

MANEJO
AGROBIOTECNOLÓGICO
PARA LA PRODUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE
Agave maximiliana Baker

MANEJO AGROBIOTECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE *Agave maximiliana* Baker

María de Lourdes Delgado Aceves
Antonia Gutiérrez Mora
Benito Salcedo Ríos
Santiago Corona Perez



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



COECYTJAL
Consejo Estatal de Ciencia
y Tecnología de Jalisco

MANEJO AGROBIOTECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE *Agave maximiliana Baker*

Coordinadores: María de Lourdes Delgado Aceves, Antonia Gutiérrez Mora, Benito Salcedo Ríos & Santiago Corona Perez

1^a. edición

© Todos los textos son propiedad de sus autores

D. R. © Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología

y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Av. Normalistas 800,

Colinas de La Normal, 44270 Guadalajara, Jal.

Laboratorio PLANTECC

Proyecto apoyado a través del Programa de Difusión y Divulgación de la Ciencia, Tecnología e Innovación (DyD) 2023 no de proyecto: 10599. Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología del Ejecutivo Estatal (SICyT) y el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco (COECyTJAL)

Diseño editorial: Enrique Rentería

Diseño de portada: Nayeli Vallarta

Está permitido descargar y compartir esta obra citando y acreditando correctamente a la misma, más no está permitido cambiarla de forma alguna ni usarla comercialmente.

ISBN versión electrónica: 978-607-8734-67-2

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12711033>

ISBN versión impresa: 978-607-8734-66-5

Hecho en México

Contenido

Introducción	9
México como centro de diversificación del género <i>Agave</i> : un legado cultural y botánico.....	9
La relación humano-agave: un vínculo cultural y ecológico en peligro	11
Importancia Cultural	11
Importancia Ecológica.....	12
Amenazas a la especie <i>Agave maximiliana</i>	12
Biotecnología: Innovación para la conservación	12
 Biología de <i>Agave maximiliana</i> Baker	17
Morfología y diversidad.....	17
Reproducción	19
Escapo floral.....	22
Polen.....	23
Flor.....	24
Fruto.....	25
Semillas	26
 Cultivos para el aprovechamiento comercial y manejo agroforestal.....	31
Siembra de semilla en almácigos.....	31
Viabilidad de semillas mediante prueba de tetrazolio	32
Selección de plántulas.....	34
Manejo en sistemas de producción extensiva	36
Manejo en áreas forestales.....	38
Plagas y enfermedades.....	41
 Alternativas viables para la producción de semillas y plantas	55
Producción de semillas <i>in casa</i>	55
Tinción de polen para evaluar viabilidad y almacenamiento de polen	58
Sistemas de micropropagación a gran escala.....	59
 Conservación <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>.....	65
Conservación <i>in situ</i> -corto plazo	66
Conservación <i>ex situ</i> -corto plazo	67
Conservación <i>ex situ</i> -mediano plazo	69
Conservación <i>ex situ</i> -largo plazo	71

Raicilla: tradición destilada y promesa para pequeños productores	81
Origen y elaboración de la raicilla	81
Denominación de Origen: preservando la tradición y la autenticidad.....	86
Situación actual	87
Producción	89
Referencias	97
Anexos	105

INTRODUCCIÓN

México como centro de diversificación del género *Agave*: un legado cultural y botánico

México, tierra de contrastes y riquezas naturales, ha desempeñado un papel fundamental en la diversificación del género *Agave* spp. Este grupo de plantas suculentas, conocido por su versatilidad y vital importancia en la cultura mexicana, ha encontrado en este país un entorno propicio para su evolución y adaptación. La geografía de México abarca desde costas tropicales hasta altiplanos montañosos, pasando por desiertos y selvas. Esta diversidad geográfica crea una variedad de microclimas, proporcionando a las distintas especies de agave nichos ecológicos específicos para su adaptación, desarrollo y evolución. La región central de México, conocida como la “zona de transición”, se convierte en un espacio particularmente interesante debido a la convergencia y superposición de la fauna y flora de dos regiones: Neotropical y Neártica (Morrone, 2005; Domínguez-Domínguez *et al.*, 2009). En Jalisco esta zona de transición abarca áreas del Altiplano mexicano, sierra Madre Occidental y coincide con el Eje Volcánico Transversal. Todo esto y sumando vientos provenientes del Océano Pacífico ha provocado una gran diversidad de climas específicos que han moldeado la morfología y las adaptaciones de las especies de agave (Morrone, 2005). Estas plantas han desarrollado estrategias para resistir variaciones extremas de temperatura, desde las altas elevaciones hasta las llanuras más cálidas, demos-

trando una notable plasticidad genética que se refiere a la capacidad que tienen las plantas para cambiar su fenotipo (las características observables) en respuesta a cambios en el ambiente, sin cambios en su genotipo (su composición genética). Esto significa que los genes de un de un agave pueden expresarse de manera diferente dependiendo de las condiciones ambientales en las que se encuentre (Chávez-Güitrón *et al.*, 2019).

La zona de transición mexicana no sólo es relevante desde una perspectiva botánica, sino también cultural y económica. En la región costa-sierra occidental Jalisco, comunidades locales han forjado tradiciones arraigadas en la producción de destilados. La diversidad de agaves presentes en esta región contribuye a la elaboración de bebidas únicas para su comercialización, cada una con su sabor distintivo y características sensoriales.

El agave ha sido fundamental en la historia precolombina y poscolombina de México. Antes de la llegada de los españoles las civilizaciones indígenas ya utilizaban el agave con fines alimenticios, medicinales y ceremoniales. Con la llegada de los europeos, la planta se integró en la producción de destilados como el pulque, el mezcal y el tequila, que se han convertido en emblemas de la cultura mexicana. (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2010).

Hoy en día la diversidad de especies de agave en México ha permitido el desarrollo de una industria económica significativa. El tequila, producido principalmente a partir de *Agave tequilana* Weber var. Azul, es un claro ejemplo de cómo esta planta ha contribuido al crecimiento económico del país. Además, la exportación de productos relacionados con el agave ha posicionado a México como líder en el mercado global de destilados como: la raicilla, bacanora, sotol y mezcales en general.

A medida que la demanda de productos derivados del agave crece, la zona de transición enfrenta desafíos adicionales en términos de sostenibilidad. La sobreexplotación y el cambio climático pueden afectar negativamente la diversidad de especies y la calidad de los productos, destacando la necesidad de prácticas agrícolas y de producción sostenibles (Torres-Casas *et al.*, 2015).

Por lo tanto, se plantean desafíos para la preservación de estas plantas. La conservación responsable se presenta como un desafío crucial en la actualidad, requiriendo un equilibrio entre la tradición y la sostenibilidad para asegurar la supervivencia continua de esta importante planta en la historia y el futuro de México.

La relación humano-agave: un vínculo cultural y ecológico en peligro

La relación entre el ser humano y el agave en México es un tejido intrincado de significado cultural y relevancia ecológica. En particular, la especie *Agave maximiliana*, conocida por sus características únicas, ha desempeñado un papel fundamental en la vida de las comunidades mexicanas. Es fundamental conocer la relación humano-agave, destacando su conexión cultural arraigada y los desafíos que enfrenta la especie *A. maximiliana* en la actualidad para su aprovechamiento sustentable.

Importancia Cultural

Agave maximiliana, también conocida como “Lechuguilla,” se erige como una joya botánica en el vasto espectro de la flora mexicana. Sin embargo, su verdadero esplendor se revela en la producción de la “Raicilla”, un destilado que encapsula la autenticidad y la tradición de las regiones donde esta especie de agave prospera. En la relación única entre *Agave maximiliana* y la raicilla destaca su importancia cultural,

el proceso de elaboración y el papel que desempeña en el panorama de las bebidas espirituosas mexicanas.

