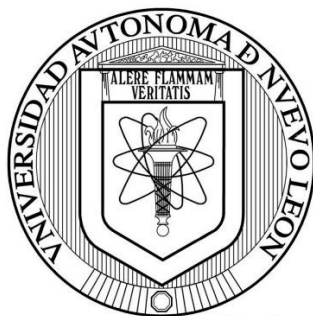


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“DESARROLLO MORFOLÓGICO Y FISIOLÓGICO DE PLANTAS DE
Agave durangensis GENTRY BAJO DE DIFERENTES REGÍMENES DE
FERTILIZACIÓN Y NUTRICIÓN”**

POR:

ING. GERARDO BARVOSA MUÑOZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN
CIENCIAS FORESTALES

FEBRERO 2025

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“DESARROLLO MORFOLÓGICO Y FISIOLÓGICO DE PLANTAS
DE *Agave durangensis* GENTRY BAJO DE DIFERENTES
REGÍMENES DE FERTILIZACIÓN Y NUTRICIÓN”**

POR:

ING. GERARDO BARVOSA MUÑOZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN
CIENCIAS FORESTALES

FEBRERO 2025

DESARROLLO MORFOLÓGICO Y FISOLÓGICO DE PLANTAS DE
Agave durangensis GENTRY BAJO DE DIFERENTES REGÍMENES DE
FERTILIZACIÓN Y NUTRICIÓN

POR:

ING. GERARDO BARVOSA MUÑOZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO EN
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

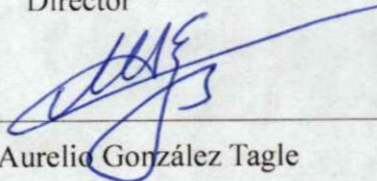
Aprobación de Tesis:

COMITÉ DE TESIS



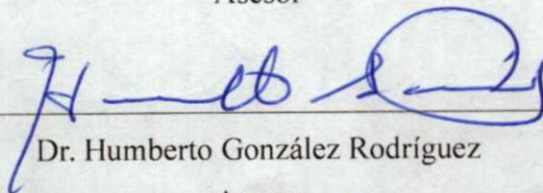
Dra. Wibke Himmelsbach

Director



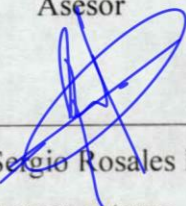
Dr. Marco Aurelio González Tagle

Asesor



Dr. Humberto González Rodríguez

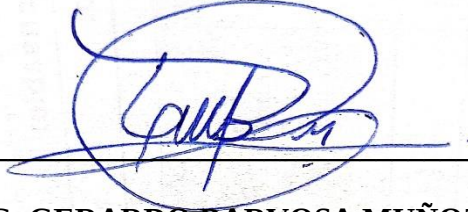
Asesor



M.C. Sergio Rosales Mata

Asesor externo

Declaro que la presente investigación es original y se desarrolló para obtener el grado de Maestría en Ciencias Forestales; donde se utiliza información de otros autores, se otorgan los créditos correspondientes.



ING. GERARDO BARVOSA MUÑOZ

Febrero del 2025

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado a través de la beca nacional, la cual hizo posible mi desarrollo académico y profesional.

Asimismo, extendo mi gratitud a la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, un espacio que durante estos dos años se convirtió en mi segundo hogar y en el pilar de los conocimientos y experiencias que enriquecieron mi formación durante esta maestría.

A la Dra. Wibke Himmelsbach, mi directora de tesis, por su guía, paciencia y dedicación en cada etapa de este trabajo. Su apoyo y confianza fueron fundamentales para mi crecimiento académico y personal.

Al Dr. Marco Aurelio González-Tagle, cuyo respaldo y asesoría constante fueron clave en este proceso. Su colaboración con la Dra. Wibke creó un equipo excepcional, del cual me siento agradecido de haber formado parte. Cada corrección, consejo y momento dedicado han dejado una huella invaluable en mi formación.

Al M.C. Sergio Rosales-Mata, por su invaluable orientación, ayuda en la toma de datos, análisis estadístico e interpretación de resultados. Su disposición y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Paulina Haydee González Fierro, por brindarme la oportunidad de adentrarme en la industria tequilera, así como por facilitarme un espacio para llevar a cabo mi experimentación. Su apoyo fue fundamental para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por sus valiosas aportaciones a lo largo de este proceso, las cuales contribuyeron significativamente a enriquecer mi trabajo y fortalecer mi formación académica.

A todos mis profesores de la maestría, mi más sincero agradecimiento por compartir su conocimiento, experiencia y pasión por la enseñanza. Cada clase fue una

oportunidad para aprender, cuestionar y crecer, no solo como profesional, sino también como persona. Su dedicación y compromiso fueron clave en mi formación, dejándome herramientas y enseñanzas que llevaré conmigo a lo largo de mi camino. Gracias por cada lección, cada consejo y cada desafío que me impulsó a ser mejor, A mis compañeros de la maestría, con quienes compartí este camino de esfuerzo, aprendizaje y crecimiento, les expreso mi más profundo agradecimiento. Juntos enfrentamos retos, celebramos logros y nos apoyamos en los momentos difíciles. Más que colegas, fuimos un equipo, una familia académica que hizo de este viaje una experiencia inolvidable. Cada conversación, cada intercambio de ideas y cada instante de compañerismo dejaron una marca en mi formación y en mi vida. El verdadero aprendizaje no solo se mide en lo que sabemos, sino en cómo usamos ese conocimiento para contribuir y mejorar el mundo que nos rodea

DEDICATORIA

A mis padres, Marco Antonio Barvosa y Cruz Muñoz, por ser mi mayor fuente de inspiración, fortaleza y amor incondicional. Su apoyo inquebrantable, sus sacrificios y sus palabras de aliento han sido la base sobre la cual he construido este logro.

Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la perseverancia y la humildad. Esta meta alcanzada es tanto mía como suya, porque sin ustedes, este camino no habría sido posible.

Con todo mi amor y gratitud, les dedico este trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS	I
INDICE DE ANEXOS	I
RESUMEN	I
ABSTRACT.....	III
ABSTRACT.....	3
JUSTIFICACION.....	7
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
ANTECEDENTES	10
ÁREA DE ESTUDIO	14
METODOLOGÍA.....	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
REFERENCIAS.....	28

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA PARCELA EXPERIMENTAL	14
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DE ALTURA POR TRATAMIENTO	19
FIGURA 3. ALTURA DE PLANTAS DE AGAVE DURANGENSIS BAJO DIFERENTES REGIMENES DE FERTILIZACIÓN	20
FIGURA 4. DIAMETRO DE ROSETA DE PLANTAS DE AGAVE DURANGENSIS BAJO DIFERENTES REGIMENES DE FERTILIZACIÓN	21
FIGURA 5. DIAMETRO DE PIÑA DE PLANTAS DE AGAVE DURANGENSIS BAJO DIFERENTES REGIMENES DE FERTILIZACIÓN	22
FIGURA 6. NUMERO DE HOJAS EN DE PLANTAS DE AGAVE DURANGENSIS BAJO DIFERENTES REGIMENES DE FERTILIZACIÓN	23
FIGURA 7. NUMERO DE HIJUELOS EN DE PLANTAS DE AGAVE DURANGENSIS BAJO DIFERENTES REGIMENES DE FERTILIZACIÓN	24
FIGURA 8. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA EN PLANTAS DE AGAVE DURANGENSIS BAJO DIFERENTES REGIMENES DE FERTILIZACIÓN	25

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. INGREDIENTES ACTIVOS Y NUTRIENTES APLICADOS EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.....	16
---	----

RESUMEN

El presente estudio aborda el desarrollo morfológico y fisiológico de *Agave durangensis* bajo diferentes regímenes de fertilización y nutrición. La creciente demanda de mezcal ha generado presión sobre las poblaciones silvestres de agave, lo que hace necesario establecer plantaciones comerciales con prácticas de manejo óptimas para garantizar su sostenibilidad. El estudio se llevó a cabo en Durango, México, donde se evaluaron seis tratamientos de fertilización en una plantación experimental. Se midieron variables como altura, diámetro de roseta, diámetro de piña, número de hojas, producción de hijuelos y supervivencia. Los resultados indicaron que el tratamiento 4, que incluyó fertilizantes con macro y micronutrientes, junto con reguladores de crecimiento (giberelinas, citocininas y auxinas), mostró los valores más altos en el crecimiento del diámetro de piña y producción de hijuelos, factores clave para la industria mezcalera.

La discusión resaltó que la fertilización adecuada puede incrementar significativamente la producción de biomasa y concentración de azúcares en la piña, lo que favorece su aprovechamiento industrial. También se observó que la producción de hijuelos se puede incrementar hasta en un 24.61% bajo un manejo agronómico adecuado, lo que contribuiría a la conservación de la especie y a la expansión de plantaciones comerciales.

Como recomendaciones, se sugiere continuar con el monitoreo de las parcelas para evaluar el desarrollo a largo plazo y determinar los tratamientos más eficientes. Además, se recomienda optimizar la fertilización y técnicas de propagación de hijuelos para garantizar una producción sostenible de *Agave durangensis* en la industria mezcalera.

