

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



PRODUCCIÓN DE AGAVE *Angustifolia Haw* EN EL ESTADO DE OAXACA

Por:

NAYELI RAMÍREZ LÓPEZ

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenvista, Saltillo Coahuila, México.

Diciembre 2024.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

PRODUCCIÓN DE AGAVE *Angustifolia Haw* EN EL ESTADO DE OAXACA

por:

NAYELI RAMÍREZ LÓPEZ

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



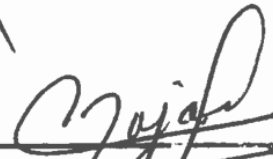
MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos

Asesor Principal



Dra. Manuela Bolívar Duarte

Coasesor



MC. Carlos Rojas Peña

Coasesor



Ing. David Martínez Medina

Coasesor



MC. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Diciembre 2024.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

PRODUCCIÓN DE AGAVE *Angustifolia Haw* EN EL ESTADO DE OAXACA

por:

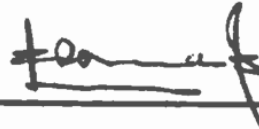
NAYELI RAMÍREZ LÓPEZ

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

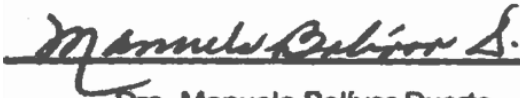
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el H. Jurado Examinador:



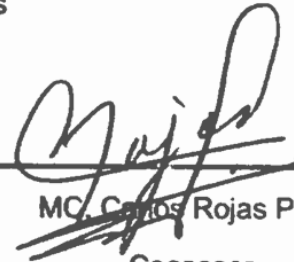
MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos

Asesor Principal



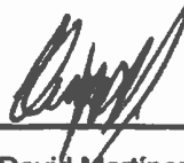
Dra. Manuela Bolívar Duarte

Coasesor



MC. Carlos Rojas Peña

Coasesor



Ing. David Martínez Medina

Coasesor



MC. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo Coahuila, México.
Diciembre 2024.

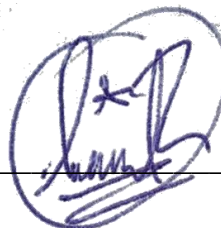
DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reducción de fragmentos o textos sin citar o autor original (copiado y pegado); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (autor plagiado); comprar, robar o pedir prestados los datos o la monografía para presentarla como copia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin comillas; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original o fuente. En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el autor, estando consiente de que, en caso de comprobarse plagio en el texto, no respetar los derechos de autor, edición o modificación, será sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias generadas en caso de existir cualquier tipo de plagio y declaro que este trabajo es original.

AUTOR PRINCIPAL



NAYELI RAMÍREZ LÓPEZ

AGRADECIMIENTOS

A Dios por a verme dado la vida, por escucharme e iluminar mi camino en todo momento para salir adelante y lograr todos mis objetivos.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por cobijarme durante estos años de estudio, agradezco haber formado parte de esta gran Universidad.

Al Departamento de Riego y Drenaje y sus docentes, gracias por compartir sus conocimientos de una forma tan amable y generosa haciendo uso de sus instalaciones.

Al MC. Luis Edmundo Ramírez por apoyarme en la realización de este trabajo, por asesorarme y brindarme su tiempo y sus conocimientos.

A mis coasesores, Dra. Manuel Bolívar, Mc. Carlos Rojas y el Ing. David Martínez por haberme apoyado en la realización del trabajo y tomarse el tiempo de compartirme sus conocimientos.

DEDICATORIAS

Le dedico este logro principalmente a mis padres la Sra. Esperanza M. López Cruz y el Sr. Anatolio A. Ramírez Navarro por darme la vida, por guiarme, procurarme y apoyarme en todo momento.

A mi compañero de vida Felipe Cruz, gracias por siempre estar ahí para apoyarme y motivarme en seguir adelante y ser mejor día con día.

A mi hija Karla Vianney, eres la luz de mi vida por ti hija mía sigo y seguiré adelante. Ojalá algún día te sientas muy orgullosa de mí.

A mis hermanos por su apoyo incondicional de cada uno de ustedes.

A mis compañeros y amigos que de alguna u otra manera recibí apoyo de su parte y por todos aquellos momentos vividos.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Objetivo	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1. Descripción Botánica	13
2.1.1. Clasificación Científica.....	13
2.1.2. Características Morfológicas.....	13
2.1.3. Ciclo de Vida.....	16
2.2. Distribución Geográfica.....	17
2.2.1. Distribución Natural	17
2.2.2. Zonas de Producción en el Estado de Oaxaca.....	18
2.3. Cultivo y Propagación	19
2.3.1. Propagación.....	19
2.3.2. Métodos de Establecimiento.....	20
2.3.4. Condiciones Ideales para su Crecimiento.	23
2.3.5. Prácticas Agrícolas Relacionadas con el Agave.....	24
2.3.6. Fuentes de Abastecimiento de Agua	25
2.4. Plagas y Enfermedades	26
2.4.1. Picudo del Agave (<i>Scyphophorus Acupunctatus</i>)	27
2.4.2. Mancha Gris o Tizón Foliar (<i>Cercospora Agavicola</i>),.....	28
2.4.3. Marchitez del Agave (<i>Fusarium Oxysporum</i>)	29
2.4.3. Pudrición de Cogollo (<i>Pectobacterium Carotovorum</i>)	29
2.5. Usos y Aplicaciones.....	30
2.5.1. Usos Tradicionales	30
2.5.2. Producción de Mezcal	32
2.5.3. Impacto Económico	37
2.6. Beneficios Ecológicos	38
2.6.1. Conservación de Suelo y Agua.....	39
2.6.2. Importancia en el Ecosistema Árido y Semiárido de México	39

2.6.3. Prácticas de Conservación de Agua y Suelo	39
2.7. Importancia Cultural	41
2.7.1. Agave en la Medicina y los Rituales	41
2.7.2. Turismo y Experiencias Culturales	42
2.7.3. Papel en la Cultura Mexicana y su Relación con las Tradiciones.	42
2.8. Problemáticas y Desafíos	43
2.8.1. Sobreexplotación y Disminución de las Poblaciones Naturales....	43
2.8.2. Erosión Genética por el Cultivo Masivo de Monocultivos.	44
2.8.3. Sustentabilidad y Prácticas Responsables en su Explotación.	44
2.8.4. Impacto Hidrológico	45
2.9. Perspectivas Futuras	46
2.9.1. Innovaciones Tecnológicas en su Cultivo y Aprovechamiento.	46
2.9.2. Potencial en la Industria de Biocombustibles y Nuevos Productos.	47
2.9.3. Iniciativas para su Conservación y Uso Sostenible.	48
III. CONCLUSIÓN	50
IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. HOJAS DEL AGAVE <i>ANGUSTIFOLIA</i>	14
FIGURA 2. ESPINAS DE AGAVE	14
FIGURA 3. TALLO FLORAL DEL AGAVE.....	15
FIGURA 4. RAÍZ DEL AGAVE.	15
FIGURA 5. HIJUELOS DEL AGAVE.....	16
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DEL AGAVE <i>ANGUSTIFOLIA</i> EN MÉXICO Y CENTROAMÉRICA	17
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE DIFERENTES ESPECIES DE AGAVES EN MÉXICO.....	18
FIGURA 8. ZONAS DE PRODUCCIÓN DE AGAVE <i>ANGUSTIFOLIA</i> EN OAXACA, MÉXICO	19
FIGURA 9. CULTIVO IN VITRO DEL AGAVE	21
FIGURA 10. PROPAGACIÓN DE AGAVE EN DIVERSOS CONTENEDORES DE ACUERDO A SU ETAPA DE CRECIMIENTO.	23
FIGURA 11. ESQUEMATIZACIÓN DE OBRAS DE CAPTACIÓN	26
FIGURA 12. ESTADOS DE DESARROLLO DE <i>SCYPHOPHORUS ACUPUNCTATUS</i>	27
FIGURA 13. DAÑOS DE <i>SCYPHOPHORUS ACUPUNCTATUS</i> EN EL AGAVE.	28
FIGURA 14. SÍNTOMAS CAUSADOS POR <i>CERCOSPORA AGAVICOLA</i> EN AGAVE.....	28
FIGURA 15. SÍNTOMAS CAUSADOS POR <i>FUSARIUM OXYSPORUM</i> EN AGAVE.	29
FIGURA 16. PUDRICIÓN DESCENDENTE Y ENROLLAMIENTO DE LAS HOJAS.....	30
FIGURA 17. JIMA DEL AGAVE.	32
FIGURA 18. COCCIÓN DEL AGAVE.	32
FIGURA 19. MOLIENDA DE AGAVE EN MOLINO DE PIEDRA.	33
FIGURA 20. FERMENTACIÓN EN TINA DE MADERA.....	33
FIGURA 21. DESTILADOR FILIPINO.....	35
FIGURA 22. DESTILACIÓN EN OLLA.....	35
FIGURA 23. ALAMBIQUE INSTALADO PARA LA PRODUCCIÓN DE MEZCAL	36
FIGURA 24. DESTILADOR DE CAPTACIÓN INTERNA “CAMPANILLA”	36
FIGURA 25. DESTILADOR CON REFRESCADERA	37
FIGURA 26. PRODUCTO TERMINADO.	37
FIGURA 27. ZANJAS TRICHERA	40
FIGURA 28. SISTEMA DE BORDOS A CURVAS DE NIVEL.....	40
FIGURA 29. BARRERAS VIVAS.....	41
FIGURA 30. ENFOQUE DE ATENCIÓN SISTÉMICO AGAVE-MEZCAL.	49

RESUMEN

El *Agave angustifolia*, también conocido como "maguey espadín", es una planta originaria de México, tiene sus raíces en la vasta biodiversidad del sur de México, con Oaxaca como uno de sus principales centros de cultivo, utilizada por generaciones debido a su resistencia y adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas, lo que la convierte en una especie clave dentro de la región.

Este maguey es una subespecie del *Agave tequilana*, del cual también se obtiene el tequila, aunque su uso principal es la producción de mezcal. El *Agave angustifolia* tiene un profundo vínculo con la identidad cultural oaxaqueña, especialmente en las comunidades rurales.

Desde tiempos prehispánicos, ha sido empleado en rituales, festividades y prácticas comunitarias. Además, la producción artesanal de mezcal, a partir de este agave, es una actividad central en muchas comunidades, donde familias enteras se dedican a la plantación, cosecha y destilación del maguey.

La industria del Agave y, por lo tanto; uno de los productos más famosos a nivel mundial "el mezcal" ha crecido significativamente en las últimas décadas, convirtiéndose en un motor económico clave para el estado de Oaxaca. Genera empleo tanto en el cultivo del maguey como en la transformación en mezcal, impulsando el desarrollo rural y el turismo. La demanda internacional del mezcal ha incrementado las exportaciones, lo que ha beneficiado a pequeños y medianos productores en la región.

Palabras clave: Agave, Maguey, Oaxaca, Mezcal.

SUMMARY

The *Agave angustifolia*, also known as "maguey espadín", is a plant native to Mexico, it has its roots in the vast biodiversity of southern Mexico, with Oaxaca as one of its main cultivation centers, used for generations due to its resistance and adaptability to different climatic conditions, which makes it a key species within the region.