Importancia Ecológica

La relevancia ecológica del *Agave maximiliana* va más allá de su valor cultural. Esta especie desempeña un papel vital en la conservación del suelo y la biodiversidad. Su sistema radicular superficial facilita la absorción de agua de lluvia y con ello a prevenir la erosión del suelo, especialmente en áreas vulnerables a las lluvias intensas y los vientos fuertes. Además, el agave proporciona hábitats únicos y es fuente de alimento para diversas especies de insectos, aves y mamíferos, contribuyendo así al equilibrio y la diversidad de los ecosistemas locales.

Amenazas a la especie *Agave maximiliana*

A pesar de su importancia cultural y ecológica, el *Agave maximiliana* enfrenta amenazas significativas que comprometen su supervivencia. El cambio climático y la deforestación están alterando los patrones climáticos y los hábitats naturales, afectando directamente a esta especie. Además, la expansión agrícola y la sobreexplotación para la producción de raicilla y otros productos derivados del agave están presionando a las poblaciones naturales de *Agave maximiliana* y otras especies endémicas.

Biotecnología: Innovación para la conservación

La biotecnología, al ofrecer métodos avanzados de mejoramiento genético y reproducción, se presenta como una aliada en la conservación del agave. La selección de rasgos deseables como resistencia a enfermedades, rendimiento y adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas, se vuelve posible mediante técnicas como la ingeniería genética y la propagación *in vitro*. Estas prácticas permiten la preservación

de las características genéticas únicas de cada especie de agave, incluso frente a amenazas ambientales y biológicas. La combinación de biotecnología y buenas prácticas agrícolas no sólo representa un enfoque integral para la conservación del agave, sino que también asegura su uso sostenible en la producción de productos derivados. Salvaguardar la diversidad genética y promover prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente son pasos fundamentales hacia un futuro donde el agave continúe siendo un recurso valioso para las comunidades locales y una parte integral del patrimonio cultural mexicano. En este equilibrio entre innovación tecnológica y respeto por la tradición yace la clave para la preservación exitosa del agave en el siglo XXI.



Agave maximiliana

Fotografía: Lourdes Delgado-Aceves

BIOLOGÍA DE *Agave* *maximiliana* Baker

Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Liliidae

Orden: Asparagales

Familia: Asparagaceae

Género: *Agave* (L., 1753)

Morfología y diversidad

De acuerdo con Gentry (1982) y Gonzáles-Elizondo *et al.* (2009), el *Agave maximiliana* Baker presenta rosetas solitarias, acaulescentes o con tallo corto, de tamaño medio, globosas a abiertas, verde pálido glauco o verdes; hojas generalmente de (30) 40-80 x 10-20 cm, lanceoladas a oblanceoladas, curvadas, rectas o ligeramente curvadas, más anchas a la mitad o arriba de la mitad, carnosas, generalmente glauco pálido pruinosas sobre verde amarillento a verde o glauco azuladas, margen ondulado a crenado, mamelonado; dientes heteromórficos, más largos (6-10 mm) a la mitad de la hoja, con 1.5-3 cm de separación entre sí, aplanados con cúspides delgadas, flexionadas, dientes intersticiales numerosos y variables; espina de 2.5-4 cm de largo, angostamente cónica, lisa, café o castaña a gris, estriada por encima y redondeada por debajo.

Sus hojas, dispuestas en roseta, pueden llegar a medir entre 40 y 80 cm de largo y de 10 a 20 cm de ancho en la base y en casos extraordinarios llegan a alcanzar impresionantes dimensiones (hasta 160 cm de diámetro). Tras años de crecimiento, esta planta produce un tallo floral que puede llegar a alcanzar entre 5 y 8 metros de altura. Del escapo floral surgen inflorescencias, los frutos y semillas (Figura 1).

Actualmente, en cultivos comerciales en Mascota (Jalisco) y sus alrededores se reconocen más de 10 cultivares de la especie que se distinguen por la forma y tamaño de la hoja, así como la presencia y distribución de las espinas (Figura 2).

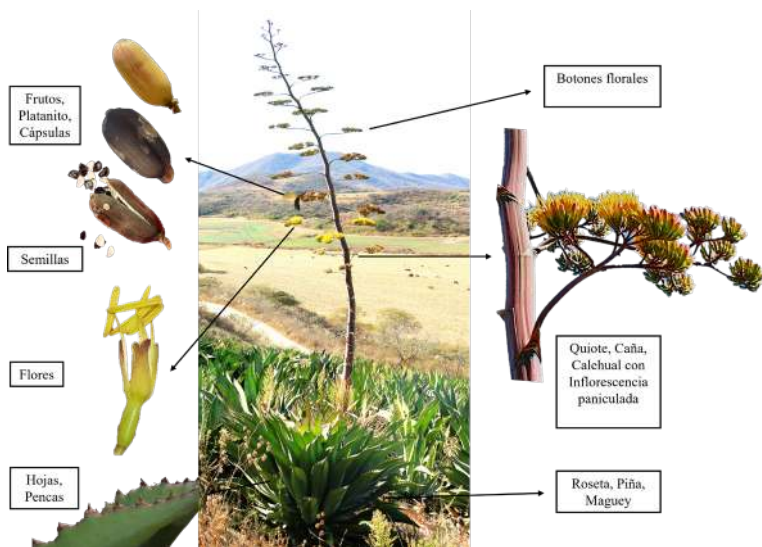


Figura 1. Planta adulta de *Agave maximiliana* destacando sus partes anatómicas.



Figura 2. Vista panorámica de cultivo extensivo, cultivares de *Agave maximiliana*, Mascota, Jalisco.

Reproducción

Los agaves presentan diferentes formas de reproducción que les permiten adaptarse a diversos ambientes y maximizar sus posibilidades de supervivencia. Su reproducción, además de ser sexual, se presenta de manera vegetativa (asexual) por medio de hijuelos, bulbillos y, en algunos casos, su propagación es sólo por semilla (Gentry, 1982). La reproducción sexual promueve la variabilidad genética, mientras que la reproducción asexual permite una rápida propagación y colonización de nuevos lugares, especialmente en condiciones ambientales adversas.

El ciclo de vida de *Agave maximiliana*, al igual que otras especies de agave, es un proceso fascinante que involucra distintas etapas, desde la germinación de semillas hasta la reproducción y declive. En el caso de *A. maximiliana*, la producción de ejemplares en el medio ambiente se limita sólo a generación y la germinación de la semilla obtenida a través de frutos maduros (cuatro meses después de la polinización), a partir del escape floral: “que emerge a los 7 años (observado en individuos precoces a los 1500 msnm) hasta los 10 años en la planta de agave” (comunicación personal, agosto 2023).

Después de la polinización se forma un fruto que contiene las semillas. La planta canaliza gran parte de su energía hacia la producción de semillas para garantizar la continuación de su linaje. Estas semillas caen al suelo, si las condiciones son adecuadas germinarán para dar lugar a nuevas plantas.

La germinación ocurre cuando las condiciones ambientales son favorables, generalmente después de lluvias. Cuando la semilla germina, brota una plántula que se ancla al suelo y comienza su proceso de crecimiento. La plántula se alimenta principalmente de los nutrientes almacenados en la semilla. En sus primeras etapas de vida el *Agave maximiliana* se concentra en el desarrollo de un sistema radicular robusto y en el crecimiento de hojas. Durante esta fase la planta se dedica a almacenar energía y agua para prepararse para futuras etapas de desarrollo.