ABSTRACT

This study examines the morphological and physiological development of *Agave durangensis* under different fertilization and nutrition regimes. The growing demand for mezcal has increased pressure on wild agave populations, making it necessary to establish commercial plantations with optimal management practices to ensure sustainability.

The research was conducted in Durango, Mexico, where six fertilization treatments were tested in an experimental plantation. Variables such as height, rosette diameter, stem diameter, number of leaves, offspring production, and survival rate were measured. Results indicated that Treatment 4, which included fertilizers with macro- and micronutrients along with growth regulators (gibberellins, cytokinins, and auxins), showed the highest values in stem diameter growth and offspring production, which are key factors for the mezcal industry.

The discussion highlighted that proper fertilization can significantly increase biomass production and sugar concentration in the agave stem, enhancing its industrial use. It was also observed that offspring production could increase by up to 24.61% under proper agronomic management, contributing to species conservation and the expansion of commercial plantations.

As recommendations, continued monitoring of the experimental plots is suggested to evaluate long-term development and determine the most efficient treatments. Additionally, optimizing fertilization and offspring propagation techniques is recommended to ensure a sustainable production of *Agave durangensis* for the mezcal industry.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la flora emblemática de México, particularmente en las regiones áridas y semiáridas, los agaves o magueyes son destacados como especies de gran relevancia. Estas plantas juegan un papel crucial en diversas áreas del país debido a la cantidad de recursos que proporcionan, tanto desde la perspectiva económica como cultural (García, 2007).

El género *Agave* tiene su origen en Mesoamérica, aunque su distribución geográfica se extiende desde el sur de Estados Unidos hasta regiones de Venezuela, Colombia y Bolivia, donde se pueden encontrar poblaciones silvestres (García et al., 2010).

Taxonómicamente, los agaves pertenecen a la familia *Asparagaceae*, en la subfamilia *Agavoideae*. Dentro de esta familia, el género *Agave* se identifica como el más extenso y diverso, con 210 especies reconocidas. De este total, México alberga 159 especies, lo que representa un 75 % de la diversidad total, de las cuales 119 son endémicas (García-Mendoza, 2011; Gschaedler, 2017).

El uso del *Agave* encuentra sus raíces en la época prehispánica, cuando las civilizaciones indígenas del centro y norte de México valoraban esta planta como una fuente inestimable de materias primas para la producción de diversos productos, tales como alimentos, bebidas alcohólicas, forrajes y otras aplicaciones agrícolas (García et al., 2010).

El incremento en la demanda de bebidas alcohólicas tanto a nivel nacional como internacional ha desencadenado desafíos significativos, como la escasez de *Agave*. Este fenómeno se debe a su lento crecimiento y maduración, así como a los prolongados ciclos de producción, que obstaculizan la capacidad para satisfacer la demanda actual de esta materia prima (Domínguez et al., 2007).

Entre las especies de *Agave* de mayor relevancia económica en México se destacan *A. tequilana*, utilizada en la producción de tequila; *A. angustifolia* y *A. durangensis*, empleadas en la elaboración de mezcal; junto con *A. fourcroydes* y *A. lechuguilla*, consideradas para la obtención de fibras naturales (Escamilla-Treviño, 2012).

Durango se posiciona como uno de los estados con mayor diversidad de *Agave*, junto a

Oaxaca, Puebla, Sonora y Querétaro (García, 2007). Específicamente, el sur del estado de Durango alberga la mayor riqueza de especies de este género, y también representa la zona de mayor explotación del recurso. Por consiguiente, se convierte en un área clave para la investigación y conservación de estas plantas que poseen una relevancia ecológica y económica considerable (González-Elizondo et al., 2009).

En vez de optar por la prohibición del uso comercial del maguey cenizo, se considera prioritario promover su uso sostenible e integral, asegurando así la conservación de sus poblaciones silvestres y fomentando el establecimiento de plantaciones comerciales que posibiliten su explotación responsable (Ríos-Saucedo et al., 2018).

Durante los últimos doce años, se han llevado a cabo múltiples iniciativas para establecer plantaciones comerciales de Agave en el estado de Durango, con el propósito de abastecer a la industria mezcalera. Sin embargo, el desarrollo de estos cultivos se ha visto obstaculizado por diversas dificultades que limitan su expansión, tales como la falta de un paquete tecnológico adecuado a las características fisiológicas y fenológicas de la especie, así como la escasez de estudios específicos sobre fertilización y su adaptación a las condiciones climáticas de la región (Orea et al., 2006).

En este contexto, resulta imperativo realizar una caracterización del crecimiento y la supervivencia de las plantaciones bajo diferentes regímenes de fertilización. Además, es esencial generar información sobre especies que han recibido escasa atención investigativa, como *Agave durangensis*.

En México, el establecimiento de plantaciones de Agave implica la implementación de técnicas diversas de producción y fertilización, así como la adaptación de prácticas tradicionales a las necesidades específicas de cada especie (Vargas et al., 2017). Para alcanzar una producción eficiente, es crucial garantizar una nutrición adecuada, donde la fertilización juega un rol fundamental. Aunque los Agaves muestran la capacidad de desarrollarse en suelos con limitadas características y baja fertilidad, su crecimiento y rendimiento se ven considerablemente mejorados en condiciones óptimas de nutrición (Arreola et al., 2020).

Además, la creciente tendencia en los mercados internacionales hacia el uso de tecnologías sostenibles exige la generación de conocimiento que oriente el desarrollo de estrategias para la producción orgánica del Agave, con el fin de mejorar la sostenibilidad en la elaboración

de mezcal y tequila (Montoya-Martínez, 2014). Este estudio aborda el manejo de fertilizantes en las plantaciones de Agave y su impacto en el crecimiento de variables morfológicas, con el objetivo de determinar un paquete tecnológico que reduzca los tiempos de cosecha en agaves.

JUSTIFICACION

El desarrollo de nuevas tecnologías, en este caso debe enfocarse a las demandas de los mercados internacionales, el establecimiento de plantaciones comerciales con un aporte nutrimental es una de las metas a lograr, tanto para una cantidad importante de productores como para las industrias, la finalidad es obtener plantaciones comerciales con un paquete tecnológico adecuado a la especie para dar un valor agregado a la materia prima, en este caso las piñas de agave.

La industria de bebidas destiladas a partir de plantas de agave ha ido en crecimiento en los últimos años, lo que trae consigo una demanda de piñas de agave y que provoca que muchos de los productores pongan a la venta sus plantaciones de agave antes de que este se encuentre en su punto de maduración.

En el presente estudio se proporciona información para encontrar un paquete tecnológico que involucre la aplicación de fertilizantes en plantaciones de *Agave durangensis*, así como la caracterización del crecimiento y supervivencia de individuos de *Agave durangensis* en plantaciones comerciales, y obtener crecimientos morfológicos y concentraciones de grados Brix en un lapsos de tiempo más cortos.

HIPÓTESIS

- No se encuentran diferencias entre las repeticiones de mediciones que se realizaron en la parcela experimental, sin embargo, se detectan crecimientos en las mediciones a lo largo del tiempo.
- Las diferentes fuentes de nutrientes orgánicas aplicadas tienen efectos significativos en el desarrollo morfológico y en plantas de Agave tequilana establecidas en una plantación comercial.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el crecimiento y supervivencia en plantas de *Agave durangensis* en una plantación comercial para la producción de mezcal, además de evaluar el efecto de diferentes esquemas de fertilización.

Objetivos específicos

- Establecer plantación de *Agave durangensis* con un marco de plantación de 3.00 m. x 1.50 m.
- Ubicar, establecer y delimitar parcela experimental.
- Evaluar el desarrollo morfológico (altura, diámetro de roseta, diámetro de piña, ancho de penca, número de hojas y número de hijuelos) en plantas de *Agave durangensis*.
- Evaluar condición, estado fitosanitario y clorosis en plantas de *Agave durangensis*.

ANTECEDENTES

El aumento en la demanda global de mezcal ha tenido un impacto notable en la biodiversidad de México, poniendo en peligro la supervivencia de especies endémicas, así como las interacciones ecológicas que estas especies sostienen, y la estabilidad económica de las comunidades rurales que dependen de este vital recurso. Ante esta situación, es fundamental desarrollar estrategias sostenibles que mitiguen estos efectos adversos, fomentando un diálogo constructivo y la colaboración entre maestros mezcaleros, investigadores y el sector privado (Delgado y Pérez, 2019).

La creciente demanda internacional de mezcal ha motivado una explotación intensiva de los magueyes silvestres y de la leña empleada. Este fenómeno ha provocado la sobreexplotación del ecosistema, perjudicando no solo la disponibilidad del agave, sino también dificultando la regeneración de otras especies vegetales al perturbar las dinámicas naturales de sucesión ecológica (Delgado y Pérez, 2019).

Desde un enfoque socioeconómico, la producción de maguey mezcalero, orientada hacia la rentabilidad económica, ha crecido en deterioro daño o perjuicio de la conservación ambiental y del patrimonio biocultural de las comunidades rurales. Sin embargo, esta actividad también ha generado beneficios económicos significativos, al fomentar el empleo, consolidar la industria mezcalera y contribuir al desarrollo local. Esto subraya la imperante necesidad de equilibrar la producción con la sostenibilidad, una manera serian las plantaciones comerciales de maguey mezcalero (Delgado y Pérez, 2019; Noriega et al., 2009).

