60
4.1.4 Variables de respuesta evaluadas a los 364 días	61
4.1.4.1 Altura de planta	61
4.1.4.2 Diámetro de roseta	62
4.1.4.3 Longitud de penca	63
4.1.4.4 Número de pencas verdes	63
4.1.4.5 Número de hijuelos por planta	64
CAPÍTULO V	66
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS	68
APENDICES	85
ÁPENDICE A	85
ÁPENDICE B	86
ÁPENDICE C	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especies de <i>Agave</i> presentes en el estado de Hidalgo, México.....	6
Tabla 2. Importancia económica del maguey pulquero.....	13
Tabla 3. Procedencia de las plántulas de <i>A. salmiana</i> utilizadas.....	36
Tabla 4. Tratamientos para evaluar los diferentes esquemas de fertilización.....	39
Tabla 5. Variables registradas en los magueyes pulqueros.....	41
Tabla 6. Variables de respuesta altura de planta registrada a los 90 días.....	43
Tabla 7. Variables de respuesta diámetro de planta registrada a los 90 días.....	44
Tabla 8. Variables de respuesta longitud de penca registrada a los 90 días.....	46
Tabla 9. Variables de respuesta número de pencas registrada a los 90 días.....	47
Tabla 10. Variables de respuesta número de hijuelos registrada a los 90 días.....	48
Tabla 11. Variables de respuesta altura de planta registrada a los 180 días.....	50
Tabla 12. Variables de respuesta diámetro de planta registrada a los 180 días.....	51
Tabla 13. Variables de respuesta longitud de penca registrada a los 180 días.....	52
Tabla 14. Variables de respuesta número de pencas registrada a los 180 días.....	54
Tabla 15. Variables de respuesta número de hijuelos registrada a los 180 días.....	55
Tabla 16. Variables de respuesta altura de planta registrada a los 272 días.....	56
Tabla 17. Variables de respuesta diámetro de planta registrada a los 272 días.....	57
Tabla 18. Variables de respuesta longitud de penca registrada a los 272 días.....	58
Tabla 19. Variables de respuesta número de pencas registrada a los 272 días.....	59
Tabla 20. Variables de respuesta número de hijuelos registrada a los 364 días.....	60
Tabla 21. Variables de respuesta altura registrada a los 364 días.....	61
Tabla 22. Variables de respuesta diámetro de planta registrada a los 364 días.....	62
Tabla 23. Variables de respuesta longitud de penca registrada a los 364 días.....	63
Tabla 24. Variables de respuesta número de pencas registrada a los 364 días.....	64
Tabla 25. Variables de respuesta número de hijuelos registrada a los 364 días.....	65
Tabla 26. Porcentajes de crecimiento registrados a los 364 días.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escapo floral paniculado de una planta de <i>Agave salmiana</i> (A). Escapo floral espigado de una planta de <i>Agave lechuguilla</i> (B).	4
Figura 2. Proceso de obtención y elaboración del pulque. Preparación de la planta en media luna (A); marcaje del maguey para llevar un seguimiento de su aprovechamiento (B); líquido acumulado en la cavidad del maguey (C); extracción de aguamiel con el acocote (D); raspado del centro del maguey (E); raspa del centro del maguey (F); pulque en proceso de maduración (G), y pulque listo para su consumo (H).	12
Figura 3. Usos ornamentales de las plantas de <i>Agave salmiana</i> . Planta de <i>A. salmiana</i> ssp. <i>ferox</i> cultivada en maceta (A). Planta de <i>A. salmiana</i> ssp. <i>salmiana</i> cultivada directamente en el suelo, en las instalaciones de la Escuela Superior de Apan, de la UAEH (B).....	14
Figura 4. Aguamiel bebida obtenida a partir de la planta de maguey pulquero <i>Agave salmiana</i>	16
Figura 5. Asociación de cultivos en el sistema ancestral conocido como metepantle. Donde se aprecia la asociación entre <i>A. tequilana</i> weber var. azul, con plantas de maíz.....	18
Figura 6. Morfología simplificada de una roseta de agave paniculado.....	28
Figura 7. Diagrama general de la metodología del proyecto de investigación.....	35
Figura 8. Ubicación de la parcela experimental dentro de las instalaciones de la Escuela Superior de Apan-UAEH.....	37

NOMENCLATURA Y ABREVIATURAS

SNICS: Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

SENASICA: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SAGARPA: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

FAO: Food and Agriculture Organization (En español; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

AIIF: Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes.

INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

DGSV-CNRF: Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria.

FQ: Fertilizante químico.	m: Metros.	Ca: Calcio.
FO: Fertilizante orgánico.	μg: Microgramos.	B: Boro.
B: Bioinoculante.	g: Gramos.	Cl: Cloro.
UFC: Unidades Formadoras de Colonias.	kg: Kilogramos.	Fe: Hierro.
PGPR: Rizobacteria Promotora del Crecimiento Vegetal.	ha: Hectáreas.	Mo: Molibdeno.
	msnm: Metros sobre nivel del mar.	Mn: Manganeseo.
Var: Variedad.	N: Nitrógeno.	Ni: Níquel.
sp: Especie desconocida.	P: Fósforo.	Zn: Zinc.
	K: Potasio.	Si: Silicio.
ssp: Especies desconocidas.	O: Oxígeno.	Al: Aluminio.
	H: Hidrógeno.	Na: Sodio.
APG III: Angiosperm Phylogeny Group.	C: Carbono.	Cu: Cobre.
mm: Milímetros.	Mg: Magnesio.	H ₂ O: Agua.
cm: Centímetros.	S: Azufre.	CO ₂ : Dióxido de carbono.

P_2O_5 : Óxido de fósforo (III).

K_2O : Óxido de potasio.

MgO : Óxido de magnesio.

AMP: Adenosín monofosfato.

ADP: Adenosín difosfato.

ATP: Adenosín trifosfato.

ADN: Ácido desoxirribonucleico.

ARN: Ácido ribonucleico.

NO_3^- : Nitrato.

NH_4^+ : Amonio.

$H_2O_4P^{-1}$: Fosfato de dihidrógeno.

HPO_4^{2-} : Fosfato de hidrógeno.

Mg^{2+} : Magnesio.

SO_4^- : Sulfato.

Ca^{2+} : Calcio.

El México, y en muchas otras partes del mundo, a las plantas del género *Agave* se les conoce como magueyes. Este grupo de plantas son utilizadas desde la época precolombina como materia prima para elaborar cientos de productos (Castillo *et al.*, 2007). Los magueyes pertenecen a la familia Asparagaceae, y constituyen el segundo grupo de plantas de las cuales se obtienen productos no maderables de interés económico en México, para la elaboración de productos como el tequila, mezcal, aguamiel, pulque, fibras y probióticos. El género *Agave* tiene aproximadamente 310 especies reportadas, con alrededor de 273 ubicadas en México, de las cuales el 55% son endémicas (Castillo *et al.*, 2007; Robles & Cruz, 2023). Razón por la cual, México es considerado el centro de origen y diversificación de especies de este género, ubicadas principalmente en zonas áridas (SNICS, 2017). Constituyendo; por tanto, un grupo de plantas de gran relevancia económica por sus propiedades gastronómicas (García-Mendoza *et al.*, 2017; Onofre-Sánchez *et al.*, 2022), medicinales (Rodríguez-Juárez *et al.*, 2021; Padilla-Camberos *et al.*, 2023), aplicaciones industriales (Nava-Cruz *et al.*, 2015; González & Ballesteros, 2015; Carmona *et al.*, 2017) y ornamentales (García-Suárez & Serrano, 2021), entre otras. De todas las especies, las más utilizadas son *Agave tequilana* (Ceja-Ramírez *et al.*, 2017), *A. americana* (CONABIO, 2021), *A. angustifolia* (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019; Domínguez-Arista, 2020), *A. salmiana* (SIAP, 2018a), *A. victoria-reginae* (García-Suárez & Serrano, 2021) y *A. lechuguilla* (Carmona *et al.*, 2017). De las cuales, *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dick ssp. *salmiana* (Gentry) Hochstätter (2015), tiene una amplia distribución en las zonas áridas y semiáridas de la región de los Llanos de Apan, que incluye los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Estado de México (Sánchez *et al.*, 2020, González & González, 2023). Plantas cuyos recursos son aprovechados por los habitantes de esta región, ya sea directamente de poblaciones silvestres, y/o de plantaciones comerciales (Mayorga-Hernández *et al.*, 2004; Vega *et al.*, 2023).

Sin embargo, debido al lento crecimiento que presentan las plantas del género, hasta alcanzar su madurez fisiológica y poder ser utilizadas (García-Mendoza, 2007; Guillot *et al.*, 2009), aunado a su baja tasa de reproducción sexual y asexual (Domínguez *et al.*, 2008), la presencia de plagas (Cuervo-Parra *et al.*, 2019; SENASICA, 2020) y enfermedades fúngicas, como la marchitez del agave (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2023), la mancha gris (Coria-Contreras *et al.*, 2019; Mancera, 2021), la mancha foliar (Ceballos-Álvarez *et al.*, 2022;

Pérez-España *et al.*, 2022; Romero-Cortes *et al.*, 2022; Mora-Aguilera *et al.*, 2023) y retrasos en el crecimiento debido a estos factores (Almazán-Morales *et al.*, 2022), las pérdidas económicas son significativas. Aunado a esto, en México y en el estado de Hidalgo, el cultivo del maguey se realiza bajo condiciones de temporal, en suelos con una reducida disponibilidad de los principales macronutrientes (SIAP, 2018a). Por lo tanto, el evaluar el efecto de diferentes esquemas de fertilización en plantas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, permitirá identificar como influye cada tratamiento, sobre algunas variables de crecimiento durante el ciclo de cultivo de las plantas estudiadas.

Los magueyes constituyen un grupo de plantas monocotiledóneas, generalmente suculentas, que pertenecen a la antigua familia Agavaceae, de la cual estas plantas obtenían su nombre (González-Elizondo *et al.*, 2009). En la actualidad se encuentran ubicadas dentro de la familia Asparagaceae, en base al sistema de clasificación APG III (APG II, 2003; Chase *et al.*, 2016). Su hábitat de origen comprende las regiones áridas, que se encuentran distribuidas desde el norte de México hasta el sur de los Estados Unidos de Norteamérica (Robles & Cruz, 2023). Se piensa que este grupo de plantas, comenzó a diversificarse hace aproximadamente unos 12 millones de años, razón por la cual han generado una gran diversidad de especies, llegando a superar las 300 (Sánchez, 2019). Siendo México el lugar que concentra el 76% de las especies clasificadas del género (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021). El género *Agave* a su vez, se subdivide en los subgéneros *Agave* y *Littaea* (García-Mendoza, 2004; Galván & Zamudio, 2013). La diferencia entre estos dos subgéneros, radica en base a la morfología de sus inflorescencias (Gentry, 1982). Donde el subgénero *Littaea* tiene su escapo floral espigado, con flores que van unidas a la inflorescencia; por el contrario, en el subgénero *Agave* se observa una inflorescencia paniculada, con ramas laterales de donde nacen las flores (Campos, 2022). El subgénero *Littaea* cuenta con un total de 8 grupos, mientras que el subgénero *Agave* incluye doce (Arzaba, 2019). En la **Figura 1**, se muestran fotografías de referencia de los dos tipos de inflorescencia presente en cada subgénero.

Los agaves son plantas importantes para el ser humano, existen registros que datan de hace 10,000 años aproximadamente, donde algunos magueyes eran aprovechados por las comunidades mesoamericanas (Gentry, 1982; González-Elizondo *et al.*, 2009). Por ejemplo, en las áreas culturales de Tula, Tulancingo y Teotihuacán existe evidencia de que las plantas de maguey eran aprovechadas para obtener pulque desde hace más de 3,500 años (Parsons & Parsons, 1990). Al parecer, la relación entre los recolectores primitivos y los magueyes de la altiplanicie dio inicio con el consumo del escapo floral, o al descubrirse, después de un incendio natural, que las pencas y tallos de maguey cocidos podían consumirse (Aguirre *et al.*, 2001). Con el continuo aprovechamiento de los magueyes en Mesoamérica, por parte de las personas cercanas a los campamentos de los recolectores, probablemente ocurrieron

nuevas combinaciones genéticas, con mejores rendimientos y calidad de fibra, alimento, bebida u otros productos especiales (Gentry, 1982; Parsons & Parsons, 1990; Colunga *et al.*, 1996).



Figura 1. Escapo floral paniculado de una planta de *Agave salmiana* (A). Escapo floral espigado de una planta de *Agave lechuguilla* (B). Fotografías tomadas en el municipio de Mineral de la Reforma Hidalgo.

1.1 Origen y distribución de los agaves

En los registros históricos se menciona que las poblaciones humanas mesoamericanas ya tenían cierta relación con las plantas de maguey desde aproximadamente 10,000 años (Gentry, 1982; Colunga *et al.*, 2007). Se tiene registros de que el género *Agave* comenzó a diversificarse en las regiones áridas del norte de México y el sur de los Estados Unidos de Norteamérica, hace aproximadamente 12 millones de años (Sánchez, 2019). El proceso de

domesticación de estas plantas generó tres morfotipos de plantas diferenciables entre sí dentro del género *Agave*: silvestres o cimarrones, semi cultivados y cultivados (Parra & Tortolero, 2015). Mediante la recolección de ejemplares silvestres los humanos fueron capaces de ir seleccionando los caracteres más favorables de los ejemplares mantenidos en cultivo, hasta el punto en el cual los caracteres morfológicos, fisiológicos y ecológicos de los magueyes cultivados fueron diferentes a los de los ejemplares silvestres, proceso que se llama domesticación (Colunga *et al.*, 1996). En la actualidad, se conocen más de 200 especies de *Agave*, todas ellas originarias del continente americano; de las cuales, un poco más de la mitad se ubican solamente en México (CONABIO, 2021). De estas especies, más de 36 pertenecen a la categoría infraespecífica, constituyendo un total de 186 taxones (Alfonso, 2023).

En México, el género *Agave* presenta una distribución amplia, creciendo en más de 75% del territorio (Robles & Cruz, 2023). Sin embargo, su distribución no es continua, existiendo algunas regiones que poseen una mayor riqueza de especies que otras (García-Mendoza, 2007). Las zonas áridas y semiáridas del centro y norte de México, es donde se presenta la mayor diversidad de especies (Mandujano *et al.*, 2018). Desde el estado de Hidalgo hasta Coahuila, y en el centro-sur desde Puebla hacia el noroeste de Oaxaca (Gentry, 1982). Por otro lado, su número disminuye drásticamente hacia zonas del país con una elevada precipitación, siendo notoria su ausencia en estados como Tabasco, Campeche y Quintana Roo (Alfonso, 2023). Por su parte, en el estado de Hidalgo, se reporta la presencia de 4,266 especies de plantas vasculares, distribuidas en 1,325 géneros y 221 familias, de las cuales dentro de la familia Asparagaceae se reportan un total de 21 especies para el género *Agave*, de las cuales 14 son endémicas para México (Villaseñor *et al.*, 2022). En la **Tabla 1**, se muestran las especies del género *Agave* que han sido reportadas para el estado de Hidalgo. De estas especies, se destaca la especie *Agave salmiana*, conocida coloquialmente como maguey pulquero, el cual presenta una amplia distribución en México. En el año 2016, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), menciona que la producción de pulque obtenido de plantas de maguey pulquero, en el estado de Hidalgo ascendió a 249.0 millones de litros, lo que correspondió al 78.1% del total nacional (SIAP, 2017).

Tabla 1. Especies de *Agave* presentes en el estado de Hidalgo, México.

Especie	Nombre común	Categoría *
<i>Agave americana</i> L.	Maguey pita	Pm
<i>Agave angustifolia</i> Haw.	Espadín	Pm
<i>Agave applanata</i> K. Koch ex Jacobi	Maguey de Castilla	Pm
<i>Agave atrovirens</i> Karw. Ex Salm-Dyck	Maguey Cimarrón fino	Pm
<i>Agave brachystachys</i> Cav.	Maguey shishi	Pm
<i>Agave celsii</i> Hook.	Maguey de peña	Pm
<i>Agave difformis</i> Berger	Xixi	Pm
<i>Agave filifera</i> Salm-Dyck	Lechuguilla Mansa	Pm
<i>Agave funkiana</i> K. Koch et C.D. Bouché	Ixtle de Jaumave	Pm
<i>Agave garciae-mendozae</i> Galván et L. Hern.	Maguey	A
<i>Agave kerchovei</i> Lem.	Maguey rabo de león	A
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Tzuta, Ixtle	Pm
<i>Agave macroculmis</i> Tod.	Maguey chino	NE
<i>Agave mapisaga</i> Trel.	Maguey manso	Pm
<i>Agave peacockii</i> Croucher	Maguey fibroso	Pr
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	Maguey verde	Pm
<i>Agave sisalana</i> Perrine	Sisal, Henequén	Pm
<i>Agave striata</i> Zucc.	Espadillo, Guapilla	Pm
<i>Agave stricta</i> Salm-Dyck	Maguey flor de ratón	Pm
<i>Agave x glomeruliflora</i> (Engelm.) A. Berger	Chisos Mountain century plant	EP
<i>Agave xylonacantha</i> Salm-Dyck	Maguey diente de tiburón	Pm

* No evaluada (NE), Probablemente extinta en el medio silvestre (EP), Amenazada (A), Sujeta a protección especial (Pr), y Preocupación menor (Pm). Tomado de (SEMARNAT, 2010; RLTS, 2018; Villaseñor *et al.*, 2022).

De todas las especies del género *Agave* que se encuentran presentes en el estado de Hidalgo, cuatro de ellas (*A. americana*, *A. lechuguilla*, *A. mapisaga* y *A. salmiana*) son ampliamente utilizadas para diferentes propósitos (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021). Por ejemplo, de las plantas de *A. lechuguilla* se obtiene fibras de sus hojas, conocidas como

“ixtle”, para la fabricación de artículos de limpieza o para la elaboración de bolsas (Martínez *et al.*, 2011). Por el contrario, las otras tres especies se utilizan principalmente para fines culinarios; como flores (gualumbos) para preparar diferentes guisados, las hojas (pencas) y la cutícula (mixiote) se utilizan como utensilios e ingredientes para la cocción de alimentos. Por último, de la savia (aguamiel) extraída del meyolote de las plantas adultas, se preparan bebidas, ya sean frescas como el aguamiel o fermentadas como el pulque (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021).

1.2 Descripción botánica del género *Agave*

Las especies de este género son muy parecidas entre sí, respecto a su forma y tipo de crecimiento. Son plantas hermafroditas y monocotiledóneas que forman una roseta basal con forma de piña, de la cual salen sus hojas gruesas, carnosas, rectas o dobladas (SIAP, 2017). En algunos casos llegando a alcanzar un gran tamaño, situándose en forma espiral alrededor de un tallo corto, en relación con su longitud (García-Mendoza, 2007). Esta característica hace que parezca que nacen directamente del suelo. Además, presentan espinas leñosas en sus hojas, las cuales son aplanadas en los márgenes y en su punta presentan una espina cónica, solitaria rematando el ápice (SIAP, 2017). Solo unas pocas especies como *Agave attenuata* (García-Mendoza, 2012), *Agave desmettiana* (Dzityá, 2024), o *Agave weberi* (Franck, 2012) carecen de espinas, o tienen muy pocas.

Son plantas monocárpicas, las cuales al final de su ciclo de vida desarrollan un escapo floral, de gran altura del cual salen las flores, las cuales, al ser polinizadas, generan frutos que dan lugar a las semillas y en ese mismo año la planta muere (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021). Se desarrollan principalmente en entornos de tipo matorral crasicaule (tipo de vegetación dominada fisonómicamente por cactáceas grandes de tallos aplanados o cilíndricos), principalmente en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país, sobre suelos someros de laderas volcánicas y también sobre suelos aluviales cercanos (Josse, 2024). Los *Agaves* han desarrollado adaptaciones morfológicas, tales como raíces someras y ramificadas, cutícula gruesa, tejidos suculentos, y un bajo número de estomas (Zúñiga, 2013; Pérez-España *et al.*, 2022). Durante su ciclo de vida, la mayoría de las especies producen muchos hijuelos que crecen alrededor de la planta madre, pudiendo llegar a formar colonias grandes (Nobel, 1998).

1.3 Clasificación taxonómica de *Agave salmiana*

Dentro del género *Agave*, desde el punto de vista económico la Sección *Salmianae* es una de las más importantes. Esta sección incluye tanto especies silvestres como cultivadas, utilizadas principalmente para producir pulque y mezcal (González, 2005). Más tarde, la Sección *Salmianae* fue colocada en el subgénero *Agave* (Gentry, 1982). Esta sección incluye plantas que presentan hojas grandes con rosetas de entre 1.5 a 2.5 m de altura, con una longitud de entre 1.2 a 2.5 m y entre 12 a 40 cm de ancho (Villarreal, 1996). Son plantas fibrosas y suculentas, de hojas con dientes sobre el margen y una espina terminal aguda, el eje de la inflorescencia presenta brácteas carnosas con flores en panículas, de color amarillo-verdosas, con tonalidades rojizas, de entre 70 a 110 mm de longitud, con perianto infundibuliforme de tubo corto y 6 segmentos (tépalos) casi iguales (Álvarez, 1986; Álvarez & Köhler, 1987; Álvarez, 1988; Villarreal, 1996). En 1982 Gentry, reconoce dentro de la sección a las siguientes especies: *Agave macroculmis*, *A. mapisaga* (con dos variedades: *mapisaga* y *lisa*), *A. tecta* y *A. salmiana* (con una subespecie: *crassispina* y tres variedades: *salmiana*, *angustifolia* y *ferox*), especie que presenta la distribución más amplia en las zonas montañosas del centro y noreste de México (Gentry, 1982). Más tarde, se realizó una reevaluación de la clasificación propuesta por Gentry, para la sección *Salmianae*, quedando dividido *A. salmiana* en tres subespecies: *A. salmiana* ssp. *crassispina*; *A. salmiana* ssp. *salmiana*; y *A. salmiana* ssp. *ferox*., quedando excluida de esta clasificación, *A. salmiana* var. *angustifolia* (González, 2005). En el **Apéndice A**, se muestran las características morfológicas utilizadas normalmente para poder identificar correctamente a ejemplares de maguey pulquero que entran dentro de las tres subespecies de *A. salmiana* (Gentry, 1982).

1.3.1 *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck

Son plantas suculentas, perennes, coloquialmente conocidas con el nombre de maguey manso, maguey verde, maguey palmilla, o maguey pulquero, presentan tallos cortos y crasos, que no suelen desarrollar bulbillos. El número de pencas que desarrolla es de entre 30-70 por individuo, generalmente de color verde opaco, verde claro, verde amarillento o verde glauco, la mayoría de gran tamaño, lanceoladas, de ampliamente lanceoladas u oblanceoladas a carnosas, muy crasas hacia su base, con los márgenes variadamente armados con espinas. Erectas a recurvadas, cóncavas hacia su parte media, con el ápice acuminado, a veces con una curvatura sigmoidea (Cruz-Vasconcelos, 2019). Las mamilas son de

inconspicuas a prominentes hacia la parte media, dentadas, con dientes de 0.5-2.0 cm de largo, por 1.0-2.0 cm de ancho, en algunas ocasiones las bases son tan amplias que forman un margen córneo continuo, de recto a más o menos recurvado. La espina terminal mide entre 4.0-8.0 cm de largo, por 0.5-1.5 cm de ancho, robusta, angosta a ampliamente acanalada en el haz, en ocasiones decurrente de 12.0-17.0 cm, a veces aquillada en el envés (Arzaba, 2019). Sus inflorescencias suelen ser muy grandes, de contorno piramidal, de 3 a 8 m de alto, con pedúnculos con brácteas, carnosas, adpresas e imbricadas; panículas piramidales a ovoides en su contorno, con ramas amplias, con 6-25 umbelas de flores grandes proterantadas (Cortés & Basurto, 2006). Sus flores miden entre 5.0 a 11.0 cm de largo, infundibuliformes, amarillentas. Sus tépalos miden de 2.0 a 3.0 cm de largo, por 5.0-8.0 mm de ancho, son oblongos, dimórficos, craso-carnosos, con duplicado y/o involuto, angostos hacia el ápice, de margen involuto (Arrazola, 2019). Sus estambres tienen filamentos de 5.0-8.0 cm de largo, se encuentran insertos en o sobre la mitad del tubo, comúnmente en dos niveles, tienen antenas de 2.0-3.5 cm de largo, por 1.5-2.0 mm de ancho, amarillentas, sus ovarios de 3.0-6.0 cm de largo, por 4.0-10.0 mm de ancho, cilíndricos, estilo de 4.0-10.0 cm con estigmas clavados. Los pistilos están exsertos de los estambres en la post-antesis (González, 2005). Sus cápsulas miden 6.0-7.0 cm de largo, por 2.0-3.0 cm de ancho, son oblongas, rostradas, leñosas, con semillas de 7.0-9.0 mm de largo, por 5.0-7.0 mm de ancho, de color negro, y ala muy angosta (García-Mendoza, 2011).