A medida que el *Agave maximiliana* continúa su crecimiento, entra en la fase de madurez. La planta desarrolla una roseta de hojas largas y espinosas, característica distintiva de la especie. Durante este período la planta se concentra en la acumulación de azúcares y otros compuestos esenciales para su reproducción.

La floración es una fase crucial en el ciclo de vida del *Agave maximiliana*. Esta etapa puede demorar varios años dependiendo las condiciones ambientales. El escapo floral o inflorescencia, una estructura floral alta y ramificada, emerge del centro de la roseta. Las pequeñas flores amarillas se abren y permiten la polinización por murciélagos: *Glossophaga soricina*, *Leptonycteris yerbabuenae* (Ibarra-López, 2012; Ortega-García & Saldaña-Vázquez, 2021), insectos (abejas): *Trigona fulviventris*, *Angochlora aurifera* y *Melissodes tepaneca*, aves: (*Icterus bullockii*, *Sialia mexicana*, *Basilinna leucotis*) u otros agentes polinizadores (Riojas-López *et al.*, 2019).

Una característica única de muchos agaves, incluido el *Agave Maximiliana*, es que, después de la floración, la planta comienza un proceso gradual de declive y eventual muerte. Este fenómeno, conocido como monocarpismo, implica que la planta invierte la mayor parte de su energía en la producción de flores y semillas, agotando sus recursos y llevándola al final de su ciclo de vida (Figura 3).



Figura 3. Plantas adultas de *Agave maximiliana* en etapa reproductiva, Mascota, Jalisco.

Escapo floral

La floración de las plantas de agave es un fenómeno interesante y, en muchos casos, un evento notable en la vida de estas plantas suculentas. Las plantas de agave son conocidas por tener una estrategia de reproducción monocárpica, lo que significa que florecen una vez en su vida y luego mueren.

La floración suele ser provocada por factores como la edad, el tamaño o incluso condiciones ambientales específicas. Cuando *Agave maximiliana* entra en la fase de floración desarrolla una estructura llamada “escapo floral”, que es una especie de tallo largo y erecto que lleva las flores y se eleva significativamente por encima de la roseta basal de la planta. Las flores de agave son generalmente grandes y atractivas, y la planta puede producir numerosas flores dispuestas en una inflorescencia (llamada también panícula o panoja). La inflorescencia alcanza de 5-8 m de altura, formando un contorno estrecho y profundo con 15-25 o incluso 30 umbelas pequeñas bastante redondeadas en la mitad superior del eje (Gentry, 1982; González-Elizondo *et al.*, 2009) (Figura 4).



Figura 4. Panícula con botones florales y flores abiertas de *Agave maximiliana*.

Polen

El polen es la célula reproductiva masculina producida en las flores y es esencial para el proceso de polinización. Las plantas de agave producen polen en las anteras de las flores masculinas (Figura 5). Este polen es liberado en el ambiente para llevar a cabo el proceso de polinización a través de viento o por polinizadores específicos. Si depende de animales para la polinización, el polen se adhiere al cuerpo del polinizador.

Los granos de polen (50- 100 μm) presentan un sólo surco (monocolpados), colpos con membrana nexinosa de ancho variable, margen 1-8 μm de ancho. Exina 2-5 μm , sexina 1-4 μm , reticulada, heterobrochada. Lúmenes redondeados a irregulares, de 3-12 μm de diámetro. Baculados, báculos próximos 1-2,5 μm de diámetro, circulares a poligonales, los más anchos comúnmente ahuecados en su centro, margen micro reticulado, poco plegado (Álvarez & Egon Köhler, 1987).

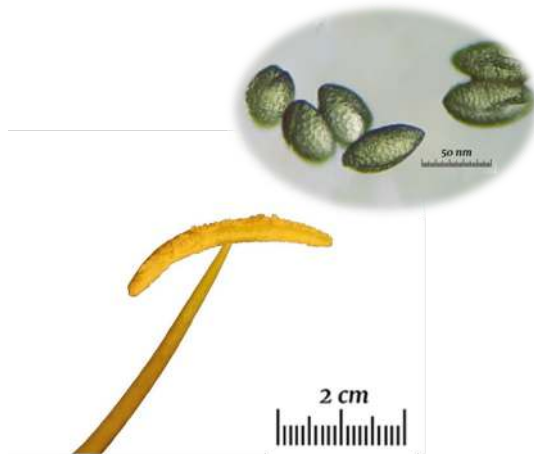


Figura 5. Granos de polen y antera madura destacando el polen en condiciones naturales.

Flor

Las flores de agave están dispuestas en racimos umbelados, son tubulares y pueden tener una apariencia llamativa, de tamaño de 52-65 mm, delgadas, amarillo verdoso comúnmente con tinte anaranjado o rojizo. El ovario llega a medir 28-35 mm de largo, de cilíndrico angular a fusiforme, cuello acanalado. Tubo de 5-9 (-12) mm de profundidad, 12-14 mm de ancho, como embudo abierto, acanalado; tépalos subiguales, ascendentes a curvados, 15-22 mm de largo, lineales, estrechos, conduplicados, los interiores aquillados, involutos. Filamentos de 28-35 mm de largo, a veces rosados, insertos arriba de la mitad del tubo. Anteras de 20-24 mm de largo, amarillas (Gentry, 1982; González-Elizondo *et al.*, 2009) (Figura 6a).

Las flores del agave son hermafroditas, también conocidas como “flores perfectas”, son aquellas que contienen tanto órganos reproductivos masculinos como femeninos en la misma estructura floral. Esto significa que son capaces de producir tanto polen como óvulos. No obstante, para su polinización utilizan un sistema llamado “protandria” donde se desarrolla la gónada masculina antes que la femenina, evitando así la autofecundación. Por lo tanto, la planta de agave presenta una polinización cruzada forzada, una estrategia evolutiva muy interesante que resulta en una gran diversidad para la especie. Los órganos reproductivos masculinos de una flor hermafrodita incluyen los estambres, que contienen los sacos polínicos que producen el polen (Figura 6b). Los órganos reproductivos femeninos incluyen el pistilo, que consta de un ovario que contiene los óvulos y un estilo que conecta el ovario con el estigma, donde se deposita el polen para la fertilización (Figura 6c).

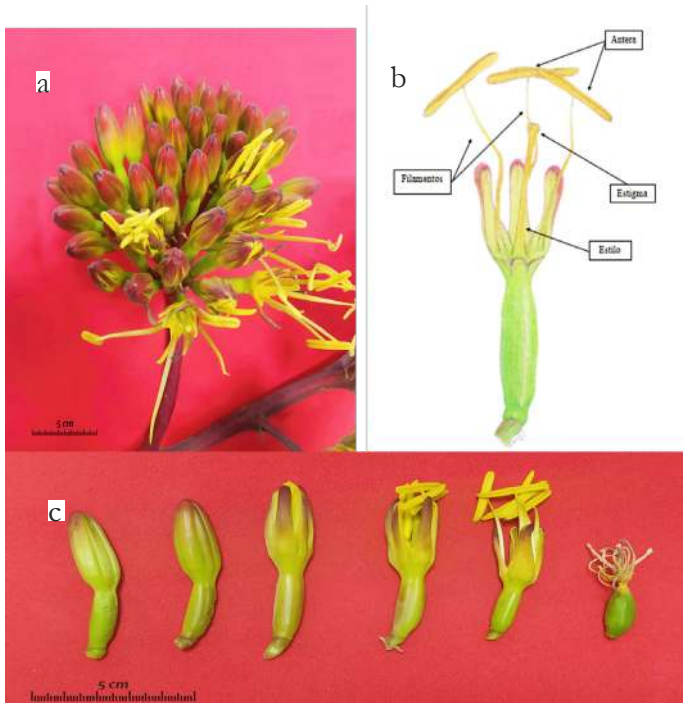


Figura 6. La flor: a) Umbela con algunas flores abiertas b) Partes de la flor c) Desarrollo progresivo de la flor hasta la formación de fruto.