This maguey is a subspecies of the *Agave tequilana*, from which tequila is also obtained, although its main use is the production of mezcal. The *Agave angustifolia* has a deep link with Oaxacan cultural identity, especially in rural communities.

Since pre-Hispanic times, it has been used in rituals, festivities and community practices. Furthermore, the artisanal production of mezcal, from this agave, is a central activity in many communities, where entire families are dedicated to the planting, harvesting and distillation of maguey.

The Agave industry and, therefore; One of the most famous products worldwide "mezcal" has grown significantly in recent decades, becoming a key economic driver for the state of Oaxaca. It generates employment both in the cultivation of maguey and in the transformation into mezcal, promoting rural development and tourism. International demand for mezcal has increased exports, which has benefited small and medium producers in the region.

Keywords: Agave, Maguey, Oaxaca, Mezcal.

I. INTRODUCCIÓN

El Agave *angustifolia* debe su nombre a la palabra en latín: “Angusti” que quiere decir estrecho y se debe a que sus hojas son largas y estrechas. El nombre fue dado por el botánico inglés Adrián Hardy Haworth. La abreviatura Haw. se emplea para indicar a Adrián Hardy Haworth como autoridad en la descripción y clasificación científica de los vegetales (Nogales, 2020).

México es el centro de origen y diversidad natural del género Agave y cuenta con 150 de las más de 200 especies que existen, distribuidas principalmente en ecosistemas áridos. Su importancia ecológica radica en el número de especies animales y vegetales con las cuales establece asociaciones y en su capacidad de retención de suelos. Desde épocas prehispánicas se han utilizado para cubrir diversas necesidades de tipo alimenticio, habitacional, espirituales y de recreación (SAGARPA, 2024).

Los agaves tienen gran valor histórico, cultural y económico; ya que son fuente de diversos productos, por ejemplo: alimentos (gusanos de maguey, insectos, etcétera.), bebidas fermentadas y destiladas (aguamiel, pulque, mezcal, tequila, bacanora y comiteco, entre otros), medicinas, combustible, plantas de ornato, fibras para cuerdas o calzado (ixtle), abono, materiales para construcción de viviendas, ceremoniales, implementos agrícolas y usos químicos (García, 2007).

1.1. Objetivo

Estudiar el agave *angustifolia* en el Estado de Oaxaca para conocer y comprender sus propiedades agronómicas, químicas y ecológicas, con el fin de promover su cultivo sostenible, mejorar la calidad de los productos derivados, y fomentar su aprovechamiento en aplicaciones económicas, industriales y de conservación ambiental, contribuyendo al desarrollo sostenible de las regiones donde se cultiva.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción Botánica

2.1.1. Clasificación Científica

De acuerdo a la publicación por parte de la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – UNAM en la página <https://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:1232295> se describe la clasificación de esta planta:

Reino: *Plantae*

Phylum o división: *Tracheophyta*

Clase: *Liliopsida*

Orden: *Asparagales*

Familia: *Agavaceae*

Género: *Agave*

Especie: *Agave angustifolia*

Nombre científico: *Agave angustifolia* Haw.

2.1.2. Características Morfológicas

En la página <https://mezcal.org/morfologia-y-fisiologia-del-agave/> se describe la morfología del Agave *Angustifolia* el cual se caracteriza por una serie de rasgos distintivos que lo hacen fácilmente reconocible. Aunque hay una gran variedad de especies dentro del género Agave, comparten muchas características morfológicas comunes. A continuación, describiré ampliamente la morfología típica de un Agave:

2.1.2.1. Hojas. Esta es una de sus características más destacadas. Son gruesas, carnosas y están dispuestas en una forma de roseta basal. Las hojas son lanceoladas o espatuladas, con márgenes dentados o espinosos, lo que varía según la especie. Algunas hojas pueden alcanzar tamaños considerablemente grandes, llegando a superar el metro de longitud en ciertas especies como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Hojas del Agave *Angustifolia*.

2.1.2.2. Espinas. Muchas especies de Agave presentan espinas en los márgenes de las hojas, lo que sirve como una defensa contra los herbívoros. Estas espinas pueden ser pequeñas y suaves, o grandes y puntiagudas, dependiendo de la especie. Algunas especies carecen completamente de espinas (Figura 2) (UNAM,2024).



Figura 2. Espinas de Agave (UNAM, 2024)

2.1.2.3. Tallo floral. El Agave es una planta monocárpica, lo que significa que florece solo una vez en su vida. Cuando llega el momento de florecer, emite un largo tallo floral que puede alcanzar alturas considerables. Este tallo es erecto y

está compuesto por numerosas ramificaciones. En la punta del tallo, se desarrolla una inflorescencia en forma de panícula o racimo, compuesta por pequeñas flores tubulares de colores variados, como blanco, amarillo o verde, observado en la Figura 3.



Figura 3. Tallo Floral del Agave (González, et al. 2009).

2.1.2.4. Raíces. En la Figura 4 se observa el sistema de raíces del agave que es generalmente fibroso y poco profundo, extendiéndose ampliamente en busca de agua en el suelo. Las raíces tienden a ser resistentes y se adaptan para absorber y almacenar agua durante períodos prolongados de sequía.



Figura 4. Raíz del Agave (Esparza, et al. 2015).

2.1.2.5. Hijuelos. Muchas especies de Agave producen hijuelos, también conocidos como “chupones” o “plántulas”, que crecen cerca de la base de la planta madre. Estos hijuelos son clones genéticos de la planta original y, una vez que alcanzan cierto tamaño, pueden separarse y desarrollarse como nuevas plantas independientes (Figura 5) mencionada por Kissick (2023).



Figura 5. Hijuelos del Agave (Kissick, 2023).

En general, la morfología del Agave está adaptada para sobrevivir en climas áridos y semiáridos. Sus hojas gruesas y carnosas les permiten almacenar agua, mientras que las espinas actúan como defensa y evitan la pérdida excesiva de agua debido a la transpiración. Su capacidad para producir hijuelos y su sistema de raíces fibroso les brindan adaptabilidad y resiliencia en entornos desafiantes.

2.1.3. Ciclo de Vida.

De acuerdo con la publicación de la secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA- (2024) el agave *angustifolia* al igual que el resto de los agaves posee como característica biológica un ciclo de vida largo, pues en general tarda alrededor de 6 a 8 años para que se produzcan frutos con semilla, aunque no siempre los forma. Además, se trata de una planta que presenta un solo evento reproductivo sexual, al término del cual, la planta muere. Por otro lado, tiene un porcentaje incierto de fertilidad, así como una tasa germinativa y de supervivencia baja, debido a que en la mayoría de los casos las semillas caen en un medio adverso y están sujetas a ser consumidas

por herbívoros. En respuesta a ello y como una adaptación al medio, los agaves han desarrollado de manera alternativa la reproducción asexual mediante rizomas, bulbilos y bulbillos.

2.2. Distribución Geográfica

2.2.1. Distribución Natural

El *Agave angustifolia* tiene una distribución amplia, en la Figura 6 se observa que va desde Costa Rica a lo largo del Océano Atlántico y Pacífico hasta Tamaulipas y el Desierto Sonorense (Nobel, 1998). Este maguey se distribuye principalmente en México, en los estados de Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas desde el nivel del mar hasta más de 2000 msnm (Barrientos Rivera, y otros, 2019).

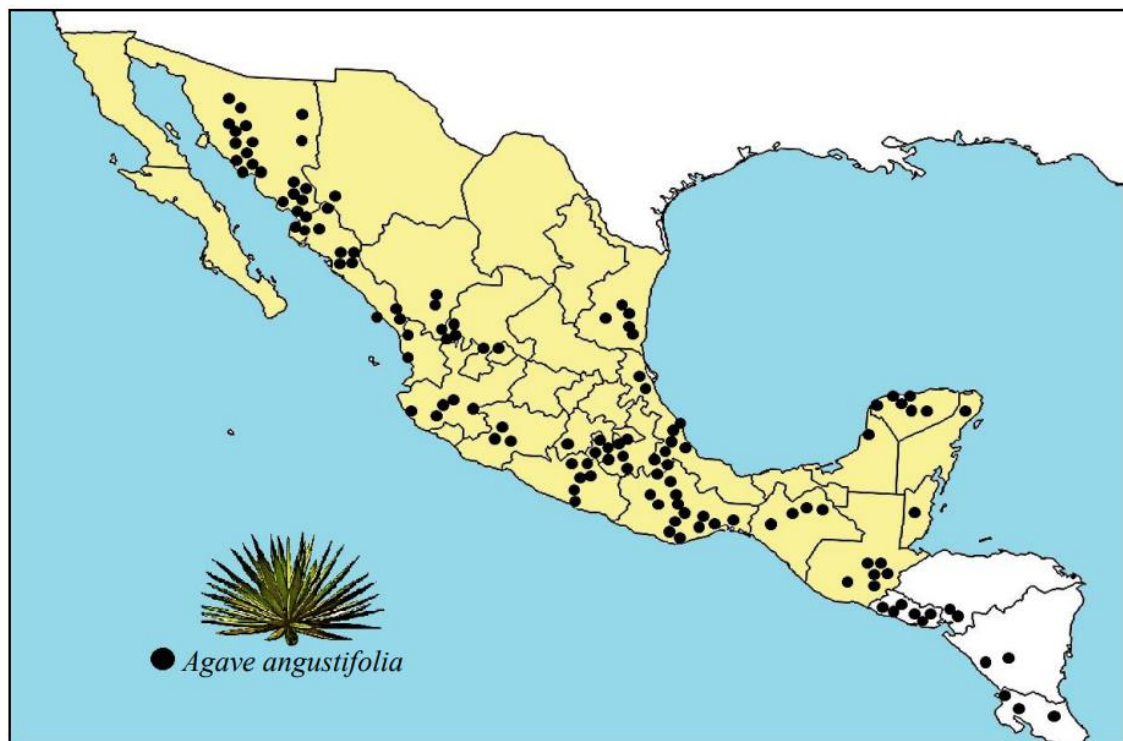


Figura 6. Distribución del *Agave angustifolia* en México y Centroamérica (Nobel, 1998).