1.3.2 *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *salmiana* Gentry

Nombre común: A esta planta de maguey se le conoce con los siguientes nombres comunes, chalqueño, manso, manso colorado, mutha, oreja de liebre, palmilla, penca ancha, y poblano (Vargas *et al.*, 2016; Vega *et al.*, 2023).

Son plantas de tamaño mediano a grande, con tallos cortos y gruesos, con rosetas de 1.5 a 2.0 m de alto y el doble de diámetro. Sus pencas son de 100-200 cm de largo, por 20 a 35 cm de ancho, lanceoladas, acuminadas, gruesas y carnosas, de color verde a glauco grisácea, convexas en su base y cóncavas hacia su parte media, acanaladas hacia la parte superior, tienen un ápice sigmoidal curvado, margen sinuado a veces mamilado (Cruz-Vasconcelos, 2019). Tienen dientes más grandes en la parte media, de 5 a 10 mm de largo, con una separación de 3 a 5 cm, de color marrón a café grisáceo, con cúspides rectas a

flexionadas o curvadas. Tienen una espina terminal larga, robusta, o subular (que tiene forma de una subula o una aguja) de 5 a 10 cm de largo, de color café oscuro, acanaladas en la parte superior, surcada a más de la mitad de su longitud, decurrentes, acanalada en ocasiones (Arzaba, 2019). Su inflorescencia es robusta, en panícula amplia, el pedúnculo estrechamente imbricado de 30-45 cm de largo por 8-20 cm de ancho en su base, con brácteas carnosas y grandes, de 7 a 8 m de altura, con 15-20 umbelas grandes en la mitad superior del eje. Sus flores miden de 8.0-11.0 cm de largo, carnosas, amarillas a rojizas. Tienen ovarios de 5.0 a 6.0 cm de largo, grueso, cilíndrico, con cuello no restringido; tubo infundibuliforme, de 21 a 24 mm de profundidad y 20 mm de ancho, de pared gruesa entre los surcos profundos (Cruz-Vasconcelos, 2019). Sus tépalos son desiguales, lanceolados a oblongos, con margen involuto, ápice curvado hacia adentro en anthesis, los extremos de 21-25 x 6 mm, con margen involuto delgado, los internos más cortos de 2-3 mm con quilla ancha. Poseen filamentos de 55-70 mm de largo, insertados por encima del medio del tubo, los de los tépalos externos a menudo miden de 1-3 mm de largo, por 0.4-0.8 cm de ancho, tubo del perigonio 0.9-2 cm de largo, 1-2 cm de diámetro, infundibuliforme (Arrazola, 2019). Tiene anteras de 30 a 35 mm de largo, amarillas, excéntricas; pistilos que alcanzan los estambres en la post-anthesis. Su cápsula mide de 5.5-7 cm de largo, por 2-3 cm de ancho, estipitada, picuda, leñosa, de color marrón, pedicelos de 1.5-2 cm de largo (Cruz-Vasconcelos, 2019; Arzaba, 2019). Sus semillas miden de 8-9 mm de largo, por 6 a 7 mm de ancho, de color negro, lacrimiformes, con una muesca hilar superficial apical (Castillo *et al.*, 2007).

1.3.3 *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry

Nombre común: A esta planta de maguey se le conoce con los siguientes nombres comunes, bronco verde, cenizo, cimarrón, polludo, polludo grande, tepezorra, y xamini (Cruz-Vasconcelos, 2019; Arzaba, 2019; Vega *et al.*, 2023).

Son plantas de rosetas comúnmente laxas, de 80-140 cm de altura, por 100-150 cm de ancho. Sus pencas son muy lanceoladas, de 60-150 cm de largo, por 16-25 cm de ancho, rígidas, engrosadas y convexas hacia la base, más delgadas y comúnmente planas hacia el ápice, con el margen ondulado o crenado, denticulado. Sus dientes son de triangulares a curvados, firmes, de 0.7-12 cm de largo, por 1-2 cm de ancho, con la base dilatada, formando mamilas en ocasiones, de color marrón oscuro a blanquecino, con una separación de 1-3 cm

(Arzaba, 2019). Su espina terminal es aguda, muy rígida, fuertemente subulada, de 3.9-9 cm de largo, ranulada, decurrente largo, de color café oscuro. Su inflorescencia cuenta con panículas muy laxas, con 6-25 umbelas, 20-30 cm de largo, de contorno piramidal, de carnosas a coriáceas, rígidas o flexibles, de 3 a 9 m de alto, fértil en el tercio o cuarto superior (Cruz-Vasconcelos, 2019). Sus flores son regularmente de color amarillo, verde sobre el ovario, de 7-9 cm de largo, densamente succulentas. Su ovario es de 3.8-5 cm de largo, cilíndrico, de cuello no estrechado, tubo del perigonio de 1.1 a 1.4 cm de largo, por 1.7 a 2 cm de ancho, con paredes gruesas, finamente acanaladas (Castillo *et al.*, 2007). Sus tépalos son desiguales, de 1.6 a 3 cm de largo, por 0.4-0.8 cm de ancho, tubo del perigonio de 0.9-1.2 cm de largo, y de 1-1.2 cm de diámetro. Los filamentos de los estambres son de 3.6-7 cm de largo, presentes en el tercio proximal del borde del tubo del perigonio. Sus anteras son de 3 a 3.5 cm de largo y color amarillo. Sus cápsulas son de 5-7 cm de largo, por 1.2-3 cm de ancho, pedicelos de 1.2-2 cm de largo (Arzaba, 2019). Sus semillas son de lunadas a lacrimiformes, de 7-8 mm de largo, por 5-6 mm de ancho, de color negro brillante (Castillo *et al.*, 2006).

1.3.4 *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *ferox* (Koch) Gentry

Nombre común: A esta planta de maguey se le conoce con los siguientes nombres comunes, cenizo, chino, y cimarrón (Cruz-Vasconcelos, 2019; Vega *et al.*, 2023).

Plantas caulescentes, con rosetas grandes, muy compactas, de 1-1.5 m de altura, y casi el doble de ancho. Pencas 20-30 por individuo, de 70-90 x 23-30 cm, oblongo-espatuladas, anchamente acuminadas en su ápice, más o menos contraídas en su base, de color verde oscuro, cortamente cóncavas hacia arriba, largamente convexas y aquilladas abajo (Guillot *et al.*, 2009). Sus dientes son de base amplia, de color castaño a pardo, de 5.0-7.5 cm de largo, por 0.5-1.5 cm de ancho, distantes entre sí, de 2 a 4 cm en la parte media de la penca (Cruz-Vasconcelos, 2019). Su espina terminal es de 4-9 cm de longitud, rectas a flexuosas, surcadas hacia la mitad de su zona superior, con margen decurrente, de color castaño a marrón oscuro, ligeramente incurvadas, más largas y endurecidas en su base. Su inflorescencia es robusta, de 8-10 m de altura, con umbelas densas y numerosas, largamente triangulares, semiamplexicaules, acuminadas, adpresas o extendidas, las inferiores están dentadas en su margen (Guillot *et al.*, 2009). Sus flores son delgadas, de 7.0-8.5 cm de largo.

Su ovario es atenuado en su ápice, con estilo de color amarillo, igualando a los estambres. Sus tépalos cuentan con perianto amarillo, con tubo cónico-campanulado, de 1.1-1.2 cm de longitud, de segmentos linear-lanceolados, con los extremos planos, en su interior largamente aquillados. Sus filamentos son muy exertos, de color amarillo. Sus anteras son de 3.0-3.5 cm, de color amarillo. Su cápsula es leñosa, de 5.8-7.0 cm de largo, ovoides, de atenuadas a estipitadas, largamente rostrada en el ápice, con el pico largo, oblongo subclaviforme, obtusamente trigona, de color marrón, café grisáceo o café oscuro (Guillot *et al.*, 2009). Sus semillas son de 7 mm de largo, por 5 mm de ancho, de color negro brillante, con un margen angosto alado (Cruz-Vasconcelos, 2019).

1.4 Usos de las plantas de *Agave salmiana*

Los magueyes, son recursos no maderables de México (Pérez-España *et al.*, 2022) cuyos usos abarcan diversas áreas. Siendo aprovechados con fines diversos como el ornato, la construcción, alimentación, la medicina y agricultura (SIAP, 2017). De todas las especies, reportadas para la república mexicana, debido a su importancia económica se destacan el *Agave tequilana* Weber var. azul, del cual se obtiene el tequila y el *A. salmiana*, mejor conocido como maguey pulquero del cual se obtienen diversos productos (Montañes-Soto *et al.*, 2011; SIAP, 2018a). Siendo empleadas con fines ornamentales, domésticos, gastronómicos, medicinales, e incluso para delimitar los límites de las parcelas, comúnmente conocido como metepantle (Robles & Cruz, 2023). En este sentido, de las plantas de *A. salmiana* se obtiene el aguamiel, a partir del cual se elabora el pulque (**Figura 2**).



Figura 2. Proceso de obtención y elaboración del pulque. Preparación de la planta en media

luna (A); marcaje del maguey para llevar un seguimiento de su aprovechamiento (B); líquido acumulado en la cavidad del maguey (C); extracción de aguamiel con el acocote (D); raspado del centro del maguey (E); raspa del centro del maguey (F); pulque en proceso de maduración (G), y pulque listo para su consumo (H). (Modificado de Pérez-España *et al.*, 2023).

Los magueyes pulqueros en México, cultivados o silvestres, tienen relevancia económica para la industria, debido a que de ellos se obtiene productos y subproductos que benefician a las comunidades humanas vinculadas a ellos (Robles & Cruz, 2023). En la **Tabla 2**, se muestran los principales usos que se le dan a los magueyes pulqueros.

Tabla 2. Importancia económica del maguey pulquero.

Usos	Referencia
Jarabe de maguey, fibras, e insectos asociados.	Herrera, (2003)
Pencas, y venta de hijuelos (Vástagos vegetativos).	Aguilar <i>et al.</i> , (2014)
Medicinal, combustible, cobijo, ornato, abono, material de construcción de viviendas, elaboración de implementos agrícolas.	García-Mendoza, (2007)
Forraje como fuente de carbohidratos solubles.	Gentry, (1982); Pinos-Rodríguez <i>et al.</i> , (2008)
Sustrato para la producción de hongos comestibles.	Heredia-Solis <i>et al.</i> , (2014)

1.4.1 Ornato

Con todo y los beneficios que se pueden obtener de los magueyes industrialmente, existe otro sector de la población que está más interesado en apreciar la belleza de estas plantas, utilizándolas para embellecer los hogares, dándoles entonces a los magueyes pulqueros un fin ornamental (Robles & Cruz, 2023). En este sentido, estas plantas no requieren muchos cuidados y pueden desarrollarse bien tanto en maceta (**Figura 3A**), como en el suelo directo (**Figura 3B**).



Figura 3. Usos ornamentales de las plantas de *Agave salmiana*. Planta de *A. salmiana* ssp. *ferox* cultivada en maceta (A). Planta de *A. salmiana* ssp. *salmiana* cultivada directamente en el suelo, en las instalaciones de la Escuela Superior de Apan, de la UAEH (B).

1.4.2 Usos domésticos

Los usos de estas plantas no se limitan al embellecimiento de los paisajes, urbanos o silvestres, donde se encuentran. En este sentido, en muchos lugares del país sus semillas son utilizadas para la elaboración de sonajas, adornos corporales o juguetes para niños, así como, para la elaboración de fibras obtenidas del tallo floral (inflorescencia), y como adorno para los tocados de las mujeres (Esparza-Ibarra *et al.*, 2015). Por otro lado, con sus raíces se elabora cepillos para la limpieza, escobas y canastas; mientras que sus espinas se emplean como clavos, o agujas para la costura (Robles & Cruz, 2023).

1.4.2.1 Construcción

Utilizando una mezcla de hiello seco y las fibras de los magueyes se elaboran muros ecológicos (González & Ballesteros, 2015). También, se han creado bloques de adobe a partir de la utilización de residuos de maguey (Ruíz-Serrano, 2019); así mismo, con los quiotes secos y las pencas de esta planta, en algunos estados como Oaxaca se construyen los techos de las casas, y palapas que aportan sombra a los trabajadores del campo (REZPIRAL, 2020).

1.4.3 Usos en la alimentación

Dentro de los usos en la alimentación, en el estado de Hidalgo sus pencas se utilizan para la elaboración de la barbacoa de hoyo, y como recipientes para comida. Por su parte, con las fibras de esta planta se elaboran plásticos biodegradables, como recipientes para

comida o cubiertos desechables (López-Montúfar & Anzures-Jaimes, 2014; Axioma Group, 2017).

1.4.3.1 Comida y condimentos (cutícula, pencas, insectos asociados)

La cocina mexicana se caracteriza por su gran variedad de sabores y aromas, que sus platillos tienen, no escapando el *Agave* como parte de los ingredientes de los alimentos que consumen los mexicanos, ya sea como condimentos o mediante el consumo directo de alguna parte de la planta (Robles & Cruz, 2023). Por ejemplo, en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y el Estado de México, se consume un postre que se elabora con el quiote del *Agave*, así como las flores que son servidas rellenas de queso, capeadas o a la mexicana (SIAP, 2018b).

En esta categoría también se encuentra el jarabe de maguey, obtenido a partir de la cocción del aguamiel de los magueyes pulqueros. Se utiliza como edulcorante, sustituto del azúcar de mesa, debido a su índice glucémico menor que el del azúcar común. Por otro lado, de sus pencas y raíces, se obtienen insectos comestibles que evocan la alimentación prehispánica, los conocidos gusanos de maguey, chinicuiles, y escamoles (SEMARNAT, 2019; Onofre-Sánchez *et al.*, 2022).

1.4.3.2 Bebidas (aguamiel, y pulque)

Es bien sabido que, de muchas especies de magueyes, se elaboran bebidas, como el aguamiel y el pulque. Para la elaboración del pulque, las plantas de maguey pulquero, con énfasis en las especies *A. salmiana* y *A. mapisaga* (Vega *et al.*, 2023), son las que más se utilizan (Robles & Cruz, 2023). El consumo de esta bebida fermentada, se ha ido modificando con el paso de los años. En la época prehispánica, su consumo era únicamente para rituales donde el pulque era ofrecido a los dioses como ofrenda, siendo solo los ancianos a quienes se les permitía consumirlo (Erlewein *et al.*, 2013). Actualmente, su consumo se ha generalizado a todos los estados de México y parte de los Estados Unidos de Norteamérica, siendo el estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Michoacán y la Ciudad de México, los sitios de mayor producción y consumo (SAGARPA, 2015). Dentro de las propiedades de esta bebida, podemos mencionar la presencia de muchas especies de bacterias probióticas, con efectos positivos para la salud de sus consumidores. Los géneros de bacterias que podemos encontrar en el pulque son diferentes cepas de *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, y *Leuconostoc* (Rodríguez-Juárez *et al.*, 2021).

Otra bebida, que se extrae de los magueyes pulqueros, es el aguamiel (**Figura 4**), principalmente de los estados de Zacatecas, Tlaxcala, Michoacán, Puebla, e Hidalgo. Esta bebida, contiene todos los aminoácidos esenciales (excepto la metionina); además, de ser rica en vitaminas como la biotina y niacina (Escalante *et al.*, 2011). Otra receta prehispánica, es el atole de aguamiel, bebida que se obtiene a partir de la cocción a fuego lento de 2 litros de aguamiel y 250 g de masa de maíz (Más De México, 2016).



Figura 4. Aguamiel bebida obtenida a partir de la planta de maguey pulquero *Agave salmiana*. (Más De México, 2016).

1.4.4 Usos en la medicina

En tiempos prehispánicos, la gente del pueblo y guerreros usaban a la planta de maguey para tratar infecciones (Robles & Cruz, 2023). Con el paso del tiempo, las propiedades medicinales asociadas a los *Agaves* han sido estudiadas ampliamente (Escalona-Paneque *et al.*, 2019). Como comenta Ayón (2007), las aplicaciones en la medicina son extensas, siendo utilizados para: tratar problemas del aparato urinario, para curar heridas, gota, dolor gástrico, dolor de muelas, pitiriasis, problemas posparto, lactación, golpes, mordeduras de víbora, gonorrea, fiebre, bilis, tos, empacho, dolor de cabeza, pecas, barros, verrugas faciales, recaída, dolor de costado, enfermedades intestinales, tónico del sistema nervioso, diabetes, dispepsias ácidas, escorbuto, auxilio en la cicatrización, calvicie, hepatoprotector, artritis reumatoide, antiinflamatorio, antimicrobiano y para el tratamiento del cáncer.

Dentro de los productos derivados del maguey que tienen propiedades antisépticas, tanto externas como internas, se encuentra el aguamiel, que se utiliza para tratar desordenes

digestivos causados por bacterias, como *Helicobacter pylori* (Frisby-Morales *et al.*, 2018). Por otro lado, los extractos de la raíz, han sido utilizados para el tratamiento de la tuberculosis pulmonar, y las hojas secas, en infusión, para el tratamiento de enfermedades hepáticas. A su vez, la fibra remojada en agua, se emplea como tónico en casos de alopecia (Escalona-Paneque *et al.*, 2019).

Por otro lado, dentro de los compuestos que están presentes en los magueyes, los fructanos contribuyen a la disminución de los niveles de glucosa en sangre, pérdida de peso; además, junto con el laurato, inducen la disminución de los triglicéridos (Padilla-Camberos *et al.*, 2023). Los fructanos, también tienen efectos prebióticos, ya que favorecen el crecimiento de bacterias benéficas, regulan el tráfico intestinal, mejoran la absorción de minerales y tienen relación con la inmunidad (Pineda-Tapia *et al.*, 2022). Por su parte, las saponinas y flavonoides, han sido relacionadas con propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antimicrobianas y anticancerígenas (Álvarez-Chávez *et al.*, 2021). Otros fitoquímicos, como las sapogeninas, han sido usadas en la industria farmacéutica como precursores en la síntesis de hormonas esteroideas, así como en el desarrollo de medicamentos antiinflamatorios (Ingawale, 2020).

1.4.5 Usos en la agronomía

Desde hace mucho tiempo, los agricultores de los estados de México, Hidalgo, Puebla, y Tlaxcala practican el cultivo de milpas entre hileras de magueyes, sistema agronómico conocido con el nombre de metepantle (**Figura 5**; Viniegra-González, 2019). Este sistema tiene la particularidad de servir para la captura del agua de lluvia, ya que las líneas de magueyes forman bordos de terreno más elevado, lo cual favorece la permanencia del agua y evita la erosión del suelo (SAGARPA, 2016; García-Núñez *et al.*, 2020). En este sentido, la palabra metepantle proviene de los vocablos “metl” maguey o agave y “pantli” bandera o división, práctica ancestral aún empleada en nuestros días, que consiste en el cultivo del maguey en hileras perpendiculares a la pendiente del terreno (García-Núñez *et al.*, 2020).

Otro uso, que ampliamente se les da a los magueyes en varios estados de la república mexicana es, para marcar límites dentro de las parcelas, actividad que ayuda a disminuir el

efecto de las heladas, así como evitar la erosión de suelos en áreas que han sido deforestadas por efecto de la fuerza del viento y del agua (Robles & Cruz, 2023).



Figura 5. Asociación de cultivos en el sistema ancestral conocido como metepantle. Donde se aprecia la asociación entre *A. tequilana* Weber var. azul, con plantas de maíz. (Viniegra-González, 2019).

1.5 Variables agronómicas

Para la selección adecuada de las áreas más apropiadas para la producción de los magueyes, hay que tener en cuenta las siguientes variables: suelo y clima, fertilidad del suelo, pendiente del suelo, así como la temperatura, precipitación pluvial, parámetros agronómicos, así como el contenido de los minerales N, P, y K (Arreola *et al.*, 2020). En este sentido, el tiempo necesario para que los magueyes pulqueros puedan ser explotados es de entre 8 y 14 años, dependiendo de que las condiciones en las cuales se desarrolle la planta, sean las óptimas (Nieto *et al.*, 2016a). El clima seco estepario, una precipitación media anual de 325.8 a 502.9 mm, y una temperatura media anual de entre 16 y 18.7°C son factores que favorecen el desarrollo adecuado de los magueyes (Cruz-Vasconcelos, 2019).

1.5.1 Suelo y clima

Los agaves son plantas que se adaptan bien a regiones semiáridas y subhúmedas, con la mayor parte del año con días soleados. Tienen una baja tolerancia a las heladas con temperaturas por debajo de 0°C, principalmente por la noche (Ruiz-Corral, 2007). Se desarrollan mejor en suelos con una textura franco-arcillosa o franco-arenosa, incluso en terrenos con alto grado de pendiente (Arreola *et al.*, 2020).

1.5.2 Fertilidad del suelo

Para una producción adecuada de las plantas de maguey, se requiere proporcionar a las plantas una nutrición adecuada, donde la fertilización química juega un papel muy importante. Sumado a esto, el aporte de abonos orgánicos, proporciona elementos adicionales que mejoran la fertilidad de los suelos y aumentan las reservas orgánicas del mismo (Arreola *et al.*, 2020). Los principales factores determinantes de la fertilidad del suelo son: la materia orgánica (incluyendo la biomasa microbiana), la textura, la estructura, la profundidad, el contenido de nutrientes, la capacidad de almacenamiento (capacidad de adsorción), la reacción del suelo y la ausencia de los elementos tóxicos (Garavito, 1974).

1.5.3 Importancia de los fertilizantes

La eficiencia de los fertilizantes que están en el suelo, depende de la capacidad de la planta para movilizar los nutrientes desde sus raíces hasta sus tallos y hojas, así como de las condiciones del suelo (pH, disponibilidad de agua, temperatura y contenido de arcillas, entre otros) y de la forma de presentación (polvo, granulado, o líquido) del fertilizante (Murillo *et al.*, 2012).

Para que la absorción de los nutrientes sea el óptimo, es importante considerar la fecha correcta de su aplicación, para que las plantas tengan más días de aprovechamiento de la oferta radioactiva estacional (Diez *et al.*, 2014). Por tanto, la importancia de los fertilizantes y la respuesta de los rendimientos en un suelo particular puede ser fácilmente analizada agregando diferentes cantidades de fertilizantes en parcelas adyacentes, midiendo y comparando los rendimientos de los cultivos consecuentemente (AIIF, 2002).