En los últimos cinco años, el incremento en la demanda de mezcal (Hernández-Carranza 2017) ha intensificado la presión sobre las poblaciones silvestres de maguey, incluida la especie *Agave durangensis*, comúnmente conocida en Durango como maguey cenizo (Barvosa, 2020). En respuesta a esta problemática, los productores han comenzado a investigar y explorar alternativas para establecer plantaciones de esta especie, con el objetivo de disminuir el impacto sobre las poblaciones silvestres (Huerta et al., 2019).

Para favorecer el cultivo de *A. durangensis*, es esencial el desarrollo de tecnologías que

optimicen el rendimiento de esta especie, no solo para la producción de mezcal, sino también para generar otros bienes y servicios, como aplicaciones medicinales, usos ornamentales, producción de abono y obtención de materiales para la construcción (García-Mendoza, 2007).

Diversos estudios han evidenciado que el riego durante las temporadas de sequía puede potenciar el crecimiento de los magueyes en campo (Nobel et al., 1989). Además, se ha evaluado el impacto de la fertilización en distintas especies del género *Agave*. En *A. lechuguilla*, la aplicación de nitrógeno y fósforo, de manera individual, incrementó el número de hojas desplegadas, mientras que la fertilización con potasio y boro no mostró diferencias en este parámetro, aunque sí afectó la asimilación nocturna de CO₂ (Nobel et al., 1988). En el caso de *A. tequilana*, Valenzuela y González (1995) informaron que la fertilización utilizando 120N-80P-60K duplicó el rendimiento de la piña comparado con el testigo; sin embargo, una mayor aplicación de fósforo (120N-120P-60K) resultó en un decremento del rendimiento.

Fertilización y Nutrición del Maguey Mezcalero

La fertilización es una práctica fundamental para maximizar el crecimiento y la productividad de los cultivos, consistente en la aplicación de nutrientes esenciales que pueden introducirse directamente al suelo o mediante el agua de riego. Al desarrollar un plan de fertilización, es crucial tomar en cuenta varios factores: los requerimientos nutricionales del cultivo según su etapa de desarrollo (expresados en kg/ha), la selección del fertilizante más apropiado (también en kg/ha), el momento óptimo de aplicación y el método de incorporación al suelo (Villablanca y Villavicencio, 2010).

La utilización eficiente de fertilizantes es vital para la reducción de costos de producción y la mejora del rendimiento. En varios países, la dependencia de estos insumos ha permitido mantener precios competitivos en los cultivos, evitando aumentos significativos en su valor de mercado (Thompson y Troeh, 2021). Asimismo, para asegurar una fertilización adecuada, es esencial identificar los nutrientes que se encuentren deficientes, evitando el exceso de aquellos que ya están disponibles en el suelo en cantidades adecuadas. Un suministro excesivo de algunos elementos puede producir efectos negativos en el crecimiento vegetal, especialmente si se presenta en combinación con la carencia de otros nutrientes esenciales

(Thompson y Troeh, 2021).

Los fertilizantes pueden aplicarse a través de diferentes métodos, entre los cuales destacan:

Aplicación manual: Este es el método más empleado en las plantaciones, donde los fertilizantes se distribuyen en un área desyerbada o se esparcen de manera uniforme. Sin embargo, es un proceso que demanda mucho trabajo y presenta baja eficiencia, especialmente en áreas de cultivo extensas.

Aplicación mecánica: Este método utiliza maquinaria especializada que permite una distribución uniforme de los fertilizantes, lo que incrementa la eficiencia del proceso.

Aplicación aérea: Este método se utiliza en grandes áreas de cultivo, facilitando una distribución rápida y homogénea de los fertilizantes, aunque a un costo operativo mayor (Tang et al., 2000).

Elementos Esenciales en la Nutrición del Maguey Mezcalero

Nitrógeno: Este macronutriente es el más crucial para el desarrollo vegetativo, constituyendo entre el 1% y el 3% de la materia seca de la planta, dependiendo de la especie y la fase fenológica en la que se encuentre. En ecosistemas áridos y semiáridos, el nitrógeno es el factor que más limita la productividad vegetal, dado que la mayor parte de este elemento se encuentra en la atmósfera en formas que no son asimilables por las plantas. Algunas especies establecen simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, un mecanismo especialmente relevante en suelos con escasa disponibilidad de este nutriente (Cárdenas-Navarro et al., 2004; Celaya-Michele y Castellano Villegas, 2011).

Fósforo: Este nutriente es esencial para los procesos de almacenamiento y transferencia de energía en las plantas, además de ser un componente fundamental de estructuras macromoleculares. Sin embargo, solo una pequeña fracción del fósforo presente en el suelo es accesible para la absorción de las plantas (Fernandez 2007). La utilización de microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF) ha sido propuesta como una estrategia efectiva para mejorar la disponibilidad de este nutriente en el suelo (Khan et al., 2009; Moreno et al., 2015). La deficiencia de fósforo puede manifestarse a través de síntomas visuales, como la coloración morada en los márgenes de las hojas, el crecimiento retardado y el enrollamiento foliar (Wisuma, 2003).

Potasio: El potasio, el segundo mineral más abundante en la célula vegetal después del nitrógeno, desempeña un papel vital en la regulación del movimiento de agua a través de los estomas. Su función en la osmoregulación permite a las plantas mantener la turgencia celular, lo que resulta esencial en condiciones de déficit hídrico (Marschner, 2012; Taiz y Zeiger, 2006). Los déficit de potasio se evidencian en tejidos foliares envejecidos, donde pueden presentarse clorosis marginal seguida de necrosis, además de aumentar la vulnerabilidad de la planta a patógenos y a la toxicidad por amonio (Coronel, 2003).

El desarrollo de estrategias de fertilización adaptadas para *A. durangensis* es fundamental para optimizar la producción de mezcal de manera sostenible. La implementación de tecnologías eficientes y prácticas agrícolas fundamentadas en conocimientos científicos contribuirá a garantizar la sostenibilidad de este cultivo y a conservar el entorno ecológico del maguey mezcalero.

ÁREA DE ESTUDIO

La unidad experimental se estableció en el municipio de Guadalupe Victoria, estado de Durango. En la localidad de Ignacio Allende, en el predio que llevar por nombre “La Vía 2” actualmente rentado por la empresa Clase Azul México (Lat. 24.49107026525673° Long - 103.97822649286273°) tiene una elevación de 1734 msnm. (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de la parcela experimental.

El área de estudio tiene una temperatura media entre 16.6° C la temperatura máxima promedio puede llegar hasta los 24.5° C y la mínima a 8.8° C con una precipitación anual de entre 400 a 700 mm, presenta un clima semiseco templado con lluvias en verano (98.20%) (INEGI, 2010, CONAGUA, 2020).

Para el año 2024 que fue el año en el que se realizó esa investigación la precipitación fue de 419 milímetros y la mayor precipitación se presentó en el mes de julio con 172 milímetros, el mes que presentó precipitación mínima fue de 1.2 milímetros en el mes de diciembre estos datos fueron tomados de la estación climatológica GEOSMET ubicada en el poblado de

Ignacio Allende municipio d Guadalupe Victoria, Durango.

METODOLOGÍA

Establecimiento de plantas de *Agave durangensis* en campo

Se establecieron 2222 plantas de agave por hectárea con un marco de plantación de 3.00 m. entre surco y 1.50 m. entre plantas. La parcela llamada Vía 2 tiene un área total de 2 hectáreas, se realizó una preparación de terreno antes de la plantación en donde se realizó el paso de arado en toda la parcela, un subsuelo cruzado y un paso de rastra, La unidad experimental asignada tiene un área total de 4320 m², lo que equivale a un total de 960 plantas.

Establecimiento de parcelas experimentales

Se establecieron seis parcelas con ocho repeticiones cada una, dentro de la unidad experimental, cada una de las repeticiones conto con 20 plantas, de esta manera se monitoreo si es crecimiento era homogéneo en todas las unidades experimental o si había diferencias de crecimiento entre parcelas.

Las parcelas se delimitaron con estacas además se rotulo con el número de parcela y repetición.