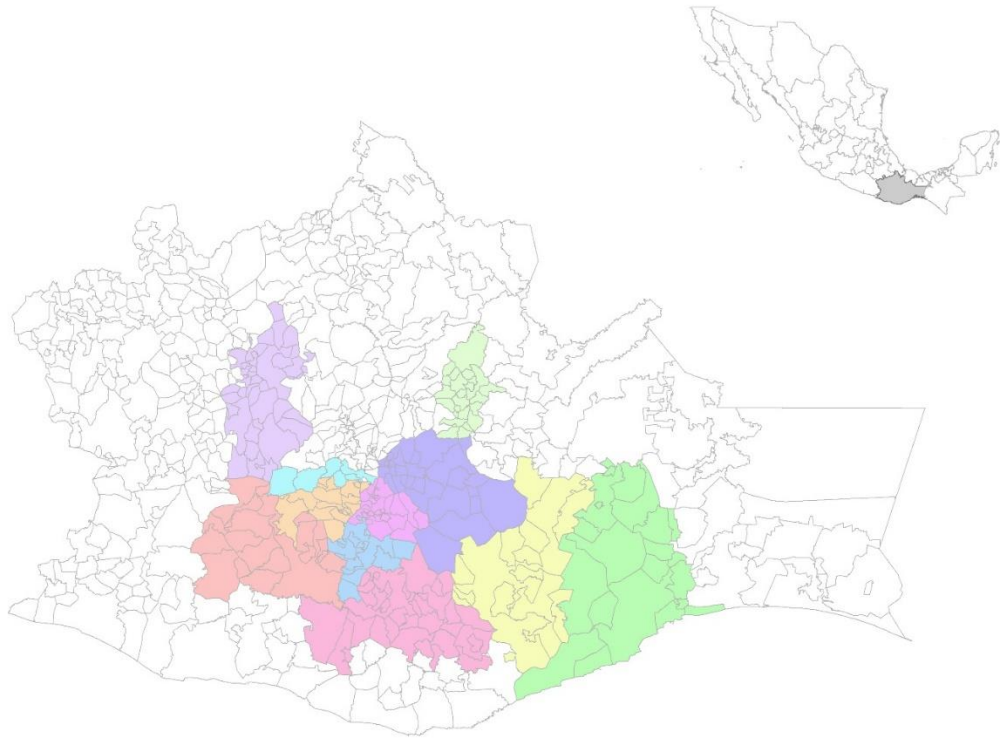


Figura 8. Zonas de Producción de Agave Angustifolia en Oaxaca, México (Nogales, 2020).

2.3. Cultivo y Propagación

2.3.1. Propagación

Aun cuando esta especie produce semillas viables, las plantaciones se establecen con plantas que se obtienen mediante propagación asexual, principalmente hijuelos de rizoma y bulbillos de inflorescencia y en una pequeña proporción se han establecido plantas obtenidas mediante cultivo de tejidos vegetales (Ríos, et al. 2022).

Los mismos autores consideran que las plantas que se obtienen de manera asexual se mantienen durante 6 a 18 meses en vivero, para obtener de 30-50 cm de altura, conveniente para establecerlas en campo y durante este periodo es necesario dar un manejo agronómico, etapa en la que se considera conveniente la sanidad y el abastecimiento de nutrimentos para lograr plantas de

calidad y vigor que se establezcan con éxito en campo. Cuando las plantas se extraen del suelo de vivero para transferirlas a campo, se les podan las raíces y en ocasiones se sumergen durante unos minutos en solución fungicida

Vásquez, et al. (2011) manifiestan que, aunque el maguey en su forma adulta produce semillas, son escasas las que germinan y generan un individuo nuevo en el ambiente silvestre. Además, las plántulas que logran establecerse pocas veces prosperan por falta de condiciones adecuadas para su crecimiento, principalmente por escasa humedad en el suelo y por efectos de enfermedades. Los individuos originados de semilla son importantes porque son necesarios para mantener la estructura y dinámica de las poblaciones de maguey, como la de todas las plantas, ya que su ausencia disminuye la variabilidad genética.

Las plantaciones se establecen durante los primeros meses de la temporada de lluvias, para asegurar que las plantas formen nuevas raíces para establecerse en suelo y reinicien crecimiento. Las plantas en general dependen de la energía de la radiación solar captada mediante el proceso fotosintético para la fijación de carbono y la síntesis de compuestos estructurales y metabólicos. Pero la eficiencia de la planta para captar radiación solar, fijar carbono y acumular materia seca depende de su condición fisiológica que está relacionada con la nutrimental (Ríos, et al. 2022).

2.3.2. Métodos de Establecimiento

2.3.2.1. Cultivo Tradicional. Para establecer el agave desde cero, se hace en almácigos esparciendo las semillas en el terreno para que éstas ahí germinen y se genere la planta. De esta manera las pequeñas plantas de agave se cuidan en la parcela hasta que alcancen una altura aproximada de 40 cm. Una vez alcanzada la altura promedio, están listas para ser establecidas en campo para desarrollarse y alcanzar su edad de madurez.

Para establecer la planta adulta de agave una vez pasado por vivero el método más común es llevarla a campo y plantarla en el suelo, esto se hace en hileras manteniendo una distancia entre planta y planta de 1 a 1.5 metros,

dependiendo del productor. De igual manera también se establece el agave en hileras de forma intercalada en los terrenos de siembra de maíz con el fin de evitar la erosión de los suelos.

2.3.2.2. Cultivo Moderno. El cultivo in vitro se refiere a un conjunto de técnicas como se observa en la Figura 9, que consisten en cultivar un fragmento vegetal en un recipiente, bajo condiciones controladas y asépticas, con el objetivo de obtener plantas de calidad y libres de microorganismos. Una de las aplicaciones del cultivo in vitro es la micropropagación de individuos seleccionados o individuos elite, llamados así porque son elegidos según las características que se desean (Moreno y Monja, 2021).

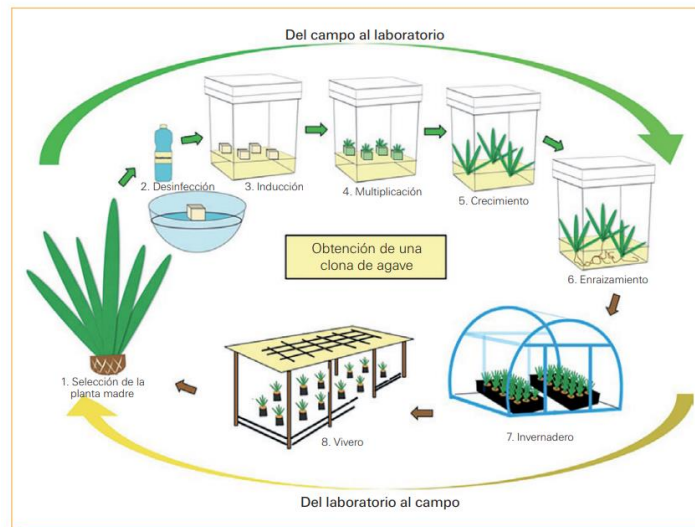


Figura 9. Cultivo In Vitro del Agave (Moreno y Monja, 2021).

2.3.2.4. Propagación en Invernadero con Sistemas de Riego por Goteo. En un proceso de micropropagación se presenta el riesgo de que ocurra la muerte de plantas producidas in vitro cuando éstas se transfieren al suelo y deben adaptarse a las nuevas condiciones del ambiente ex vitro. Lo anterior, se puede superar al someter las plantas a un proceso de climatización en invernadero y vivero durante el cual las plantas micropropagadas desarrollan estructuras resistentes a las condiciones ambientales ex vitro, en que se presentan condiciones de baja humedad relativa, alta intensidad de luz, fluctuaciones de

temperatura y constante estrés de resistencia a enfermedades (Enríquez, et al. 2016).

El Riego por Goteo o Riego Localizado, es un método de irrigación que permite una óptima aplicación de agua, agroquímicos y abonos en los cultivos bajo invernadero, este sistema es utilizado para suministrar agua al pie de cada planta. El agua aplicada se infiltra en el suelo o sustrato irrigando de manera directa la zona de influencia radicular a través de un sistema de tuberías y diferentes tipos de emisores. Una de las principales ventajas de este sistema de riego en invernaderos es el ahorro de grandes cantidades de agua y, el mantenimiento de un constante nivel de humedad en el suelo sin generar charcos ni estancamientos de agua (SEMBRALIA, 2020).

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-SADER- (2024) reporta que la capacidad de controlar con precisión la humedad del suelo hace que el sistema de riego por goteo sea ideal para entornos controlados como invernaderos. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-INIFAP- (2022) señala que la técnica de fertigración, consiste en aplicar agua y fertilizante, mediante un sistema de riego por goteo en un volumen de suelo en el cual se desarrollan las raíces.

Para la producción de planta de agave en vivero se recomienda utilizar diferentes tipos de contenedores de acuerdo a la fase de crecimiento hasta que cumpla un año de edad, a partir de esto la planta está lista para ser llevada a campo. El porcentaje de sobrevivencia puede llegar a ser menor al 65 por ciento, debido a que las características morfológicas de la planta carecen de las condiciones necesarias para su establecimiento. Para lograr mayores tasas de sobrevivencia, se recomienda después de este periodo, trasplantarla a bolsa de polietileno negro o en lotes de crecimiento en suelo agrícola, lo que logrará porcentajes de sobrevivencia mayores al 85 por ciento (SAGARPA, 2013), como se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Propagación de Agave en diversos Contenedores de Acuerdo a su Etapa de Crecimiento (SAGARPA, 2013).

2.3.4. Condiciones Ideales para su Crecimiento.

Ríos, et al. (2022) mencionan que esta especie soporta condiciones ambientales, tales, como déficit hídrico, alta temperatura, suelos moderadamente salinos y de fertilidad baja, que limitan el crecimiento y productividad de otras plantas de cultivo.

El agave está más acostumbrado a los climas desérticos y crece mejor cuando se cultiva en lugares semiáridos con temperaturas que no bajen más allá de los 20°C. Definitivamente no aguanta las heladas pues necesita una considerable cantidad de exposición solar para estar bien.

La página <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> recomienda realizar la plantación en primavera u otoño, evitando periodos de heladas. Preferentemente suelos bien drenados y arenosos, evitando los suelos pesados y con exceso de humedad. Respecto al riego, es importante regar con moderación, evitando el encharcamiento. El agave como cualquier otro tipo de planta necesita de elementos esenciales para su crecimiento y desarrollo, estos nutrientes se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro1. Elementos Importantes en el Crecimiento del Agave.

Elemento	Importancia
Nitrógeno	Fundamental para el crecimiento de las hojas y el desarrollo de la planta en general.
Fósforo	Contribuye al desarrollo de las raíces y promueve la floración.
Potasio	Fortalece la planta, mejorando su resistencia a enfermedades y condiciones adversas.
Calcio y magnesio	Son importantes para mantener la estructura de las células y prevenir deficiencias.
Otros micronutrientes	El agave también requiere de pequeñas cantidades de elementos como hierro, zinc y manganeso, entre otros, para un desarrollo óptimo.

2.3.5. Prácticas Agrícolas Relacionadas con el Agave.

De acuerdo con Herrera, et al. (2017) las formas más comunes de manejo del sistema agrícola del agave son:

Agrosistema convencional en monocultivo (ACM) caracterizado por el uso del suelo dedicado exclusivamente al cultivo del Agave, toda la producción de agave es para la venta, terrenos mayormente planos, cultivo mecanizado, mano de obra mixta (familiar y contratada).

Agrosistema tradicional con policultivo (ATP) en el que los productores realizan prácticas agrícolas tradicionales que intercalan maíz y frijol. Se ha documentado que el agave es intercalado con cacahuate, jamaica y frutales. Las prácticas agrícolas difieren después de la plantación ya que los agaveros que intercalan cultivos realizan un número mayor de labores, pero tienen también mayor productividad por diversificar cultivos.

Una de las prácticas más importantes a tener en consideración es cuidar las zonas protegidas o con bosques, esto es dejar de talar árboles para ocasionar una deforestación por plantar agave, debido a la poca disponibilidad o alta carencia de los terrenos (Ontiveros Velazquez, 2023).