1.5.4 Tipos de fertilizantes

1.5.4.1 Fertilizantes sintéticos

Las plantas de maguey, tienen raíces absorbentes, superficiales y temporales, cuya función principal es permitir la absorción de los nutrientes, siendo solo efectivas durante la época de lluvias, llegando a una profundidad máxima de 20 cm del suelo (ICL, 2024). En este sentido, se recomienda cultivar los magueyes en suelos que cumplan con las siguientes características: un suelo de textura ligera (con tendencia a lo arenoso, para que tenga buen drenaje y se evite que se inunden), suelo con buen drenaje con una buena estructura (20% de arcilla para tener una buena retención de humedad y una adecuada capacidad de intercambio

cati3nico), y una profundidad de 50 cm, ya que en suelos muy someros, las ra3ces no se desarrollan adecuadamente y por tanto su capacidad para absorber los nutrientes del suelo disminuye considerablemente (Rubio, 2019; AGQ, 2024).

Para la mayor3a de las especies de plantas incluidas en el g3nero *Agave*, los nutrientes clave, que intervienen activamente en el crecimiento de la planta de maguey y que ayudan a mejorar su resistencia contra plagas y enfermedades, son el calcio, nitr3geno, f3sforo, potasio, magnesio y boro (ICL, 2024). Al respecto, los fertilizantes qu3micos ofrecen a las plantas de maguey, una opci3n completa y balanceada que aporta todos los macronutrientes principales que requieren para desarrollarse de forma correcta. En este contexto, es necesario proporcionar a las plantas de maguey un fertilizante balanceado que aporte todos los elementos qu3micos esenciales (S3nchez-Mendoza & Bautista-Cruz, 2022). Pues algunos de ellos son requeridos para la formaci3n de ra3ces, para el desarrollo de c3lulas nuevas durante el crecimiento de la planta, para el sistema de defensa, para el buen funcionamiento del metabolismo de alimentaci3n y desarrollo (Ontiveros, 2023), o para el crecimiento general de la planta (Jim3nez-Torres *et al.*, 2022).

1.5.4.2 Fertilizantes org3nicos

Entre la gran variedad de fertilizantes org3nicos existentes, el mosto de caña de az3car, ha dado buenos resultados en varios cultivos (Chandra *et al.*, 2008). Entre los beneficios obtenidos de la aplicaci3n de mosto de caña de az3car en maguey, se encuentran la promoci3n del desarrollo, la producci3n y mejora de la nutrici3n del cultivo, un aumento en la altura de la planta, longitud, ancho y espesor de las pencas, una mayor longitud y di3metro de piña, con un contenido alto de az3cares (Arreola *et al.*, 2020).

La cantidad y tipo de nutrientes que contiene, un abono org3nico va a depender principalmente del grado de mineralizaci3n de la materia org3nica. Usualmente, la disponibilidad de nutrimentos de los abonos org3nicos es baja y variable, en comparaci3n con los fertilizantes minerales (Guerrero, 1993). Por lo que, los fertilizantes org3nicos requieren mineralizaci3n previa (Soto, 2003). En este sentido, la mineralizaci3n est3 controlada por factores como, la riqueza del microbiota, la humedad, temperatura, textura y mineralog3a del suelo, as3 como por la calidad de los materiales incorporados, concentraci3n y forma de aplicaci3n (Fassbender & Bornemisza, 1987; Guerrero, 1993; Soto, 2003).

Finalmente, cuando los abonos orgánicos quedan finalmente mineralizados, pueden ser inmovilizados por los microorganismos, acomplejados dentro de estructuras húmicas o bien adsorbidos por los coloides, y dependiendo de las situaciones imperantes en el suelo, algunas formas podrían ser lixiviadas hacia capas de suelo más profundas (Satchell, 1974).

1.5.4.3 Fertilizante mixto

Este tipo de fertilizante, se caracteriza por tener en su presentación al menos dos o tres nutrientes primarios. Razón por la cual, también son llamados fertilizantes multinutrientes, fertilizantes combinados o binarios (dos nutrientes), o ternarios (tres nutrientes; (Larrazabal, 2019). Dentro de las ventajas de estos fertilizantes multinutrientes para las plantas y el agricultor se encuentran: la facilidad de su manipulación, transporte y almacenamiento, de fácil aplicación, alto contenido de nutrientes, y una distribución uniforme de nutrientes.

Estos fertilizantes, son fabricados a través de procesos que incluyen una relación química entre los componentes que contienen los nutrientes primarios y se dividen en dos grupos principales; los fertilizantes compuestos y los fertilizantes mixtos o mezclados (Larrazabal, 2019). Los primeros, son fertilizantes simples granulados o intermedios, que contienen los nutrientes en diferentes proporciones; por su parte, los fertilizantes mixtos se elaboran a partir de mezclas simples mecánicas de los fertilizantes simples. Además, algunos tipos de fertilizantes mixtos poseen nutrientes secundarios como el magnesio, azufre y calcio (Hernández, 2018), en ocasiones pueden estar incluidos algunos micronutrientes como el hierro, cobre, zinc, manganeso, boro y molibdeno (ICL, 2024).

1.5.5 Productividad

La productividad de un cultivo, es un factor clave a ser considerado, pues de esto depende que el productor pueda lograr obtener buenos resultados al final del ciclo de vida de las plantas de maguey. En este sentido, se ha demostrado que al aplicar la técnica de fertigación o fertiirrigación, las plantas de *Agave tequilana*, incrementan la altura, producen mayor cantidad de hojas e incrementan la biomasa total, al final de su ciclo de vida productiva (INIFAP, 2019). Esta técnica de fertilización, consiste en un sistema de riego por goteo que aporta el agua y nutrientes necesarios directamente a la porción de suelo donde se desarrollan las raíces de las plantas. A diferencia de cuando son manejadas por temporal los resultados

de rendimiento que se obtienen al final del ciclo de cultivo son por debajo de los valores óptimos (Zúñiga-Estrada *et al.*, 2018).

Por otro lado, algunas prácticas culturales, como la técnica del picado, despuntado y desmexotado de las plantas de maguey pulquero por los productores de maguey pulquero (*A. salmiana* y *A. mapisaga*) causan que estas plantas, presenten una menor producción de hojas, debido a que se reduce considerablemente la superficie fotosintética, pérdida de agua y en casos extremos la muerte del ejemplar (José & García, 2000).

1.5.5.1 Nutrición

La nutrición puede definirse como el suministro y la absorción de compuestos químicos necesarios para el crecimiento y el metabolismo de las plantas (Mengel & Kirkby, 1987). Para presentar un desarrollo adecuado, las plantas requieren un total de 17 elementos esenciales, como el O, H y C, provenientes del H₂O, CO₂ y el aire. Los demás elementos, corresponden a nutrientes minerales que, según la cantidad absorbida por la planta, se clasifican en macronutrientes (primarios y secundarios), y micronutrientes. Los macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo, y potasio), los macronutrientes secundarios (calcio, magnesio, y azufre) se encuentran en los tejidos de las plantas en concentraciones superiores a 0.1%, con base en la masa seca; mientras que, los micronutrientes son requeridos en los tejidos de las plantas en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca (Rodríguez & Flórez, 2004).

Por lo tanto, si el suministro de nutrientes en el suelo es adecuado y suficiente, los cultivos probablemente crecerán mejor y producirán mayores rendimientos. Sin embargo, si uno solo de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de las plantas será limitado y los rendimientos de dichos cultivos se reducirán (AIIF, 2002).

1.5.5.1.1 Nutrientes mayores

Los macronutrientes, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), constituyen los nutrientes primarios que requieren todas las plantas para su crecimiento y correcto desarrollo hasta su fructificación (FAO, 2002). Rodríguez & Flórez (2004), mencionan que el N, es absorbido del suelo bajo la forma de nitrato (NO₃⁻) o amonio (NH₄⁺), una vez en la planta, estas moléculas se combinan con componentes producidos por el metabolismo de

carbohidratos (aminoácidos y proteínas). Siendo, las macromoléculas que están involucradas en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas, relacionados con el rendimiento, y con la absorción de los otros nutrientes.

Por su parte, el P es absorbido predominantemente como anión monovalente fosfato (H_2PO_4^-) y en menor cantidad como anión divalente (HPO_4^{2-}) y juegan un papel importante en el metabolismo energético de la planta como parte de las moléculas captadoras de energía (AMP, ADP y ATP), de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), participar en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de almidón y en la germinación de semillas y en el desarrollo de la raíz (ácido fítico; Rodríguez & Flórez, 2004).

Por su parte, el K es el nutriente mineral más abundante en el citoplasma de las células vegetales. Su importancia fisiológica radica en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas. Contribuye a la economía del agua porque regula la apertura estomatal, participa en la absorción de CO_2 y el control de la transpiración, aumenta la velocidad de reacción en más de 50 enzimas y, en algunos casos, aumenta la afinidad por el sustrato (Rodríguez & Flórez, 2004).

Con respecto a los macroelementos secundarios magnesio (Mg), azufre (S), y calcio (Ca). El Mg es absorbido por las plantas como un catión divalente (Mg^{2+}). Es el constituyente central de la clorofila, encontrándose del 15 al 20% del Mg en las partes verdes y participa en las reacciones enzimáticas relacionadas con la transferencia de energía de la planta (Rodríguez & Flórez, 2004). El S, es absorbido en forma de aniones de sulfato (SO_4^-), es un constituyente esencial de proteínas y está involucrado en la formación de la clorofila. En la mayoría de las plantas suple del 0.2 al 0.3% del extracto seco (Rodríguez & Flórez, 2004). El Ca se absorbe como ion Ca^{2+} es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca, se ha observado su deficiencia en los suelos tropicales y su aplicación reduce la acidez del suelo (Rodríguez & Flórez, 2004).

1.5.5.1.2 Nutrientes menores

Dentro de los nutrientes menores, se encuentran ocho de los elementos esenciales para las plantas, denominados también como microelementos y, en general, son elementos catalíticos por excelencia, ya que son esenciales en las reacciones redox a nivel biológico. Los microelementos aceptados como esenciales para las plantas son el: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni) y el zinc (Zn). Estos elementos son tan importantes para las plantas como los macronutrientes primarios y secundarios, a pesar de que son requeridos en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca (Rodríguez & Flórez, 2004).

Sin embargo, algunos microelementos pueden ser tóxicos (aluminio y Mn) en concentraciones altas y cuando el pH es de bajo a muy bajo (Andrades & Martínez, 2022).

1.5.5.2 Interacción raíz-microorganismos

Los microorganismos asociados a las raíces de las plantas mejoran, estimulan y facilitan el sano desarrollo; estos microorganismos son mayoritariamente de naturaleza bacteriana y mediante su correcta aplicación permiten, fijar biológicamente N₂, lo que implica menores importes de N al cultivo, mejorar la absorción de los fertilizantes, y proteger a las raíces del ataque de microorganismos fitopatógenos (García *et al.*, 2020).

Las bacterias capaces de reducir los niveles de nitratos en los suelos están ampliamente distribuidas en ecosistemas acuáticos y terrestres, y son filogenéticamente diversas. Los géneros como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Micrococcus*, *Achromobacter*, *Bradyrhizobium*, *Clostridium*, *Corinebacterium* y *Actinomyces*, actúan de forma individual como en consorcios microbianos establecidos (García *et al.*, 2020).

1.5.5.3 Sanidad

La sanidad y prevención de enfermedades en los agaves, constituye un factor importante a considerar si se quiere obtener niveles óptimos de desarrollo y crecimiento, que al final se verán reflejados en un buen rendimiento durante la cosecha. Dentro de los agentes microbianos responsables de causar enfermedades en los magueyes han sido reportadas, bacterias de los géneros *Erwinia* y *Pectobacterium*, así como hongos de los géneros

Bipolaris, *Curvularia*, *Fusarium*, *Cercospora*, *Ceratocystis* y *Pythium* (Valenzuela-Zapata, 1994; SENASICA, 2020; Hernández *et al.*, 2022; Romero-Cortes *et al.*, 2024).

Para el control de las principales enfermedades fúngicas y bacterianas de relevancia para las especies del género *Agave* de interés económico, se utilizan principalmente agroquímicos (DGSV-CNRT, 2016; DGSV-CNRF, 2017a; DGSV-CNRF, 2017b; DGSV-CNRF, 2017c; DGSV-CNRF, 2017d). Sin embargo, este método presenta grandes limitantes debido al impacto ambiental que ocasiona, ya que tiene consecuencias como toxicidad al hombre, resistencia de ciertos patógenos, además de incrementar los costos del cultivo (Valenzuela-Zapata, 1994).

Afortunadamente, el daño que ocasionan los agroquímicos al ambiente y a los organismos que están implicados (cultivos, fauna, flora y humanos), ha tomado mucha relevancia en la actualidad. Motivo que ha impulsado el investigar otro tipo de alternativas que sean amigables y seguras a la vez, siendo el control biológico una alternativa para solucionar los problemas en el cultivo del maguey (Virgen, 2000; Guillén, 2003). Este método de control, se basa en el uso de microorganismos benéficos para las plantas, comúnmente llamados antagonistas, los cuales mediante diferentes estrategias atacan a los microorganismos patógenos (Jiménez *et al.*, 2001).

1.6 Esquemas de fertilización en *Agave*

En general, los fertilizantes son definidos como cualquier tipo de sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes en formas asimilables por los organismos vegetales, que permitan mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo, mejorar la calidad del sustrato a nivel nutricional y estimular el crecimiento vegetativo de las plantas (García *et al.*, 2020).

Los elementos requeridos por la planta deberán de ser aplicados en las proporciones correctas para evitar una fertilización desequilibrada y la consecuente pérdida de trabajo y de capital (Casierra-Posada *et al.*, 2004).

Debido a la intensa aplicación de insumos para el control de plagas y/o fertilizantes sintéticos, los suelos se han deteriorado porque los fertilizantes químicos son de acción inmediata y, al mismo tiempo, solo funcionan a corto plazo, produciendo un desbalance en

la agricultura y también un desequilibrio ambiental (Altieri & Nicholls, 2000). Por otro lado, la materia orgánica mejora la estructura del suelo, reduce la erosión del mismo, tiene un efecto regulador en la temperatura del suelo y le ayuda a almacenar más humedad, mejorando significativamente de esta manera su fertilidad (Garavito, 1974). La descomposición de la materia orgánica, el ciclado de nutrientes y la incorporación de nitrógeno atmosférico entre otros servicios ecosistémicos, dependen de manera crítica de la estructura de la comunidad de microorganismos presentes en cada suelo (Di Ciocco *et al.*, 2014).

1.6.1 Fertilización tradicional

La idea general que se tiene respecto al cuidado del maguey pulquero en México, es que no requiere ningún tipo de aporte de nutrientes adicionales a los que ya estén presentes en el suelo. Razón por la cual, muchos productores no acostumbran fertilizar los agaves que tienen en sus predios. En un estudio realizado en los municipios de Puebla y Tlaxcala, en México, se detectó que los productores llevan a cabo algunas prácticas culturales en sus parcelas de maguey como; el deshierbe (73%), abono (38.4%), poda de hojas (76.9%) y el control de plagas (14.2%; Álvarez-Duarte *et al.*, 2018).

1.6.1.1 Esquema químico

Mediante la aplicación de un esquema de fertilización a base de minerales hidrosolubles es factible aportarles a las plantas de maguey los nutrientes para un desarrollo óptimo. Esto se debe a que mediante este método de fertilización los nutrientes están disponibles al momento cuando las plantas los requieren. Al respecto, Zamora (1997) evaluó el efecto de la fertilización química y riego en plantas de *A. salmiana* obtenidas por semillas en San Antonio de las Alazanas, Arteaga Coahuila, utilizando un fertilizante mixto (triple 17) que aporta los tres macronutrientes principales, concluyendo que este fertilizante químico, es recomendable para el crecimiento vegetativo. Por su parte, Pérez *et al.* (2017) recomiendan una combinación de fertilizante orgánico y fertilizante químico (fosfonitrato o triple 17) para obtener los mejores resultados.

1.6.1.2 Esquema orgánico

Otra opción que los productores de maguey tienen a su alcance, es la utilización de abonos de origen orgánico. Al respecto, Cruz (2001) observó que los mejores incrementos promedio para la variable de respuesta de altura de planta (*A. angustifolia*), se registraron

cuando fueron abonadas con estiércol, con un incremento del 39.6% respecto a las plantas que no recibieron estiércol. Por su parte, en otros trabajos donde se aplicó a las plantas de maguey, composta o micorriza individualmente, no se observó respuesta significativa sobre el crecimiento de las plantas (Ruíz, 1996; Ferrera-Cerrato & Santamaría, 1996). Debido a que cuando se trabaja con composta, los efectos no se reflejan de inmediato, ya que la mejora de las condiciones de estructura, porosidad, permeabilidad y fertilidad del suelo se ven a largo plazo (Ferrera-Cerrato & Santamaría, 1996).

1.6.1.3 Esquema biológico (bioinoculantes)

Los denominados biofertilizantes pueden ser descritos como productos que contienen células viables de diversos tipos de microorganismos, los cuales, al ser aplicados a las semillas, la superficie de las plantas o los suelos, colonizan la rizosfera o el interior de las plantas y promueven su crecimiento al convertir elementos nutricionalmente importantes (N, P, K) a partir de fuentes no disponibles (García *et al.*, 2020). La aplicación de micorrizas arbusculares (*Glomus intraradices*) y bacterias de la rizosfera del género *Bacillus*, a plantas de *A. angustifolia* como biofertilizantes mostraron los mejores resultados para las variables biomasa (aérea y de raíz) y altura de planta, con respecto a los testigos sin aplicación de bioinoculantes (Robles-Martínez, 2006).

1.6.1.4 Esquema mixto

En la actualidad, es necesario establecer prácticas agrícolas que permitan mantener los niveles óptimos de los suelos, incrementando la productividad de los cultivos y la preservación de los ecosistemas (Matheus *et al.*, 2007). Al respecto, Pacheco (2007), evaluó más de 16 esquemas diferentes de fertilización en plantas de *A. angustifolia* reportando que los mejores resultados para el crecimiento en peso fresco y seco, se alcanzó cuando se aplicó un fertilizante mixto de liberación lenta (Turf Builder®). Por su parte, Enríquez *et al.* (2013), utilizaron un fertilizante mixto a base de ingredientes de origen orgánico, sintético y mineral (solución Steiner) en plantas de *A. americana* var. *oaxacensis*, obtuvieron los mejores resultados cuando aplicaron la solución directa sin diluir (100%).

1.6.2 Fertilización foliar

La fertilización foliar, consiste en la aplicación de nutrientes minerales a las plantas a través de las hojas. Se utiliza como un complemento a la fertilización del suelo, pero no

substituye a la fertilización tradicional de los cultivos debido a que no puede cubrir los nutrientes que se requieren en cantidades elevadas. Por tanto, sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo que no se pueden abastecer mediante la fertilización común (Corona, 2005).

La fertilización foliar, entonces, debe utilizarse como una práctica especial para complementar requerimientos nutrimentales o corregir deficiencias de aquellos nutrientes que no existen o no se pueden aprovechar eficientemente mediante la fertilización al suelo (Trinidad-Santos & Aguilar, 1999). Al respecto, Corona (2005), obtuvo los mejores resultados para la mayoría de las variables de crecimiento de plantas de *A. tequilana* weber, cuando utilizó un fertilizante foliar triple (18 Ultrasol®).

1.7 Métodos de propagación

Las poblaciones de plantas de maguey se mantienen y regeneran demográficamente a través de dos mecanismos; la reproducción sexual, que implica la producción de semillas en sus escapos florales, y el crecimiento vegetativo, que implica la producción de vástagos o clones vegetativos (Harper, 1977; Harper, 1985; Arizaga & Ezcurra, 2002). En la **Figura 6**, se muestra los diferentes tipos de propagación que tienen los magueyes.

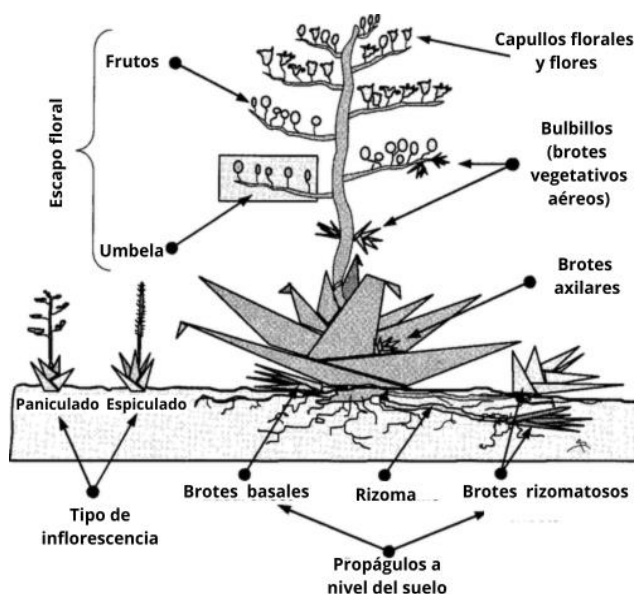


Figura 6. Morfología simplificada de una roseta de agave paniculado. (Arizaga & Ezcurra, 2002).

1.7.1 Asexual

Este tipo de reproducción presenta la ventaja de que los propágulos clonales están vinculados a la planta parental durante sus primeras etapas de desarrollo, a través de sus sistemas vasculares, hecho que les permite una probabilidad mucho mayor de supervivencia en ambientes extremos (Harper, 1985; Pitelka & Ashmun, 1985).

1.7.1.1 Hijos de rizoma

La forma más común de propagación que presentan la mayoría de las especies del género *Agave*, es a partir de hijuelos de rizoma (Camacho *et al.*, 2023), los cuales bajo condiciones normales son producidos por las plantas de maguey en cantidades considerables. Los cuales, pueden ser utilizados por los agricultores, como una fuente constante de plántulas para continuar con la siembra de plantas nuevas, que mantendrán las mismas características de las plantas progenitoras. Sin embargo, esta técnica de propagación facilita la susceptibilidad de esos genotipos a enfermedades fúngicas, bacterianas o virales, debido a la falta de variabilidad genética entre los ejemplares que conforman cada plantación (Santacruz-Ruvalcaba *et al.*, 2008).

1.7.1.2 Hijos basales o axiales

La propagación asexual por hijuelos jóvenes derivados de rizoma es la forma natural más común y exitosa de multiplicación de plantas silvestres del género *Agave*, así como en plantaciones comerciales donde esta práctica facilita el manejo agronómico (Arizaga & Ezcurra, 2002).

En ambientes altamente impredecibles o extremos, la multiplicación clonal opera como una estrategia segura para perpetuar el genotipo en un hábitat determinado, mientras que la reproducción sexual parece constituir una estrategia que implica mayores riesgos y mayoritariamente sirve como mecanismo para explorar nuevos ambientes (Abrahamson, 1980; Eriksson, 1989; Eriksson, 1992).

1.7.1.3 Hijuelos de qurote (apomixis)

También conocidos como bulbillos son yemas adventicias a lo largo de los márgenes de las flores, los cuales después de un determinado tiempo caen al suelo desarrollando raíces y posteriormente crecen formando una nueva planta (Duque, 2013).

1.7.2 Sexual

La reproducción sexual inicia con la emisión de una inflorescencia comúnmente llamada “quiote”, que se origina en el centro de la roseta de la planta adulta. Esta inflorescencia consiste en un tallo espectacular que, en la madurez de la planta y dependiendo de la especie, llega a medir desde 2 hasta 12 m o más, de altura. Este tallo puede ser espigado o racemoso (subgénero *Littaea*) o paniculado (subgénero *Agave*), con flores en racimos umbelados en ramas laterales, aunque existen diversas formas intermedias entre los dos anteriores, según la especie (Gentry, 1982). Al respecto, el conocimiento del desarrollo sexual de este grupo de plantas facilita el uso sustentable de sus especies, además de ser útil en su mejoramiento genético (Camacho *et al.*, 2023).