Aplicación de diferentes concentraciones de nutrientes

Cuadro 1. Ingredientes activos y nutrientes aplicadas en los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Ingrediente activo	Tipo de aplicación
1	N 20% P 14% K 12%	Granulado
1	N 12% P 43% K 12%	Drench
2	N (15.4%) CaO (25.6) % B (0.3%)	Drench
3	Materia organica 7%	Foliar
3	Materia organica 7%	Drench
4	N (5%) (P ₂ O ₅ 1%) (K ₂ O 3.5%) (Mg 0.05%) (Zn 0.002%)	Drench

4	N (1.5%) (P ₂ O ₅ 0.19%) (K ₂ O 4%) (Mg 0.2%) (Fe 0.2%) (Zn 0.3%) (B 0.4%)	Drench
4	N (3.5%) (P ₂ O ₅ 1%) (K ₂ O 6%) (Mg 0.02%) Zn (0.02%)	Drench
4	Giiberlinas 10,000 PPM Citocininas 22,000 PPM Auxinas 22,000 PPM	Drench
5	N (8.47%) (P ₂ O ₅ 24.60%) (K ₂ O 7.68%)	Drench
5	Acidos humicos y fulvicos (20%) (P ₂ O ₅ 10%) (K ₂ O 10%)	Drench
5	(Ca 30%) Aminoacidos (19%) Acidos Humicos (5%)	Drench
5	Giiberlinas 500 PPM Citocininas 500 PPM Auxinas 2,000 PPM	Drench
6	Testigo	-

La recomendación en aplicaciones drench en este caso fue de 200 litros por hectárea considerando que por hectárea obtuvimos una densidad de 2222 plantas, la aplicación fue de 90 ml. por planta, para el fertilizante foliar fue la misma dosis, la aplicación se realizó con una mochila eléctrica tipo fumigadora la cual fue calibrada para aplicar solo la dosis recomendada, para el fertilizante foliar solo se le añadió una boquilla de alto flujo, las mezclas fueron preparadas en un tambo de 200 litros para poder lograr una mezcla homogénea, una vez acabada la aplicación la mochila fue lavada y desinfectada con jabón para lavar trastes marca Axion, para el fertilizante granulado se aplicaron 70 gramos por planta, se realizó un pequeño orificio al lado de la planta de agave donde se introduce esta cantidad de fertilizante una vez que se aplicaba el fertilizante se vuelve a tapar con el mismo suelo que se había removido anteriormente.

Estas aplicaciones se realizaron cuatro veces en el año en los meses de; enero, marzo junio y agosto

Variables evaluadas y metodología para la toma de datos

Se realizo una medición el 20 de agosto de 2024. Cada parcela tenía un total de 160 plantas, un total de 8 repeticiones y cada repetición conto con 20 plantas, las variables evaluadas

fueron; altura H (cm), diámetro de roseta DR (cm), diámetro de piña o de tallo verdadero DP (cm), número de hojas NH, e hijuelos.

Para la altura se utilizó un flexómetro de 30 m. este se colocó desde el suelo a un costado de la planta y se midió hasta la hoja o penca más alta, en la variable diámetro de roseta se utilizó de igual manera el flexómetro, esta medición se realizó siempre de noreste a suroeste ya que es la orientación en donde se encuentran las líneas de plantación.

Con el objetivo de obtener una medición precisa, para el diámetro de piña se empleó una forcípula, se colocó a nivel del suelo y se introduzco por los lados de la piña de agave hasta lograr la medición, esta herramienta permitió facilitar la medición y minimizar la influencia del entorno en la medición del diámetro.

En el caso número de hojas se dejaron fuera las hojas que estaban secas y se contabilizaron únicamente las vivas, para la variable de número de hijuelos se tomaron en cuenta todos lo que aparecieron en la planta, si empezaban a brotar de igual manera se contabilizaron.

Análisis de datos

Se muestrearon las 48 unidades experimentales, en total se midieron 960 plantas, con los datos obtenidos se conformó una bases de datos en hojas de cálculo, se realizó un análisis estadístico en donde con la prueba de Shapiro-Wilk nos determinó que en los datos analizados no había normalidad, procedimos entonces a realizar una prueba de Kruskal-Wallis para determinar si entre tratamientos había diferencias significativas la cual nos arrojó un resultado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si el p-valor es menor a 0.05, significa que hay diferencias significativas entre los tratamientos para esa variable. En este caso, las variables Altura, Diámetro de roseta, Diámetro de piña y presentan diferencias significativas entre tratamientos

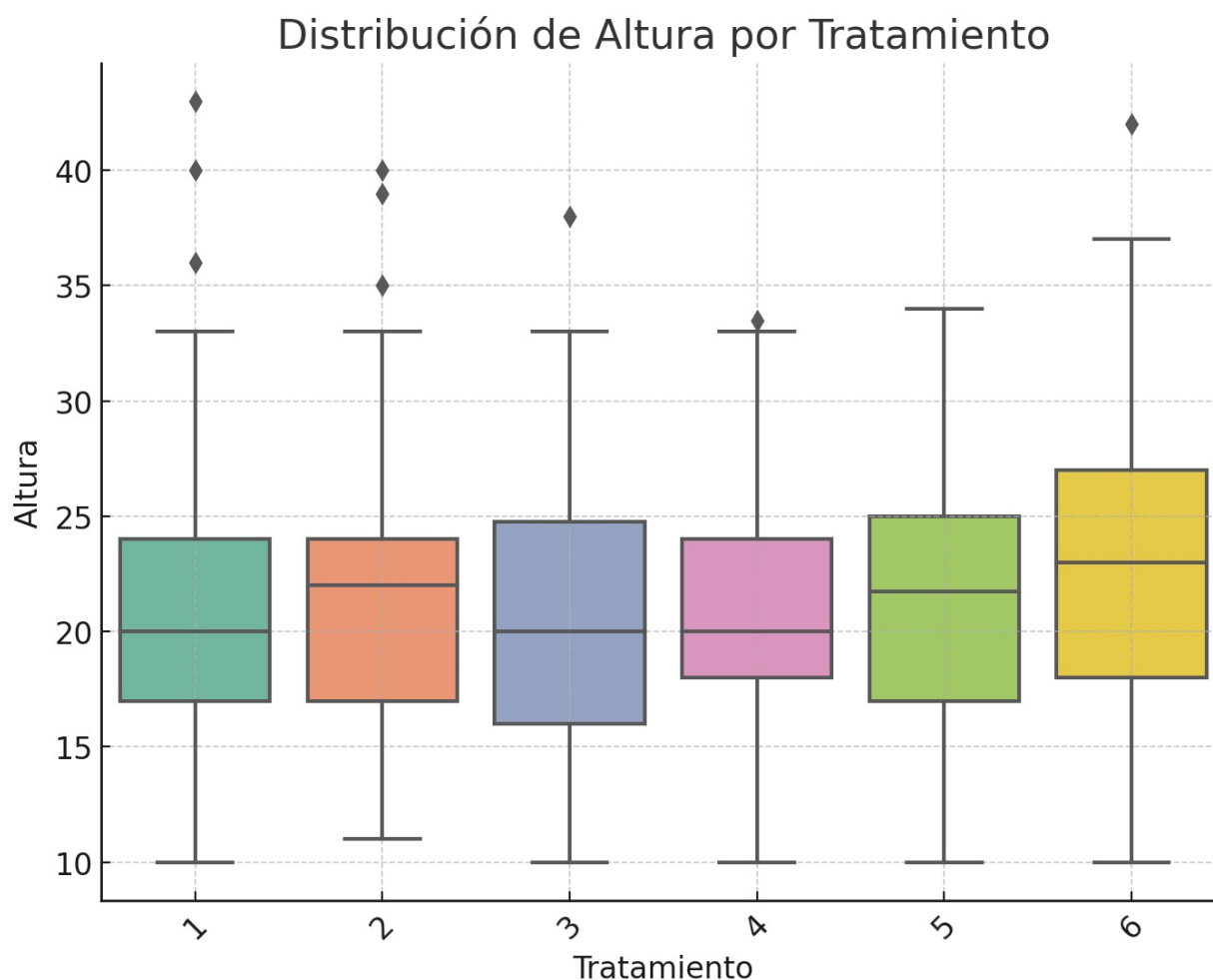


Figura 2. Distribución de altura por tratamiento

La dispersión de datos que se observa no es muy elevada y tiene una mayor concentración dentro de las medias de cada uno de los tratamientos.

En relación a los diversos tratamientos evaluados, se registró que el tratamiento 6, que corresponde al grupo de control, mostró la mayor altura promedio, alcanzando 22.95 cm. En contraste, el tratamiento 1, que consistió en una fertilización combinada mediante la aplicación de fertilizantes granulares y vía drench utilizando una formulación granulada de N 20%, P 14% y K 12%, junto con una solución de N 12%, P 43% y K 12%—presentó la menor altura promedio, con 20.55 cm.