Por otro lado, el mismo autor menciona la utilización y aplicación de micro organismos benéficos que mejoran la vida del suelo y el rendimiento de producción del agave. Una de las actividades que mejoran los micro organismos es ayudar más en la captura de carbono para contrarrestar los efectos del cambio climático. Algunos de los micro organismos que utilizamos en la producción de agave son: micorrizas, trichodermas, bacillus subtilis, rizobium, azotobacter.

El mismo autor menciona que otra práctica a utilizar es la de la fertilización balanceada al suelo la cual permite dar un equilibrio al desarrollo de la planta y al equilibrio en la fertilidad del suelo, con la ayuda de los análisis de suelos nos damos cuenta de que minerales son necesarios aportar en mayores cantidades para que después de cada cosecha el suelo tenga reservas para el cultivo siguiente.

En trabajos previos de desarrollo en invernadero-vivero de *A. angustifolia*, se ha demostrado la conveniencia de suministrar fertirriego la cual tiene efectos positivos en el desarrollo de las plantas, en características tales como número de hojas, altura de la planta, diámetro de tallo, pesos frescos y secos (Ríos, et al. 2022).

2.3.6. Fuentes de Abastecimiento de Agua

En la página <https://civilgeeks.com/2010/10/08/obras-de-captacion-sistema-de-agua-potable/> menciona que las obras de captación son obras civiles y equipos electromecánicos que se utilizan para reunir y disponer adecuadamente del agua superficial o subterránea. Dichas obras varían de acuerdo con la naturaleza de la fuente de abastecimiento, su localización y magnitud, dichas obras se presentan en la Figura 11.

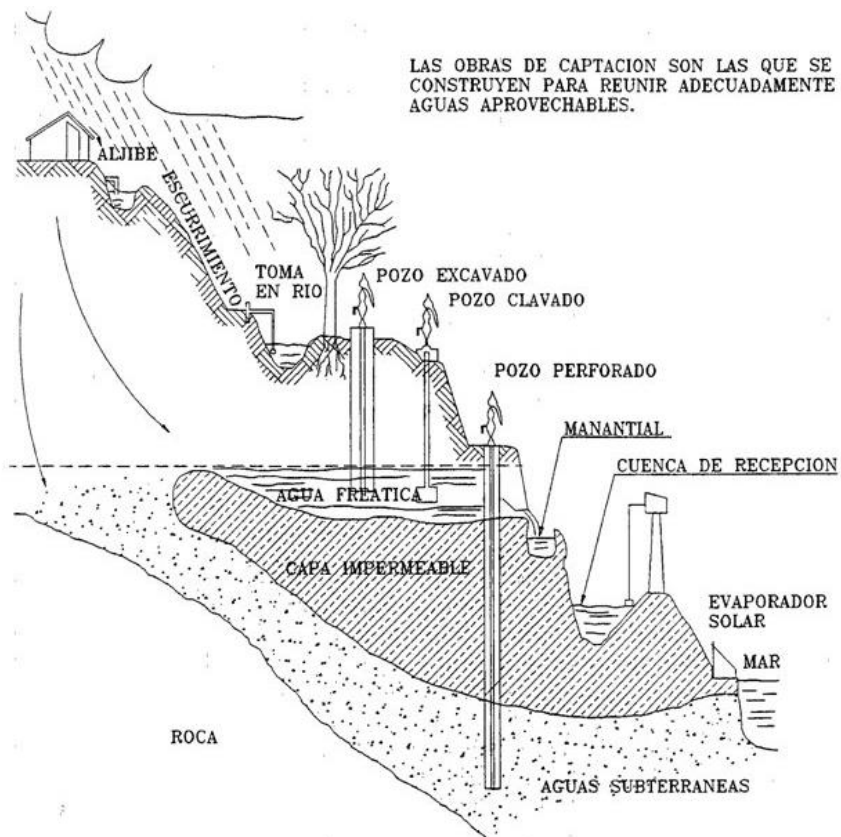


Figura 11. Esquematzación de Obras de Captación

2.4. Plagas y Enfermedades

Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Puebla-CESAVEP- 2017 describe que el cultivo del agave (*Agave angustifolia*) es atacado por diferentes plagas entre las que destacan el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*) que es una plaga que afecta en todas las etapas fenológicas del cultivo, causando de manera directa o indirecta la muerte de las plantas y en su caso deterioro en la calidad de la piña, pudiendo ocasionar pérdidas de hasta un 80 por ciento. Por otro lado, las enfermedades provocadas por mancha gris o tizón foliar (*Cercospora agavicola*), marchitez del agave (*Fusarium oxysporum*) y pudrición de cogollo (*Pectobacterium carotovorum*), que actúan solas o en combinación disminuyen el vigor de la planta, aumentan los costos de producción, reducen la calidad y cantidad de la producción de piñas.

2.4.1. Picudo del Agave (*Scyphophorus Acupunctatus*)

El picudo del agave es un insecto altamente perjudicial en diversas agaváceas, se encuentra ampliamente distribuido en agaves silvestres y cultivados, se considera como la principal plaga de importancia económica, ha sido el principal problema en la industria del tequila y el henequén en nuestro país y de la industria del sisal en África e Indonesia, en la Figura 12 se puede apreciar la reproducción de este insecto (SENASICA-DGSV, 2016).

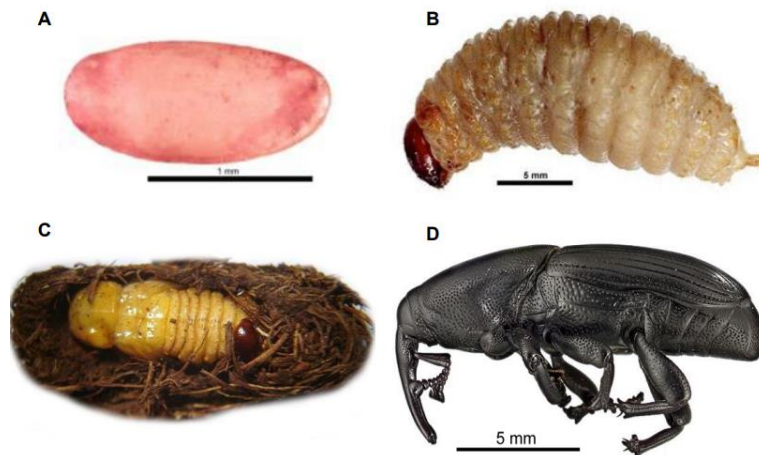


Figura 12. Estados de Desarrollo de *Scyphophorus Acupunctatus*.

Los daños directos en agaves (Figura 13) son ocasionados por las larvas del picudo, las cuales atacan la piña y el cogollo de la planta, los daños a hojas (pencas) se presentan en baja incidencia. El adulto oviposita en la parte cercana al ápice del cogollo y al emerger las larvas, éstas barrenan hacia el interior de la piña de agave principalmente maduro. Una vez que emerge la larva, esta perfora y hace galerías en la parte basal y periferia de las hojas (pencas), donde realiza perforaciones que pueden ser profundas, cuando las pencas van abriendo, se nota un orificio en cada una de ellas

El ataque es más agresivo en plantas de más de 4 años de edad, ya que estas plantas producen altas cantidades de azúcares, aunque también pueden atacar plantas jóvenes de 1 a 3 años e incluso hijuelos.



Figura 13. Daños de *Scyphophorus Acupunctatus* en el Agave.

2.4.2. Mancha Gris o Tizón Foliar (*Cercospora Agavicola*),

Morfológicamente, los conidios de *Cercospora* son alargados de forma filamentosos y hialinos, se desarrollan sobre conidióforos agrupados que nacen de un punto común sobre el tejido vegetal; estos conidios son transportados por el viento hasta la presencia de una película de agua sobre el follaje, y los tubos germinativos penetran en la hoja a través de los estomas (Figura 14); una vez que el patógeno ingresa al tejido vegetal, produce toxinas, ocasionando la muerte de las células vegetales dando origen a las lesiones necróticas (DGSV-CNRF. , 2017).



Figura 14. Síntomas Causados por *Cercospora Agavicola* en Agave.

2.4.3. Marchitez del Agave (*Fusarium Oxysporum*)

Fusarium Oxysporum Schldl es un hongo con origen en el suelo, esta especie incluye a un gran número de aislados responsables de causar síntomas de marchitez y pudrición en diferentes especies de plantas. Los primeros síntomas visibles se presentan en la parte aérea, estos inician con un amarillamiento progresivo en el follaje. Posteriormente, las hojas se marchitan gradualmente hasta que la planta completa colapsa, las diferentes fases de infección en las plantas se observan en la Figura 15 (DGSV-CNRF. , 2017).



Figura 15. Síntomas causados por *Fusarium Oxysporum* en Agave.

2.4.3. Pudrición de Cogollo (*Pectobacterium Carotovorum*)

Las células bacterianas de *Pectobacterium* son varillas rectas de 0.5-1.0 x 1.0-3.0 μm , con los extremos redondeados, solos o en pares, es Gram negativa y móvil por flagelos peritricos. Los primeros síntomas aparecen como lesiones necróticas acuosas en las puntas de las pencas (Figura 16), en la mayoría de los casos inician en la espina apical o en las espinas laterales; sin embargo, posteriormente, estas lesiones avanzan hacia el centro y base del cogollo; causando una pudrición descendente de consistencia blanda que llega hasta la piña, provocando que se desintegre el tejido, dejando hueca la piña y quedando únicamente las fibras, pudiendo ocasionar la muerte de la planta (DGSV-CNRF. , 2017).



Figura 16. Pudrición Descendente y Enrollamiento de las Hojas.

2.5. USOS Y APLICACIONES

2.5.1. Usos Tradicionales

2.5.1.1. Alimentación. Las flores del Agave se utilizan como alimento, éstas se recolectan de plantas silvestres o cultivadas y con ellas se preparan diversos guisos que se consumen durante la época de floración. Las hojas o pencas se emplean como saborizante al cocer la barbacoa y la cutícula de ellas se extrae para envolver el mixitote (Bautista Castellanos, 2019).

2.5.1.2. Fibra. La Comisión Nacional Forestal-CONAFOR- (2024) menciona que de esta planta se extraen fibras para elaborar cordeles, canastos, ropa, sandalias, cepillos, etc. Por su alto contenido de saponinas se le ha utilizado para elaborar jabón o para la fabricación de esteroides u otras hormonas sexuales. Se utiliza como remedio para las torceduras o huesos rotos de personas o de animales.