1.7.2.1 Propagación por semilla

Una vez, que las flores de las plantas de maguey, son polinizadas y producen abundantes semillas, estas pueden ser colectadas y mediante su germinación se obtienen nuevas plántulas. Sin embargo, este tipo de propagación ha caído en desuso y en la actualidad pocos productores la llevan a cabo debido a que el tiempo de obtención de plantas adultas es mayor (Camacho *et al.*, 2023). La importancia de este método de propagación radica en la enorme cantidad de semillas que produce un solo quiote, por lo que se puede obtener un gran número de plantas en un tiempo dado. El problema principal, es que se necesitan alrededor de 12 años para que las plantas lleguen a ser productivas, además del cuidado que se debe practicar para evitar los problemas de destrucción (Flores-Morales *et al.*, 2021).

En México, y en el estado de Hidalgo, el cultivo y aprovechamiento de los magueyes pulqueros, se realiza bajo condiciones de temporal (también conocido como secano), en suelos con una reducida disponibilidad de los principales nutrientes (SIAP, 2017). En México, los magueyes son plantas de gran importancia ecológica y económica (Narváez *et al.*, 2016). Sin embargo, los métodos tradicionales de cultivo, el monocultivo y el abuso del uso de agroquímicos sintéticos han favorecido la pérdida progresiva de la fertilidad del suelo y han incrementado el tiempo de producción-aprovechamiento del cultivo de entre 8 y 12 años (Valenzuela-Zapata, 1994). Pudiendo llegar incluso hasta 14 años, si las condiciones de desarrollo, clima, precipitación y temperatura no son las adecuadas para el cultivo (Nieto *et al.*, 2016a; Cruz-Vasconcelos, 2019).

Por otro lado, de las plantas de maguey es posible obtener una gran variedad de productos. De estos productos, algunos de ellos como el pulque (embotellado y/o destilado), la inulina, y el etanol, pueden ser exportados (Narváez *et al.*, 2016). En este sentido, es necesario implementar técnicas agrícolas que ayuden a disminuir el ciclo de vida de la planta de maguey. Al respecto, en varias investigaciones conducidas en diferentes regiones de México, han sido evaluados diferentes esquemas de fertilización para plantas de *A. salmiana*. Reportándose, los mejores resultados cuando se realiza la aplicación de un fertilizante mixto compuesto de un fertilizante químico [triple 17 (NKP), urea y Yara Star (NP) y estiércol de cerdo, a partes iguales (Cruz-Vasconcelos, 2019). De igual forma, al mantener una irrigación adecuada y dosis reducidas de fertilizante químico (25% solución Steiner) se obtienen los mejores desarrollos de planta (Arrazola, 2019; Arrazola-Cárdenas *et al.*, 2020). También, se ha encontrado que las plantas de maguey obtienen mejores resultados de crecimiento cuando se les aplican dosis bajas de fertilizantes orgánicos ya sean compostas, o lombricomposta (Morales-Maldonado *et al.*, 2019).

Los fertilizantes elaborados a base de un solo tipo de nutrientes (químicos, orgánicos y biológicos) aportan al suelo y a las plantas, cantidad específica de nutrientes (Argüello-Navarro *et al.*, 2016; Cuervo-Parra *et al.*, 2022). Sin embargo, su uso indiscriminado puede llegar a contaminar la atmósfera, el agua y el suelo (Laurin *et al.*, 2006; Schoumans *et al.*,

2014). Por lo cual, evaluar diferentes tratamientos de fertilización permitirá escoger el que de los mejores resultados para las variables de crecimiento analizadas.

Hipótesis nula (H0)

Los diferentes esquemas de fertilización (químico, orgánico, bioinoculantes y/o la combinación de ellos) no tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetativo, incrementar el sistema radicular, estimular los sistemas de defensa, y aumentar la competitividad de las plantas de maguey.

Hipótesis alternativa (H1)

Los diferentes esquemas de fertilización aplicados tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetativo, incrementan el sistema radicular, estimulan los sistemas de defensa, y aumentar la competitividad de las plantas de maguey.

2.1 Objetivo general.

Evaluar el efecto de diferentes esquemas de fertilización sobre el crecimiento de plantas de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) para identificar el mejor tratamiento.

2. 2 Objetivos específicos.

- ❖ Evaluar el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de plantas de *Agave salmiana* a los 90, 180, 272 y 364 días de fertilización.
- ❖ Determinar la altura de la planta (ras del suelo hasta la punta de la espina terminal del meyolote) a los 90, 180, 272 y 364 días de fertilización.
- ❖ Determinar el diámetro de roseta a los 90, 180, 272 y 364 días de fertilización.
- ❖ Medir la longitud de hoja desde la base a la punta de la espina terminal a los 90, 180, 272 y 364 días de fertilización.
- ❖ Cuantificar el número de hojas verdes por planta a los 90, 180, 272 y 364 días de fertilización.
- ❖ Determinar el número de hijuelos producidos por planta a los 90, 180, 272 y 364 días de fertilización.

En el esquema de la **Figura 7**, se presenta la metodología general para alcanzar los objetivos planteados en este proyecto, en el cual se incluyen: la recolección, aclimatación, trasplante, caracterización fenológica, y los experimentos de fertilización.



Figura 7. Diagrama general de la metodología del proyecto de investigación.

3.1 Material biológico

3.1.1 Cepa de estudio

Se utilizó una cepa de colección de *Bacillus subtilis* JCP-A1 procedente del Laboratorio de Microbiología, Cuerpo Académico Consolidado “Biociencias Moleculares”, de la Escuela Superior de Apan, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

3.1.2 Material vegetal de estudio

Para el presente estudio se trabajó con 72 plántulas sanas (de 1 año) procedentes de plantas adultas de *Agave salmiana*. Utilizando 9 plántulas por tratamiento, divididas en grupos de tres plantas por repetición [R1, R2, R3].

3.1.2.1 Criterios de selección

Previo a la recolección de los materiales, se procedió a realizar la identificación taxonómica de las plantas de maguey (**Apéndice B**), mediante el uso de los nombres comunes para las zonas de estudio, y a través del uso de claves taxonómicas específicas (**Apéndice A**) para *Agave salmiana* (Guillot & Van Der, 2006; González-Elizondo *et al.*, 2009; Arzaba, 2019). Posteriormente, a la identificación morfológica de la especie de maguey, se recurrió a la base de datos científicos “The Agavaceae Database” (Etter & Kristen, 2023) para corroborar la identificación.

3.2 Recolección de las plántulas de maguey

Todas las plántulas de maguey se colectaron de plantas adultas de *A. salmiana* durante los meses de enero-febrero del año 2023, procedentes de sitios distintos dentro de las instalaciones de la ESAp (**Tabla 3**). Se reunieron aproximadamente 120 plántulas, las cuales se dejaron en reposo durante un periodo de un mes aproximadamente, para dar tiempo a que las heridas causadas por el trasplante cicatrizaran.

Tabla 3. Procedencia de las plántulas de *A. salmiana* utilizadas.

Especie	Localidad	Coordenadas	Fecha	Muestra	No. de plántulas
<i>Agave salmiana</i>	Apan	19° 65' 60" LN, 98° 51' 81" LO	2023	M1	13
<i>Agave salmiana</i>	Apan	19° 65' 58" LN, 98° 51' 82" LO	2023	M2	14
<i>Agave salmiana</i>	Apan	19° 65' 64" LN, 98° 51' 83" LO	2023	M3	13
<i>Agave salmiana</i>	Apan	19° 64' 90" LN, 98° 51' 84" LO	2023	M4	14
<i>Agave salmiana</i>	Apan	19° 65' 35" LN, 98° 51' 87" LO	2023	M5	15
<i>Agave salmiana</i>	Apan	19° 64' 94" LN, 98° 51' 88" LO	2023	M6	13
<i>Agave salmiana</i>	Apan	19° 64' 96" LN, 98° 51' 91" LO	2023	M7	13
<i>Agave salmiana</i>	Apan	19° 64' 97" LN, 98° 51' 93" LO	2023	M8	13
<i>Agave salmiana</i>	Apan	19° 65' 51" LN, 98° 51' 94" LO	2023	M9	12

Posteriormente, se procedió a seleccionar las mejores 72 plántulas para proceder a su siembra en macetas de plástico, durante el mes de mayo del año 2023. Dando un tiempo de tres meses (junio a agosto) a las plantas de maguey, para que desarrollaran bien su sistema radicular, previo a su trasplante a suelo durante el mes de septiembre del año 2023. Todas las plantas seleccionadas, tuvieron una longitud de hoja inicial de 18.02 ± 0.01 cm, un diámetro de roseta inicial de 19.06 ± 0.04 cm, una altura de planta inicial de 15.05 ± 0.03 cm, un número de hojas verdes de 6.18 ± 0.06 , y un número de hijuelos de 0.00 ± 0.00 .

3.3 Definición espacial y temporal

El trabajo se estableció en una parcela experimental de 6 m de ancho por 75 m de largo (450 m^2), con 3 m de separación entre plantas por línea y tratamientos. Todas las plántulas de *A. salmiana*, se sembraron bajo condiciones de temporal, en las instalaciones de la Escuela Superior de Apan (ESAp), de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, durante el mes de septiembre del año 2023. En las coordenadas geográficas $19^\circ 65' 49''$ latitud norte y $98^\circ 51' 987''$ latitud oeste, a una altitud de 2488 msnm, con clima templado subhúmedo, con lluvias en verano, una temperatura promedio anual de 14.1°C y 622 mm de precipitación promedio anual (SEMARNAT, 2013). En la **Figura 8**, se muestra la ubicación de la parcela experimental dentro de las instalaciones de la ESAp-UAEH.



Figura 8. Ubicación de la parcela experimental dentro de las instalaciones de la Escuela Superior de Apan-UAEH.

3.3.1 Clima del sitio de estudio

El municipio de Apan posee un clima templado subhúmedo y semiseco templado con lluvias en verano. Tiene una temperatura media anual de 14.5°C, contando con una temperatura máxima de 21.2°C en el mes de mayo y con una temperatura mínima de 8.3°C en diciembre. Tiene una precipitación anual de 610.8 mm, la cual presenta valores máximos en el mes de julio con 104.7 mm y es mínima en diciembre con apenas 7.2 mm (INEGI, 1992).

3.3.2 Tipo de suelo del sitio de estudio

El tipo de suelo en la región de los llanos de Apan que comprende los estados de Hidalgo y Tlaxcala son suelos de tipo regosol, feozem y cambisol, donde el suelo dominante está compuesto por feozem (64,0%), vertisol (25,5%), leptosol (4,0%), durisol (3,0%) y umbrisol (0,74%) (Rodríguez *et al.*, 2020).

3.3.3 Flora y fauna del sitio de estudio

En cuanto a la flora, tiene una vegetación poco abundante, que se encuentra representada por bosques de pino, encino, o de pino-encino, matorral crasicaule, magueyes, nopalera y pastizal inducido (EcuRed, 2012). La vegetación predominante, dedicada para fines agrícolas está compuesta por varios cultivos de interés económico como la cebada, el trigo, el maíz, y frijol principalmente, aunque también se siembran otros cultivos como la calabaza, tomate y jitomate, avena, alverjón, haba, maguey pulquero, nopal y otros cultivos destinados para forraje (EcuRed, 2012; Ramírez, 2021; RAH, 2023). En la región también crece de manera natural una gran variedad de plantas silvestres, coloquialmente conocidas como malezas (Ramírez, 2021). En cuanto a la fauna perteneciente a esta región geográfica, se encuentran gavilanes, patos, chichicuilotos, agachones, tordos, tórtolas, tecolotes, gorriones, venidos, coyotes, tlacuaches, armadillos, liebres, conejos, tuzas, hurones, zorrillos, cacomixtles, así como una gran variedad de reptiles, como la serpiente cascabel (Lazcano-Juárez *et al.*, 2022), insectos y arácnidos, entre otros (HIDALGO, 2024). Por otro lado, en cuanto a la ictiofauna característica de la región se encuentran el mexclapique (*Girardinichthys viviparus*) especie de pez de la familia Goodeidae (Rivas & Galindo, 2020)

y el guatopote listado (*Pseudoxiphophorus jonesii*) pez de la familia Poeciliidae dentro del orden de los Cyprinodontiformes (CONABIO, 1999).

3.4 Tipo y diseño de la investigación

3.4.1 Tratamientos y diseño experimental

Se estableció un diseño experimental en bloques completamente al azar con tres repeticiones, donde se evaluaron ocho esquemas de fertilización (T1, testigo sin aporte de fertilizante; T2, fertilizante químico (FQ); T3, fertilizante orgánico (FO); T4, bioinoculante (B); T5, FQ + FO; T6, FQ + B; T7, FO + B; y T8, FQ + FO + B) durante los años 2023-2024 (**Tabla 4**). Cada tratamiento estuvo compuesto por tres surcos de 6 m de largo con una separación entre surcos de 3 m, lo que representó un área de 36 m². Por tratamiento, se sembraron un total de 3 plántulas por hilera, separadas por 3 m, con un número máximo de 9 plántulas de maguey, lo que correspondió a una densidad de 2500 plantas por ha⁻¹. Para evitar la contaminación cruzada y el efecto borde (Romero-Cortes *et al.*, 2022), se dejó un espacio de 3 m de suelo sin sembrar entre tratamientos.

Tabla 4. Tratamientos para evaluar los diferentes esquemas de fertilización.

Clave	Tratamientos	Sitio de aplicación
T1	Testigo	Sin aporte de fertilizante
T2	Fertilizante químico (FQ) ^a	En la rizosfera
T3	Fertilizante orgánico (FO) ^b	En la rizosfera
T4	Bioinoculantes (B) ^c	En la rizosfera
T5	FQ + FO	En la rizosfera
T6	FQ + B	En la rizosfera
T7	FO + B	En la rizosfera
T8	FQ + FO + B	En la rizosfera

^a Dosis de fertilización ajustada para niveles altos de N (0.51 kg); P₂O₅ (0.47 kg) y K₂O (0.77 kg), sin descuidar la adición anual de MgO (0.116 kg), S (0.34 kg), B (0.0006 kg), Fe (0.008 kg), Mn (0.008 kg) y Zn (0.0008 kg), para las plantas que recibirán FQ por tratamiento; ^b Estiércol de vaca (1600 kg), composta (1117.76 kg)^d, y polvo de roca (2.24 kg)^e; ^c La cepa de *B. subtilis* fue inoculada pulverizando 100 mL de una suspensión de 1 x 10⁹ UFC/g por planta en la rizosfera de cada planta de maguey; ^d Estiércol de vaca (502.99 kg), rastrojo de maíz molido (502.99 kg), cisco de carbón (111.78 kg) y microorganismos de montaña activados (1 x 10⁹ UFC/g); ^e Magnesita (0.124 kg), zeolita (0.124 kg), dolomita (0.124 kg), fosfórica (0.124 kg), leonardita (0.124 kg), arcilla potásica (0.124 kg), diatomita (0.124 kg), ceniza de hueso calcinada (0.124 kg), ceniza de madera (0.124 kg) y una mezcla de minerales naturales de las marcas Minutrer® (0.96 kg) y Micrafol® (0.164 kg); con los siguientes macro y micronutrientes, N (0.04 kg); P₂O₅ (0.30 kg); K₂O (0.06 kg); Ca (0.50 kg); MgO (0.21 kg); S (0.008 kg); Si (0.89 kg); Al (0.18 kg); Fe (0.04 kg); Na (0.006 kg); Mn (0.001 kg); Zn (0.003kg); B (0.003 kg); Cu (0.0001 kg); Mo (0.000002 kg); Ni (0.0005 kg); y Co (0.000006 kg).

La preparación de la parcela consistió en un barbecho y una cruz. La fertilización y evaluación de los tratamientos experimentales se realizó durante los meses de octubre-diciembre del año 2023 y enero-julio del año 2024. La aplicación de los fertilizantes en los tratamientos T2 a T8, se realizó en cuatro ocasiones, quedando de la siguiente manera: 1) Fertilizante químico (FQ, T2, T5, T6, y T8), se aplicó una dosis por planta/año de 120 g; 2) Fertilizante orgánico (FO, T3, T5, T7, y T8), se aplicó una dosis por planta/año de 160 g; y 3) Bioinoculante (B, T4, T6, T7, y T8), se aplicó una dosis por planta/año de 400 mL. La concentración de cada tipo de fertilizante (FQ, FO, B), utilizada por tratamiento durante cada aplicación, fue del 25% de la dosis total a aplicar por planta/año. Por otro lado, el tratamiento T1 se manejó sin el aporte de ningún tipo de fertilizante durante todo el ciclo de cultivo. La aplicación de los diferentes tratamientos de fertilización, se realizó en los meses de octubre del año 2023 y enero, abril y julio del año 2024, correspondientes a la primera, segunda, tercera y cuarta aplicación, respectivamente.

Todos los tratamientos se manejaron de la misma manera durante todo el ciclo de cultivo de las plántulas de maguey correspondiente a los años 2023-2024. Para el control de insectos considerados plagas (*Comadia redtenbacheri*, *Scyphophorus acupunctatus*, y *Macroductylus* sp.), de manera preventiva, se aplicó cipermetrina durante los meses de julio-septiembre del año 2024 a razón de 1 L ha⁻¹ aplicando 20 mL de producto por 20 litros de agua mediante baños de aspersión una vez por mes. El control de malezas se realizó de forma manual.

3.4.2 Variables de respuesta

La medición de las variables de respuesta se realizó durante los meses de enero, marzo, junio, y septiembre del año 2024. La variable de respuesta fue el desarrollo vegetativo de las plantas de maguey a los 90, 180, 272 y 364 días después de la aplicación de cada tratamiento. Donde se registró los siguientes caracteres agronómicos (**Tabla 5**).

Tabla 5. Variables registradas en los magueyes pulqueros.

Variable	Descripción
Altura	Medida desde el ras del suelo hasta la espina terminal del meyolote.
Diámetro	Medido entre las dos puntas de las hojas más alejadas entre sí.
Longitud de hoja	Medida desde la base hasta la punta terminal de cada hoja.
Hojas verdes	Número de hojas verdes por maguey.
Número de hijuelos	Número de hijuelos por maguey.

3.4.2.1 Altura de planta

Se registró la medida que tenía cada una de las plantas, desde el ras del suelo hasta la espina terminal del meyolote con ayuda de un flexómetro (Marca AnvilTM; Morales-Mandonado *et al.*, 2019).

3.4.2.2 Diámetro de roseta

Se midió, con un flexómetro las dos hojas opuestas de cada planta (Arrazola, 2019), donde se determinó cuales puntas de las pencas estaban más alejadas entre sí y se tomó ese valor para la medición del diámetro de roseta de cada planta.

3.4.2.3 Longitud de hoja

Se midió con un flexómetro y se consideró desde la base de la hoja hasta el ápice de esta (Arrazola, 2019), contabilizándose solo las hojas completas, verdes y sanas.

3.4.2.4 Número de hojas verdes

Se realizó el conteo de hojas verdes de cada maguey, se consideraron aquellas hojas en las que la parte seca fuera menor del 50% de la hoja, excluyeron las hojas que aún no se habían despegado del meyolote o cogolló de la planta (Morales-Mandonado *et al.*, 2019).

3.4.2.5 Número de hijuelos por planta

Se realizó el conteo de los hijuelos de rizoma que fueron apareciendo en los alrededores de cada planta de maguey. Considerando todos los hijuelos que salieron en un radio de 50 cm alrededor de la planta madre (Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2024).

3.4.3 Aplicación de los tratamientos

La aplicación de los diferentes esquemas de fertilización se realizó en los meses de octubre del año 2023 y enero, abril y julio del año 2024, correspondientes a la primera, segunda, tercera y cuarta aplicación, respectivamente.

3.4.3.1 Aplicación del fertilizante químico

En los tratamientos T2, T5, T6 y T8, se aplicó una dosis por planta/año de 120 g de fertilizante químico (NPK) en un radio de 25 cm de cada planta, utilizando 30 g del fertilizante por aplicación.

3.4.3.2 Aplicación del fertilizante orgánico

En los tratamientos T3, T5, T7 y T8, se aplicó una dosis por planta/año de 160 g, dividido en cuatro dosis de 40 g de fertilizante orgánico aplicado en un radio de 25 cm alrededor de cada planta.

3.4.3.3 Aplicación del fertilizante biológico (bioinoculante)

En los tratamientos T4, T6, T7 y T8, se aplicó una dosis por planta/año de 400 mL, dividida en cuatro dosis de 100 mL, que fueron aplicados a un radio de 25 cm de cada planta.

3.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un diseño completamente aleatorio con tres repeticiones, usando un análisis de varianza (ANOVA) con el software Statistix 10 (Analytical Software, 2017). La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey HSD All-Parwise a una diferencia significativa de ($P \leq 0.05$).

4.1 Variables de respuesta

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron observar que la aplicación de los diferentes esquemas de fertilización tuvo un efecto sobre las diferentes variables de respuesta evaluadas durante los distintos tiempos de medición.

4.1.1 Variables de respuesta evaluadas a los 90 días

4.1.1.1 Altura de planta

Para la altura de planta, se observó que existieron diferencias significativas entre los tratamientos (**Tabla 6**). Registrándose los mejores resultados para los tratamientos T8 y T2, con valores promedio de 33.42 y 30.44 cm, respectivamente. Cabe resaltar que estos tratamientos fueron los que dentro de su formulación tuvieron un aporte balanceado de nutrientes. Resultados que coinciden con los reportes de otros autores, realizados con otras especies del género *Agave*, donde se reportan los mejores resultados para las variables estudiadas cuando se aplicó a las plantas de maguey un esquema de fertilización mixto, a base de materia orgánica, bioinoculantes y fertilizante químico (Enríquez *et al.*, 2013) y a base de fertilizante químico (Pacheco, 2007).

Tabla 6. Variables de respuesta altura de planta registrada a los 90 días.

Tratamientos	Altura de planta* $\pm$ ES**
T1	20.14 $\pm$ 0.07 c
T2	30.44 $\pm$ 0.16 a
T3	25.25 $\pm$ 0.13 b
T4	23.29 $\pm$ 0.29 b
T5	26.17 $\pm$ 0.06 b
T6	26.28 $\pm$ 0.13 b
T7	25.53 $\pm$ 0.17 b
T8	33.42 $\pm$ 0.05 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Por su parte, al revisar las alturas de planta obtenidas en los magueyes de los tratamientos T3 a T7, no se observaron diferencias significativas. Donde la mayor altura de planta la mostraron los magueyes del T6 con un valor promedio de 26.28 cm y la menor

altura de planta la tuvieron los magueyes del tratamiento T4 con un valor promedio de 23.29 cm. En este sentido, aunque no existieron diferencias significativas entre estos tratamientos, se puede ver que los tratamientos T6, T5 y T7, cuya formulación estuvo compuesta por al menos dos tipos de fertilizante, obtuvieron alturas de planta superiores a las registradas en los magueyes de los tratamientos T3 y T4 (**Tabla 6**) cuya formulación fue de una sola fuente de fertilizante (**Tabla 4**). Estos resultados coinciden con los valores reportados por otros autores, para plantas de *A. tequilana* y *A. salmiana* en otras partes de México, donde se menciona que la altura de planta se incrementa en base a que tan balanceado sea el fertilizante suministrado a las plantas de maguey (Ceja-Ramírez *et al.*, 2017; Arreola *et al.*, 2020; Arrazola-Cárdenas *et al.*, 2020). Por último, las plantas del tratamiento T1, fueron las que tuvieron la menor altura de planta con un valor promedio de 20.14 cm. Estos resultados se pueden explicar en parte debido a una mala retención de la humedad y minerales del suelo donde se desarrollaron las plantas del T1, el cual fue pobre en materia orgánica y microorganismos, lo que dificulta la capacidad para absorber los nutrientes del suelo por parte de las plantas (Rubio, 2019).

4.1.1.2 Diámetro de roseta

Para la variable de respuesta diámetro de roseta, se observó que existieron diferencias significativas entre los tratamientos (**Tabla 7**). Registrándose los mejores resultados para los tratamientos T8 y T2, con valores promedio de 25.59 y 25.11 cm, respectivamente.