Estos resultados se alinean con investigaciones previas que han explorado el impacto de diferentes regímenes de fertilización en especies del género *Agave*. Por ejemplo, Sánchez-Mendoza y Bautista-Cruz (2022) examinaron el efecto de fertilizantes de liberación lenta y fitohormonas en el crecimiento de *Agave angustifolia* Haw., encontrando que en solo uno de los seis tratamientos aplicados existen diferencias significativas, la concentración del fertilizante de lenta liberación en la siguiente Osmocote plus® marca ICL (os) (15% N, 9% P2 O5, 12% K2 O, 6% SO4, 0.02 % B, 0.05% Cu, 0.46% Fe, 0.06% Mn, 0.02 % Mo, 0.05 % Zn) con un periodo de liberación de entre 8 y 9 meses

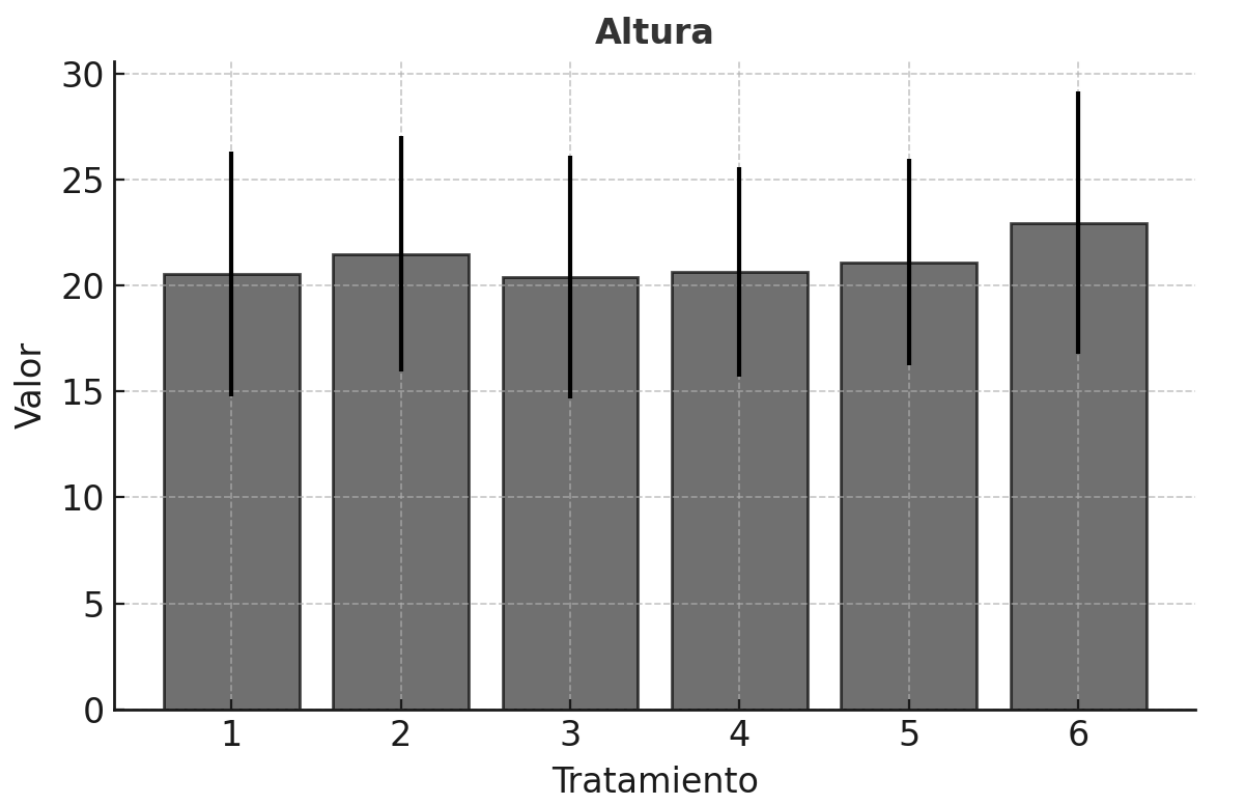


Figura 3. Altura de plantas de *Agave durangensis* bajo diferentes regímenes de fertilización.

El diámetro de la roseta de las plantas de agave puede ser un indicador de estrés. En general,

se observa que a mayor diámetro de roseta, menor estrés presenta la planta, y viceversa. Esto se debe a que cuando las pencas se abren más, están en contacto directo con los rayos del sol, lo que aumenta la absorción de luz y, por lo tanto, el trabajo metabólico de la planta. Por el contrario, cuando la planta cierra sus pencas y reduce el diámetro de la roseta, capta menos luz solar directamente, lo que la pone en un estado de reposo.

En este estudio, se observó que las plantas del tratamiento 4, que recibieron un régimen de fertilización específico, presentaron promedios menores de diámetro de roseta (17,96 cm) en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, las plantas del tratamiento 1 presentaron los promedios más altos (24,72 cm), lo que sugiere que este grupo de plantas están menos estresadas que las demás.

Una investigación publicada en la revista (Nobel et al., 1985) encontró que el diámetro de la roseta de las plantas de agave está relacionado con el estrés causado por la radiación solar. Los autores concluyeron que "la reducción del diámetro de la roseta es una estrategia de adaptación para reducir la absorción de radiación solar y minimizar el estrés" (1).

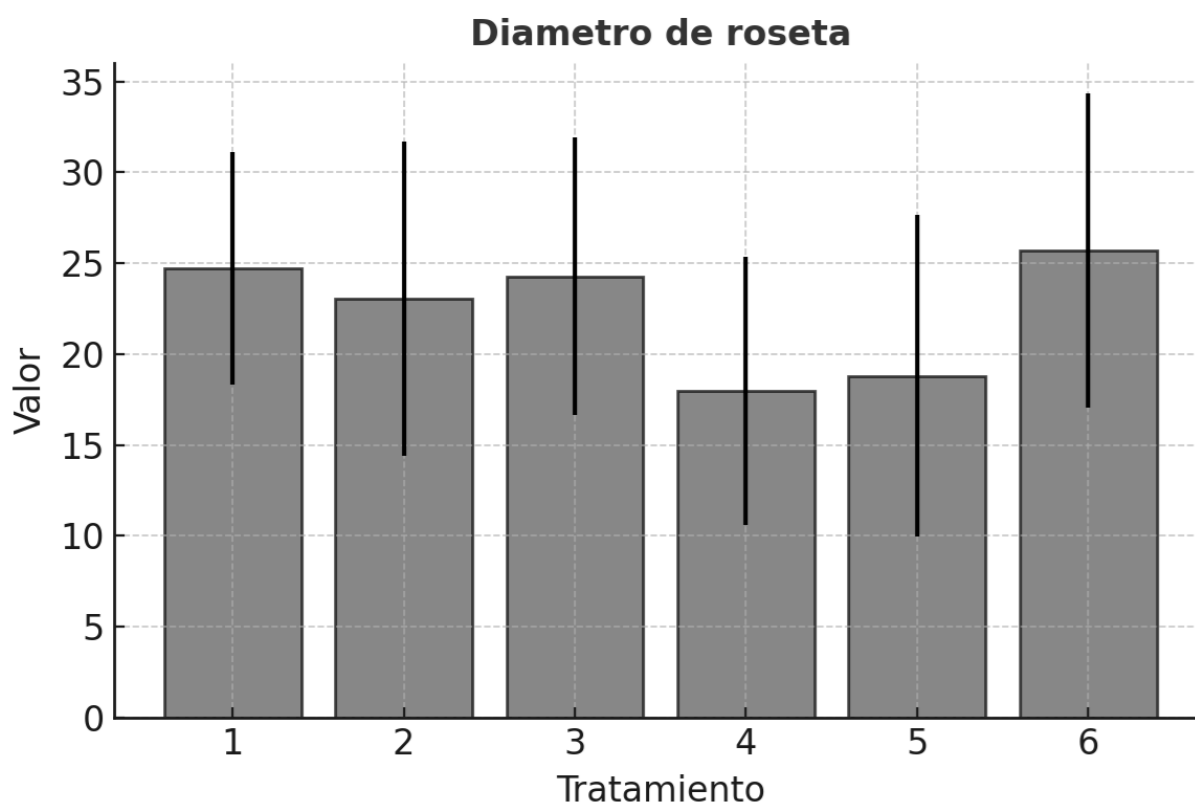


Figura 4. Diámetro de roseta de plantas de *Agave durangensis* bajo diferentes regímenes de fertilización.

Las plantas de *Agave durangensis* exhibieron diferencias estadísticamente significativas en el diámetro de la piña, también conocido como tallo verdadero. El tratamiento 4, y la aplicación de reguladores de crecimiento como giberelinas (10,000 PPM), citocininas (22,000 PPM) y auxinas (22,000 PPM), fue el que más favoreció esta variable. Es relevante mencionar que la mayor concentración de azúcares se encuentra en la piña. En cuanto al diámetro de la roseta, se ha documentado que esta variable puede indicar estrés en la planta. Se ha observado en otras publicaciones que el estrés contribuye a la acumulación de azúcares en la planta. Por lo tanto, una planta que muestra indicios de estrés puede presentar un incremento en el diámetro de la piña. En las industrias mezcalera y tequilera, la piña es la parte de la planta que se utiliza debido a su contenido de azúcares.

Un estudio realizado por Ángeles-espino et al. (2020) indica que la acumulación de azúcares en agaves puede ocurrir en respuesta al estrés abiótico y biótico, como sequía, frío, salinidad y la presencia de fitopatógenos.