Fruto

Después de la floración, la planta de *Agave maximiliana* produce frutos a partir de la polinización de las flores. Los frutos se forman en la parte superior del escapo floral. La mayoría de las plantas de agave producen frutos secos llamados cápsulas, estas pueden tener una apariencia seca y dura y, al madurar, se abren para liberar las semillas. Estas cápsulas contienen alrededor de 250 semillas. Tamaño de 3.5-6 x 1.7-2 cm, con ápice redondeado, estipitadas. (González-Elizondo *et al.*, 2009). La morfología es variada entre cultivares (Figura 7 a, b y c).



Figura 7. Representación de frutos de *A. maximiliana*: a) Fruto inmaduro b) Frutos maduros c) Frutos alargados maduros (color café) e inmaduros (color amarillo) en quiote.

Semillas

Bajo condiciones adecuadas, las semillas de *Agave maximiliana* germinarán para dar lugar a nuevas plantas. Dentro de la cápsula se encuentran alrededor de 350 semillas entre viables (color negro) y no viables (color blancas) (Figura 8a).

Las semillas viables son planas de color negro, tamaño de 5.5-6 x 4.5-5 mm, testa ondulada, finamente punteada, ala marginal abruptamente levantada (González-Elizondo *et al.*, 2009) (Figura 8b).

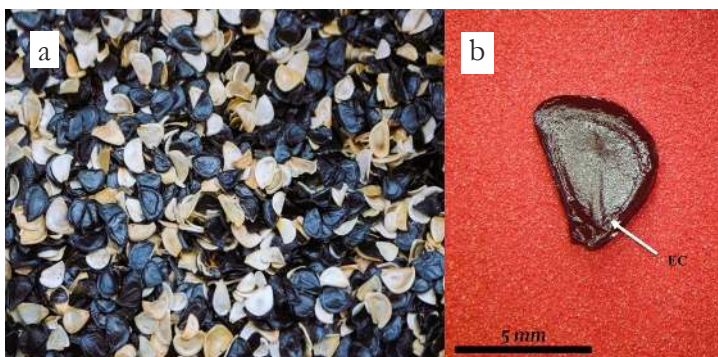


Figura 8. Semillas de *A. maximiliana*: a) Mezcla de semillas viables (color negro) y vanas (color blanco) b) Representación de semilla viable destacando protuberancia por la presencia del embrión cigótico-EC (flecha blanca).

Vídeos de Consulta

Vídeo 1. Biología del *Agave maximiliana* Baker



Explora el fascinante estudio del *Agave Maximiliana Baker* mientras investigamos su biología única y su papel fundamental en la producción de Raicilla. Desde su ciclo de vida hasta sus características distintivas, descubre cómo esta planta emblemática ha moldeado la cultura y la tradición en la región.



Escánea para ver el video

<https://youtu.be/0dSkeiRQizU>



Cultivo comercial de *Agave maximiliana*
Fotografía: Santiago Corona Perez

CULTIVOS PARA EL APROVECHAMIENTO COMERCIAL Y MANEJO AGROFORESTAL

Siembra de semilla en almácigos

La siembra de semillas en almácigos es la principal práctica que hoy en día los productores de raicilla llevan a cabo para la obtención de plantas. La obtención de semilla está dada por agaves maduros que son seleccionados en campo o en su cultivo extensivo para este propósito, donde dejan que emerja su escapo floral.

Una vez colectadas las semillas, se avientan en almácigos preparados de composta orgánica y “tierra de monte” por la técnica de “al voleo”, donde germinan (seis días) (Figura 9a). Se dejan seis meses hasta alcanzar un tamaño adecuado (aparición de las dos primeras hojas). El semillero se riega dos veces por día hasta el sexto día. Una vez germinado, se riega una vez por día los primeros dos meses de crecimiento, posteriormente se riega cada dos días (Figura 9b).

Posteriormente, se realiza un trasplante en bolsas de polietileno de 1 l de capacidad donde se llenan con tierra de monte o “lama de río” y se dejan crecer por 18 meses más para alcanzar un tamaño de 15-20 cm. Este tamaño es el ideal para que las plántulas sean establecidas en suelo directo en campo donde se desarrollaran por el resto de los años de vida comercial (5- 8 años), dependiendo el cultivar y condiciones ambientales (Figura 9 c, d, e y f).



Figura 9. Producción de planta en viveros: a) Plántulas germinadas a partir de semillas en almácigos de *Agave maximiliana* b) Plántulas en almácigos c) Plántulas trasplantadas en a bolsas de polietileno d) Plántulas de 18 meses de crecimiento e) Vivero local con plántulas en diferentes fases de crecimiento f) Participación de gente local en el llenado de bolsas de polietileno.

Por otro lado, para la selección de las semillas, el primer punto a revisar es el color, descartando por completo las semillas blancas infértiles. Seguido a esto, es recomendable verificar la presencia de una protuberancia al costado de la semilla que delate la presencia del embrión. Un punto muy importante es la edad de la semilla, pues en pruebas realizadas por los autores, se encontró que las semillas presentan una condición recalcitrante, quiere decir que pierden viabilidad rápidamente con el tiempo. Para evaluar la viabilidad de las semillas sin necesidad de hacer pruebas de germinación, se pueden realizar pruebas de tetrazolio, cuyos resultados indican la pérdida de viabilidad por patrón de tinción (Figura 10). Para realizar la tinción presenta el siguiente protocolo.

Viabilidad de semillas mediante prueba de tetrazolio

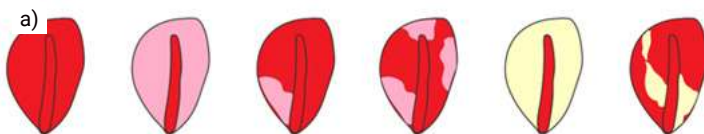
1. Remojar las semillas a teñir en agua destilada durante 24 h.
2. Retirar la testa de la semilla (cubierta negra). Se recomienda utilizar un estereoscopio, pinzas de disección y bisturí. Una vez que quede la semilla desnuda pueden

ser colocadas en agua destilada mientras se termina de retirar de todas, para evitar que se deshidraten.

3. Para elaborar la solución de tetrazolio y PBS; colocar 0.5 g de tetrazolio en 50 ml de PBS 0.1 M pH 7 y mezclar utilizando un agitador magnético (ver anexo). Una vez lista la solución, cubrir el vaso de precipitado con aluminio, pues el tetrazolio es sensible a la luz.
4. Colocar los embriones en una caja de Petri con la solución de tetrazolio e introducirla en horno de secado a 50 °C durante 1 h en oscuridad.
5. Una vez transcurrido el tiempo de secado, extraer la caja del horno y observar resultados, comparar con (Figura 10 a y b).