Tabla 7. Variables de respuesta del diámetro de roseta registradas a los 90 días.

Tratamientos	Diámetro de roseta* $\pm$ ES**
T1	20.83 $\pm$ 0.17 c
T2	25.11 $\pm$ 0.01 a
T3	23.11 $\pm$ 0.08 c
T4	22.27 $\pm$ 0.05 d
T5	21.19 $\pm$ 0.10 e
T6	22.17 $\pm$ 0.06 d
T7	24.37 $\pm$ 0.07 b
T8	25.59 $\pm$ 0.05 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Los resultados de estos tratamientos son semejantes a los datos reportados por otros autores, para plantas de *Agave angustifolia*, donde reportan los mejores valores para las variables estudiadas cuando se aplicó a las plantas de maguey un esquema de fertilización mixto (Enríquez *et al.*, 2012). Sus resultados mostraron que al aplicar la solución Steiner al 33% a las plantas de maguey, se promovió que éstas acumularan 74.52% más peso de biomasa seca con respecto a las plantas que se regaron con solución nutritiva al 5%. Asimismo, en otro trabajo las vitroplantas de *Agave americana* var. *oaxacensis* produjeron 40.6 y 49.5% más peso de biomasa seca cuando se regaron con la solución Steiner al 25 y 100% (Enríquez *et al.*, 2013).

Al medir el diámetro de roseta del tratamiento T7 se observó que ocupó el tercer lugar; cabe recordar que el T7 se compuso de fertilizante orgánico y bioinoculantes. Al respecto, se ha demostrado que cuando se aplica a algún cultivo microorganismos antagonistas (bacterias u hongos), se logra eliminar los agentes patógenos de los cultivos (Belgrove *et al.*, 2011). En este sentido, al inocular rizobacterias del género *Pseudomonas* en *Agave tequilana* se logra eliminar hongos patógenos del suelo como *Fusarium oxysporum* (Cruz, 2003). Con lo cual, las plantas de maguey evaluadas lograron crecer sanas y vigorosas. Dicha mejora en el crecimiento de las plantas de *A. tequilana* se debió a una competencia por espacio y nutrientes realizada por parte de los microorganismos antagonistas frente a al hongo patógeno *F. oxysporum* al nivel de las raíces (Schneider, 1984).

Por otro lado, cuando a las plantas de maguey se les aplicó fertilizante de composta, se observó que las pencas tuvieron mayor promedio en área y peso seco (Pacheco, 2007). Lo cual fue posible observar en las plantas de los tratamientos T7 y T8, que dentro de su formulación contenían bioinoculantes y materia orgánica.

4.1.1.3 Longitud de hoja

Con respecto a la longitud de hoja, se observó que existieron diferencias significativas entre los tratamientos (**Tabla 8**). Registrándose los mejores resultados para los tratamientos T8 y T2, donde las plantas de maguey registraron valores promedio de 35.42 y 32.37 cm, respectivamente. Por otro lado, para los tratamientos T3 a T7, no se observó diferencias significativas, con longitudes de hoja que variaron desde 27.43 a 29.34 cm. Los resultados obtenidos en este trabajo para los tratamientos T2 y T3, difieren de los resultados reportados

por Cruz-Vasconcelos (2019), ya que en dicho trabajo se obtuvieron resultados similares para las plantas tratadas con un esquema de fertilización químico y orgánico para la variable longitud de hoja. A diferencia de las longitudes de hoja registradas en este trabajo donde el tratamiento con fertilizante químico fue superior al tratamiento con fertilizante orgánico (Tabla 8).

Tabla 8. Variables de respuesta de la longitud de hoja registradas a los 90 días.

Tratamientos	Longitud de hoja* $\pm$ ES**
T1	24.27 $\pm$ 0.03 c
T2	32.37 $\pm$ 0.17 a
T3	27.43 $\pm$ 0.08 b
T4	27.47 $\pm$ 0.05 b
T5	29.34 $\pm$ 0.06 b
T6	29.20 $\pm$ 0.05 b
T7	28.40 $\pm$ 0.17 b
T8	35.42 $\pm$ 0.12 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

En otro trabajo, donde se utilizó mosto de caña de azúcar (levasa) como fertilizante para las plantas de maguey se reportaron longitudes de hoja de 127 y 129.2 cm, cuando a las plantas de *A. tequilana* se les aplicó 10 y 15 m³ ha⁻¹ de levasa (Arreola *et al.*, 2020). Los resultados mostrados en ese trabajo difieren de los resultados reportados en este estudio para los 90 días de crecimiento vegetativo, ya que corresponden a datos obtenidos después de un año de crecimiento de las plantas de maguey tequilero, donde los autores reportan tasas de crecimiento por mes de 4.3 y 4.62 cm para sus mejores tratamientos.

En otro trabajo, Garnica-García *et al.* (2021) fertilizaron plantas de *A. angustifolia* con abono orgánico (bovinaza), sus resultados mostraron que las plantas que recibieron este tipo de fertilizante, acumularon más biomasa y tuvieron el mayor tamaño de hojas. Este resultado, difiere al resultado obtenido en este trabajo ya que las plantas del tratamiento T4, no mostraron diferencias significativas respecto a esta variable de respuesta (Tabla 8). De igual forma, el contenido de nutrientes registrado en esas plantas fue mayor respecto a los valores obtenidos en las plantas del tratamiento testigo. Datos que respaldan el resultado obtenido en este trabajo para la longitud de hoja de las plantas del tratamiento T1, que

registraron un valor de 24.27 cm debido muy probablemente a la falta de nutrientes en el suelo.

Por ende, las plantas del tratamiento T1 (testigo), fueron las que presentaron la menor longitud de hoja, a causa de la mala retención de la humedad y minerales del suelo en el cual se desarrollaron. El cual, carecía de un aporte adecuado de materia orgánica y microorganismos, lo cual se refleja en una capacidad deficiente en la absorción de nutrientes del suelo por parte de las plantas (Rubio, 2019).

4.1.1.4 Número de hojas verdes

Para el conteo de número de hojas verdes medida a los 90 días de crecimiento vegetativo, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (**Tabla 9**). Donde los mejores resultados se obtuvieron en los T2, T5 y T8, correspondientes a plantas que recibieron dentro de su formulación; fertilizante químico, fertilizante químico + fertilizante orgánico, o fertilizante químico + fertilizante orgánico + bioinoculantes. Registrándose en promedio entre 7.78 a 7.89 hojas por planta.

Tabla 9. Variables de respuesta número de hojas registrada a los 90 días.

Tratamiento	Número de hojas* $\pm$ ES**
T1	7.11 $\pm$ 0.19 ab
T2	7.89 $\pm$ 0.19 a
T3	7.56 $\pm$ 0.19 ab
T4	7.44 $\pm$ 0.19 ab
T5	7.78 $\pm$ 0.38 a
T6	7.67 $\pm$ 0.88 ab
T7	7.67 $\pm$ 0.33 ab
T8	7.89 $\pm$ 0.19 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Por otro lado, los tratamientos T1, T3, T4, T6, y T7 no mostraron diferencias significativas entre sí. En este sentido, en un estudio realizado por Cruz-Vasconcelos, (2019) con plantas de *A. salmiana* ssp. *crassispina* no reportó diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización química, fertilización orgánica y testigo sin aporte de fertilizante, para la variable número de hojas reportado por planta.

En lo que respecta a la utilización de microorganismos (bioinoculantes) del género *Pseudomonas* en plantas de *A. tequilana* se han encontrado mejoras para el número de hojas, y la disminución de la presencia de hongos fitopatógenos del género *Fusarium* (Cruz, 2003). En otro trabajo, donde se aplicó a las plantas de maguey mezcalero (*Agave angustifolia*) un fertilizante orgánico de liberación lenta a base de composta y fitohormonas se observó que los magueyes presentaron 10.1% más hojas respecto a las plantas del tratamiento testigo (Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz, 2022).

Los biofertilizantes pueden variar considerablemente, dependiendo de los microorganismos que se apliquen, del tipo de suelo, la especie de plantas y las condiciones ambientales. Donde los bioinoculantes aplicados al suelo, compiten con la microflora nativa mejor adaptada a las condiciones ambientales adversas como la falta de humedad, alta salinidad o pH extremos (Bojórquez *et al.*, 2010).

4.1.1.5 Número de hijuelos por planta

Para esta variable de respuesta se observaron diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos evaluados. Donde el mejor resultado se obtuvo para las plantas de maguey del tratamiento T8, que registró 0.89 hijuelos por planta a los 90 días de crecimiento vegetativo (**Tabla 10**). Por su parte, los tratamientos T3, T7 y T4 fueron estadísticamente similares registrando en promedio entre 0.44 a 0.56 hijuelos por planta. Por último, los tratamientos T1, T2, T5, y T6 no mostraron la presencia de ningún hijuelo a los 90 días de crecimiento.

Tabla 10. Variables de respuesta número de hijuelos registrada a los 90 días.

Tratamiento	Número de hijuelos* $\pm$ ES**
T1	0.00 $\pm$ 0.00 c
T2	0.00 $\pm$ 0.00 c
T3	0.44 $\pm$ 0.19 ab
T4	0.56 $\pm$ 0.19 ab
T5	0.00 $\pm$ 0.00 c
T6	0.00 $\pm$ 0.00 c
T7	0.44 $\pm$ 0.19 ab
T8	0.89 $\pm$ 0.38 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

En plantas de maguey pulquero, Cruz-Vasconcelos *et al.* (2024) reportaron el mayor número de hijuelos para el tratamiento a base de la fitohormona ácido indol-3-butírico. En otro trabajo el uso de un bioinoculante a base de *Bacillus subtilis* mostró un incremento del crecimiento de las plantas debido a las fitohormonas producidas por la bacteria (González-León *et al.*, 2022). Esto podría en parte estar explicando el motivo por el cual en las plantas de los tratamientos T4, T7 y T8, se estimuló el desarrollo de los hijuelos por efecto de la adición en estos tratamientos de la bacteria *B. subtilis*.

En otro trabajo, Canseco-Santiago *et al.* (2024) aplicaron un fertilizante químico (solución Steiner, N6-bencilaminopurina y bovinaza) y reportaron un incremento del 20% más de hijuelos de rizoma con respecto al tratamiento testigo. Dicho tratamiento, puede compararse con el tratamiento T8 evaluado en este trabajo ya que tiene la mezcla de los 3 tipos de fertilizante y podemos observar similitud ya que en este trabajo a este tiempo también se obtuvieron los mejores resultados para dicho tratamiento.

4.1.2 Variables de respuesta evaluadas a los 180 días

Al igual que lo que se observó durante el primer periodo de medición de las variables de respuesta (90 días), durante el segundo periodo de medición, se registraron los mejores resultados en los tratamientos T8 y T2 para las variables longitud de hoja, diámetro de roseta, altura de planta y número de hojas. Por otro lado, para la variable número de hijuelos el mejor resultado se registró en las plantas de maguey del tratamiento T8, seguido de las plantas de los tratamientos T4 y T7.

4.1.2.1 Altura de planta

En esta variable de respuesta, se observó que existieron diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos evaluados (**Tabla 11**). Registrándose los mejores resultados para los tratamientos T8 y T2, con valores promedio de 41.36 y 40.32 cm, respectivamente. Estos resultados son similares a los reportes realizados para la misma variable de respuesta por otros autores para plantas de *Agave americana* var. *oaxacensis* (Enríquez *et al.*, 2013). En otro trabajo, donde se evaluó el efecto de varios fertilizantes en plantas de *Agave angustifolia* se encontró que el mejor resultado se obtuvo cuando se aplicó a las plantas de

maguey un fertilizante mixto a base de la mezcla de estiércol + microorganismos + fertilizante químico NPK (Cruz, 2001).

Tabla 11. Variables de respuesta altura de planta registrada a los 180 días.

Tratamientos	Altura de planta* $\pm$ ES**
T1	25.27 $\pm$ 0.48 d
T2	40.32 $\pm$ 0.48 a
T3	26.23 $\pm$ 0.59 d
T4	28.36 $\pm$ 0.02 c
T5	31.40 $\pm$ 0.17 b
T6	32.49 $\pm$ 0.75 b
T7	31.47 $\pm$ 0.28 b
T8	41.36 $\pm$ 0.59 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Por su parte, los resultados del tratamiento T2, a los 180 días de crecimiento vegetativo respecto al valor obtenido para la misma variable medida a los 90 días, representa un incremento del 24.50%, valor que supera el 13.6% de incremento en altura de planta, reportado por Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz, (2022) para plantas de *Agave angustifolia* fertilizadas con un abono de tipo químico. En segundo lugar, se ubicaron las plantas de los tratamientos T5, T6 y T7, las cuales no fueron estadísticamente diferentes entre sí, registrando una altura de planta promedio de entre 31.40 a 32.49 cm. En tercer lugar, se ubicaron las plantas del tratamiento T4 con una altura de planta promedio de 28.36 cm. Al respecto, en plantas de *Agave tequilana* a las que se le aplicó un biofertilizante a base de bacterias del género *Pseudomonas* mostraron resultados superiores al tratamiento testigo (Cruz, 2003). Resultados que son semejantes a los datos reportados en este trabajo para los tratamientos T4, T6, T7 y T8 que dentro de su formulación incluyeron bioinoculantes. Por último, los magueyes de los tratamientos T1 y T3 fueron los que registraron los menores valores para la variable de respuesta altura de planta, con valores de entre 25.27 a 26.23 cm. Es evidente, que en estos tratamientos no existió un aporte completo de nutrientes para las plantas de maguey, lo cual repercutió en que obtuvieran las menores alturas de planta.

4.1.2.2 Diámetro de roseta

Para la variable de respuesta diámetro de roseta, los mejores resultados se obtuvieron con las plantas de maguey de los tratamientos T8 y T2, las cuales registraron un diámetro de roseta superior a los 30 cm. Estos tratamientos, incluyeron dentro de su formulación un esquema completo de fertilización (**Tabla 12**). Los resultados obtenidos para los tratamientos T2 y T8, son semejantes a los resultados reportados por otros autores para plantas de *A. americana* (Enríquez *et al.*, 2013) y *A. angustifolia* (Pacheco, 2007), donde los mejores valores obtenidos correspondieron a las plantas que dentro de su esquema de fertilización incluyeron algún tipo de fertilizante químico.

En segundo lugar, se ubicaron las plantas de los tratamientos T5, T6, y T7, las cuales fueron estadísticamente similares entre sí. En un trabajo, realizado con plantas de *A. tequilana* se observó una mejoría para las variables de respuesta evaluadas cuando se incluyó un fertilizante orgánico a base de melaza de caña de azúcar para la fertilización de las plantas (Arreola *et al.*, 2020). Resultado que es similar a los datos reportados para esta variable en los tratamientos T5, T6, y T7 en este trabajo, los cuales dentro de su formulación incluyeron materia orgánica y/o bioinoculantes dentro de su formulación. En tercer lugar, se ubicaron las plantas del tratamiento T3 que registraron un diámetro de roseta de 25.21 cm, las cuales fueron abonadas con un fertilizante orgánico. Siendo su diámetro de roseta inferior a los datos registrados en los tratamientos T5 y T6, ya que en dichos tratamientos las plantas recibieron otra fuente adicional de fertilizante, lo cual se reflejó en un diámetro de roseta superior.

Tabla 12. Variables de respuesta diámetro de roseta registrada a los 180 días.

Tratamiento	Diámetro de roseta* $\pm$ ES**
T1	23.61 $\pm$ 0.11 e
T2	32.26 $\pm$ 0.18 a
T3	25.21 $\pm$ 0.02 c
T4	24.27 $\pm$ 0.08 d
T5	26.69 $\pm$ 0.32 b
T6	27.49 $\pm$ 0.53 b
T7	28.60 $\pm$ 0.65 b
T8	33.93 $\pm$ 0.50 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Por último, los tratamientos T4 y T1 registraron los menores diámetros de roseta, siendo estadísticamente diferentes entre sí. Las diferencias observadas entre estos dos tratamientos y los demás, pueden deberse a la falta de un esquema completo de nutrientes que dichos fertilizantes aportaron a las plantas del maguey para el caso específico del tratamiento T4 y a la falta de aporte de nutrientes adicionales a los propios del suelo para las plantas del tratamiento T1. Lo cual coincide con otros trabajos donde los tratamientos testigo fueron los que reportaron los valores más bajos para las variables analizadas (Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz, 2022).

4.1.2.3 Longitud de hoja

Para la variable de respuesta longitud de hoja, los mejores resultados correspondieron a las plantas de los tratamientos T8 y T2, cuyos valores fueron de 46.29 y 44.49 cm, respectivamente (**Tabla 13**). Estos resultados son similares a los datos obtenidos para plantas de *A. angustifolia* abonadas con fertilizantes químicos y/o orgánicos dentro de su formulación (Cruz, 2001; Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz, 2022).

Tabla 13. Variables de respuesta longitud de hoja registrada a los 180 días.

Tratamiento	Longitud de hoja* $\pm$ ES**
T1	29.53 $\pm$ 0.12 d
T2	44.49 $\pm$ 0.10 a
T3	29.47 $\pm$ 0.09 d
T4	30.50 $\pm$ 0.20 c
T5	35.32 $\pm$ 0.07 b
T6	35.29 $\pm$ 0.15 b
T7	34.30 $\pm$ 0.03 b
T8	46.29 $\pm$ 0.10 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

En segundo lugar, se ubicaron las plantas de los tratamientos T5, T6 y T7, que no mostraron diferencias significativas entre sí, con una longitud de hoja que varió de 34.30 a 35.32 cm. Estos valores son muy semejantes a los que Cruz (2001), reporta para plantas de *A. angustifolia* abonadas con un fertilizante a base de dos componentes (químico y orgánico). En cuarto lugar, se ubicaron las plantas del tratamiento T4 fertilizadas con *B. subtilis* cuya longitud de hoja promedio fue de 30.50 cm. Estos resultados son similares a los obtenidos

por otros autores, para plantas de *Agave potatorum*, donde al aplicar varias cepas de microorganismos del género *Glomus*, lograron incrementos significativos para las variables estudiadas (García-Martínez *et al.*, 2020). En plantas de *A. tequilana*, de igual forma se han obtenido resultados superiores cuando las plantas fueron fertilizadas con bacterias del género *Pseudomonas* (Cruz, 2003). Resultados que en este trabajo se vieron reflejados para la variable longitud de hoja que obtuvieron las plantas de maguey que incluyeron dentro de su formulación bioinoculantes (**Tabla 4**).

Por último, los tratamientos T3 y T1 fueron los que presentaron la menor longitud de hoja, siendo estadísticamente similares entre ellos. Estos resultados se pueden explicar debido a una mala retención de la humedad y minerales del suelo pobre en materia orgánica y microorganismos, lo cual dificulta la capacidad para absorber los nutrientes del suelo por parte de las plantas (Rubio, 2019).

4.1.2.4 Número de hojas verdes

Para la variable número de hojas verdes, los mejores resultados correspondieron a las plantas de los tratamientos T8 y T2, que no fueron estadísticamente diferentes entre sí, con valores de 9.89 y 9.67 hojas por planta (**Tabla 14**). Resultados que son semejantes a los reportes hechos por otros autores en plantas de *A. angustifolia* (Cruz, 2001; Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz, 2022). El siguiente grupo de tratamientos que fue similar entre sí, fueron las plantas de los tratamientos T5, T6 y T7 cuyo número de hojas verdes varió de 8.44 a 8.56, los cuales dentro de su formulación incluyeron dos tipos de fertilizantes (FQ + FO, FQ + B, FO + B). Estos resultados se aproximan bastante a los datos reportados por Cruz, (2001) para plantas de maguey abonadas con una mezcla de FQ + FO.

Tabla 14. Variables de respuesta número de hojas registrada a los 180 días.

Tratamiento	Número de hojas* $\pm$ ES**
T1	7.33 $\pm$ 0.33 d
T2	9.67 $\pm$ 0.58 ab
T3	7.89 $\pm$ 0.51 cd
T4	7.89 $\pm$ 0.69 cd
T5	8.44 $\pm$ 0.19 c
T6	8.56 $\pm$ 0.38 c
T7	8.44 $\pm$ 0.51 c
T8	9.89 $\pm$ 0.19 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

En tercera posición se ubicaron las plantas del tratamiento T4, con un número promedio de hojas verdes de 7.89. García-Martínez *et al.* (2020), reportan los mejores resultados para el número promedio de hojas verdes de *A. potatorum* cuando las plantas fueron fertilizadas con bioinoculantes. Sin embargo, en este trabajo los mejores resultados de número de hojas verdes, se obtuvieron en los tratamientos que incluyeron dentro de su formulación FQ y FQ + FO + B. Lo cual puede deberse a varios factores bióticos y abióticos a los cuales las plantas de maguey estuvieron expuestas (Bojórquez *et al.*, 2010).

Por último, las plantas de maguey del tratamiento T1, fueron las que registraron el menor número de hojas verdes con un valor de 7.33 (**Tabla 14**). Esto a causa de la falta de minerales, microorganismos y humedad adecuada presente en el suelo, que dificulta la capacidad para absorber los nutrientes del suelo (Rubio, 2019).

4.1.2.5 Número de hijuelos por planta

A este tiempo de medición, se observó la presencia de hijuelos en todos los tratamientos evaluados a excepción del tratamiento T6, el cual no presentó ningún hijuelo en sus plantas (**Tabla 15**). Los cuales fueron estadísticamente similares entre sí, con un promedio de hijuelos por planta de entre 0.44 a 1.33, donde el menor número de hijuelos se registró para las plantas del tratamiento T1 y el mayor número de hijuelos correspondió a las plantas del tratamiento T8. Datos que son consistentes con los reportes realizados por Cruz-Vasconcelos *et al.* (2024) y para plantas de *A. salmiana*. Ya que en dicho trabajo el mayor número de hijuelos por planta se obtuvo en las plantas que recibieron abono químico.

Tabla 15. Variables de respuesta número de hijuelos registrada a los 180 días.

Tratamiento	Número de hijuelos* $\pm$ ES**
T1	0.44 $\pm$ 0.19 ab
T2	0.67 $\pm$ 0.33 ab
T3	0.78 $\pm$ 0.19 ab
T4	1.11 $\pm$ 0.51 ab
T5	0.67 $\pm$ 0.58 ab
T6	0.00 $\pm$ 0.00 c
T7	1.00 $\pm$ 0.33 ab
T8	1.33 $\pm$ 0.33 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Por otro lado, la falta de hijuelos en las plantas del tratamiento T6, pudo deberse a problemas derivados de la interacción de los factores ambientales y/o caracteres propios de las plantas evaluadas de dicho tratamiento, así como la interacción de los bioinoculantes (González-León *et al.*, 2022; Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2024).

4.1.3 Variables de respuesta evaluadas a los 272 días

A este tiempo continuó la tendencia de superioridad de los tratamientos T8 y T2 en las variables longitud de hoja, diámetro de roseta, altura y número de hojas. Por su parte, para la variable número de hijuelos el mejor tratamiento fue el T8 seguido por los tratamientos T4 y T7.

4.1.3.1 Altura de planta

En esta variable de respuesta, altura de planta, medida a los 272 días, se observó que existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (**Tabla 16**). Registrándose los mejores resultados para los tratamientos T8 y T2, con valores promedio de 60.31 y 59.56 cm, respectivamente. Resultados semejantes fueron obtenidos por Canseco-Santiago *et al.* (2024) en plantas de *Agave americana* var. *oaxacensis*. En segundo lugar, se ubicaron las plantas de los tratamientos T5, T6 y T7 los cuales fueron estadísticamente similares.

Tabla 16. Variables de respuesta altura de planta registrada a los 272 días.