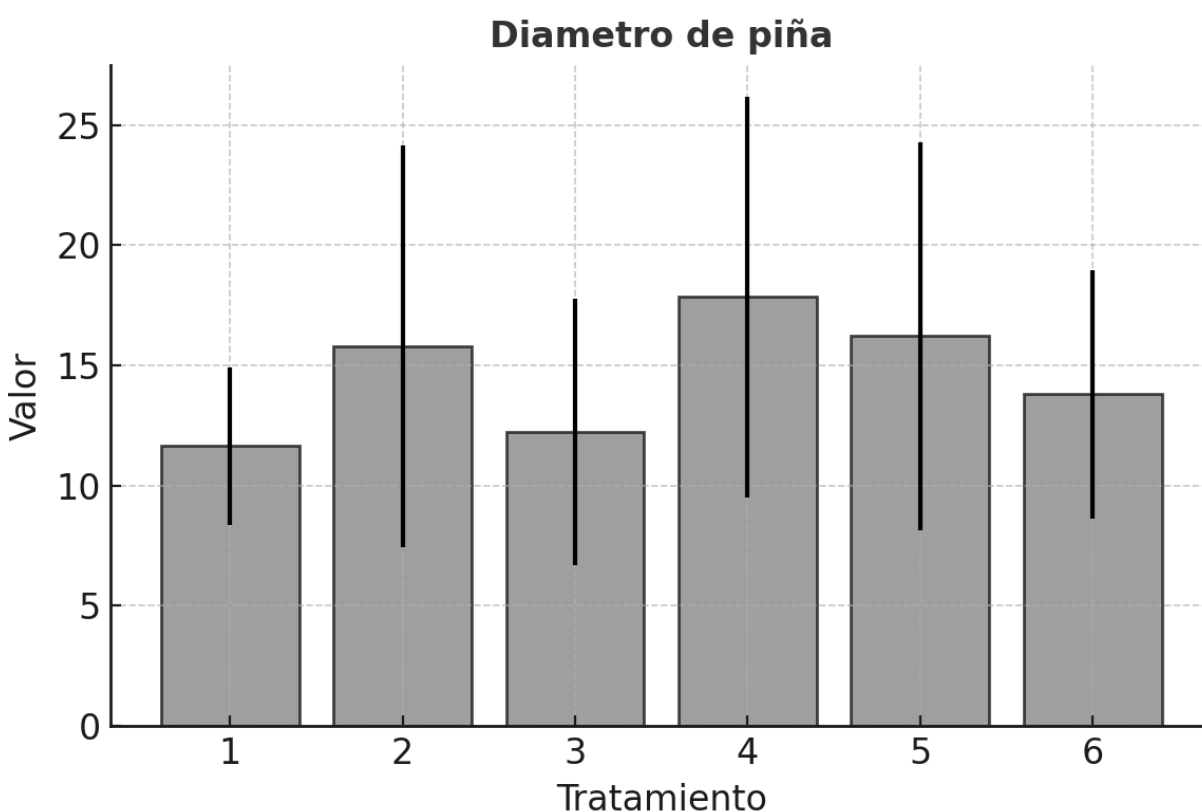


Figura 5. Diámetro de piña de plantas de *Agave durangensis* bajo diferentes regímenes de fertilización.

Las hojas del agave, comúnmente llamadas pencas, son órganos de reserva cruciales para la

supervivencia de estas plantas suculentas en hábitats áridos. Estas estructuras están adaptadas para almacenar tanto agua como nutrientes, lo que permite que la planta se mantenga durante períodos prolongados de sequía. En el presente estudio, se observó que los valores promedio de esta variable fluctuaron entre 12.65 y 13.80, sin que se registraran diferencias significativas entre los tratamientos. Esto sugiere que las plantas muestran una adaptación adecuada al entorno en el que se encuentran. Esta capacidad de adaptación es fundamental para el agave, ya que sus hojas suculentas están especialmente diseñadas para retener agua y soportar largos períodos sin lluvia, lo que constituye una estrategia vital para su supervivencia en sus hábitats naturales.

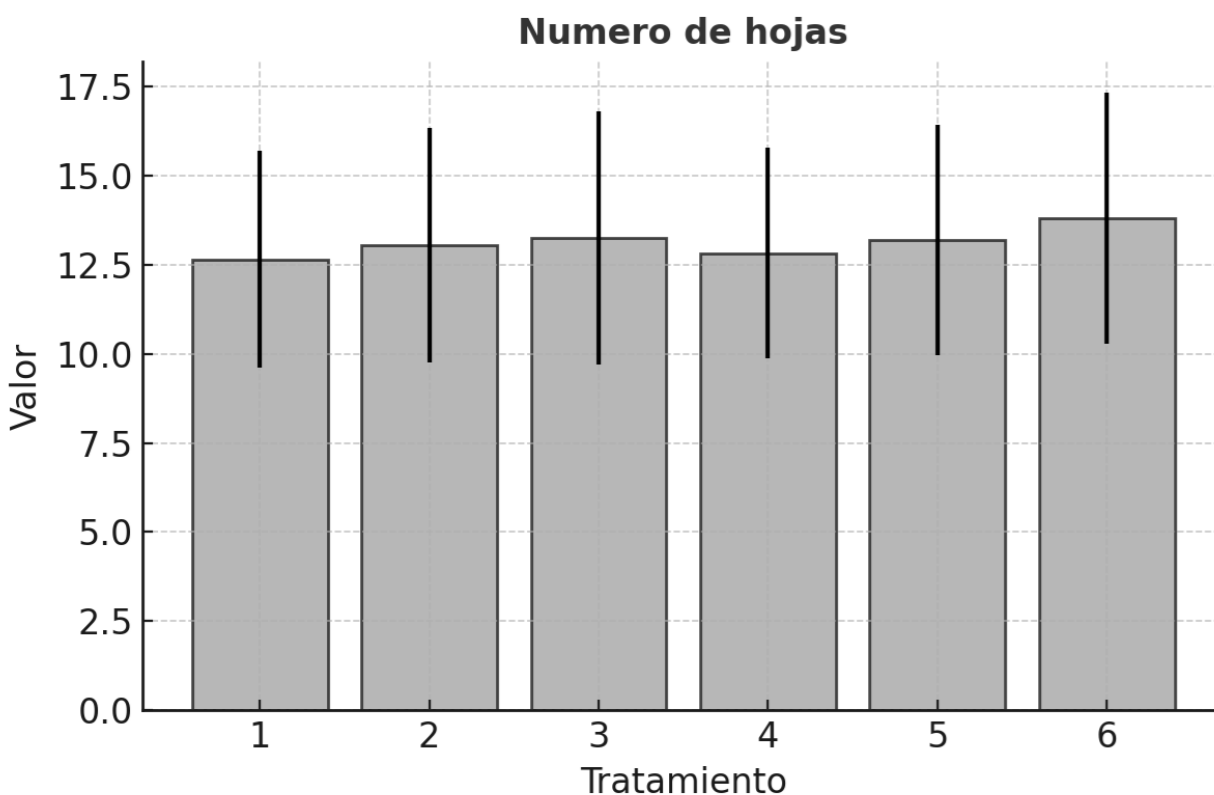


Figura 6. Número de hojas en plantas de *Agave durangensis* bajo diferentes regímenes de fertilización.

La producción de hijuelos en *Agave durangensis* es esencial para la conservación de la especie. Aunque anteriormente se creía que esta especie generaba pocos hijuelos, los resultados actuales demuestran que, con un mantenimiento adecuado de la plantación y un régimen de fertilización apropiado, la producción de hijuelos puede incrementarse hasta en un 24.61%. El valor más alto registrado para esta variable fue de 243 hijuelos, mientras que

el valor más bajo se observó en el tratamiento 5, correspondiente al régimen de fertilización con N (8.47%), P_2O_5 (24.60%), K_2O (7.68%); ácidos húmicos y fúlvicos (20%), P_2O_5 (10%), K_2O (10%); Ca (30%); aminoácidos (19%); ácidos húmicos (5%); giberelinas (500 PPM), citocininas (500 PPM) y auxinas (2,000 PPM). El tratamiento 4 siguió en eficacia, indicando resultados positivos en la producción de hijuelos.

Un estudio realizado por Rodríguez (2023) sugiere que una adecuada fertilización en el invernadero y fertilizaciones suplementarias a través del sistema de riego en acolchado pueden incrementar el crecimiento de las plantas de agave, así como de hijuelos acortando el ciclo de producción y obteniendo características adecuadas para su establecimiento en campo.