2.5.1.3. Medicina Tradicional. En base al blog de la página <https://mezcal.org/agave-y-medicina-tradicional-salud-del-desierto/#:~:text=Uso%20del%20Agave%20en%20la%20medicina%20tradicional&text=Los%20pueblos%20ind%C3%ADgenas%20de%20M%C3%A9xico,una%20perspectiva%20moderna%20y%20emp%C3%ADrica> el uso del Agave en la medicina tradicional es amplio y variado. Los pueblos indígenas de México han

utilizado el agave para tratar una variedad de dolencias y enfermedades durante siglos. Desde la aplicación de las hojas y raíces trituradas de la planta para curar heridas y quemaduras, hasta el uso de su néctar como remedio para la tos y los problemas digestivos. Sin embargo, es el estudio científico riguroso de estas prácticas lo que ha permitido que el Agave y Medicina Tradicional se vean desde una perspectiva moderna y empírica. Dentro de los beneficios del Agave para la salud, se encuentra su efecto antiinflamatorio y analgésico. Estudios científicos han demostrado que el agave contiene compuestos fenólicos y saponinas, que pueden ayudar a reducir la inflamación y el dolor. Además, el agave es una fuente importante de inulina, un tipo de fibra que se ha asociado con mejoras en la salud digestiva. Estos beneficios reafirman la importancia del Agave y Medicina Tradicional. Las investigaciones recientes sobre el Agave y la medicina han arrojado resultados prometedores. Se han realizado estudios clínicos que demuestran que el agave puede ayudar a mejorar el control del azúcar en sangre, lo cual es especialmente relevante para las personas con diabetes. Otros estudios han mostrado que el agave puede tener propiedades antibacterianas y antifúngicas. Esto sugiere que el agave podría tener un papel en la prevención y el tratamiento de una variedad de infecciones.

2.5.1.4. El Agave como Forraje. El suministrar maguey como alimento o forraje para los animales, no es una actividad reciente, desde que existe la ganadería en el país, en lugares donde se cultiva y existe de manera natural esta especie vegetal, se ha proporcionado como alimento emergente en la época de estiaje, incluso los mismos animales ramonean a los magueyes cuando están en la época de formación del meristemo de floración, el cual es conocido por los productores como capado de vaca. La industria mezcalera y tequilera, son los procesos que más maguey usan en la elaboración de bebidas, aprovechando solo el tallo y la parte basal de las hojas de la planta (piña), dejando en el campo el resto (pencas), y posterior al prensado del maguey cocido se desecha el bagazo; el cual, por lo general es un subproducto que no se utiliza, sin embargo, ambos subproductos pueden ser destinados a la alimentación animal (Castro et al. 2016).

2.5.2. Producción de Mezcal

El Diario Oficial de la Federación-DOF-(2015) hace mención de los pasos para la producción del mezcal:

2.5.2.1. Cosecha. La cosecha de agave en el campo se realiza tomando en consideración la madurez de cada agave. El tiempo necesario para que la materia prima esté apta para su corte va de 6 a 8 años (Figura 17), posteriormente al corte en campo, la materia prima de cada productor se transporta usualmente por animales de carga o vehículos a la fábrica o palenque, en donde se realizan los procesos de transformación para obtener mezcal.



Figura 17. Jima del Agave.

2.5.2.2. Cocimiento. Se realiza de manera artesanal y rústica en horno de piso como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Cocción del agave.

2.5.2.3. Molienda. Se realiza de acuerdo a cuatro técnicas diferentes, la primera es a mano, por medio de la acción de machacar con mazos de madera los fragmentos de agave cocido cortados previamente con hachas manuales de manufactura tradicional; la segunda es en molino de piedra (Figura 19), consiste

en el uso de la tahona, donde se colocan los fragmentos de agave cocido para hacer pasar sobre ellos una piedra de geometría plana y circular, la que logra el desfibrado y desintegración del fragmento sólido de agave cocido; la tercera es con molinos empleados para moler maíz o materiales vegetales, consiste en usar un molino mecanizado, con cuchillas de acero y accionado con combustión interna; la cuarta es empleando molinos de tres masas.



Figura 19. Molienda de Agave en Molino de Piedra (Regeneración-Administrador, 2014).

2.5.2.4. Fermentación. Las tinajas de madera (Figura 20) son utilizadas tanto en Puebla como en Oaxaca y Guerrero, entidades que se encuentran dentro del ámbito geográfico de protección de la denominación de origen; además son consideradas el sistema más artesanal de producción de mezcal, también se utilizan las tinajas de piedra o tinajas diseñadas con cueros de res, tinajas de plástico y de acero inoxidable; la fermentación se lleva a cabo con los jugos y las fibras de agave, después de la molienda los productores colocan el agave cocido y molido en las tinajas y lo dejan unos días hasta que el agave se caliente, se añade agua y se tapan las tinajas y se deja la fermentación varios días sin mover el mosto, el tiempo puede variar en función de la temperatura ambiente, entre 4 y 10 días.



Figura 20. Fermentación en Tina de Madera.

2.5.2.5. Destilación. Es una técnica de separación cuyo objetivo es obtener el etanol o fracción alcohólica contenida en el mosto fermentado. La manera determinante de la destilación es igual a la de diferentes entidades de la República para obtener mezcal y que los principios básicos utilizados en esta etapa son los mismos. Se realiza en dos etapas: la primera, llamada destilación o destrozamiento y la segunda, llamada rectificación o refinación. Se lleva a cabo en alambiques elaborados con diferentes materiales alimentado por bagazo y jugos obtenidos de la fermentación. Otros puntos básicos de la operación de destilación de mezcal como son la condensación de vapores alcohólicos en la lenteja-serpentín de cobre y la recolección de destilado, siendo muy similares en las fábricas del Estado de Puebla y las de otras entidades productoras de mezcal que se encuentran dentro del ámbito geográfico de protección de la denominación de origen.

La producción del mezcal es una actividad muy diversa por lo mismo, existen diferentes tipos de instrumentos para llevar a cabo la realización de la destilación del agave para la obtención del mezcal:

Destilador Filipino, Huichol o Asiático . Belaunzaran (2020) describe que este destilador consiste en un agujero dentro de una construcción de tabiques o piedras en el cual se sitúa el combustible, casi siempre leña. Sobre el fuego se encuentra una olla que puede ser de barro o de cobre. Se le pone encima una montera de madera, la cual lleva una capucha de enfriamiento. El líquido destilado va a salir por una “cuchara” de agave, bambú o madera (Figura 21). Hoy en día, muchos llevan un serpentín de condensación. Debido a las temperaturas altas a la que el tepache con bagazo es expuesto, el mezcal puede estar terminado en una sola destilación.



Figura 21. Destilador Filipino.

Destilador de barro. Estas ollas se montan directamente sobre la fuente de calor encima de ellas se pone una capucha de enfriamiento, el líquido ya destilado sale por una “cuchara” de madera, de agave o bien de bambú (Figura 22). Con este método se realiza el Mezcal Ancestral (Belaunzarán, 2020).



Figura 22. Destilación en Olla.

Destilador Árabe de cobre “Alambique” o “Alquitara”. Belaunzaran (2020) lo describe como un aparato utilizado para la destilación de líquidos mediante un proceso de evaporación por calentamiento y posterior condensación por enfriamiento. Es una herramienta de destilación simple que está constituida por una caldera, donde se calienta la mezcla (Figura 23). Los vapores emitidos salen por la parte superior y se enfrían en un serpentín situado en un recipiente refrigerado por agua.



Figura 23. Alambique instalado para la Producción de Mezcal (Ramales y Ortiz, 2006).

Destilador de captación interna “Campanilla” (Belaunzarán, 2020). Este destilador es único de Palmar Segundo, un pueblo que se localiza en el Municipio Mexquitic de Carmona del Estado de San Luis Potosí. La fuente de calor está bajo la tierra. El combustible es el bagazo y pencas secas. Sobre el horno se empotran grandes ollas de barro para evitar que rompan. En esas ollas se cuece el jugo fermentado (no lleva bagazo). Dentro de ese gran vaso, va la “campanilla», una olla de barro más pequeña que se coloca basculando con cuerdas y con pedazos de penca como agarraderas para poderlas manejar y saber cuándo la “campanilla” está llena. Una capucha de cobre, donde se vierte agua fría, tapa todo el conjunto que se sella al borde con bagazo fresco para evitar que el vapor escape.



Figura 24. Destilador de Captación Interna “Campanilla”

Destilador con Refrescadera. Esta manera de destilar es de la región de Ejutla de Crespo, área donde normalmente se destila dos veces en barro. Este método consiste en lograr dos destilaciones en el mismo proceso, usando un destilador de cobre (árabe) refrescando la primera pasada de vapor antes de que el mezcal llegue al serpentín de condensación. De esta manera el producto sale con altas concentraciones de etanol desde su primera destilación. Quizá este método solo tenga 100 años (Belaunzarán, 2020).



Figura 25. Destilador con Refrescadera (Belaunzarán, 2020).

2.5.2.6. Producto Terminado. De acuerdo a los análisis realizados a los productos (destilados de agave) elaborados en el Estado de Puebla se demuestra que la gran mayoría cumplen con la Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1194, aplicable a la bebida alcohólica Mezcal.



Figura 26. Producto Terminado.

2.5.3. Impacto Económico

Vega et al. (2017) mencionan que a pesar de la poca representatividad de la región del mezcal, el Estado de Oaxaca tiene una alta participación en el ámbito nacional por diferentes aspectos: es el principal productor a nivel nacional con el 97.3 por ciento de la producción total; en su interior se encuentra una vasta biodiversidad de agaves, con 30 especies; es la sede del Consejo Regulador del Mezcal (CRM) y también es, a la vez, el segundo Estado más pobre del país con una tasa de pobreza de 66.8 por ciento de su población total. En su territorio conviven 18 grupos étnicos de los 65 que existen en México y el Estado presenta vastas contradicciones organizativas y políticas, y una buena parte de su producción de mezcal es artesanal, lo que significa que existen muchas variantes en cada uno de los procesos que resultan en una importante diversidad de sabores y aromas para el mezcal.

2.6. Beneficios Ecológicos

En desiertos, bosques y selvas, del nivel del mar a las altas montañas, en paisajes silvestres, rurales e industrializados, las poblaciones de más de un centenar de especies de Agave ocupan múltiples espacios en el campo mexicano. Al aprovecharlos, debemos respetar y conservar su diversidad para que continúen su evolución de la mano de los paisajes que les dieron origen y las culturas que les han dado identidad.

El maguey por sí solo es capaz de atraer animales e insectos que son benéficos para los cultivos, entre los animales que atrae son abejas, colibríes, avispas, palomillas, y murciélagos. Estos animales desempeñan un papel muy importante en la polinización y en el control de las poblaciones de insectos y algunos roedores. En el suelo adyacente a los magueyes podemos encontrar ratoncitos, cacomixtles, liebre, armadillo, tejón, tuza, víbora, lagartijas y hormigueros. Cada uno de estos animales desempeña un papel dentro de la cadena trófica del lugar, para la agricultura tienen importancia porque regulan la población de insectos y representan un control biológico de plagas. Si el maguey se intercala con nopal y árboles frutales la biodiversidad se incrementa y los

servicios ecológicos que se prestan a los cultivos adyacentes se acentúan, a la par se incrementa los productos cosechados (Narváez, et al. 2020).

2.6.1. Conservación de Suelo y Agua

El maguey es una planta que por su sistema radicular y morfología aprovecha eficientemente el agua y el manejo en terrazas y zanjas contribuye a retener agua y alimentar los mantos freáticos. El maguey no solo es útil para delimitar terrenos, sino que constituye por sí mismo una cerca viva que protege de intrusos, de los vientos, además se genera un microclima que favorece la retención de humedad y suelo. Normalmente entre magueyes se agregan árboles frutales, nopal y otras especies de árboles o plantas de interés a los campesinos, favorecen la retención de suelo y aprovechamiento y control de agua de lluvia, conforman barreras vivas de gran calidad que favorecen la productividad de los cultivos y son fuente de alimentos que complementan la dieta de los productores e incrementan la productividad y el valor económico de la parcela (Narváez, et al. 2020).