Tratamientos	Altura de planta* $\pm$ ES**
T1	38.49 $\pm$ 0.31 e
T2	59.56 $\pm$ 0.98 a
T3	43.44 $\pm$ 0.20 d
T4	44.44 $\pm$ 0.18 c
T5	50.46 $\pm$ 0.69 b
T6	50.42 $\pm$ 0.64 b
T7	51.40 $\pm$ 0.44 b
T8	60.31 $\pm$ 0.35 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

La mayor altura entre estos tres tratamientos la mostraron los magueyes del T7 con un valor promedio de 51.40 cm obteniendo resultados similares a los de (García-Martínez *et al.*, 2020) y la menor altura de planta la tuvieron los magueyes del tratamiento T6 con un valor promedio de 50.42 cm. En tercera posición se encontraron las plantas del tratamiento T4, inoculadas con *B. subtilis*, las cuales registraron una altura promedio de planta de 44.44 cm. Garnica-García *et al.* (2021) reportaron que la fertilización de plantas de *A. angustifolia* fertilizadas con materia orgánica, mostraron la mayor altura de planta. Las plantas del tratamiento T3 registraron un valor de 43.33 cm y las plantas del tratamiento T1 fueron las que tuvieron la menor altura de planta, con un valor promedio de 38.49 cm. Estos resultados se pueden explicar en parte debido a una mala retención de la humedad y minerales del suelo donde se desarrollaron las plantas del T1, el cual fue pobre en materia orgánica y microorganismos, lo cual dificulta la capacidad para absorber los nutrientes del suelo (Rubio, 2019).

4.1.3.2 Diámetro de roseta

Para esta variable de respuesta el tratamiento T8 fue en el cual las plantas de maguey pulquero registraron el mayor diámetro de roseta, con un valor de 50.19 cm. En este sentido, se observaron diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos evaluados (Tabla 17).

Tabla 17. Variables de respuesta diámetro de roseta registrada a los 272 días.

Tratamiento	Diámetro de roseta* $\pm$ ES**
T1	28.44 $\pm$ 0.07 d
T2	49.46 $\pm$ 0.04 b
T3	28.44 $\pm$ 0.10 d
T4	26.22 $\pm$ 0.13 e
T5	32.68 $\pm$ 0.38 c
T6	33.68 $\pm$ 0.92 c
T7	34.27 $\pm$ 0.95 c
T8	50.19 $\pm$ 0.08 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Por su parte, las plantas del tratamiento T2, abonadas con un fertilizante químico registraron un diámetro de roseta de 49.46 cm, siendo similar a los valores reportados por Sánchez-Mendoza & Bautista (2022) y Cruz (2001) para plantas de maguey mezcalero. En tercera posición, se ubicaron los magueyes de los tratamientos T5, T6 y T7, con un diámetro de roseta que varió de 32.68 a 34.27 cm, siendo similares entre sí. En este sentido, aunque no existieron diferencias significativas entre los tratamientos T5, T6 y T7, cuya formulación estuvo compuesta por al menos dos tipos de fertilizante, obtuvieron diámetros de roseta superiores a los registrados en los magueyes de los tratamientos T3 y T4. Al respecto, diferentes trabajos reportan resultados similares donde se reportan mejores resultados para el crecimiento de las plantas cuando el fertilizante que se les aportó estuvo mejor balanceado (Hemba, 2015; Arreola *et al.*, 2020; Arrazola-Cárdenas *et al.*, 2020).

Por otro lado, las plantas de los tratamientos T3 y T1 registraron un valor de 28.44 cm. Por último, el menor diámetro de roseta se registró en las plantas del tratamiento T4, fertilizadas con bioinoculantes. Estos resultados se aproximan bastante a los datos obtenidos por Cruz (2001), donde los mejores resultados se obtuvieron cuando se utilizó dos o más componentes en la formulación de cada fertilizante.

4.1.3.3 Longitud de hoja

Para la variable de respuesta longitud de hoja, se observaron diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos evaluados (**Tabla 18**). Donde las mayores longitudes de

hoja, se registraron para las plantas de los tratamientos T8 y T2, con lecturas de 69.29 y 66.31 cm, respectivamente.

Tabla 18. Variables de respuesta longitud de hoja registrada a los 272 días.

Tratamiento	Longitud de hoja* $\pm$ ES**
T1	42.99 $\pm$ 0.43 e
T2	66.31 $\pm$ 0.19 b
T3	46.20 $\pm$ 0.72 d
T4	48.22 $\pm$ 0.85 d
T5	54.27 $\pm$ 0.36 c
T6	55.23 $\pm$ 0.65 c
T7	56.37 $\pm$ 0.62 c
T8	69.29 $\pm$ 0.22 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Estos valores son consistentes con los reportes de los trabajos de Cruz-Vasconcelos *et al.* (2024) para plantas de *A. salmiana* y de Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz (2022) para plantas de *A. angustifolia*. Por su parte, para las plantas de los tratamientos T5, T6 y T7, la longitud de hoja vario de 54.27 a 56.37 cm. La similitud entre los valores reportados para estos tres tratamientos, puede deberse a que los elementos nutricionales disponibles en estos tres fertilizantes, proporcionó a las plantas de maguey las cantidades adecuadas de los diferentes nutrientes requeridos (Cruz, 2001).

En este sentido, estos tres esquemas de fertilización fueron superiores a la longitud de hoja registrada para las plantas de los tratamientos T3 y T4, a base de fertilizante orgánico y bioinoculantes, cuya longitud de hoja varió de 46.20 a 48.22 cm, respectivamente. En diferentes trabajos donde se evaluaron diferentes esquemas de fertilización para diferentes especies de plantas, se reportan resultados similares a los mostrados en este trabajo, donde se mencionan características positivas de crecimiento de las plantas en función de que tan balanceado fue el fertilizante suministrado (Hemba, 2015; Arreola *et al.*, 2020; Arrazola-Cárdenas *et al.*, 2020).

En última posición se ubicaron las plantas de maguey del tratamiento T1, que no recibieron ningún tipo de aporte de fertilización, las cuales registraron un valor de 42.99 cm para la longitud de sus hojas.

4.1.3.4 Número de hojas verdes

En lo que respecta a la variable número de hojas verdes, se observó un comportamiento similar al observado para la variable longitud de hoja, ambas calculadas a los 272 día de crecimiento vegetativo. Donde los mejores tratamientos para esta variable fueron el T8 y T2, con valores de 10.89 y 10.33 hojas verdes, respectivamente.

Tabla 19. Variables de respuesta número de hojas registrada a los 272 días.

Tratamiento	Número de hojas* $\pm$ ES**
T1	7.89 $\pm$ 0.38 e
T2	10.33 $\pm$ 0.33 b
T3	8.11 $\pm$ 0.19 d
T4	8.11 $\pm$ 0.19 d
T5	9.44 $\pm$ 0.51 c
T6	9.89 $\pm$ 0.19 c
T7	9.89 $\pm$ 0.98 c
T8	10.89 $\pm$ 0.19 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

El número promedio de hojas producidos por una planta de maguey pulquero bajo condiciones normales de entre 2 y 3 años de edad, ronda entre 10 y 14 (Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2024). Datos que son consistentes con los resultados obtenidos para las plantas de los tratamientos T8 y T2, siempre y cuando se tenga en cuenta que, al momento de la toma de datos, dichas plantas tienen una edad menor a la de las plantas reportadas por Cruz-Vasconcelos *et al.* (2024). En segundo lugar, se ubicaron las plantas de los tratamientos T5, T6 y T7, con un número promedio de hojas verdes que vario de entre 9.44 a 9.89. Por lo cual, el número de hojas contabilizados en estos tratamientos están dentro de los rangos reportados.

Por su parte, las plantas de *A. salmiana* de los tratamientos T3 y T4, fueron estadísticamente similares entre sí, obteniendo un número de hojas verdes promedio de 8.11. Los datos derivados de otros trabajos conducidos con magueyes pulqueros y tequileros reportan resultados similares para la variable aquí reportada (Arreola *et al.*, 2020; Arrazola-Cárdenas *et al.*, 2020). Por último, las plantas del tratamiento T1, fueron las que tuvieron el menor número de hojas por planta, con un valor promedio de 7.89. Estos resultados se justifican a causa de las condiciones tan extremas a las cuales se vieron sometidas estas

plantas de maguey, durante el desarrollo vegetativo. Como la mala retención de humedad y minerales del suelo, la deficiencia y/o ausencia de materia orgánica y microorganismos (Rubio, 2019).

4.1.3.5 Número de hijuelos por planta

Con respecto al número de hijuelos por planta, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (**Tabla 20**). Donde, el tratamiento T8 fue el que registró el mayor número de hijuelos con un promedio de 2.44. Datos que son consistentes con el número de hijuelos reportados para plantas de maguey pulquero obtenidas a partir de hijuelos de rizoma (Enríquez *et al.*, 2013; Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2024).

En segundo lugar, se ubicaron las plantas de los tratamientos T4 y T7, que dentro de su formulación incluyeron la aplicación de bioinoculantes. Estos tratamientos reportaron en promedio entre 1.89 y 1.78 hijuelos, datos que son consistentes con los reportes realizados por Cruz (2003), para plantas de *Agave tequilana* inoculadas con rizobacterias del género *Pseudomonas*.

Tabla 20. Variables de respuesta número de hijuelos registrada a los 272 días.

Tratamiento	Número de hijuelos* $\pm$ ES**
T1	0.56 $\pm$ 0.38 e
T2	1.44 $\pm$ 0.09 c
T3	1.33 $\pm$ 0.13 c
T4	1.89 $\pm$ 0.19 b
T5	1.11 $\pm$ 0.07 d
T6	0.00 $\pm$ 0.00 f
T7	1.78 $\pm$ 0.69 b
T8	2.44 $\pm$ 0.19 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Por su parte, las plantas de los tratamientos T5, T3 y T2, registraron un número promedio de hijuelos que varió de 1.11 a 1.44. Al respecto, el número promedio de hijuelos producidos por una planta de maguey pulquero bajo condiciones normales por año ronda entre 3 y 8 (Nieto *et al.*, 2016a), valores que son congruentes con los datos reportados. Por otro lado, las plantas del tratamiento testigo T1, registraron 0.56 hijuelos por planta, muy probablemente debido a la falta de nutrientes, humedad y microorganismos que faltaban en

el suelo donde crecieron estas plantas (Rubio, 2019). En último, lugar se ubicaron las plantas del tratamiento T6, que a este tiempo de medición seguían sin producir algún hijuelo visible.

4.1.4 Variables de respuesta evaluadas a los 364 días

A este tiempo de medición, se observó ya una marcada diferencia estadística entre todos los tratamientos evaluados para las cinco variables de crecimiento estudiadas. Con una marcada superioridad de los tratamientos T8, T2 y T5. En los siguientes subtemas se expone a detalle cual fue el comportamiento específico para cada una de las variables estudiadas.

4.1.4.1 Altura de planta

En esta variable de respuesta, se observó que existieron diferencias significativas entre todos los tratamientos (**Tabla 21**). Donde la mayor altura de planta, se registró en el tratamiento T8, con un valor promedio de 78.73 cm. Datos que son similares a los que se reportan para plantas de maguey pulquero de la especie *A. americana* (Enríquez *et al.*, 2013).

Tabla 21. Variables de respuesta altura de planta registrada a los 364 días.

Tratamientos	Altura de planta* $\pm$ ES**
T1	41.00 $\pm$ 0.33 h
T2	75.57 $\pm$ 0.25 b
T3	55.47 $\pm$ 0.27 f
T4	53.46 $\pm$ 0.12 g
T5	62.50 $\pm$ 0.15 c
T6	60.66 $\pm$ 0.20 e
T7	61.31 $\pm$ 0.21 d
T8	78.73 $\pm$ 0.15 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

Por otro lado, la altura de planta obtenida por los magueyes del tratamiento T2, fue de 75.57 cm. Después, con valores de altura de planta que van de entre 60.66 a 62.50 cm, se ubicaron las plantas de los tratamientos T5, T6 y T7. Estos resultados se encuentran dentro del rango de valores reportados por otros autores para varias especies de magueyes (Arreola *et al.*, 2020; Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz, 2022; Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2024).

Por su parte, para el caso de los magueyes de los tratamientos T3 y T4, se observó que registraron alturas de planta inferiores, con valores de 55.47 y 53.46 cm, datos que son consistentes con los reportes de Ávalos de la Cruz *et al.* (2018). Estos resultados pueden

deberse a que los microorganismos aplicados en el fertilizante orgánico, y en el bioinoculante de estos tratamientos compitieron con la comunidad de microorganismos propia del suelo, no existiendo por tanto un equilibrio en la micro flora propia del suelo, así como un buen aporte de nutrientes para las plantas (Bojórquez *et al.*, 2010).

Por último, las plantas del tratamiento T1 fueron las que tuvieron la menor altura de planta con un valor promedio de 41.00 cm. Esta baja altura de planta, se debe a la deficiencia de minerales en el suelo donde se desarrollaron las plantas de maguey de este tratamiento (Rubio, 2019). Por tanto, estas plantas estaban muy en desventaja competitiva respecto a las demás plantas de los otros siete esquemas de fertilización evaluados.

4.1.4.2 Diámetro de roseta

Para la variable diámetro de roseta, se observaron diferencias significativas entre todos los tratamientos (**Tabla 22**). Donde los mayores diámetros de roseta se registraron en los tratamientos T8, T2 y T7, con valores de 66.58, 62.68, y 53.66 cm, respectivamente. Estos valores son consistentes con los diámetros de roseta reportados por otros autores (Pacheco, 2007; Enríquez *et al.*, 2013; Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2024). Donde se observa que a medida que se mejora la disponibilidad de nutrientes presente en el fertilizante que se aplica a las plantas de maguey se obtienen mayores diámetros de roseta (Cruz, 2001).

Tabla 22. Variables de respuesta diámetro de roseta registrada a los 364 días.

Tratamiento	Diámetro de roseta* $\pm$ ES**
T1	30.68 $\pm$ 0.15 h
T2	62.68 $\pm$ 0.04 b
T3	38.48 $\pm$ 0.15 f
T4	35.57 $\pm$ 0.21 g
T5	41.78 $\pm$ 0.25 e
T6	45.38 $\pm$ 0.17 d
T7	53.66 $\pm$ 0.16 c
T8	67.58 $\pm$ 0.08 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

De manera similar en los magueyes de los tratamientos T6 y T5 se observó una altura de planta menor comparado con los tratamientos T8, T2, y T7. Por último, las menores alturas

de planta se registraron en los magueyes de los tratamientos T3, T4 y T1 con un rango de valores de entre 30.68 y 38.48 cm.

4.1.4.3 Longitud de hoja

Para la variable longitud de hoja existieron diferencias significativas entre casi todos los tratamientos evaluados (**Tabla 23**). Los mejores tratamientos fueron el T8 y el T2, cuyas longitudes de hoja fueron de 87.60 y 85.68 cm. Estos datos son consistentes con los reportes de Enríquez *et al.* (2013) para plantas de *A. americana*, y de Nieto *et al.* (2016a) para plantas de *A. salmiana*. Después se ubicaron los magueyes de los tratamientos T5 y T7 con valores de 72.26 y 72.42 cm, siendo estadísticamente similares, seguidos por las plantas de los tratamientos T6, T3, T4 y T1, cuyos valores para esta variable variaron de 71.58 a 62.47 cm. Datos que son consistentes, con los reportes de Garnica-García *et al.* (2021) para plantas de *A. angustifolia*. Por otro lado, los resultados reportados en este trabajo para las plantas de maguey pulquero son inferiores a los datos presentados por Arreola *et al.* (2020) para plantas de *A. tequilana* donde se obtuvo la mayor longitud de hoja, con 127.00 y 129.2 cm, respectivamente.

Tabla 23. Variables de respuesta longitud de hoja registrada a los 364 días.

Tratamiento	Longitud de hoja* $\pm$ ES**
T1	62.47 $\pm$ 0.28 g
T2	85.68 $\pm$ 0.18 b
T3	68.36 $\pm$ 0.27 e
T4	67.38 $\pm$ 0.21 f
T5	72.26 $\pm$ 0.35 c
T6	71.58 $\pm$ 0.20 d
T7	72.42 $\pm$ 0.22 c
T8	87.60 $\pm$ 0.08 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

4.1.4.4 Número de hojas verdes

En relación con esta variable, se observaron diferencias significativas entre algunos de los tratamientos (**Tabla 24**). Donde los tratamientos T8 y T2 fueron los que mostraron el mayor número de hojas con valores de 11.89 y 11.78, respectivamente. Después, se ubicaron las plantas del tratamiento T7 con un valor de 10.44 hojas por planta. En tercer lugar, se

ubicaron las plantas de los tratamientos T5, T6, T3 y T4, las cuales fueron estadísticamente semejantes con valores que fueron de 9.44 a 10.44 hojas por planta. Al respecto, para *A. angustifolia* se reportan números de hojas muy superiores a los registrados en este trabajo (Cruz, 2001), debido a las particularidades propia de dicha especie.

Tabla 24. Variables de respuesta número de hojas registrada a los 364 días.

Tratamiento	Número de hojas* $\pm$ ES**
T1	8.11 $\pm$ 0.51 c
T2	11.78 $\pm$ 0.19 a
T3	9.44 $\pm$ 0.19 b
T4	9.44 $\pm$ 0.77 b
T5	10.44 $\pm$ 0.51 b
T6	10.33 $\pm$ 0.33 b
T7	10.44 $\pm$ 0.84 ab
T8	11.89 $\pm$ 0.69 a

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

En otro trabajo con plantas de *A. potatorum* encontraron que la inoculación con cepas de *Glomus* incrementó el número de hijas en un 18.2% (García-Martínez *et al.*, 2020). De igual manera, el número de hojas que desarrolle una planta de maguey va a estar determinado por diversos factores bióticos propios de la planta, así como abióticos que van a depender del clima, precipitación y de los minerales que estén presentes en el suelo (Cruz-Vasconcelos, 2019).

En último lugar, se encontraron las plantas del tratamiento T1, las cuales registraron el menor número de hojas con un valor de 8.11. Es este sentido, es evidente que al no haber recibido durante todo el tiempo que duro el experimento ningún tipo de fertilizante, las plantas de este tratamiento, sufrieron un retraso considerable en su crecimiento lo cual se vio reflejado en el número tan reducido de hojas que formaron (Rubio, 2019).

4.1.4.5 Número de hijuelos por planta

Para la variable de respuesta número de hijuelos por planta, se encontró diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos (**Tabla 25**). Donde los dos mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos T2 y T5, los cuales fueron similares entre sí, con un número promedio de hijuelos por planta de 9.11 y 9.00. En segundo lugar, se ubicaron las

plantas del tratamiento T8 con un número de hijuelos de 6.33. Una constante en estos tres tratamientos fue que sus esquemas de fertilización aportaron a las plantas de maguey una fuente de nutrientes balanceada, que aseguró que obtuvieran los mayores números de hijuelos (Cruz-Vasconcelos, 2019).

Tabla 25. Variables de respuesta número de hijuelos registrada a los 364 días.

Tratamiento	Número de hijuelos* $\pm$ ES**
T1	1.22 $\pm$ 0.19 d
T2	9.11 $\pm$ 0.19 a
T3	1.56 $\pm$ 0.19 d
T4	4.00 $\pm$ 0.58 c
T5	9.00 $\pm$ 0.33 a
T6	0.00 $\pm$ 0.00 e
T7	2.22 $\pm$ 0.69 d
T8	6.33 $\pm$ 0.33 b

*Letras diferentes dentro de la misma columna significa que existió diferencias estadísticas ($P < 0.05$, ANOVA y prueba de Tukey); **Error estándar.

En tercer lugar, se registró a los magueyes del tratamiento T4 que obtuvo un promedio de 4.00 hijuelos por planta. Estos datos, son consistentes con los valores reportados por Canseco-García *et al.* (2024), para combinaciones similares de fertilizantes evaluados en plantas de *A. americana* var. *oaxacensis*. Así, como para plantas de *A. angustifolia* manejadas bajo un esquema de fertilización químico (Garnica-García *et al.*, 2021). En cuarto lugar, se ubicaron las plantas de los tratamientos T7, T3 y T1 que no presentaron diferencias estadísticas entre ellos, con un número de hijuelos que vario de 1.22 a 2.22. Por último, en las plantas del tratamiento T6 no se registró ningún hijuelo.

En el **Apéndice C**, se muestran los valores correspondientes a los porcentajes de crecimiento finales obtenidos para cada una de las variables de respuesta evaluadas en este estudio dentro de cada tratamiento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- De todos los esquemas de fertilización analizados, el tratamiento T8 fue el que mostró estadísticamente los mejores valores para casi todas las variables de respuesta estudiadas, con la excepción de la variable de respuesta; número de hijuelos contabilizados a los 364 días, donde los tratamientos T5 y T2 fueron los que mostraron el mejor resultado.
- En el esquema de fertilización correspondiente al tratamiento T6, no se observó la presencia de hijuelos en ningún tiempo de medición.
- Se puede observar gran similitud entre los tratamientos T5, T6 y T7 en todas las variables de respuesta analizadas a los 180 y a los 272 días, cambiando la tendencia a los 364 días difiriendo en las variables altura, diámetro de roseta y número de hijuelos.
- Los esquemas de fertilización que presentaron menos incremento en sus valores para las variables de respuesta fueron los tratamientos T3 y T4 siendo muy similares entre sí.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar experimentos adicionales, ahora solo con los tratamientos que dieron los mejores resultados para todas las variables de crecimiento estudiadas. Es decir, los tratamientos T8, T2 y T5, por un tiempo superior al realizado en este estudio. Así como incluir otras variables no medidas en este trabajo tales como precipitaciones o incluir sistemas de riego para un mejor desempeño de los fertilizantes. También, sería recomendable trabajar con plantas en otra etapa de desarrollo para comparar el rendimiento de los fertilizantes en distintas etapas del ciclo de vida de los magueyes pulqueros.

REFERENCIAS

- Abrahamson, W. G. 1980. Demography and vegetative reproduction. In Demography and evolution in plant populations. Botanical Monographs, Solbrig, O. (Eds.) vol. 15. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Aguilar, J. B., Enríquez, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Granados, S. D., & Martínez, C. B. (2014). El estado actual de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* del Valle de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(2), 106-120.
- Aguirre, R., Charcas, J. R., H., & Flores, J. L. (2001). El maguey mezcalero potosino. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 87 pp.
- AGQ Labs (AGQ). (2024). Requerimientos técnicos para el cultivo de *Agave*. Consultado [27/09/2024]. En línea: <https://agqlabs.mx/2024/01/29/cultivo-de-agave/#:~:text=El%20cultivo%20de%20agave%20requiere%20de%20condiciones%20espec%C3%ADficas%20para%20su,de%2025%2D30%C2%B0C>.
- Alfonso, D. (2023). Distribución del agave. Consultado [01/07/2024]. En línea: <https://mezcal.org/distribucion-del-agave/>
- Almazán-Morales, A., Moreno-Godínez, M.E., Hernández-Castro, E., Vázquez-Villamar, M., Mora-Aguilera, J.A., Cabrera-Huerta, E., & Alvarez-Fitz, P. (2022). Phytochemical profile and *in vitro* activity of *Agave angustifolia* and *A. cupreata* extracts against phytopathogenic fungi. *Mexican Journal of Phytopathology*, 40(2), 169-187. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2202-6>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2000). Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Ciudad de México, México, 250 p.
- Álvarez-Chávez, J., Villamiel, M., Santos-Zea, L. & Ramírez-Jiménez, A. K. (2021). *Agave* by-products: An overview of their nutraceutical value, current applications, and processing methods. *Polysaccharides*, 2(3), 720-743.
- Álvarez-Duarte, M. C., García-Moya, E., Suárez-Espinosa, J., Luna-Cavazos, M., & Rodríguez-Acosta, M. (2018). Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en los municipios de Puebla y Tlaxcala. *Polibotánica*, 45, 205-222.
- Álvarez, de Z. A. (1988). Morfología y Anatomía Floral de las Agavaceae. *Revista del Jard. Bot. Nac. Univ. de la Habana, Cuba*, 9(3), 37-57.
- Álvarez, de Z. A., & Köhler, E. (1987). Morfología de las Agavaceae y algunos géneros afines. *Grana*, 26, 25-45.
- Álvarez, de Z. A. (1986). Las inflorescencias de Agavaceae. *Revista del Jard. Bot. Nac. Univ. de la Habana, Cuba*, 7(2), 3-14.
- Andrades, R. M. S., & Martínez, V. E. (2022). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. 4a Edición. Universidad de La Rioja. La Rioja, España. 38 pp.