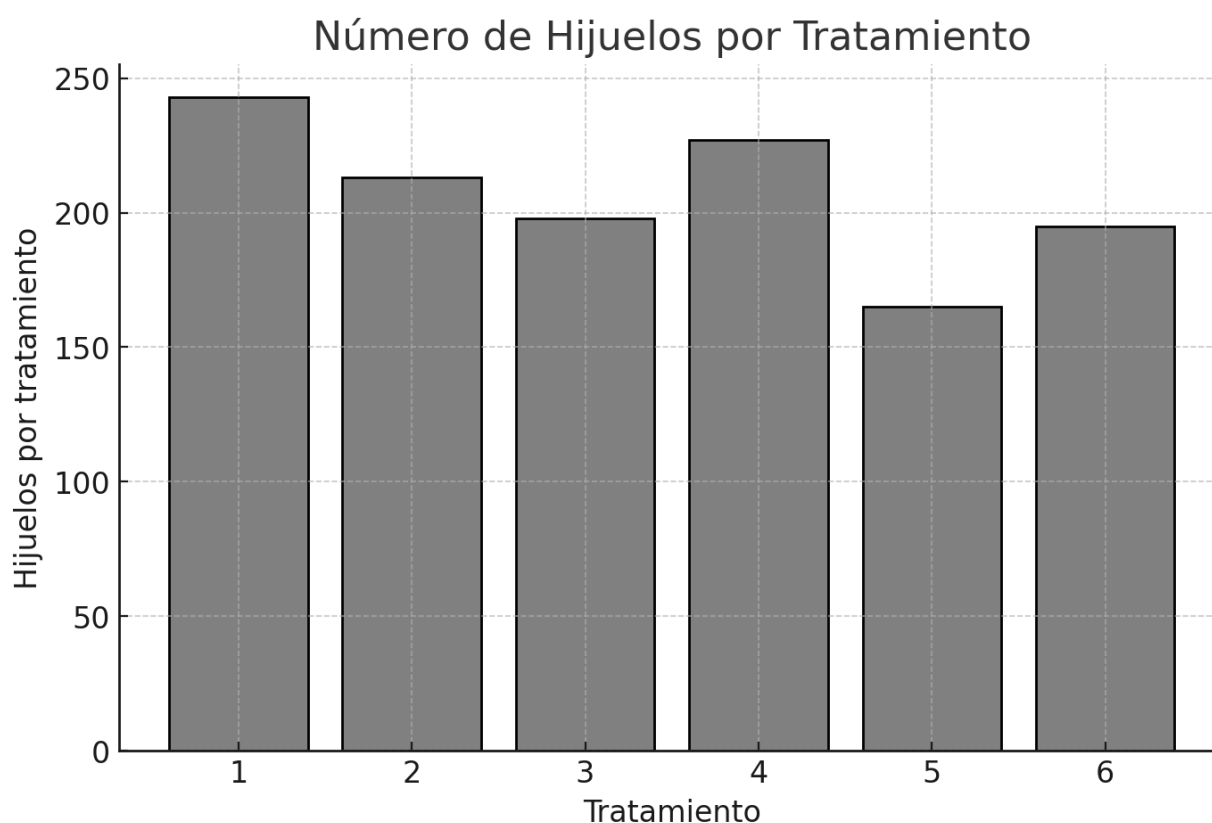


Figura 7. Número de hijuelos de plantas de *Agave durangensis* bajo diferentes regímenes de fertilización.

Los porcentajes de supervivencia en todos los tratamientos superaron el 90%. El valor más alto se observó en el tratamiento número 4, con un 96.25%, mientras que el más bajo

correspondió al tratamiento 2, con un 92.5%. Aunque en plantaciones forestales comerciales es común una cierta mortalidad en los primeros años, lograr un porcentaje superior al 90% en toda la parcela experimental indica un buen mantenimiento de la plantación, regímenes de fertilización bien establecidos y aplicados a tiempo, así como monitoreos constantes que permiten identificar y abordar debilidades en las plantas.

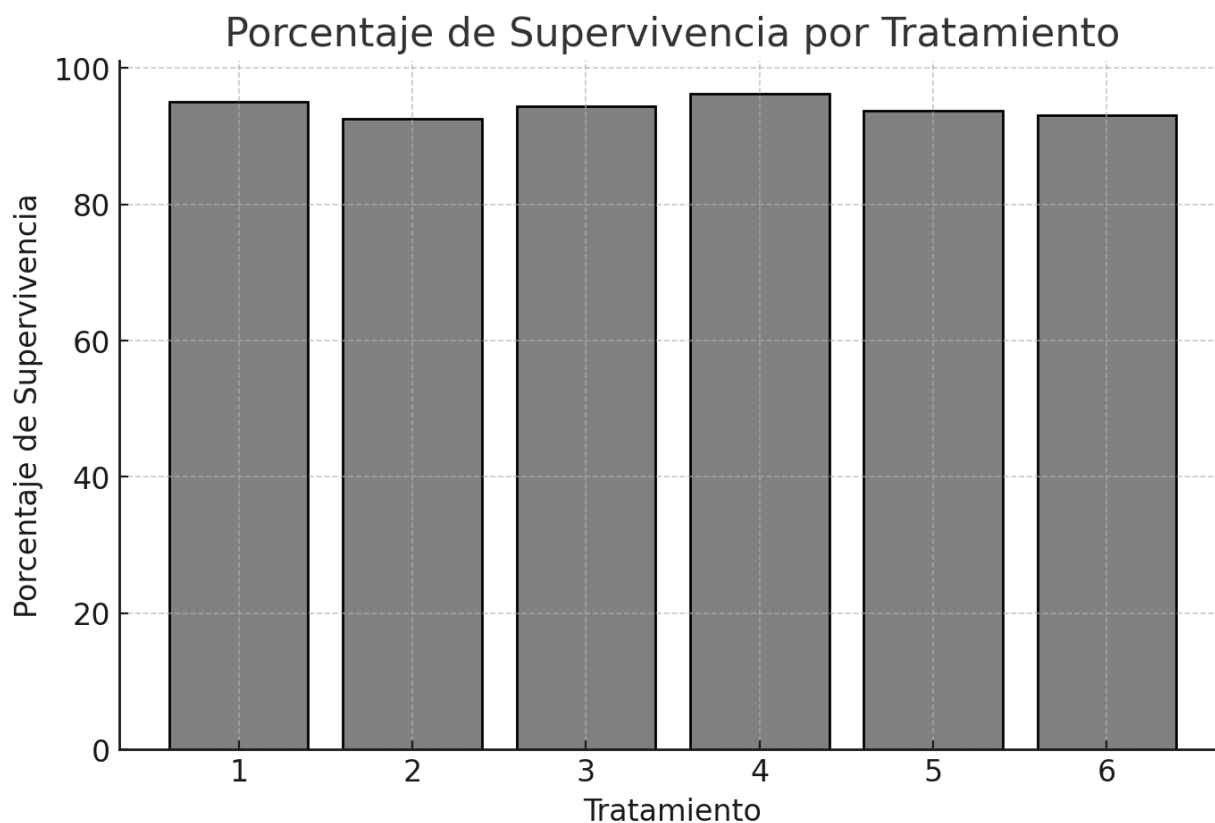


Figura 8. Porcentaje de supervivencia de plantas de *Agave durangensis* en diferentes regímenes de fertilización.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según las pruebas de Kruskal-Wallis existieron diferencias significativas entre tratamientos, si bien los valores no se observan con una curva muy muy estrecha de un dato a otro, esto lo podemos tomar en cuenta para con la información que tenemos tomar las medidas necesarias para actuar frente al actual problema que es la cosecha de las plantaciones ya establecidas en menor tiempo, la altura es una variable que si bien nos importa no es el objetivo directo de crecimiento que buscamos fomentar, si bien el tratamiento testigo resultó con los promedios más altos esto no se traduce en dejar de aplicar fertilizantes, se venía de un esquema en donde en las actuales plantaciones se le aplicaba una gran cantidad de fertilizantes y nutrientes en donde es necesario descartar cuáles si nos van a dar un valor de aumento para la planta y cuáles se pueden ir empezando a descartar, rangos de 20.55 cm a 22.95 en valores promedios más bajos y más altos respectivamente, nos puede decir mucho a un año y medio del establecimiento de la plantación, si siguiéramos con esta tendencia de crecimiento a 8 0 10 años que es cuando se tiene estimada la cosecha de la planta la diferencia entre los promedios más bajos a los más altos sería solo de 12.82 cm de diferencia, todo esto a expensas de tener el mismo ritmo de crecimiento. En el caso de la variable de diámetro de roseta aparte de ser una variable de crecimiento es una variable para identificar estrés en la planta estas variables pueden cambiar en cada medición dependiendo del estado de la planta un valor muy bajo puede indicar que la planta se encuentra bajo estrés lo que en etapas iniciales de la planta no nos importa, lo que se busca en los primeros años es el crecimiento de la misma, en cambio valores altos se pueden referir a una planta sana, depende de muchos más factores. En cuanto a la variable diámetro de piña es crucial incrementar su crecimiento en los primeros años, ganando volumen, el tratamiento 4 fue el que tuvo los valores promedios más altos, y a diferencia de las demás variables el tratamiento 6 quedó con unos de los valores promedios más bajos esta variable es de especial importancia ya que es lo que se aprovecha para la elaboración de mezcal, se consideraría como el tratamiento 4 el que mejores resultados obtuvo sería el régimen de fertilización a recomendar en esta publicación. En la variable número de hojas nos indica que tanto podría resistir la planta a estrés hídrico se observaron comportamientos relativamente favorables y con una buena cantidad de órganos de reserva para poder soportar estas condiciones, para el caso de el número de hijuelos presentados en cada tratamiento es de fundamental importancia el monitoreo de los mismos para lograr un retirarlos a

tiempo y que la planta madre no vaya a estar compitiendo con nutrientes con el mismo hijuelo y se pierda tiempo de crecimiento, a estos hijuelos se les puede ir dando un mantenimiento dependiendo del tamaño que presenten, una alternativa seria ponerlos a sistemas de acolchados y riego por goteo para en años próximos utilizamos para seguir abasteciendo las plantaciones, si el hijuelo ya se encuentra en condiciones optimas para salir a campo seria importante considerar un replante en las mismas parcelas para poder llegar a tener un 100% de planta plantada inicial.

Como la planta de agave es de lento crecimiento no se observaron números muy distopicos de un tratamiento a otro, la recomendación seria seguir midiendo estas parcelas experimentales aplicando los mismos productos para observar si en algún momento de la vida de la planta se ven curvas de crecimiento muy diferenciadas y ser todavía mas certeros con la decisión de que regímenes de fertilizaciones se pueden seguir quedando y cuales ir desechando.