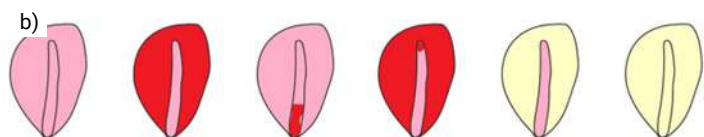
Semillas viables

Son aquellas cuyo patrón de tinción revela que tiene el potencial de generar una plántula normal. En estas semillas el patrón de tinción es completo (rojo en mayor proporción)



Semillas no viables

Son aquellas cuyo patrón de tinción revela una intensidad de color irregular y o estructuras flácidas y no son capaces de generar una plántula normal (rosa pálido o espacios sin tinción)



[patrones de tinción de semillas colectadas de; 2019, 2021, 2022 y 2023].

Figura 10. Guía de patrón de tinción de semillas en tetrazolio.

Selección de plántulas

Para comenzar la producción de *A. maximiliana* de la mejor manera posible es primordial utilizar el mejor material biológico posible. En caso de plantas, buscar las que muestren hojas sanas, crecimiento vigoroso, buenas raíces y libres

de plagas. En caso de querer introducir las a cultivo *in vitro*, se recomienda utilizar plantas de un tamaño similar a la mostrada en la Figura 11 (aproximado: 15-20 cm de largo), tamaño suficiente para soportar el proceso de desinfección y para ser establecidas a campo abierto.

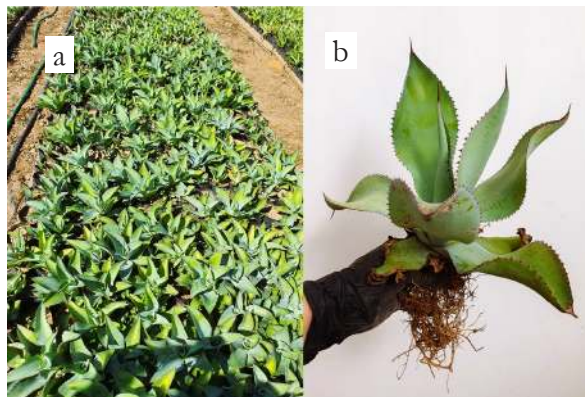


Figura 11. Producción comercial Mascota, Jalisco: a) Plantas a partir de semilla de dos años de crecimiento b) Ejemplar seleccionado para establecimiento en campo e *in vitro*.

Cabe destacar que las plántulas a partir de semillas no serán uniformes debido a la gran diversidad que presenta la especie; diferencia en tamaños, hojas más anchas o angostas y diferente composición de espinas. Cada año se presentan nuevas formas interesantes donde los productores las distinguen por sus características peculiares, que son observadas a simple vista. Esta heterogeneidad le confiere a la especie mayor probabilidad de adaptarse a condiciones ambientales. Cuando la planta alcanza su tamaño, es trasplantada a campo. El mejor mes para llevar la plántula a campo es en junio, donde el temporal de lluvias de la región está establecido y las condiciones son óptimas para que la planta pueda sobrevivir a condiciones ambientales adversas.

En los primeros meses de trasplante la planta requiere de suficiente humedad para que el sistema de raíces progrese y ancle al suelo, posteriormente la planta se habitúa a las condiciones ambientales donde requiere de poca agua debido al almacenamiento propio de agua en sus hojas, llegando a tolerar la sequía y el calor. En cuanto al suelo, la planta de agave en estado natural se adapta a suelos pobres, rocosos, someros y pendientes muy pronunciadas, sin embargo, en un cultivo comercial (extensivo), la planta es situada en terrenos con ligeras pendientes para evitar el encharcamiento y el exceso de humedad, así como buena exposición al sol con un marco de plantación de 1.3 metros de separación entre plantas y 2.0 metros entre líneas (3000 a 5000 plantas por hectárea) (Figuras 12 y 13).

Se recomienda la aplicación de abonos orgánicos durante el verano y, en casos extremos, podas ocasionales para el manejo (espinas que pueden causar heridas) y eliminar hojas dañadas y/o enfermas. Para mitigar daños de heladas y temperaturas muy bajas se sugiere sembrar árboles de especies endémicas de la región alrededor del cultivo (cortinas rompe vientos).



Figura 12. Cultivo extensivo de *Agave maximiliana* (un año y medio de plantación).



Figura 13. Cultivo extensivo de *Agave maximiliana* (cinco años de plantación).

Manejo en sistemas de producción extensiva

Los cultivos extensivos de *Agave maximiliana* representan un enfoque agrícola que busca maximizar la productividad y la rentabilidad mediante la implementación de prácticas más intensivas en términos de manejo y uso de recursos en la producción agavera. Aunque ofrecen beneficios económicos, también plantean desafíos y consideraciones importantes. Los cultivos extensivos también se caracterizan por una mayor densidad de plantación y prácticas agrícolas que buscan maximizar el rendimiento y eficiencia por unidad de superficie.

La plantación cercana y el manejo intensivo pueden llevar a una cosecha más rápida y una mayor producción de agave. Aunque los cultivos extensivos buscan optimizar la producción, el uso intensivo de recursos como agua, nutrientes y suelo plantea preocupaciones sobre la sostenibilidad a largo plazo. La gestión cuidadosa de estos recursos es esencial para evitar agotamientos y mantener la salud del entorno.

Estos cultivos a menudo requieren prácticas agrícolas más intensivas en términos de labores de cultivo, riego y fertilización. La implementación de tecnologías modernas y la supervisión constante son fundamentales para garantizar un manejo efectivo y la prevención de enfermedades.

La expansión de cultivos de agave puede ejercer presión sobre la biodiversidad local al ocupar áreas que podrían haber albergado ecosistemas naturales. La planificación cuidadosa y la selección de sitios de cultivo pueden mitigar este impacto negativo. Asimismo, estos cultivos pueden ser más vulnerables a eventos climáticos extremos, como sequías o heladas, debido a la alta densidad de plantación y la mayor demanda de recursos. Se requieren medidas de adaptación para enfrentar estos desafíos climáticos.

Aunque los cultivos extensivos pueden generar rendimientos económicos más rápidos, también requieren inversiones significativas en términos de tecnología, mano de obra y gestión. El éxito económico dependerá de la eficiencia en la gestión y la capacidad de abordar los desafíos mencionados.

En resumen, implementar sistemas extensivos de *A. maximiliana* brindan una forma de aumentar la producción y satisfacer la demanda del mercado, pero su implementación debe ser cuidadosamente gestionada para equilibrar la eficiencia con la sostenibilidad y la conservación. La adopción de tecnologías modernas, la gestión adecuada de recursos y la consideración de impactos ambientales y comunitarios son esenciales para el éxito a largo plazo de estos cultivos extensivos (Figura 14).



Figura 14. Cultivo extensivo de *Agave maximiliana* (6 años de plantación).

Manejo en áreas forestales

La transición hacia sistemas agroforestales indica un esfuerzo por equilibrar la demanda comercial con la conservación y la sostenibilidad de la especie en un contexto cambiante.

Los registros de hace 15 años indican que la extracción intensiva de poblaciones silvestres de *Agave maximiliana* en la región de Mascota ha llevado a una disminución crítica de la especie. Esta reducción ha impulsado la creación de monocultivos comerciales en áreas que han sido deforestadas y en tierras agrícolas abandonadas (Torres-García *et al.*, 2019).

Según entrevistas realizadas en el año 2020 a productores de raicilla de la sierra, casi el 90% de ellos utilizaban prácticas de manejo *in situ* de fomento e inducción, donde se conservan varios elementos forestales, como los árboles, que ayudan a proteger a los agaves contra situaciones adversas como las heladas y las plagas, además de reintroducir plantas jóvenes, que cultivan desde semillas, al bosque (Cabrera *et al.*, 2020) (Figura 15 a y b).