- Angiosperm Phylogeny Group (APG). (2003). An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141, 399-436.
- Argüello-Navarro, A. Z., Madiedo, S. N., & Moreno-Rozo, L. Y. (2016). Cuantificación de bacterias diazótroficas aisladas de suelos cacaoteros (*Theobroma cacao* L.), por la técnica de Número Más Probable (NMP). *Revista Colombiana de Biotecnología*, XVIII (2), 40-47.
- Arizaga, S., & Ezcurra, E. (2002). Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. *Am. J. Bot.*, 89, 632-641.
- Arrazola-Cárdenas, L., García-Nava, J. R., Robledo-Paz, A., Ybarra-Moncada, M. C., & Muratalla-Lúa, A. (2020). Sustratos y dosis de fertirrigación en la acumulación de azúcares totales y el crecimiento de *Agave salmiana* (Asparagaceae). *Polibotánica*, 50, 109-118.
- Arrazola, C. L. (2019). Propagación de *Agave salmiana* Otto ex Salm Dick en sustratos y dosis de fertirrigación. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 55 pp.
- Arreola, T. M. J., Montoya, J. V. M., Areola, N. J. M., Castillo, V. X., Olivares, A. E. A., & Báez, P. A. (2020). Efecto de la aplicación de levadura (mosto de caña de azúcar) en la producción y calidad de *Agave tequilana* Weber. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1311-1324.
- Arzaba, V. C. R. (2019). Taxonomía del género *Agave* L. (Asparagaceae: Agavoidea) en Veracruz, México. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 117 pp.
- Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (AIIF). (2002). Los fertilizantes y su uso. Food and Agriculture Organization (FAO). Consultado [04/06/2024]. En línea: <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- Ávalos de la Cruz, M. A., Figueroa, V. U., García, H. J. L., Vázquez, V. C., Gallegos, R. M. A., & Orona, C. I. (2018). Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova Scientia*, 10(20), 170-189.
- Axioma Group S.A.S (2017). Bioplástico mexicano hecho con agave. Tecnología del plástico. Consultado [04/07/2024]. En línea: <https://www.plastico.com/es/noticias/bioplastico-mexicano-hecho-con-agave>
- Ayón, P. Y. (2007). Estudio etnofarmacológico de las diferentes especies endémicas de *Agave* en la medicina tradicional del estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo, México. 79 pp.
- Barrientos-Rivera, G., Esparza-Ibarra, E. L., Segura-Pacheco, H. R., Talavera-Mendoza, O., Sampedro-Rosas, M. L., & Hernández-Castro, E. (2019). Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 655-668.

- Belgrove, A., Steinberg, C., Viljoen, A. (2011). Evaluation of Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* and *Pseudomonas fluorescens* for Panama Disease Control. *Plant Disease*, 95 (8), 951-959.
- Bojórquez, A. D. A., Gutiérrez, C. G., Báez, J. R. C., Sánchez, M. Á. A., Montoya, L. G., & Pérez, E. N. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Camacho, R. R. M., Gutiérrez, M. A., & Gschaedler, M. A. C. (2023). Los agaves y sus derivados: Tendencias científicas, uso sostenible y patrimonio. CIATEJ, Guadalajara, Jalisco, México, 438 pp.
- Campos, S. N. (2022). ¿Cómo se clasifican los agaves de acuerdo con la Biología? (Primera parte). Consultado [01/07/2024]. En línea: <https://revistaquixe.com/2022/03/01/como-se-clasifican-los-agaves-de-acuerdo-con-la-biologia-primera-parte/>
- Canseco-Santiago, D. E., Enríquez-Del-Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Rodríguez-Vásquez, M. E., García-Aguilar, J. A., & Pérez-Félix, G. P. (2024). Desarrollo de *Agave americana* var. *oaxacensis* por efecto de nutrición orgánica, fertirriego y bencilaminopurina. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 11(2), 126-135.
- Carmona, J. E., Morales-Martínez, T. K., Mussatto, S. I., Castillo-Quiroz, D., & Ríos-González, L. J. (2017). Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(42), 100-122.
- Casierra-Posada, F., Lizarazo, L. M., & Andrade, F. G. (2004). Estado nutricional de árboles de manzano 'Anna' durante la estación de crecimiento en los altiplanos colombianos: II. Relaciones e interacciones entre nutrientes. *Agroonomía Colombiana*, 22(2), 160-169.
- Castillo, Q. D., Villarreal, Q. J. A., & Cano, P. A. (2007). El género *Agave* L. bajo cultivo: taxonomía, distribución y usos. *Revista Ciencia Forestal en México*, 32(101), 57-70. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/826/2063>
- Castillo, Q. M., Villareal, Q. J. A., & Cano, P. A. (2006). Identificación taxonómica de las especies del género *Agave* bajo cultivo en el sureste de Coahuila. INIFAP, Saltillo, Coahuila, México. 13-14 pp.
- Ceballos-Álvarez, A., Chávez-Díaz, I. F., Zelaya-Molina, L. X., Cruz-Cárdenas, C. I., Mercado-Vargas, T. J., & Resendiz-Venado, Z. (2022). Identificación morfológica de hongos filamentosos aislados de diferentes síntomas asociados a *Agave* tequilero en los Altos de Jalisco. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*, 10(1), 60-69.
- Ceja-Ramírez, R., González-Eguiarte, D. R., Ruiz-Corral, J. A., Rendón-Salcido, L. A., & Flores-Garnica, J. G. (2017). Detección de restricciones en la producción de agave azul (*Agave tequilana* Weber var. azul) mediante percepción remota. *Terra Latinoamericana*, 35(3), 259-268.
- Chandra, R., Ranab, N. S., Kumarc, S., & Panward, G. S. (2008). Effects of sugarcane residue and green manure practices in sugarcane-ratoon-wheat sequence on productivity, soil fertility and soil biological properties. *Archiv. Agron. Soil Sci.*, 54(6), 1476-3567.

- Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S., Soltis, D. E., Mabberley, D. J., Sennikov, A. N., Soltis, P. S., & Stevens, P. F. (2016). An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20.
- Colunga-García, M. P., Larqué, A. S., Eguiarte, L. E., & Zizumbo-Virrareal, D. (2007). En lo ancestral hay futuro: de tequila, los mezcales y otros *Agaves*. CICY-CONACYT-CONABIO-INE. Mérida, Yucatán. pp. 5.
- Colunga, G. M. P., Estrada-Loera, E., & May-Pat, F. (1996). Patterns of morphological variation, diversity, and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatan, Mexico. *Am. J. Bot.*, 83, 1069-1082.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2021) Diversidad biológica magueyes. Biodiversidad mexicana. Consultado [7/12/2023]. En línea: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/magueyes/diversidadmagueyes>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1999). Guatopote listado, *Pseudoxiphophorus jonesii*. Consultado [21/07/2024]. En línea: <https://enciclovida.mx/especies/37042>
- Coria-Contreras, J. J., Mora-Aguilera, G., Yáñez-Morales, M. J., Acevedo-Sánchez, G., Santana-Peñaloza, B., Mendoza-Ramos, C., Jiménez-González, L., Martínez-Bustamante, V. I., García-Martínez, D. C., & Rubio-Cortés, R. (2019). Epidemiología regional aplicada a la caracterización inductiva y pronóstico de la mancha gris del agave azul (*Cercospora agavicola*) en Jalisco, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 37(1), 71-94.
- Corona G. L.R. (2005). Fertilización foliar en *Agave tequilana* Weber variedad azul en La Noria, Mazatlán, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México. 41 pp.
- Cortés, Z. L., & Basurto, P. F. (2006). *Agave salmiana* Otto ex Salm. Grupo Etnobotánico Latinoamericano GELA. Consultado [03/07/2024] En línea: <http://www.ibiologia.unam.mx/gela/pp-1.html>
- Cruz, G. R. (2003). Biocontrol de *Fusarium oxysporum* y promoción de crecimiento por rizobacterias en *Agave tequilana* Weber var. Azul. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 70 pp.
- Cruz, J. E. (2001). Fertilización química y orgánica del agave mezcalero (*Agave angustifolia* Haw) en Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 138 pp.
- Cruz-Vasconcelos, S. T. (2019). Crecimiento y fisiología del maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) obtenido por semilla. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 112 pp.

- Cruz-Vasconcelos, S. T., Ramírez-Herrera, C., Cruz-Huerta, N., Gómez-Guerrero, A., Reyes-Hernández, V. J. (2024). Estimulación del desarrollo de hijuelos de rizoma de *Agave salmiana* mediante labores culturales y ácido indol-3-butírico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 47 (1): 27-33.
- Cuervo-Parra, J. A., Pérez, E. V. H., Zavala-González, E. A., Peralta-Gil, M., Aparicio, B. J. E., & Romero-Cortes, T. (2022). *Trichoderma asperellum* strains as potential biocontrol agents against *Fusarium verticillioides* and *Ustilago maydis* in maize. *Biocontrol Science and Technology*, 32(2), 1-24.
- Cuervo-Parra, J. A., Pérez-España, V. H., López, P. P. A., Morales-Ovando, M. A., Arce-Cervantes, O., Aparicio-Burgos, J. E., & Romero-Cortes, T. (2019). *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae): a weevil threatening the production of agave in Mexico. *Florida Entomologist*, 102(1): 1-9.
- DGSV-CNRF. (2017a). Pudrición negra del agave. *Ceratocystis paradoxa*. SAGARPA-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 12 p.
- DGSV-CNRF. (2017b). Mancha gris del agave. *Cercospora agavicola*. SAGARPA-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 7 p.
- DGSV-CNRF. (2017c). Marchitez del agave. *Fusarium oxysporum*. SAGARPA-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 11 p.
- DGSV-CNRF. (2017d). Pudrición Blanda del cogollo del *Agave*. *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. SAGARPA-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 16 p.
- DGSV-CNRF. (2016). Marchitez del agave. *Fusarium verticillioides*. SAGARPA-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 11 p.
- Di Ciocco, C. A., Sandler, V. R., Falco, L. B., & Coviella, C. E. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas. *Facultad de Ciencias Agrarias Uncuyo*. 46(1): 73-85.
- Diez, J., Toncovich, M. E., & Rodríguez, M. B. (2014). Fecha de trasplante y requerimientos de nutrientes (N-P-K) en lotes tabacaleros de Salta (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 32(2), 209-218.
- Domínguez-Arista, D. R. (2020). Bacanora, mezcal of Sonora: From clandestinity to denomination of origin. Estudios Sociales. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 30(56), 2-23.

- Domínguez, R. M. S., González, J. M. L., González, R. C., Quiñones, V. C., Díaz, D. L., Mireles, O. S. J., & Pérez, M. E. (2008). El cultivo *in vitro* como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. *Investigación y Ciencia*, 41, 53-62.
- Duque, S. J. C. (2013). Evaluación de tres métodos de reproducción del penco azul (*Agave americana*) en la parroquia Tocachi, Cantón Pedro Moncayo provincia Pichincha. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Quito, Perú.
- EcuRed. (2012). Apan. Consultado [20/07/2024]. En línea: <https://www.ecured.cu/Apan>
- Enríquez, del V. J. R., Cruz-Valdez, I., & Carrillo-Castañeda, G. (2012). Acclimatization of *Agave angustifolia* Haw. vitroplants in inert substrates and fertigated with different nutrimental dose. *Acta Horticulturae*, 947, 101-104.
- Enríquez, del V. J. R., Estrada, S. A., Rodríguez, O. G., Velasco, V. V. A., & Campos, A. G. V. (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.
- Eriksson, O. (1992). Evolución de la dispersión y reclutamiento de semillas en plantas clonales. *Oikos*, 63, 439-444.
- Eriksson, O. (1989). Dinámica de plántulas e historia de vida en plantas clonales. *Oikos*, 55, 231-238.
- Erlwein, S., Mira-Tapia, R. J., & Velasco-Pegueros, A. (2013). Proceso de elaboración del pulque, su importancia económica y concepción social en Apan, Hidalgo. En: *Ejercicios etnográficos, aprendiendo a investigar*, Ramos, R. J. L. (Eds.). ENAH-CONACULTA. México. 59-103 pp.
- Escalante, A., Giles-Gómez, M., Esquivel-Flores, G., Matus-Acuña, V., Moreno-Terrazas, R., López-Munguía, A., & Lappe-Oliveras, P. (2011). En: *Pulque Fermentation*. Hui, E. Y. H. (Eds.). Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology. Boca Ratón, Florida. EE. UU. 691-706 pp.
- Escalona-Paneque, T., Polanco, A. M., Jiménez, N. C., & Piquera, P. Y. (2019). Estudio etnofarmacológico de algunas especies endémicas de agave utilizados en la medicina tradicional. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2), 57-66.
- Esparza-Ibarra, E. L., Violante-González, J., Monks, S., Cadena-Iñiguez, J., Araujo-Andrade, C., & Rössel-Kipping, E. D. (2015). Los agaves mezcaleros del altiplano Potosino y Zacatecano. Estudios en biodiversidad. Volumen I. *Zea Books*. Lincoln, Nebraska. EE. UU. pp. 227-245.
- Etter, J., Kristen, M. (2023). The Agaveceae database. Consultada [16/01/2024]. En línea: https://agavaceae.com/agavaceae/agavhome_en.asp
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2002). Los fertilizantes y su uso. Land and Water Division. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. 4ª Edición. 83 pp.

- Fassbender, H., & Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. San José, Costa Rica. IICA. 420 pp.
- Ferrera-Cerrato, R., & Santamaria, R. S. (1996). La biotransformación de la materia orgánica y el uso de microorganismos en la agricultura. Primer Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. CONARAO. SAGAR. México. 7-22 pp.
- Figueredo-Urbina, C., Álvarez-Ríos, G. D., García-Montes, M. A., & Octavio-Aguilar, P. (2021). Morphological and genetic diversity traditional varieties of agave in Hidalgo state, Mexico. *PLoS ONE*, 16(7), e0254376
- Flores-Morales, A., Chávez-Ávila, V. M., & Jiménez-Estrada, M. (2021). Evaluación de una alternativa de propagación de maguey pulquero (*Agave salmiana*) variedad púa larga. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(1), 46-58.
- Franck, A. R. (2012). Guide to *Agave*, *Cinnamomum*, *Corymbia*, *Eucalyptus*, *Pandanus*, and *Sansevieria* in the flora of Florida. *Phytoneuron*, 102, 1-23.
- Frisby-Morales, A., Córdova-Yáñez, A., & Medina-Ortiz, F. A. (2018). Diversificación en el uso del *Agave* del bacanora: Oportunidad económica para Sonora. UNAM. México. 502-517 pp. http://ru.iiec.unam.mx/4278/1/4-Vol2_Parte2_Eje12_Cap1-039-Frisby-Cordova-Medina.pdf
- Galindo-Martorell P., Landeros Jaime F., Esquivel Naranjo E. U., Cervantes Chávez J. A. (2023). Biofertilizantes: el futuro limpio y sustentable para potenciar el desarrollo de la agricultura. Frontera Biotecnológica. Universidad Autónoma de Querétaro. <https://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol25/pdf/vol-25-4.pdf>
- Galván, R., & Zamudio, S. (2013). Una nueva especie de *Agave* subgénero *Littaea* (Agavaceae) del estado de Querétaro, México. *Acta Botánica Mexicana*, 105, 1-10.
- Garavito, N. F. (1974). Propiedades químicas de los suelos. Volumen X, No. 11. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 422 pp.
- García, G. L. A., Capera, R., Meléndez, J. P., & Mayorquín, N. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et Technica*, Año XXV, 25(01), 172-182.
- Garnica-García, R., Enríquez, del V. J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Pérez-León, I., Trejo-Calzada, R., & Morales, I. (2021). Plant growth and rhizome shoots of *Agave angustifolia* in different substrates, with fertigation and benzylaminopurine. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(10), 702-710.
- García-Martínez, L. I., Sánchez-Mendoza, S., & 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-Mendoza, A., Cházaro-Basáñez, M. J., Nieto-Sotelo, J., Sánchez-Teyer, L., Tapia, E., Gómez-Leyva, J., Tamayo-Ordoñez, M. Narváez-Zapata, J. A., Rodríguez-Garay, B., Palomino-Hasbach, G. A., Martínez-Ramón, J., Martínez-Rodríguez, J. C., Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G., Beltrán-García, M. J., Quí-Zapata, J. A., Guzmán-Mendoza, R., Mercado-Flores, Y., Ragazzo-Sánchez, J. A., Calderón-Santoyo, M., & Gutiérrez-Mora, A. (2017). Panorama del aprovechamiento de los Agaves en México. *Red Temática Mexicana Aprovechamiento Integral Sustentable y Biotecnología de los Agaves*, AGARED, México. pp. 49.
- García-Mendoza, A. J. (2012). México, país de magueyes. *La Jornada del campo*, 53, 4. Consultado [02/07/2024]. En línea: <https://www.jornada.com.mx/2012/02/18/cam-pais.html>
- García-Mendoza, A. J. (2011). Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 88. Agavaceae. Instituto de Biología. UNAM. México. 95 pp.
- García-Mendoza, A. (2007). Los *Agaves* de México. *Ciencias*, 87, 14-23.
- García-Mendoza, A. (2004). Agaváceas, en: García, M. A., & Briones, M. de J. (Eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund. México, D.F. pp. 159-169.
- García-Núñez, R. A., Galán-Reséndiz, M., Cuevas-Sánchez, J. A., & Álvarez-Hernández, R. (2020). Identificación y caracterización morfológica de agaves en sistemas agroforestales con metepantle en tierras campesinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 917-929.
- García-Suárez, M. D., & Serrano, H. (2021). *Agaves* de ornato Asparagaceae. TecnoAgro. 149. Consultado [7/12/2023]. En línea: <https://tecnoagro.com.mx/no.149/agaves-de-ornato-asparagaceae>
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of continental North America*. University of Arizona Press. Tucson, Arizona. 670 pp.
- González-Elizondo, M., Galván-Villanueva, R., López-Enríquez, I. L., Reséndis-Rojas, L., & González-Elizondo, M. S. (2009). *Agaves* -magueyes, lechuguillas y noas del Estado de Durango y sus alrededores. Primera edición, CONABIO, Durango, Dgo., México. pp. 132-136.
- González, L. H. D., & González, U. D. U. (2023). Estimación del rendimiento de biomasa y fibra de *Agave lechuguilla* Torr. en el norte de Zacatecas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(75), 97-117.
- González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. A., & Mercado-Flores, Y. (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25, e520.

- González, M., & Ballesteros, A. (2015). Crean muros ecológicos con fibra de agave y hielo seco. Universidad de Guadalajara. Red Universitaria de Jalisco. Consultado [7/12/2023]. En línea: <https://cuaad.udg.mx/?q=noticia/crean-muros-ecologicos-con-fibra-de-agave-y-hielo-seco>
- González, A. M. (2005). Revisión taxonómica de la Sección *Salmianae* Berger del género *Agave* L. (Agavaceae). Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. 151 pp.
- Guerrero, J. (1993). Abonos orgánicos: Tecnología para el manejo ecológico de suelos. RAAA. Lima, Perú. 89 pp.
- Guillén, C. R. (2003). Biocontrol de *Fusarium oxysporum* y promoción de crecimiento por rizobacterias en *Agave tequilana* Weber var. Azul. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- Guillot, O. D., Van der, M. P., Laguna, L. E., & Rosselló, P. J. A. (2009). El género *Agave* L. en la flora alóctona valenciana. Valencia, España. Monografías de la Revista Bouteloua, No. 3, 94 pp.
- Guillot, O. D., Van Der, M. P. (2006). Claves de las especies del género *Agave* L. cultivadas como ornamentales en la Península Ibérica e Islas Baleares. Acta Bot. Barc. 50: 441-457.
- Harper, J. L. (1985). Module, branches, and the capture of resources. In Population biology and evolution of clonal organisms. Jackson, J. B. C., Buss, L. W., & Cook, R. E. (Eds.). Yale University Press, New Haven, Connecticut, USA. 1-33 pp.
- Harper, J. L. (1977). Population biology of plants. Academic Press, London, UK.
- Hemba, P. L. A. (2015). Fertilización química en el cultivo de jengibre (*Zingiber officinale*), en la zona de Buena Fe. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.
- Heredia-Solis, A., Esparza-Ibarra, E., Romero-Bautista, L., Cabral-Arellano, F., & Bañuelos-Valenzuela, R. (2014). Bagazos de *Agave salmiana* y *Agave weberi* utilizados como sustrato para producir *Pleurotus ostreatus*. Revista Iberoamericana de Ciencias, 1(5), 103-110.
- Hernández, J. J., Hernández, D. E. M., López, V. E., & Álvarez, C. J. (2022). Aislamiento e identificación del fitopatógeno causal de viruela o “negrilla” en *Agave salmiana* de municipios del estado de Hidalgo, México. *Sci. Fungorum*, 53, e1425.
- Hernández, J. P. (2018). Balancea e incrementa tus ganancias en *Agave*. Consultado [28/09/2024]. En línea: <https://www.yara.com.mx/noticias-y-eventos/noticias-mexico/balancea-e-incrementa-tus-ganancias-en-agave/>
- Herrera, S. (2003). Forjadores de la ciencia en la UNAM. Ciclo de conferencias, mi vida en la ciencia. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 30 pp.
- HIDALGO. (2024). Apan. SITE123. Consultado [20/07/2024]. En línea: <https://5ccb73ff3e2cd.site123.me/apan#:~:text=La%20fauna%20perteneiente%20a%20%C3%A9sta,de%20reptiles%2C%20insectos%20y%20ar%C3%A1cnidos>

- Hochstätter, F. (2015). *Agave Linné (Agavaceae)*. FHNAJAOIRT, 1rta Edition, Mannheim, Deutschland, pp. 23. En línea: https://www.fhirt.org/pdf_books/Agave.pdf
- ICL (2024). Fertilizantes para Agave tequilero consejos de nutrición para cultivos. Consultado [26/09/2024]. En línea: <https://icl-growingsolutions.com/es-mx/agriculture/crops/agave/>
- Ingawale (Mandlik), D. K. (2020). Saponins and sapogenins of agave with respect to diverse pharmacological role of hecogenin: Pharmacological Role of Hecogenin. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 12(2), 1–7.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1992). Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220945/702825220945_1.pdf
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2019). Productividad de *Agave tequilana* con fertirrigación en Tamaulipas. Consultado [27/09/2024]. En línea: <https://www.gob.mx/inifap/articulos/productividad-de-agave-tequilana-con-fertirrigacion-en-tamaulipas>
- Jiménez-Delgadillo, R., Virgen-Galleros, G., Tabares-Franco, J., Olalde-Portugal, V., 2001. Bacterias promotoras del crecimiento de plantas: agro-biotecnología. Avance y perspectiva. Noviembre-Diciembre de 2001. 20:395-400p.
- Jiménez-Torres, J. A., Juárez, M. J., & Capulín, G. J. (2022). Effect of substrates and fertigation on growth and photosynthetic efficiency of maguey pulquero plants of Mezquital Valley Landraces. *Agrociencia*. 1-14.
- José, J. R., & García, M. E. (2000). Remoción cuticular ("Mixiote") y desarrollo foliar en los agaves pulqueros (*Agave salmiana* y *A. mapisaga*). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 66, 73-79.
- Josse, C. (2024). Matorral crasicaule de México Central. International Terrestrial Ecological System. NatureServe. Consultado [02/07/2024]. En línea: https://explorer.natureserve.org/Taxon/ELEMENT_GLOBAL.2.938188/Matorral_Crasicaule_de_Mexico_Central
- Larrazabal, M. (2019). Tipos de fertilizantes. ¿Qué son, cómo se aplican y para qué sirven? Consultado [27/09/2024]. En línea: <https://www.bialarblog.com/tipos-de-fertilizantes-como-se-aplican-para-que-sirven/>
- Laurin, M., Llosá, M. J., Gonzálvez, V., & Porcuna, J. L. (2006). El papel de la agricultura ecológica en la disminución del uso de fertilizantes y productos fitosanitarios químicos. VII Congreso SEAE de Agricultura y Alimentación Ecológica. 18-23 de septiembre. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Zaragoza, Puebla, México. No. 105, 912-926 pp.
- Lazcano-Juárez, P., Torres-Ángeles, F., Aranda-Trejo, A., Domínguez-Vega, H., Morales-Capellán, N., González-Bonilla, T., Canales-Pérez, R., Maciel-Mata, C. A., Borja-Jiménez, M., &