2.6.2. Importancia en el Ecosistema Árido y Semiárido de México

Dentro de los ecosistemas áridos y semiáridos, el género Agave tiene una gran importancia ecológica por su apoyo en la reducción de la erosión, captura de carbono, así como la provisión de refugio y alimento para una gama muy amplia de especies animales desde insectos, hasta mamíferos. Por otro lado, son especies capaces de hacer frente a los efectos de cambio climático. Sus usos incluyen la producción de alimento, fibras, forraje, medicamento, construcción, leña y elaboración de bebidas alcohólicas (tequila, mezcal, sotol entre otros) y recientemente se ha considerado como una alternativa forrajera (Estrada Avila, 2019).

2.6.3. Prácticas de Conservación de Agua y Suelo

2.6.3.1. Zanja Trinchera. Son un conjunto de excavaciones intercaladas y diseñadas para la captación de agua de lluvia. El diseño utilizado para su construcción es a “tres bolillo” con el mayor parte del terreno (CONAFOR, 2023).

Estas zanjas y otras formas de captura son conocidas desde hace miles de años para propiciar almacenamiento de agua de lluvia en zonas áridas y semi-áridas. Varios estudios refieren que esta práctica es utilizada para reducir la longitud del recorrido de agua, captar el agua que escurre y disminuir los procesos erosivos. mejorar la eficiencia del uso de agua de la precipitación, conservar agua y favorecer la producción de biomasa y la aforestación en ambientes degradados y regular el agua de escorrentía en zonas urbanas (Cotler, et al. 2015).



Figura 27. Zanjas Trichera (CONAFOR 2023).

2.6.3.2. Bordos en Curvas a Nivel. Es un sistema de bordos que se conforma con el producto de la excavación del suelo o subsuelo, de forma perpendicular a la pendiente del terreno, siguiendo curvas a nivel. Los bordos en curvas a nivel son una práctica utilizada principalmente en las zonas áridas y semiáridas, o con deficiencia de humedad estacional en el suelo (CONAFOR, 2023).



Figura 28. Sistema de Bordos a Curvas de Nivel (CONAFOR, 2023).

2.6.3.3. Barreras Vivas. Son una de las prácticas culturales que se utilizan para controlar la erosión mediante el uso de material vegetativo. Se utilizan principalmente para conservar y hacer que perduren por más tiempo otras prácticas mecánicas de conservación suelo, como zanjas de infiltración, terrazas, entre otras. Las barreras vivas son hileras de plantas, preferiblemente de crecimiento denso, sembradas perpendicularmente a la pendiente o, con cierta gradiente longitudinal si sirven como complemento a una obra física. Controla en cierto grado los niveles de erosión de los suelos. Actúan como reductoras de la velocidad del agua de escorrentía pendiente abajo, y como filtros, que retienen los sedimentos de suelo y residuos vegetales que transporta el agua que escurre sobre el terreno (INTA, 2020).



Figura 29. Barreras Vivas (CONAFOR, 2023).

2.7. Importancia Cultural

La identificación del valor patrimonial de los magueyes de las diferentes regiones de México se sustenta en la historia, en la tradición misma de su aprovechamiento y constituyen importantes manifestaciones del patrimonio cultural intangible del pueblo mexicano (SADER, 2016).

2.7.1. Agave en la Medicina y los Rituales

De acuerdo con la publicación en la página <https://agaves.pro/significado-historico-y-cultural-de-la-industria-del-agave/> las civilizaciones indígenas veneraron la planta de agave por sus propiedades medicinales y su significado

espiritual. La savia del agave, conocida como aguamiel, se recogía y fermentaba para crear bebidas tradicionales con propiedades curativas. Se creía que estas bebidas promovían la buena salud y se utilizaban en prácticas medicinales. Además, la planta de agave tenía un simbolismo sagrado y era parte integral de ceremonias y rituales religiosos, significando fertilidad, purificación y conexión con el reino espiritual.

2.7.2. Turismo y Experiencias Culturales

En base a la misma página se describe que la industria del agave actúa como un imán para el turismo, atrayendo a visitantes que buscan explorar las tradiciones, los sabores y las historias detrás de los productos basados en agave. Las visitas a destilerías, degustaciones de agave y eventos culturales centrados en la industria ofrecen experiencias inmersivas para los turistas, lo que contribuye a las economías locales a través del aumento del gasto y la creación de empleo en el sector de la hospitalidad. La industria también ayuda a promover el intercambio cultural a medida que los visitantes aprenden sobre las costumbres y tradiciones locales, así como la historia de la producción de agave.

2.7.3. Papel en la Cultura Mexicana y su Relación con las Tradiciones.

Vega y Pérez, (2017) describen que, a través de una consulta de documentos, tradiciones orales e investigaciones, el mezcal se puede definir a partir de su etimología mexcalli, palabra náhuatl que significa un dulce y jugoso trozo de quiote o piña de maguey (metl) cocido (ixcalli). Así se le conoce a la planta misma viva en el campo, y a la bebida alcohólica obtenida por la destilación y rectificación de los mostos preparados con los azúcares extraídos del tallo y base de las hojas de los agaves mezcaleros de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-070-SFCI-1994.

Según algunas investigaciones, el agave ha acompañado la historia de la humanidad mesoamericana, estando presente en ceremonias religiosas, festividades especiales, con usos como remedio y medicina. Desde antes de la llegada de los españoles el “maguey”, nombre común para el agave, se utilizaba

como vino, agua, miel, arrope, obtención de hilos, construcción, conservación de suelos, alimento, etc.

<https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/magueyes> los antiguos mexicanos expresaban en sus huehuetlatolli (“la antigua palabra” conjunto de discursos para la enseñanza de niños y jóvenes), la importancia de los agaves en su vida:

“Ten cuidado de las cosas de la tierra.

Haz algo, corta la leña, labra la tierra, planta nopales, planta magueyes.

Tendrás qué comer, qué beber, qué vestir.

Con eso estarás en pie, serás verdadero, con eso andarás.

Con eso se hablará de ti, se te alabará, con eso te darás a conocer.”

2.8. Problemáticas y Desafíos

El cultivo intensivo y la reproducción del mismo paquete tecnológico generan beneficios de corto plazo, pero tienen costos ambientales como la erosión, la contaminación y el desplazamiento de los magueyes nativos de cada región. Por su parte, la recolección indiscriminada puede provocar la desaparición de poblaciones silvestres (CONABIO, 2021).

2.8.1. Sobreexplotación y Disminución de las Poblaciones Naturales.

La red de valor maguey- mezcal, es una de las actividades económicas y culturales emblemáticas de sitios como el estado de Oaxaca (productor de más del 90% del volumen vendido) dotando de prestigio e ingresos a las comunidades y productores de plantas de agaves y de este líquido. No obstante, la aparición del mezcal en la escena internacional de las bebidas destiladas, debe considerarse de forma especial dadas las características peculiares de los recursos naturales usados para su producción, porque a diferencia de otras bebidas basadas en cultivos anuales como el ron de caña; la tasa de renovación natural de los agaves va de los siete años para el caso del maguey Espadín,

hasta más de dos décadas en las especies silvestres. Por lo tanto, la demanda de plantas listas para producción, induce problemas ambientales como la conversión de ecosistemas naturales como selvas bajas caducifolias, en plantaciones de maguey Espadín (monocultivo) afectando a las funciones y servicios ecosistémicos que la naturaleza provee, como el equilibrio ambiental y la consecuente reducción de beneficios que las personas reciben del entorno: provisión de materiales o la regulación ante fenómenos naturales (Hernández, 2022).

Jalisco es el principal productor de tequila, el destilado de agave más famoso, mientras que Oaxaca ocupa el primer lugar en generación de mezcal. En 2022, la entidad produjo 12.9 millones de litros de esta bebida, equivalente al 91.31 por ciento del total nacional. En estos estados, el monocultivo intensivo apoyado en agroquímicos y la deforestación están poniendo en peligro el equilibrio de todos los habitantes de los ecosistemas: humanos, plantas, animales (Zavala Gutiérrez, 2024).

2.8.2. Erosión Genética por el Cultivo Masivo de Monocultivos.

Las principales desventajas que presentan los monocultivos (ACM) son: la vulnerabilidad alta de sistemas ecológicamente artificiales y genéticamente homogéneos frente al cambio climático, resiliencia baja a eventos climáticos extremos y susceptibilidad a plagas, carecen de biodiversidad y suelo biológicamente activo, ineficiente reciclaje de nutrientes y dependencia a insumos externos y un alto empleo de agroquímicos (Herrera, et al. 2017).

2.8.3. Sustentabilidad y Prácticas Responsables en su Explotación.

Uno de los principales retos que se tienen actualmente es la sobreproducción, debido a que la creciente demanda de agave ha llevado a una expansión desmedida de su cultivo, lo que resulta en problemas significativos como la erosión del suelo y la deforestación. Esta situación compromete la calidad del suelo y la biodiversidad de las áreas afectadas. Por otro lado, las emisiones de carbono derivadas de prácticas agrícolas tradicionales también son preocupantes, pues el uso extensivo de fertilizantes químicos contribuye a la

emisión de gases de efecto invernadero, exacerbando el cambio climático y afectando la calidad del aire. Para enfrentar estos retos, la industria del agave está adoptando diversas prácticas sostenibles. La agricultura de precisión se destaca como una solución prometedora. El uso de tecnologías avanzadas, como el monitoreo satelital y las herramientas digitales, permite a los agricultores optimizar el uso de recursos, mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental (Díaz, 2024).

2.8.4. Impacto Hidrológico

En base al proyecto publicado en <https://netaspirits.com/the-logoche-water-project-copy> realizado en el estado de Oaxaca se tienen los datos que cada familia productora tiene acceso a pozos en sus tierras, de los cuales obtienen agua tanto para la fermentación como para la destilación del mezcal. El proceso de fermentar 10 toneladas de agave crudo requiere aproximadamente 7,000 litros de agua, una proporción de 1 kg de agave por 1 litro de agua, mezclada en tinas o tanques de fermentación con capacidades que varían de 800 a 1400 litros.

La fase de enfriamiento de la destilación depende del agua de pozo, ya que el pozo de cada productor suministra el agua necesaria. Se estima que se utilizan 15,000 litros de agua durante la destilación de 10 toneladas de agave. Los tanques de enfriamiento se llenan y vacían según sea necesario durante la destilación, con capacidades que van desde 4,000 a 5,000 litros de agua.

Ha surgido una tendencia alarmante: el 100% de los productores ha notado una disminución en la disponibilidad de agua en los últimos años, especialmente en sus pozos y el lecho del río. Si bien el agua del pozo sigue siendo de buena calidad, el agua del arroyo se utiliza exclusivamente para la destilación debido a su inadecuación para el riego. La escasez de agua se ha convertido en un desafío primordial para la comunidad, lo que requiere acciones inmediatas para rectificar la situación.