Figura 15. Manejo agroforestal de *Agave maximiliana*.

Por otro lado, en el 2005 se comenzaron los primeros avances en el manejo de agroforestal, donde se estructuró un proyecto para la región Sierra-Occidental y Costa-Norte, conformándose cuatro vertientes.

1. Agremiar a productores al consejo promotor de la raicilla.
2. Mejorar el proceso industrial conservando elementos artesanales.
3. Comercialización y promoción turística.
4. Aprovechamiento y manejo sustentable de los recursos.

Para el manejo sustentable del agave, se contempla el desarrollo de ejes como:

- a. Conservación de la biodiversidad
- b. Domesticación de la planta
- c. Repoblación en áreas de extracción y plantaciones extensivas
- d. Desarrollo de prácticas culturales de bajo impacto y control integrado de plagas y enfermedades.
- e. Capacitación a productores
- f. Obtención de la certificación orgánica

Desde el momento en que se participa en la utilización de una especie, ya se está impactando o alterando el medio natural de desarrollo de esta y las que conviven con ella; no obstante, debemos considerar causar el menor impacto reconociendo el papel que los ecosistemas tienen en la vida y desarrollo de la especie a aprovechar. Es por ello por lo que, respetando la diversidad genética, la convivencia con otras especies y la vida microbiana del suelo es prioritario para el mejor aprovechamiento del recurso.

Algunas alternativas sustentables para el manejo en campo de la planta se describen a continuación:

- Al realizar un cultivo de agaves raicilleros pensar en afectar lo menos posible el ecosistema.
- No desplazar el bosque por plantas de agaves.
- Disminuir y de ser posible eliminar el uso de pesticidas y fertilizantes de síntesis, reemplazando estos

por bioinsumos, extractos de plantas insectos táticos y caldos minerales

- Realizar las plantaciones a curvas de nivel, nunca paralelo a la pendiente.
- Procurar siempre reemplazar las plantas extraídas del bosque realizando prácticas de conservación
- Reutilizar los deshechos del proceso industrial, como gabazo, vinazas, carbón y ceniza
- Fortalecer las prácticas de producción ORGÁNICA
- Impulsar la investigación y la validación de prácticas sustentables (Ing. Apolinar Gómez Núñez, comunicación personal, abril 2024).

Atendiendo la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales en la región con una visión de conservación se encuentra operando el organismo Paisaje Biocultural. Este organismo tiene entre sus sistemas productivos la mesa de no maderables y dentro de esta está el cuidado y conservación de los agaves nativos, existiendo la opción de adherencia voluntaria para los productores, quienes mediante un compromiso de manejo saludable implementado por ellos mismos son aspirantes a obtener un sello distintivo con registro ante el IMPI. SELLO DEL PAISAJE BIOCULTURAL. Para fortalecer las prácticas se cuenta con un programa de capacitación llamado elaboración de insumos para una agricultura saludable con los temas: Captura y activación de microorganismos de montaña, Elaboración y manejo de compostas y lombricompostas, Elaboración de caldos minerales para nutrir y controlar plagas y enfermedad, Utilización de plantas como repelentes y controladoras de plagas, Utilización de prácticas de conservación de suelo y agua como sistema keyline y Capacitación para realizar mezclas de minerales como mejoradores de suelo (Biol. Noe Castellanos Ramos, comunicación personal, abril 2024).

Plagas y enfermedades

Plagas

Agave maximiliana, al igual que otras especies de agave, puede enfrentar diversas plagas y enfermedades como; hongos, bacterias, virus, nemátodos, cochinillas, ácaros, pulgones, escarabajos, gusanos, roedores y otros animales herbívoros. A continuación, se mencionan algunas de las posibles amenazas y que hoy en día están presentes en los cultivos de *A. maximiliana*.

Picudo del agave (Scyphophorus acupunctatus)

Este escarabajo de color oscuro tiene un rostro alargado y una probóscide que utiliza para perforar y alimentarse de los brotes tiernos del agave. Los adultos depositan huevos en las hojas, y las larvas se alimentan de los tejidos, causando daños considerables a la parte apical de la planta. Entre los síntomas se presenta decoloración, deformación y, en casos severos, la muerte de la planta (Enríquez-Vara, 2019) (Figura 16).

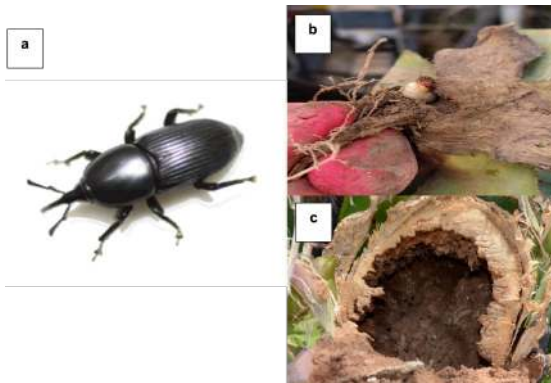


Figura 16. Picudo del *Scyphophorus acupunctatus* a) Insecto adulto (fuente: Enríquez-Vara, 2019) b) Larva de picudo c) Daño en el cogollo causa por picudo.

Escarabajo rinoceronte (Strategus aloeus)

Este insecto, de tamaño considerable, causa daño al alimentarse de la parte inferior de la piña. Consume los tejidos del agave, donde realiza perforación para después barrenar la parte inferior hacia arriba de la piña, dejando una galería del tamaño de su cuerpo entre 4 a 5 cm de diámetro y una profundidad de 5 a 6 cm (Enríquez Vara & Padilla, 2023). Las plantas cambian ligeramente su color de azul hacia rojizo a púrpura, las hojas del cogollo no se desenvuelven (González, *et al.*, 2007). Son de actividad nocturna, en una sola noche un solo individuo puede afectar dos o más plantas causando daños del 50 al 70 % (Pérez- Domínguez, 2006). Por otro lado, el daño ocasionado por el escarabajo rinoceronte también es indirecto al ocasionar heridas en las plantas, que son la entrada de fitopatógenos como *Fusarium oxysporum* y *Erwinia carotovora* (Enríquez-Vara & Padilla, 2023) (Figura 17).



Figura 17. Adulto de escarabajo Rinoceronte, *Strategus aloeus*.
(Fuente: Universidad Agrícola, s.f.).

Picudo pinto o mexicano (Peltophorus polymitus)

Este escarabajo afecta principalmente a plantas adultas con escapo floral (González-Hernández *et al.*, 2015). Su hábito es alimentarse del tejido del quiote, provocando daños que se observan como pequeños orificios circulares que son causados por adultos y larvas. Al usar el quiote como reservorio de sus huevos, este se seca y cae, provocando pérdida de la floración y con esto una implicación colateral hacia la

pérdida de la biodiversidad como es la dispersión de semillas y la asociación con algunas especies como aves, insectos y murciélagos (Salazar-Rivera *et al.*, 2024) (Figura 18).