- Fernández-Badillo, L. (2022). Nuevos registros de la serpiente de cascabel *Crotalus ravus* (Squamata: Viperidae) en el estado de Hidalgo, México. *Revista Latinoamericana De Herpetología*, 5(2), 26-32. <https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.2.400>
- López-Montúfar, A., & Anzures-Jaimes, N. (2014). El registro arqueológico e histórico del maguey. *Arqueología Mexicana*, 57, 12-13.
- Mancera, A. C. P. (2021). Detección de *Cercospora* en *Agave* a través del análisis de imágenes multiespectrales. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. Tlaquepaque, Jalisco, México.
- Mandujano, B. A., Pons, H. J. L., Paredes, M. R., & García, M. P. (2018). Diversidad genética de maguey (*Agave* spp.) en las sierras y llanuras del norte de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 511-523. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1212>
- Martínez, B. O. U., Castillo, Q. D., & Mares, A. O. (2011). Caracterización y selección de sitios para plantaciones de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el estado de Coahuila. SAGARPA. INIFAP. Folleto Técnico. No. 47. 44 pp.
- Más De México. (2016). Recetas prehispánicas: atole de aguamiel. Consultado [04/07/2024]. En línea: <https://masdemx.com/2016/08/recetas-prehispanicas-atole-de-aguamiel/>
- Matheus, L., Caracas, J., Montilla, F., & Fernández, O. (2007). Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicomposta, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays*.) *Agricultura Andina*, 13, 27-38.
- Mayorga-Hernández, E., Rössel-Kipping, D., Ortiz-Laurel, H., Quero-Carrillo, A. R., & Amante-Orozco, A. (2004). Análisis comparativo en la calidad de fibra de *Agave lechuguilla* Torr., procesada manual y mecánicamente. *Agrociencia*, 38(2):219-225. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/315>.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (1987). Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute. 4a Edición. Basel, Suiza. 693 pp.
- Montañes-Soto, J., Venegas-González, J., Vivar-Vera, M., & Ramos-Ramírez, E. (2011). Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del *Agave tequilana* Weber azul. *Bioagro*, 23(3), 199-206.
- Mora-Aguilera, J. A., Cabrera-Huerta, E., Nava-Díaz, C., Vázquez-López, A., Camacho-Tapia, M., & Hernández-Castro, E. (2023). Primer informe de *Phoma sorghina* que causa manchas de hojas necróticas en Agave-Mezcal (*Agave angustifolia*) en México. Consultado [29/11/2023]. En línea: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/OQ346146>
- Morales-Maldonado, E., Quintanar, W., Vega-Chávez, J. L., & Guerrero, A. O. (2019). Aplicación de humus de lombriz en el crecimiento y calidad de *Agave salmiana*. *REIA*, 5,11-15.
- Murillo, C. R., Piedra, M. G., & León, R. G. (2012). Absorción de nutrientes a través de la hoja. *UNICIENCIA*, 27(1), 232-244.

- Narváez, S. A. U., Martínez, S. T., & Jiménez, V. M. A. (2016). El cultivo de maguey pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. *Revista de Geografía Agrícola*, (56), 33-44.
- Nava-Cruz, N. Y., Medina-Morales, M. A., Martínez, J. L., Rodríguez, R., & Aguilar, C. N. (2015). *Agave* biotechnology: an overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(4), 546-559.
- Nieto, A. R., Vargas, M. J., Nieto, A. J. C., Rodríguez, O. A., Jiménez, P. V. M., Hernández, C. J., & Ortiz, B. M. (2016a). El cultivo del maguey pulquero (*Agave salmiana*) en el Valle del Mezquital. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Secretaria de Educación Pública, Hidalgo crece contigo. 1er Edición. Francisco I. Madero, Hidalgo, México. 55 pp.
- Nobel, P. S. (1998). Los incomparables agaves y cactus. México. Trillas. 211 p.
- Onofre-Sánchez, J., Testón-Franco, N., & Pinón-Vargas, M. (2022). La entomofagia y florifagia en el Valle del Mezquital, Hidalgo México, valor cultural y uso alimentario. *Sosquua*, 4(1), 9-21.
- Ontiveros, V. R. (2023). Fertilización en *Agave*. Consultado [27/09/2024]. En línea: <https://www.campoal.com/post/fertilizacion-en-agave>
- Pacheco, R. A. J. (2007). Efecto de fertilizantes de liberación lenta en maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. 125 pp.
- Padilla-Camberos, E., Arrizon, J., & Sandoval, G. (2023). Effect of *Agave* fructan bioconjugates on metabolic syndrome parameters in a murine model. *Pharmaceuticals*, 16(3), 412.
- Parra N. L., & Tortolero, L. A. (2015). Manual del maguey pulquero en Guanajuato. Informe de Investigación de la escuela de desarrollo integral agropecuario de la Universidad Politécnica del estado de Carchi. Tulcán, Ecuador. 25 pp.
- Parsons, J. R., & Parsons, A. H. (1990). Maguey utilization in highland central México: An archaeological ethnography. University of Michigan. Ann Arbor, Illinois. 388 pp.
- Pérez, R. A., Rodríguez, O. A., Nieto, A. J. C., Callejas, H. J., & Portillo, M. L. (2017). Comparación entre dos sistemas de siembras de maguey (*Agave salmiana*). Universidad Politécnica Francisco I. Madero. Francisco I Madero, Hidalgo, México. 69 p.
- Pérez-España, V. H., Cuervo-Parra, J. A., Tamayo, R. L., Gutiérrez, A. M. P., & Romero-Cortes, T. (2023). Herramientas para la producción del aguamiel y microestructura del raspado. En: Maguey aguamiel/pulque: una visión para el desarrollo territorial. Roldán, C. E. I., & Medina, M. C. (Eds.). Primera edición. El Colegio del Estado de Hidalgo. San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México. 121-144 pp.
- Pérez-España, V. H., Cuervo-Parra, J. A., Aparicio, B. J. E., Morales-Ovando, M. A., Peralta, G. M., & Romero-Cortes, T. (2022). Importancia de la capa cuticular durante la colonización del hongo causante de la negrilla en *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *salmiana*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 158-168.

- Pineda-Tapia, F. J., Villarruel-López, A., & Iñiguez-Muñoz, L. E. (2022). Efectos de los fructanos del *Agave* mexicano como potencial prebiótico y su importancia en la microbiota humana. *Acta de Ciencia en Salud*, 16, 39-44.
- Pinos-Rodríguez, J. M., Zamudio, M., & González, S. S. (2008). The effect of plant age on the chemical composition of fresh and ensiled *Agave salmiana* leaves. *South African Journal of Animal Science*, 38(1), 43-50.
- Pitelka, L. F., & Ashmun, J. W. (1985). Physiology and integration of ramets in clonal plants. In Population biology and evolution of clonal organisms, Jackson, J. B. C., Buss, L. W., & Cook, R. E. (Eds.). Yale University Press, New Haven, Connecticut, USA. 399-435 pp.
- Quiñones-Aguilar, E. E., Montoya-Martínez, A. C., Rincón-Enríquez, G., & López-Pérez, L. (2023). Inoculación de bulbilos de *Agave tequilana* con hongos micorrízicos arbusculares: efecto en el crecimiento y biocontrol contra *Fusarium oxysporum*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e3043.
- Ramírez, R. R. (2021). La especialización agrícola de la región de los Llanos de Apan. El surgimiento del cultivo del maguey de aguamiel (siglos XVI-XVIII). *Estudios de historia novohispana*. 64, 41-81.
- Red List of Threatened Species (RLTS). (2018). The red list assessment. Consultado [02/07/2024]. En línea: <https://www.iucnredlist.org/species/115623164/116353803>
- Representación Agricultura Hidalgo (RAH). (2023). Apan Hidalgo, productor de malta. Gobierno de México. Consultado [20/07/2024]. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/hidalgo/articulos/apan-hidalgo-productor-de-malta?idiom=es#:~:text=El%20municipio%20de%20Apan%20es,trescientos%20veinticinco%20millones%20de%20pesos>
- REZPIRAL. (2020). Casas de pencas. Consultado [04/07/2024]. En línea: <https://rezpiral.com/rezidency/4-casas-de-maguey-bio-construccion-con-marco-sanchez/>
- Rivas, L. G. S. M., & Galindo, L. S. (2020). Mexclapique de la Cuenca de México. Enciclovida, CONABIO. Consultado [20/07/2024]. En línea: <https://enciclovida.mx/especies/29188>
- Robles, A. M. A., & Cruz, G. A. E. (2023). *Agave*: importancia y aplicaciones en México. *CienciAcierta*, 76, 264-288.
- Robles-Martínez M. L. (2006). Análisis prospectivo del potencial micorrízico y la respuesta a la inoculación con hongos de micorriza arbuscular del maguey *mezcalero* (*Agave angustifolia* Haw.). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca de Juárez. Oaxaca. 113 pp.
- Rodríguez-Juárez, F. A., Carrasco-Urbina, H. S., & Hernández-Zapata, A. (2021). Pulque: contenido probiótico y potencial en la industria biotecnológica. *RD-ICUAP*, 7(20), 95-110.
- Rodríguez, M. H., Escalante, R. V., Lechuga, G. A. F., Sorani, D. V., & Rodríguez, G. G. (2020). Programa de ordenamiento ecológico territorial de la región de Apan, en los municipios de

- Tlanalapa, Tepeapulco, Apan, Almoloya y Emiliano Zapata, en el estado de Hidalgo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Apan, Hidalgo, México. 264 pp.
- Rodríguez, S. M., & Flórez, R. V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. In: Ferti-riego: Tecnologías y programación en agroplasticultura. Guzmán, M., & López, G. J. (Eds.). CYTED, Madrid, España. pp. 25-36.
- Romero-Cortes, T., Pérez, E. V. H., Pescador-Rojas, J. A., Rangel-Cortés, E., Armendaríz-Ontiveros, M. M., & Cuervo-Parra, J. A. (2024). First report of leaf spot disease ("Negrilla") on *Agave salmiana* Otto Ex Salm-Dyck (ssp. *salmiana*) plants caused by *Bipolaris zeae* Zivan in Mexico. *Agronomy*, 14, 623. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14030623>
- Romero-Cortes, T., Cuervo-Parra, J. A., Pérez, E. V. H., Pescador, R. J. A., & Rangel, C. E. (2022). First report of leaf spot of *Agave salmiana* caused by *Bipolaris zeae* in Mexico. Consultado [29/11/2023]. En línea: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/ON630338>
- Rubio, C. R. (2019). El *Agave*: Procesos para un cultivo excelente (parte 3). Consultado [27/09/2024]. En línea: <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/agave-procesos-cultivo-excelente-parte-2>
- Ruiz, F. J. F. (1996). Los fertilizantes y la fertilización orgánica bajo la óptica de un sistema de producción orgánico. Primer Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. CONARAO. SAGAR. México. 23-46 pp.
- Ruiz-Corral, J. A. (2007). Requerimientos agroecológicos y potencial productivo del *Agave tequilana* weber en México. In: Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* weber en la zona de denominación de origen del tequila. Pérez-Domínguez, J. F., & Del Real-Laborde, J. I. (Eds.). INIFAP-Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. Libro técnico núm. 4. 13-36 pp.
- Ruiz-Serrano, M. (2019). Conformación de bloques de adobe con residuos de agave "Angustifolia Haw". Estrategia para el desarrollo local sustentable en Santa María La Asunción, Zumpahuacán, Estado de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 139 pp.
- Sánchez-Mendoza, S., & Bautista-Cruz, A. (2022). Efecto de fertilizantes de liberación lenta y fitohormonas en el crecimiento de *Agave angustifolia* Haw. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 10(24), e24.82738.
- Sánchez, J. E., Torres-Oregón, F., & Pérez-Akaki, P. (2020). El mezcal en México: las tensiones socioculturales con el agroextractivismo. *Revista COPaLa Construyendo Paz Latinoamericana*, 9, 143-153.
- Sánchez, J. E. (2019). Penca de los Andes (*Agave furcraea* andina). Una alternativa cultural para la economía local en el callejón de Huaylas, Perú. Consultado [28/06/2024]. En línea: https://www.academia.edu/97141240/Penca_de_los_Andes_Agave_furcraea_andina_Una_alternativa_cultural_para_la_econom%C3%ADa_local_en_el_callej%C3%B3n_de_Huaylas_Per%C3%BA

- Santacruz-Ruvalcaba, F., Torres, M., M. I., & Portillo, L. (2008). Micropropagación de *Agave tequilana* Weber cv. Azul: Problemas y perspectivas. *Scientia CUCBA*, 10, 7-20.
- Satchell, J. (1974). Litter- interface of animate/inanimate matter. In: Biology of plant litter decomposition. Dickinson, C. H., & G.J. Pugh, G. J. (Eds.). Volumen 1, Academic Press, Londres, Inglaterra. pp. 24-25.
- Schneider, R. W. (1984). Effects of nonpathogenic strains of *Fusarium oxysporum* on celery root infection by *F. oxysporum* f. sp. *apii* and a novel use of the Lineweaver-Burk double reciprocal plot technique. *Phytopathology*, 74, 646-653.
- Schoumans, O. F., Chardon, W. J., Bechmann, M. E., Gascuel-Odoux, C., Hofman, G., Kronvang, B., & Dorioz, J. M. (2014). Mitigation options to reduce phosphorus losses from the agricultural sector and improve surface water quality: a review. *Science of the Total Environment*, 468, 1255-1266.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). (2016). Técnicas de cosecha de agua. Consultado [05/07/2024]. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tecnicas-de-cosecha-de-agua>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). (2015). Pulque, bebida de Dioses. Consultado [05/07/2024]. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/pulque-bebida-de-dioses#:~:text=El%20pulque%20es%20tan%20famoso,%2C%20Tlaxcala%2C%20Morelos%20y%20Michoac%C3%A1n>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2019). Experiencias de agroforestería. Consultado [05/07/2024]. En línea: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106048/EXPERIENCIAS%20DE%20AGROFORESTER%3%8DA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Consultado [01/07/2024]. En línea: https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2017). *Agave* (*Agave* spp.), Generalidades de la Red Agaváceas. Gobierno de México. Consultado [13/12/2023]. En línea: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/agave-agave-spp>.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2020). Plagas reglamentadas del agave. Gobierno de México. Consultado [12/12/2023]. En línea: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-reglamentadas-del-agave-110851>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018a). Maguey pulquero: el estado de Hidalgo destacó en 2017 con 69.6% de la producción nacional. Consultado [7/12/2023]. En línea: <https://www.gob.mx/siap/articulos/maguey-pulquero?idiom=es>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018b). El quiote y sus flores, las delicias del maguey. Consultado [04/07/2024]. En línea: <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-quiote-y-sus-flores-las-delicias-del-maguey?idiom=es>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017a). Producción Agrícola. Consultado [28/06/2024]. En línea: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017b). Maguey: un agave que nos provee diversos productos agroalimentarios nativos. Consultado [01/07/2024]. En línea: <https://www.gob.mx/siap/articulos/maguey-un-agave-que-nos-provee-diversos-productos-agroalimentarios-nativos?idiom=es>
- Soto, G. (2003). Abonos orgánicos: definiciones y procesos. In: Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. Soto, G., Meléndez, G., & Uribe, L. (Eds.). CIA, San José, Costa Rica. Pp. 21-51.
- Suculentas Dzityá. (2024). *Agave desmettiana*. Consultado [03/07/2024]. En línea: <https://suculentasdzitya.com/productos/agave-desmettiana/>
- Trinidad-Santos A., & Aguilar, M. D. (1999). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 247-255.
- Valenzuela-Zapata, A. G. (1994). El agave tequilero: su cultivo e industrialización. *Monsanto, Guadalajara México*.
- Vargas, M. J., Nieto, A. R., & Nieto, A. J. C. (2016). Caracterización morfológica de tres variedades (manso, chalqueño y xamini) de maguey del municipio de Francisco I. Madero, Hidalgo. En: El cultivo de maguey pulquero (*Agave salmiana*) en el valle del Mezquital. Nieto, A. R., Vargas, M. J., Nieto, A. J. C., Rodríguez, O. A., Jiménez, P. V. M., & Hernández, C. J., (Eds.). Primera edición, Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Francisco I. Madero, Hidalgo, México. 45-53 pp.
- Vega, G. M. A., Álvarez-Ríos, G. D., & Figueredo-Urbina, C. J. (2023). Sistemas de manejo de agaves pulqueros en el estado de Hidalgo. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(20), 92-100.
- Villarreal, Q. J. A. (1996). Una Nueva Especie de *Agave* subgénero *Agave* (Agavaceae) de México. *SIDA*, 17(1), 191-195.
- Villaseñor, J. L., Ortiz, E., & Sánchez-González, A. (2022). Riqueza y distribución de la flora vascular del estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, e933920.
- Viniegra-González, G. (2019). El metepantle (milpa entre magueyes) antiguo sistema con futuro sostenible. Investigación y Desarrollo INVDES. Consultado [05/07/2024]. En línea: <https://invdes.com.mx/politica-cyt-i/el-metepantle-milpa-entre-magueyes-antiguo-sistema-con-futuro-sostenible/>

- Virgen, C. G. (2000). Rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR): Importancia en el crecimiento y fitosanidad. En: Castellanos, Z. J., & Guerra, O. F. (Eds). Memoria del Simposio Internacional de la Fresa. Zamora, Michoacán, México. 51-63 pp.
- Zamora, M. L. E. (1997). Respuesta de *Agave salmiana* a la fertilización y riego en la región de San Antonio de las Alazanas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 41 p.
- Zúñiga, E. L. (2013). Nutrición de *Agave tequilana* y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo). INIFAP, Coyoacán, México, 58 p.
- Zúñiga-Estrada, L., Rosales, R. E., Yáñez-Morales, M. J., & Jacques-Hernández, C. (2018). Características y productividad de una planta MAC, *Agave tequilana* desarrollada con fertigación en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 553-564.

APÉNDICE A

Clave para la determinación de las subespecies de *Agave salmiana*:

(Modificado de Cruz, 2019)

1. Plantas grandes, con tallos gruesos; con hojas de entre 1-2 m de largo; flores grandes de 90-110 mm de largo 2
1. Plantas más pequeñas con tallos más estrechos; con pencas generalmente de no más de 1 m de largo; flores más pequeñas, de 70-90 mm de largo 3
2. Planta con rosetas grandes a masivas, de entre 1.5-4 m de ancho, con hojas de 100-200 cm de largo, pencas de color verde, ampliamente lanceoladas; inflorescencias de entre 7-8 m de altura o mayores, brácteas del escapo de 30-45 cm de largo, comúnmente imbricadas, con flores de 8-11 cm de longitud *A. salmiana* ssp. *salmiana*
2. Planta con pencas largas y estrechas en su base, de color gris claro glauco, lineal *A. mapisaga* (ex *A. salmiana* var. *angustifolia*)
3. Planta con rosetones urceolados, con pencas de color verde brillante, salientes, cortos acuminados, con los márgenes cremados, con dientes grandes, prominentes y anchos; flores relativamente esbeltas, el tubo mide 15 mm de ancho *A. salmiana* ssp. *ferox*
3. Planta de tamaño variable, con rosetas no típicas urceoladas, de medianas a grandes, 1-1.5 m de ancho; con pencas de 60-100 cm de largo, de color verde opaco a verde glauco, erecto-ascendente, rara vez curvadas, por lo general más acuminadas, con los márgenes y los dientes variables; inflorescencias de entre 5-7 m de altura, con brácteas del escapo de 20-30 cm de largo, raramente imbricadas, con flores de 6-8 cm de longitud, con el tubo de 17-21 mm de ancho *A. salmiana* ssp. *crassispina*

APÉNDICE B

Clave para la determinación de los subgéneros:

(Modificado de Gentry, 1982)

1. Inflorescencia espiciforme, con flores dispuestas en grupos de hasta de 10 sobre el eje floralSubgénero *Littaea*
1. Inflorescencia paniculiforme, con flores agrupadas en conjuntos umbelados dispuestos sobre las ramasSubgénero *Agave*

Clave para la determinación de especies dentro de la Sección *Salmianae*:

(Modificado de González, 2005)

1. Rosetas usualmente no excediendo un metro de altura, con hojas triangular lanceoladas, de menos de un metro de longitud 2
1. Rosetas usualmente de un metro o más de altura; hojas de lineares a lanceoladas de entre 1-2 m o más de longitud 3
2. Hojas por roseta de entre 40- 50, con inflorescencia aovada *A. gentryi*
2. Hojas por roseta de entre 80-100, con inflorescencia ovoide *A. montana*
3. Hojas lineares, la mayoría de entre 1.8-3 m de longitud y de 19-30 cm de ancho, con dientes de 4-5 mm de longitud; y espinas de entre 3-5 cm de longitud *A. mapisaga*
3. Hojas ampliamente lanceoladas, de 0.7-2 m de longitud y de 24-40 cm de ancho, con dientes de 5-10 mm de longitud; y espinas de 5-10 cm de longitud 4
4. Tépalos de 32-33 x 8-9 mm; hojas ampliamente lanceoladas, usualmente no más de 1.5 m de longitud, con el ápice no marcadamente sigmoideo-curvado. Presente en Guatemala *A. tecta*
4. Tépalos de 21-30 x 5-8 mm; con hojas anchamente elípticas, de más de 1.5 m de longitud (excepto en *Agave salmiana* ssp. *crassispina*), el ápice sigmoidalmente curvado. Presente en México *A. salmiana*

APÉNDICE C

Fórmula para calcular el porcentaje de crecimiento de cada variable evaluada:

Donde:

$$P = \left[\frac{Vf - Vi}{Vi} \right] * 100$$

P = Porcentaje de crecimiento final.

Vi = Valor registrado al inicio del experimento (0 día).

Vf = Valor registrado al final del experimento (364 días).

Para el caso particular de la variable de respuesta número de hijuelos por planta, debido a que la Vi da un valor de cero, y para que la formula no diera erros la misma se modificó como se muestra a continuación: $P = [Vf - Vi] * 100$

Tabla 26. Porcentajes de crecimiento registrados a los 364 días.

Tratamientos	Largo de hoja (%)	Diámetro de roseta (%)	Altura de planta (%)	No. de hojas por planta (%)	No. de hijuelos por planta (%)
T1	246.67	60.96	172.42	31.22	122
T2	375.47	228.85	402.12	90.61	911
T3	279.35	101.88	268.57	52.75	156
T4	273.91	86.62	255.21	52.75	400
T5	300.99	119.20	315.28	68.93	900
T6	297.22	138.09	303.05	67.15	0.00
T7	301.88	181.53	307.37	68.93	222
T8	386.12	254.56	423.12	92.39	633