2.9. Perspectivas Futuras

2.9.1. Innovaciones Tecnológicas en su Cultivo y Aprovechamiento.

La relación entre Agave y Tecnología también es evidente en las innovaciones tecnológicas para el cultivo de agave. Por ejemplo, se están desarrollando sistemas de riego de precisión que utilizan sensores para determinar exactamente cuánta agua necesita cada planta, reduciendo así el desperdicio de agua y aumentando la eficiencia del riego.

Además, se están utilizando tecnologías de imágenes satelitales y de teledetección para monitorear los campos de agave a gran escala, lo que permite a los agricultores detectar problemas temprano y tomar medidas correctivas de manera oportuna. Estas tecnologías también están siendo utilizadas para predecir los rendimientos de la cosecha, lo que ayuda a los agricultores a planificar con anticipación y a administrar mejor sus recursos (Mezcal.org, 2024).

El uso de insumos como fertilizantes y pesticidas puede reducirse con la ayuda de software agrícola avanzado. Otra ventaja es que la tecnología agrícola ayuda a reducir contaminantes nocivos, como el dióxido de carbono. Esto ha sido posible gracias a la racionalización del proceso de producción agrícola y a la eliminación de pasos innecesarios.

Con la tecnología de modificación genética, los productores de distintas partes del mundo pueden crear semillas mejor preparadas contra las condiciones específicas de su clima y suelo nativo. Se pueden cultivar nuevas cosechas con la ayuda de fertilizantes aplicados con precisión al suelo. Además, la mecanización de los procesos mejora la productividad y la eficiencia de la industria agrícola en todos los ámbitos, incluidas la siembra, la cosecha y la distribución (Sergieieva, 2024).

La tecnología ha transformado la manera en que se cultiva el agave. Los agricultores están adoptando nuevas herramientas y técnicas para mejorar la calidad y cantidad de sus cosechas.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) generó tecnología sobre la nutrición de la planta de agave azul y el manejo de fertilizantes mediante un sistema de riego por goteo (fertigación) que permite aumentar los rendimientos y cosechar desde los cuatro años y cinco meses después de su establecimiento, así como aplicar las cantidades adecuadas de nutrientes a bajo costo.

Su aplicación incide sobre la nutrición de la planta de agave azul y el manejo de fertilizantes mediante un sistema de riego por goteo que permite aumentar los rendimientos y cosechar en un menor tiempo.

Se obtienen rendimientos de 155 toneladas por hectárea, con 27.7 por ciento de azúcares reductores en las piñas, características de calidad demandadas en la industria del tequila.

Investigaciones de la Secretaría Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) indican que el agua y fertilizante aplicados en el sistema de riego, a una porción del suelo, modificaron las condiciones en las que se desarrolló la planta y su metabolismo, favoreciendo la actividad de la raíz, la producción y acumulación de biomasa en hojas y piña, así como también la concentración de azúcares en ambos órganos (Blog.jima, 2024).

2.9.2. Potencial en la Industria de Biocombustibles y Nuevos Productos.

Luego de extraer del agave con todos los compuestos requeridos para la fabricación de los licores, queda un remanente vegetal que se conoce como bagazo, del que se generan al año alrededor de 360 mil toneladas. Este residuo agroindustrial es abundante en la zona de denominación del tequila.

El bagazo de agave es valioso como precursor de compuestos que podrían ser aprovechados en diferentes industrias, por ejemplo, en la producción de biocombustibles como el etanol. Al disponer de materia prima para obtener este biocombustible, de interés en un mundo que busca fuentes de energía menos contaminantes, crece la posibilidad de impulsar la construcción de

biorrefinerías, las cuales se vislumbran como sustitutas de las refinerías productoras de gasolinas y otros derivados del petróleo (Sierra, y otros, 2021).

Los azúcares presentes en el bagazo de agave pueden digerirse anaerobiamente para la producción de biogás o hidrolizarse y fermentarse para producir bioetanol, sin embargo, por tratarse de biomasa lignocelulósica se requiere un pretratamiento para aumentar su biodegradabilidad y en especial incrementar el rendimiento de los azúcares que son compuesto clave para la digestión anaerobia y la fermentación y de esta manera tener un mejor aprovechamiento (Estrada y Weber, 2022).

2.9.3. Iniciativas para su Conservación y Uso Sostenible.

Para avanzar en un sistema Agave-Mezcal sostenible, se requiere atenderlo desde un enfoque sistémico (Figura 30), puesto que está compuesto de: a) sólido marco normativo que se requiere cumplir para acceder a los mercados formales; b) una cadena de valor compuesta por cinco eslabones, que requieren de atención productiva sostenible para certificar dichos procesos ante el marco normativo descrito en el punto anterior; c) una atención territorial basada en el concepto de polo de desarrollo que ayude a concentrar los esfuerzos institucionales de la SDR en zonas agroecológicas óptimas para la producción de agave, y con productores interesados en mejorar sus unidades de producción; y d) aplicar un método de capacitación y aprendizaje conocido como Escuela de Campo (ECA) que permite la participación de hombres y mujeres y desarrolla sus capacidades directamente en las parcelas y en los sitios de transformación y envasado del mezcal.

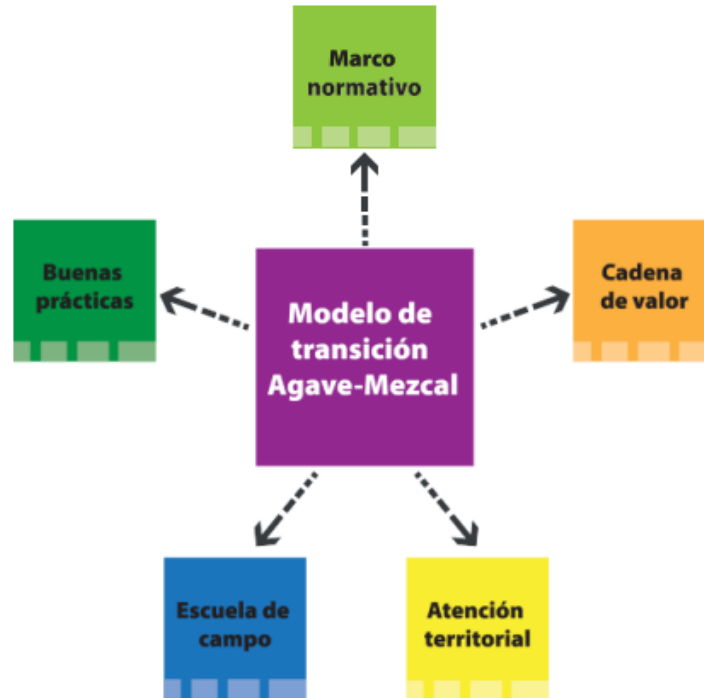


Figura 30. Enfoque de Atención Sistémico Agave-Mezcal (Agricultura Sostenible, 2024).

La investigación en tecnologías sostenibles puede contribuir a la mejora de las prácticas de cultivo y el aumento de la calidad del producto final. Estudios sobre la socioeconomía de la producción de mezcal pueden ayudar a comprender las dinámicas sociales y económicas que influyen en la producción y comercialización del mezcal, así como a identificar oportunidades para mejorar la equidad y la sustentabilidad de la cadena de producción mezcalera (del Río Portilla, 2024).

III. CONCLUSIÓN

El agave *angustifolia* es de vital importancia tanto económica como cultural, su papel en la producción del mezcal no solo apoya la economía rural en México, sino que también fomenta la preservación de tradiciones ancestrales y prácticas agrícolas sostenibles, así mismo en el ámbito económico las familias se ven beneficiadas por la demanda de empleos. Además, el agave contribuye a la biodiversidad del ecosistema, ayudando a mantener el equilibrio en las regiones áridas y semi áridas donde se cultiva. Su capacidad para adaptarse a condiciones difíciles lo convierte en un recurso valioso para la agricultura sostenible y la conservación del suelo.

Por otra parte, la propagación de agave en invernadero, apoyada por sistemas de riego controlados, ofrece una alternativa eficiente y sostenible para la producción de plantas de agave de alta calidad. Este enfoque permite mantener condiciones de temperatura, humedad y luminosidad optimizadas para favorecer el crecimiento uniforme de las plántulas, lo cual resulta en plantas más robustas y adaptadas para trasplante. El uso de sistemas de riego, especialmente aquellos que permiten ajustar la frecuencia y cantidad de agua, como el riego por goteo o localizado, es crucial en el cultivo de agave, dado que permite satisfacer las necesidades específicas de agua de la planta sin provocar excesos que puedan llevar a enfermedades fúngicas o bacterianas. Implementar la propagación de agave en invernadero no solo mejora la tasa de supervivencia de las plántulas, sino que también ayuda a acortar los tiempos de desarrollo, garantizando una producción continua y de alta calidad para satisfacer la demanda.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Agricultura Sostenible.2024. Obtenido de Guía para transitar a un sistema sostenible de producción Agave-Mezcal.:
https://agriculturasostenible.mx/public//docu/manuales/Guia_de_agave_final.pdf
- Barrientos R, G., Esparza I, E. L., Segura P, H. R., Talavera M, Ó., Sampedro R, M. L., y Hernández C, E. 2019. Caracterización morfológica de Agave angustifolia y su conservación en Guerrero, México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, págs. 655-668.
- Bautista C, A I. 2019. Tesis Maestria: PROPAGACIÓN in vitro, ACLIMATACIÓN Y DESARROLLO EN VIVERO DE Agave. Obtenido de Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca:
<https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5592/1/PROPAGACI%C3%93N%20in%20vitro%2C%20ACLIMATACI%C3%93N%20Y%20DESARROLLO%20EN%20VIVERO%20DE%20Agave.ARIADNA%20IVON%20BAUTISTA.pdf>
- Castro R, R., Aguilar B, G., y Solis O, M M. 2016. Ensilado de Maguey, una Alternativa para la Alimentacion Animal en Zonas Aridas y Semiaridas. Frontera Biotecnologica, págs.12-20. Obtenido de Ensilado de Maguey, una Alternativa para la Alimentacion Animal en Zonas Aridas y Semiaridas:
<https://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol04/pdf/vol-04-3.pdf>
- Comite Estatal de Sanidal del Estado de Puebla -CESAVEP- 2017. Obtenido de [http://www.cesavep.org/campanias/MFMAGUEY/mfmaguey_desc.html#:~:text=El%20cultivo%20del%20agave%20\(Agave,caso%20deterioro%20en%20la%20calidad](http://www.cesavep.org/campanias/MFMAGUEY/mfmaguey_desc.html#:~:text=El%20cultivo%20del%20agave%20(Agave,caso%20deterioro%20en%20la%20calidad)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO-2006. Obtenido de Mezcales y diversidad : agave:
<https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/5324.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO-2021. Obtenido de Magueyes:
<https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/magueyes>
- Comisión Nacional Forestal-CONAFOR- 2023. Obtenido de Manual de Obras y Prácticas de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/910650/_Manual_de_Obras_y_Pr_cticas_de_Protecci_n__Restauraci_n_y_Conservaci_n_....pdf