Figura 18. Adulto de escarabajo pinto, *Peltophorus polymitus* (Fuente: Luna-Alejandro, 2020)

Cerambicido (Acanthoderes funeraria)

Este insecto es un cerambícido registrado en las plantaciones de *Agave* spp. que causa daño directo e indirecto en la planta. Al alimentarse, el adulto causa una raspadura próxima a la base de las hojas interiores, estas heridas pueden permitir la introducción de patógenos al interior de las plantas (Arnett *et al.*, 1980). En plantas que tienen las raspaduras ocasionadas por el insecto se observan manchas hundidas color café rojizo en la base de las pencas, cerca de la piña. Las larvas se alimentan haciendo galerías al interior de las hojas; también se alimentan en la zona de la corona, con lo cual destruye el área radical y causa en la planta síntomas de marchitez. Estas barrenan en la base de las hojas, pero es raro que lleguen al cogollo. Aunque cuando la planta es pequeña, la piña puede ser completamente consumida por las larvas, pero si es grande estas pueden afectar el desarrollo de las plantas y detener el crecimiento de estas (Pérez-Domínguez & Del Real-Laborde, 2007). Son insectos de hábitos diurnos, las poblaciones altas se encuentran al inicio de las

épocas de lluvias, pero se ha reportado insectos en zonas de trópico seco (González *et al.* 2017; Pérez-Domínguez & Del Real-Laborde, 2007) (Figura 19).



Figura 19. Adulto de Cerambicido, *Acanthoderes funeraria*
Fuente: LGBCLarry G. Bezark, s.f.

Chinche del agave (Caulatops distanti)

Las poblaciones de este insecto aumentan en los meses fríos. En el campo pueden encontrarse en el cogollo de la planta y en las partes basales de la penca, su alimentación ocurre generalmente en las tardes (Figueroa *et al.* 2019). La chinche inserta su estilete en las hojas para alimentarse y al hacerlo, deja pequeñas áreas con un halo amarillento que son más visibles si se ponen las hojas contra la luz. No se sabe si es vector de alguna enfermedad, o si esté inyectando toxinas que puedan debilitar a la planta (Hernández-García *et al.*, 2005) (Figura 20).



Figura 20. Adulto de Chinche del agave, *Caulatops distanti*.
Fuente: Luna-Alejandro, 2020

Gallina ciega

El complejo gallina ciega (*Anomala* sp., *Cyclocephala* sp. y *Phyllophaga* sp.) afecta plantaciones de agaves jóvenes (de entre 1 y 3 años). Las larvas se alimentan de las raíces tiernas y de materia orgánica en descomposición durante 20 a 60 días. Las larvas de los últimos estadios son las más activas y por lo tanto son las que causan los mayores daños al cultivo, pudiendo ser puerta de entrada del hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum*. Los adultos son escarabajos que inician la emergencia entre mayo y julio, con el inicio del temporal (Pérez-Ramos *et al.* 2017) (Figura 21).



Figura 21. Larva de gallina ciega
Fuente: DGSV-CNRF, 2020.

Escama armada (Diaspis echinocacti)

Es un insecto que se alimenta de la savia de las hojas, formando costras blancas o grises que cubre parcial o totalmente las hojas y cogollo. El daño directo es causado por la succión de la savia y el indirecto por las secreciones en donde crecen hongos que producen la fumagina. Por lo tanto, la presencia de esta plaga sobre las hojas reduce la capacidad fotosintética de la planta (Luna-Alejandro, 2020). En general, provoca un debilitamiento de las plantas causando marchitez y secamiento prematuro de las plantas de las hojas afectadas, llegando a ocasionar la muerte de la planta en casos extremos (Salas-Araiza *et al.*, 2004 b). Las hojas de la parte media de la planta son las más afectadas, en ellas se observa una co-

loración café debido a las estructuras que cubren el cuerpo del insecto (Luna-Alejandro, 2020) (Figura 22).

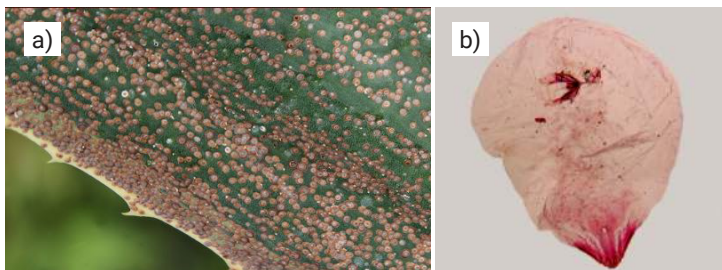


Figura 22. Escama armada: a) Escama en hoja de agave b) *Diaspis echinocacti*
Fuente: Venegas-Rico, 2017

Piojo harinoso (Pseudococcus sp.)

Es un insecto chupador que se cubre de una sustancia algodónosa secretada por la hembra, se localiza en las axilas de las hojas, succionando la savia y debilitando a la planta.

El daño directo causado por esta plaga ocurre principalmente en plantas de vivero o de reciente plantación hasta el tercer año. Cuando la infestación es severa debilita al agave y retrasa su crecimiento. Daños indirectos son provocados por la mielecilla de estos insectos sobre la cual crecen abundantemente los hongos que provocan la fumagina, la cual interfiere con la actividad fotosintética de la planta (Granara *et al.*, 2018) (Figura 23).

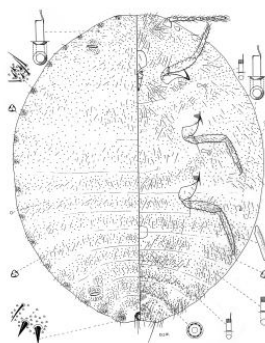


Figura 23. Piojo harinoso (*Pseudococcus agavis*).
Fuente: Granara de Willink y González, 2018.

Enfermedades

Pudrición del cogollo y marchitez (Erwinia spp.)

Esta enfermedad está dada por una bacteria que afecta el cogollo de las plantas, causando descomposición del tejido interno y emitiendo un olor desagradable. Los síntomas comienzan en la parte superior o en los lados del cogollo (espinas apicales y laterales) y avanzan hacia el centro, provocando una pudrición descendente hasta la base de la planta, lo que resulta en la pérdida del cogollo. Esta bacteria se favorece en ambientes húmedos y donde hay falta de oxígeno, especialmente en las hojas internas del cogollo. La enfermedad puede transmitirse a través de insectos que causan heridas en la planta, como el picudo. Para prevenir esta enfermedad, se recomienda un riego adecuado, la desinfección de herramientas y la eliminación de plantas afectadas (Pérez-Ramos *et al.* 2017).

Marchitez del agave (Fusarium oxysporum)

Es un hongo que se encuentra 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 (Castro-Valera, 2003). *Fusarium oxysporum* penetra en las raíces del hospedante hasta llegar a los vasos del xilema, en donde coloniza en forma ascendente. Los primeros síntomas visibles se presentan en la parte aérea, estos inician con un amarillamiento progresivo en el follaje y posteriormente la marchitez. *F. oxysporum* presenta síntomas que determinan su identificación, siendo: (1) Enrollamiento y deshidratación de las hojas basales e intermedias de la piña; (2) Cambio de color a un verde pardo; y (3) Pérdida del anclaje al suelo por la pudrición de la raíz. A diferencia de la pudrición bacteriana, no existen lesiones acuosas en las pencas. Posteriormente, las hojas se marchitan gradualmente hasta que la planta completa colapsa (Castro-Valera, 2003) (Figura 24). Productores de la

zona recomiendan aplicar cal agrícola en suelos ácidos para disminuir la incidencia del hongo.