REFERENCIAS

- Arreola Tostado, J. M., Montoya Jasso, V. M., Arreola Nava, J. M., Castillo Valdez, X., Olivares Arreola, E. A., & Báez Pérez, 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.
- Barvosa, Muñoz G. (2020). Crecimiento de Agave durangensis Gentry en diferentes condiciones ambientales y de aireación en vivero (tesis de Licenciatura). Universidad Juárez del Estado de Durango
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178.
- Carrillo Trueba, L. A. (2007). Los destilados de agave en México y su denominación de origen. *Ciencias*, (087).
- Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356.
- Coronel, A. N. L. (2003). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas. *La granja*, 2(1), 23-24.
- Delgado S., D. F. y A. Á. Pérez. 2019. ¿Para todo mal, mezcal? Un problema global y endémico. *Boletín del Centro de Ciencias de la Complejidad*, No. 38.
- Domínguez, Ag, M., V. D. J. F. P., del Real Laborde, J. I., Murphy, K. F. B., Ríos, S. J. C., & Díaz, M. L. S. (2007). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de Agave Tequilana Weber en la zona de denominación de origen del tequila.
- Domínguez, MS; González, ML; Rosales, C; Quiñones, C; Delgadillo, S; Mireles, SJ; Pérez, 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.
- Enríquez, V. J. R. 2008. La propagación y crecimiento de Agaves. *Fundación Produce Oaxaca*, A. C. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Oaxaca. México. 46 p.
- Escamilla-Treviño, L. L. (2012). Potential of plants from the genus Agave as bioenergy crops. *Bioenergy Research*, 5(1), 1-9.

- Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 41(2), 51-57.
- Gallegos, U. E. O., Lazalde, J. R. V., Aldrete, A., González Guillén, M. D. J., & Castillo, G. V. (2007). Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: Definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 411–419.
- García M., A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias* 87, 14–23.
- García, E. J., Méndez, S. D. J., & Talavera, D. (2010). El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 5, 109-129
- García-Herrera, E. J., Méndez-Gallegos, S. D. J., & Talavera-Magaña, D. (2010). El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 5, 109-129.
- García-Mendoza, A. (2011). Agavaceae. En R. Medina Lemos (Ed.), *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán* (Fascículo 88). México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Biología, 95 pp.
- Gentry, S. 1982. *Agaves of continental North America*. The University of Arizona Press, Tucson, Az. U.S.A. 670 p.
- González-Elizondo, M., Galván-Villanueva, R., López-Enríquez, I. L., Reséndiz-Rojas, L., & González-Elizondo, M. S. (2009). *Agaves-magueyes, lechuguillas y noas del Estado de Durango y sus alrededores*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Durango, Dgo.
- Gschaedler, A. C., Mora, A. G., RAMOS, S. M. C., VAZQUEZ, G. D., & VALDEZ, J. G. (2017). *Panorama del aprovechamiento de los Agaves en México*. Red Temática Mexicana Aprovechamiento Integral Sustentable y Biotecnología de los Agaves. México.
- Hernández-Carranza E. (2017). *La producción y mercado del mezcal en el Estado de Oaxaca, México*. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Socioeconómicas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 75 p.
- Huerta Zavala, J., Sabino Lopez, J. E., Damian Nava, A., Segura Pacheco, H. R., & Hernandez Castro, E. (2019). Áreas potenciales para plantaciones de Agave

- angustifolia Haw en Guerrero, México.
- INEGI, 2010b. 'Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Nombre de Dios, Durango
- Justo, M. B., Oropeza, L. G., Hernández, R. S., & Negrete, L. P. (2001). Azúcares en agaves (Agave tequilana Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. Acta universitaria, 11(1), 33-38.
- Marschner, P. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants.3nd. Edition.Elsevier.Oxford, UK. 645 p.
- Martínez-Hernández, A; Pastrana-Chávez, J; Sánchez-Villareal, A; Lara-Reyna, J; Herrera-Estrella, L; Herrera-Estrella, A; Martínez de la Vega, O; Simpson-Williamson, J. 2007. Genómica de Agave tequilana: Identificación de genes útiles para la industria tequilera y el desarrollo de usos alternativos del Agave: CINVESTAV.
- Montoya Martínez, A. C. (2014). Hongos micorrízicos como biofertilizantes y agentes de control biológico contra Fusarium oxysporum en Agave tequilana.
- Navarro R. M.; A. Del Campo y J. Cortina. 2006. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. En: Cortina, J.; J. L. Peñuelas; J. Puértolas, r. Savé y A. Vilagrosa (eds). Calidad de planta forestal para la restauración de ambientes mediterráneos. Estado actual del conocimiento. Ministerio de medio ambiente. España. pp. 41-36.
- Nobel P S, E Quero, H Linares (1988) Differential growth responses of agaves to nitrogen, phosphorus, potassium, and boron applications. J. Plant Nutr. 11:1683-1700.
- Nobel P S, E Quero, H Linares (1989) Root versus shoot biomass: responses to water, nitrogen, and phosphorus applications for Agave lechuguilla. Bot. Gaz. 150:411-416.
- Nobel, P. S. (1998). Los incomparables agaves y cactus (No. 04; QK495. A26, N62.).
- Olivas Gallegos, U. E., Valdez Lazalde, J. R., & Aldrete, A. (2007). Manual de áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante análisis multicriterio, Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 30, núm. 4, 2007, pp. 411-419. Revista Fitotecnia Mexicana, 30(4), 411-419.
- Orea Lara, G., Cifuentes Díaz de León, A., Gómez Ortiz, S., & Hernández Vargas, V. (2006). Germinación de semillas (Agave durangensis) a diferentes temperaturas y efecto de la fertilización en el desarrollo de las plántulas.
- Potter, N. N., & Hotchkiss, J. H. (1995). La ciencia de los alimentos (No. TP370. P67).

Centro Regional de Ayuda Técnica.

- Ríos-Saucedo, J. C. R. S., Reyes-Rodríguez, C. M., Rosales-Serna, R., & Alfredo, P. (2018). Actualización preliminar de inventarios para áreas productoras de maguey cenizo en diferentes municipios de Durango. *Revista Científica Semestral Investigación, Desarrollo e Innovación*, 326.
- Ronen, E. (2010). Fertilización Foliar. Otra exitosa forma de nutrir a las plantas.
- Rosales M, S; Sígala R, J A; Prieto R, J A; Basave V E; Sarmiento L, H; García R, J L y García P, J. L. 2016. Establecimiento y monitoreo de una plantación de *Pinus engelmannii* Carr. en el suroeste de Durango. Folleto Técnico, N°81. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango. Durango. 32 p.
- Rosales, S; Hernández M; Sarmiento H; Sígala JA. 2014. Producción de planta de *Agave durangensis* en sistema de acolchado y riego por goteo. Folleto Técnico, No. 76. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango. Durango. 28 p.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Tercera edición. 672pp.
- Tang, M. K., Nazeeb, M., & Loong, S. G. (2000). Tipos de fertilizantes y métodos de aplicación en plantaciones de palma de aceite malasia. *Palmas*, 21(especial), 242-257.
- Téllez, M. P. (1998). El cocimiento, una etapa importante en la producción del tequila. *Bebidas Mexicanas*, 7(1), 19-20.
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2021). *Los suelos y su fertilidad*. Reverté.
- Vargas, V. H., Lara, G. O., & Díaz, A. C. (2017). Efecto de la poda en plantas agave mezcalero durante el trasplante a campo. *Vidsupra*, 35.
- Vázquez-García, J. A. (2007). *Agaves del occidente de México* (No. 584 V397a).
- Villablanca, F., & Villavicencio, P. (2010). *Los fertilizantes en la agricultura*.
- Wisuma, M. How do plants achieve tolerance to phosphorus deficiency?. *Small causes with big effects. Plants Physiol.* (133): p. 1947-1958, 2003.
- Zuñiga Estrada, L. (2013). Nutrición de *Agave tequilana* y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo).
- Sánchez-Mendoza, Saúl, & Bautista-Cruz, Angélica. (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), e2482738. Epub 28 de febrero de 2023. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.82738>

Nobel, P. S., & Meyer, S. E. (1985). Water relations and stem morphology of *Agave deserti* during drought. *Journal of Plant Physiology*, 118(2), 137-145. doi: 10.1016/S0176-1617(85)80113-5

- **Formato Documento Electrónico(APA)**

Ángeles-Espino, Alejandro, Dimas-Estrada, Hilda Eréndira, Ramírez-Alvarado, David, Cruz-Rubio, José Manuel, Palmeros-Suárez, Paola Andrea, & Gómez-Leyva, Juan Florencio. (2020). Caracterización molecular de mutantes de *Agave tequilana* inducidas con radiación gamma Co60 y su efecto en la acumulación de fructooligosacáridos. *Acta universitaria*, 30, e2696. Epub 22 de octubre de 2020.<https://doi.org/10.15174/au.2020.2696>

Rodríguez, J. L. G., López, H. S., Rodríguez, J. Á. S., & González, J. C. M. (2023). PRODUCCIÓN DE PLANTA Y ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES COMERCIALES DE *Agave durangensis* Gentry.