- Comisión Nacional Forestal-CONAFOR- CONAFOR. 2024. Agave angustifolia Haw. Obtenido de Ficha Técnica de Paquete Tecnológico: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/879Agave%20angustifolia.pdf>
- Cotler, H., Cram, S., Martínez T, S., y Bunge, V. 2015. Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera. Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía, págs. 1-14. Obtenido de Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las Zanjas Trincheras .
- DGSV-CNRF. 2017. Obtenido de Mancha gris del agave. *Cercospora agavicola*. SAGARPA-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 7 p.
- DGSV-CNRF. 2017. Obtenido de Marchitez del agave. *Fusarium oxysporum*. SAGARPA-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 11 p.
- DGSV-CNRF. 2017. Obtenido de 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.
- Diario Oficial de la Federación- DOF-2015. Obtenido de RESOLUCIÓN por la que se modifica la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/695080/6.Mezcal.24.12.2015.pdf>
- del Río P, J. A. 2024. pv magazine - Mercados y tecnología de energía solar. Obtenido de El auge del mezcal y la necesidad de una producción sustentable: <https://www.pv-magazine-mexico.com/2024/08/19/el-auge-del-mezcal-y-la-necesidad-de-una-produccion-sustentable/>
- Enríquez V, J. R., Alcará V, S. E., Rodríguez O, G., Miguel, M. E., y Vázquez, C. M. 2016. Fertirriego en vivero a plantas de Agave potatorum Zucc micropropagadas-aclimatizadas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.7 Núm. 5 30 de junio - 13 de agosto, 1-11.
- Estrada A, C. R. 2019. Niyoli. Obtenido de La importancia de los Agaves: <https://niyoli.com/la-importancia-de-los-agaves-2/>
- Estrada M , A., y Weber , B. 2022. Biogás y bioetanol a partir de bagazo de agave sometido a explosión de vapor e hidrólisis enzimática. Ingeniería Investigación y Tecnología, págs 1-10.
- García M, A. J. 2007. Los Agaves de Mexico. Ciencias 87 UNAM, pg.14-23.

- González E, M., Galván V, R., López E, I. L., Reséndiz, L., y González E, M. S. 2009. Agaves -magueyes, lechuguillas y noasdel Estado de Durango y sus alrededores. México: Rod Cueto.
- Hernández, Y. 2022. Mezcológia. Obtenido de Agaves, mezcales y medioambiente: <https://mezcológia.mx/agaves-mezcales-y-medioambiente/>
- Herrera P, L., Valtierra P, E., Ocampo F, I., Tornero C, M. A., Hernández P, J. A., y Rodríguez M, R. 2017. Prácticas agroecológicas en Agave tequilana Weber bajo dos sistemas de cultivo en Tequila, Jalisco. Revista mexicana de ciencias agrícolas, págs. 3711-3724.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-INIFAP- 2022. Obtenido de Tecnología por goteo en agave azul: <https://www.gob.mx/inifap/articulos/tecnologia-por-goteo-en-agave-azul>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia Tecnológica Agropecuaria- INTA- 2020. Obtenido de Uso de barreras vivas: <https://fundecooperacion.org/wp-content/uploads/2020/08/02-USO-DE-BARRERAS-VIVAS-1.pdf>
- Kissick, C. 2023. SIP TEQUILA . Obtenido de Hijuelos: <https://sipsequila.com/blogs/tequila/hijuelos-1>
- Esparza E L., Violante G,J., Monks S., Cadena I,J., Araujo A, C., y Erich D, R K., 2015 . Los agaves mezcaleros del altiplano Potosino y Zacatecano. Estudios en Biodiversidad. págs 1-20.
- Moreno M, K. S., y M. Monja., K M. 2021. Cultivo in vitro de Agaves. Ciencias, págs. 76-81.
- Narváez S, A. U., Cruz L, A., y Sangerman J, D. M. 2020. Revista mexicana de ciencias agrícolas. Servicios ambientales: sistema agroforestal tradicional con plantas de maguey pulquero en la Altiplanicie, Hidalgo, págs. 1-13. Obtenido de Servicios ambientales: sistema agroforestal tradicional con plantas de maguey pulquero en la Altiplanicie, Hidalgo.
- Nobel, P.1998. Agaves: alimento, bebida y fibra. En Los incomparables agaves y cactus (págs. 37-58). Ed. Trillas.Mexico.
- Nogales, L. 10 de Junio de 2020. Mezcológia. Obtenido de <https://mezcológia.mx/agave-angustifolia/>
- Ramales O, M. C., y Ortiz B, E. G. 2006. EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL MEZCAL y la importancia económica de la industria. Revista académica de economía.

- Ríos R., S D., Enríquez V., J R., Rodríguez O., G. Ruíz L., J., y Velasco V., V A. 2022. El crecimiento de *Agave angustifolia* Haw. con relación a la condición nutrimental. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, págs .865-873.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-SADER- 2016. Gobierno de México. Obtenido de *Agave, planta de las maravillas*: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/agave-planta-de-las-maravillas>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-SADER- 2024. Obtenido de *Maximizando la eficiencia agrícola: Sistema de riego por goteo*: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maximizando-la-eficiencia-agricola-sistema-de-riego-por-goteo?idiom=es>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA- 2013. Obtenido de *Producción y trasplante de planta de Agave en vivero*: https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Rosales-Mata/publication/273727453_Produccion_y_trasplante_de_planta_de_Agave_en_vivero/links/5509c62c0cf20f127f90a9d3/Produccion-y-trasplante-de-planta-de-Agave-en-vivero.pdf
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA- 2024. *Agave angustifolia* Haw. Técnicas para el trasplante de vitroplantas a condiciones de agostadero. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/168835/Agave_angustifolia_Haw._T_cnicas_para_el_Transplante_de_Vitroplantas_a_Condiciones_de_Agostadero.pdf
- SEMBRALIA, 2020. El portal de referencia para los agricultores y ganaderos de España. Obtenido de *Tipos de sistemas de riego en invernaderos. Ventajas y modos de uso. Trucos para ahorrar agua y ser eficientes*: https://sembralia.com/blogs/blog/sistema-de-riego-en-invernaderos?srsltid=AfmBOopW1hKFC7WbXIRjdFxAZllzI8GYja_WlnUvMqID2PKo9R4z_MAh
- SENASICA-DGSV. 2016. Obtenido de *Picudo del agave (Scyphophorus acupunctatus Gyllenhal 1838)*. (Coleoptera. Dryophthoridae). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria-Grupo Especialista Fitosanitario. Ficha Técnica. Tecámac, México 13 p.
- Sierra, E., Alcaraz, J., Valdivia, Á., Rosas, A., Hernández, M., Vivaldo, E., y Martínez, A. 2021. UNAM. Obtenido de *Bagazo de agave: de desecho agroindustrial a materia prima en las biorrefinerías*:

<https://ciencia.unam.mx/leer/1112/bagazo-de-agave-de-desecho-agroindustrial-a-materia-prima-en-las-biorrefinerias->

Universidad Nacional Autónoma de México-UNAM- 2024. Herbario Nacional de México (MEXU) Agave angustifolia Haw. Obtenido de Portal de datos abiertos UNAM: <https://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:1232295>

Vázquez D. E., García N, J R., Peña V, C., Ramírez T, H., y Morales R, V. 2011. Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (Agave salmiana Otto ex Salm–Dyck). Revista fitotecnia mexicana, págs. 167-173.

Vega V, N V., y Pérez A, P. 2017. Oaxaca y sus regiones productoras de mezcal: Un análisis desde cadenas globales de valor. Perspectivas Rurales. Nueva época, págs.103-132.

Zavala G, P. 2024. Global Press Journal. Obtenido de Productores de mezcal luchan contra la sobreexplotación del agave papalometl: <https://globalpressjournal.com/americas/mexico/endangered-agave-can-mezcal-avoid-tequilas-destructive-legacy/es/>

Paginas Consultadas

Agaves. pro. (s.f.). Obtenido de Significado Histórico y Cultural de la Industria del Agave: <https://agaves.pro/significado-historico-y-cultural-de-la-industria-del-agave/>

AGQ Labs México. 2024. Laboratorio de control en agricultura, alimentación, medioambiente, minería y salud. Obtenido de Requerimientos técnicos para el cultivo de Agave: <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.>

AgroAgaves del Valle. 2021. Venta de Agaves. Obtenido de Venta de agave de la variedad espadín (Angustifolia Haw): <https://agavesdeoaxaca.com/venta-de-agave/>

Belaunzarán, E. 2020. Mezcaleando. Obtenido de Destiladores, el Instrumento Mágico que creó el Mezcal: <https://mezcaleando.com/2020/10/05/destiladores-el-instrumento-magico-que-creo-el-mezcal/>

Blog.jima. 2024. JIMA. Obtenido de Uso de la tecnología en la plantación de agave: https://blog.jima.mx/uso-de-la-tecnologia-en-la-plantacion-de-agave/#google_vignette

- CIVILGEEKS. 2010. Obtenido de Obras de captación – Sistema de agua potable: <https://civilgeeks.com/2010/10/08/obras-de-captacion-sistema-de-agua-potable/>
- Diaz, V. 2024. EL ECONOMISTA . Obtenido de El camino de la sustentabilidad en la industria del agave: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/El-camino-de-la-sustentabilidad-en-la-industria-del-agave-20240722-0090.html#:~:text=Para%20enfrentar%20estos%20retos%2C%20la%20industria%20del,digitales%2C%20permite%20a%20los%20agricultores%20optimizar%20el>
- Mezcal.org. 2024. Obtenido de Agave y Tecnología: Avances y Aplicaciones: <https://mezcal.org/agave-y-tecnologia-avances-y-aplicaciones/#:~:text=Innovaciones%20tecnol%C3%B3gicas%20para%20el%20cultivo%20de%20Agave&text=Por%20ejemplo%2C%20se%20est%C3%A1n%20desarrollando,aumentando%20la%20eficiencia%20del%20riego>.
- Mezcal.org. 2024. Mezcal.org. Obtenido de <https://mezcal.org/morfologia-y-fisiologia-del-agave/>
- Ontiveros V, R. 2023. El Agave y sus Buenas Practicas Agricolas. Obtenido de LINKEDIN: <https://www.linkedin.com/pulse/el-agave-y-sus-buenas-pr%C3%A1cticas-agr%C3%ADcolas-ricardo-ontiveros-velazquez/>
- Regeneración- Administrador. 2014. Regeneración. Obtenido de Mezcal, trago de pobres que ahora es moda: <https://regeneracion.mx/mezcal-trago-de-pobres-que-ahora-es-moda/>
- Sepúlveda C, Y. A., y Valencia V, Y. 2019. Implementación de sensores en los sistemas de riego. Researchgate, p 1-13. Obtenido de Implementación de Sensores en los Sistemas de Riego Automatizado: https://www.researchgate.net/publication/346081554_Implementacion_de_sensores_en_los_sistemas_de_riego_automatizado_Implementation_of_sensors_in_automated_irrigation_systems
- Sergieieva, K. 2024. EOS Data Analytics,Inc. Obtenido de Tecnología Agrícola: Evolución, Retos Y Su Impacto: <https://eos.com/es/blog/tecnologias-en-la-agricultura/#:~:text=Con%20la%20tecnolog%C3%ADa%20de%20modificaci%C3%B3n,aplicados%20con%20precisi%C3%B3n%20al%20suelo>.