Figura 24. síntomas de Fusarium en *Agave maximiliana*

Mancha zonal o marginal (Cercospora agave)

Manchas ovaladas y secas de color gris en las hojas cercanas al cogollo son síntomas causados por este hongo. Luego de avanzar la enfermedad, puede alcanzar las hojas del cogollo y va hacia el centro de este y después hacia la piña. Cuando el daño alcanza la piña, es muy difícil lograr la recuperación de la planta y en algunos casos al cambiar las condiciones climáticas se detiene el avance de la enfermedad, pero no se elimina, sino que se mantiene latente. Tiene requerimientos de alta humedad relativa y temperatura media entre 15 y 22 °C. Si no es controlada esta enfermedad, puede causar la muerte de las plantas en dos a seis meses según la edad del cultivo y la intensidad del daño (Pérez-Domínguez & Del Real Laborde, 2007)

Viruela negra o "negrilla" (Asterina mexicana)

La viruela negra o "negrilla" es una enfermedad presente en las pencas de las plantas de *Agave* spp., en la cual se observan manchas foliares de color negro parecidas al hollín causadas por un hongo llamado *Asterina mexicana*. Este hongo aprovecha las heridas del tejido vegetal causadas por insectos como

entrada para su infección a la planta. Usualmente afecta a las pencas inferiores y cuando la enfermedad está más avanzada llega a necrosar la penca (Hernández-José, 2022).

Para combatir la mayoría de las enfermedades aéreas de forma sustentable, productores de la zona recomiendan el uso de caldos de cenizas, caldo sulfocálcico (mineral orgánico) y caldo bordelés. Estos caldos se asperjan en la planta, dando lugar a la aplicación de un solo tipo de caldo por mes (se presenta en anexos su forma de preparación). Cabe destacar que el uso de minerales orgánicos ayuda al crecimiento y desarrollo de la planta. Por otro lado, es fundamental destacar que la identificación precisa de plagas y enfermedades puede requerir el análisis de expertos y pruebas de laboratorio. Además, las medidas de control variarán según el patógeno específico y la gravedad de la infestación.

Si se sospecha que el cultivo está afectado por alguna plaga o enfermedad, se recomienda consultar con un fitopatólogo o un experto en salud de las plantas que pueda proporcionar un diagnóstico preciso y orientación sobre cómo abordar el problema de manera efectiva y segura.

Alimento para ganado

La introducción de ganado en áreas forestales puede tener diversos impactos ambientales, y la relación con la deforestación de *Agave maximiliana* o cualquier otra especie vegetal dependerá de la interacción específica entre el ganado, la vegetación y las prácticas de gestión.

En algunas áreas el pastoreo controlado puede tener beneficios, ya que el ganado puede ayudar a mantener ciertos ecosistemas mediante la eliminación de vegetación no deseada y la promoción del crecimiento de pasto. Además, el potencial forrajero del agave tanto fresco como ensilado surge como alternativa en el complemento de la alimentación de rumiantes y ovinos (Delgadillo Ruiz, 2015; Reyes-Castro, 2022).

Sin embargo, el pastoreo excesivo o descontrolado puede tener consecuencias negativas para la vegetación. El ganado puede consumir plantas nativas, incluyendo *A. maximiliana*, y la compactación excesiva puede dañar la estructura del suelo y afectar el crecimiento de las plantas. La gestión sostenible del ganado y la implementación de prácticas agrícolas y forestales adecuadas pueden ayudar a minimizar los impactos negativos. Estrategias como la rotación de pastizales y la protección de áreas críticas para la regeneración de especies nativas son importantes. Es crucial considerar estas interacciones en el contexto específico de la región y adoptar enfoques de gestión sostenible que busquen equilibrar las necesidades de la comunidad, la ganadería y la conservación de la biodiversidad, incluyendo especies como *A. maximiliana*, *A. valenciana* y *A. inaequidens*. La planificación adecuada y la colaboración entre diferentes sectores son esenciales para abordar estos desafíos de manera integral (Figura 25).



Figura 25. Agaves afectados hábitat natural por pastoreo

Vídeos de Consulta

Video 2. Cultivos para el aprovechamiento comercial y manejo agroforestal



Acompáñanos a un análisis de las técnicas y prácticas agrícolas clave para el cultivo exitoso del agave en Mascota, Jalisco. Desde la selección de terrenos hasta el manejo sostenible, exploraremos cómo los productores aprovechan el potencial comercial del agave mientras preservan el equilibrio ecológico de la región.



Escánea para ver el video

<https://youtu.be/y-oNHPOEGCY>



Micropropagación de *Agave maximiliana*
Fotografía: Lourdes Delgado-Aceves

ALTERNATIVAS VIABLES PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLAS Y PLANTAS

Producción de semillas *in casa*

En 2018 Rodríguez-Garay *et al.* presentaron un protocolo para la polinización controlada y obtención de semillas *ex situ*, muy útil en casos como *Agave maximiliana*, donde se puede dar competencia por los quiotes, que a veces son utilizados para la elaboración de dulces tradicionales. Además de ser una forma de asegurar la genética deseada en las semillas resultantes.

Tomando como guía este protocolo junto a ensayos en laboratorio, los pasos para la producción *in casa* de semillas de *A. maximiliana* son:

1. Seleccionar la planta madre deseada.
2. Cortar el escapo floral al menos un metro por debajo de la primera panícula. El mejor momento para hacerlo es cuando las primeras flores se abren y el escapo cuenta con flores cerradas maduras e inmaduras (Figura 26).
3. Colocar el escapo en un recipiente con agua limpia, durante todo el proceso se deberán hacer cambios de agua regulares para evitar la pudrición.
4. Retirar las anteras de la flor el mismo día en que esta se abre y colocarlas en una hoja de papel limpia durante algunos días para que liberen el polen (Figura 27 a, b).
5. Retirar los restos de anteras del polen.

6. Almacenar el polen en recipientes de vidrio o plástico en un refrigerador a 4 °C dentro de un desecador para evitar su deterioro.
7. Esperar a que los órganos femeninos de la flor alcancen la madurez. El estilo tendrá néctar en su base y habrá alcanzado el largo que tenían los filamentos al momento de retirar las anteras (Figura 27 c, d).
8. Sacar el polen del refrigerador y esperar unos minutos para que alcance la temperatura ambiente.
9. Utilizar un pincel fino para colocar una buena cantidad de polen en el estigma (Figura 27 e).
10. Colocar un capuchón de aluminio sobre el estigma después de polinizarlo para tener un control sobre el polen utilizado (Figura 27 f).
11. Esperar algunas semanas para que ocurra la fertilización y el fruto madure (Figura 27 g, h).



Figura 26. Corte de escapo floral para polinización *in casa*.



Figura 27. Polinización *in casa*: a) Antera inmadura b) Obtención de anteras inmaduras c) Anteras maduras con polen expuesto d) Anteras colectadas e) Exposición de estilo y pincel fino colocando polen en el estigma f) Capuchón de aluminio sobre el estigma después de ser polinizado g) Desarrollo de frutos (parte basal ensanchado) h) Fruto inmaduro (45 días después de la polinización).

Tinción de polen para evaluar viabilidad y almacenamiento de polen

Para estimar la viabilidad del polen es necesario tomar una muestra de granos de polen (Figura 28a) y se tiñe con 1% de anilina con azul de lactofenol registrando el porcentaje de granos teñidos viables bajo un microscopio (Figura 28b). Está demostrado que la tinción puede discriminar entre pólenes que tienen capacidad de metabolismo oxidativo, representando una viabilidad potencial, y aquellos que no (Ruvalcaba-Ruiz & Rodríguez-Garay 2002).

Para su conservación y almacenamiento por más de un año, el polen tendrá que ser mezclado con un volumen de aceite de oliva necesario para cubrir los granos de polen en el mismo vial y almacenar a -20°C (Rodríguez-Garay *et al.* 2018). Cuando se desee utilizar para polinizar flores de otro ciclo u otro predio, se saca el contenedor del almacenamiento y se deja temperatura ambiente para su posterior uso.

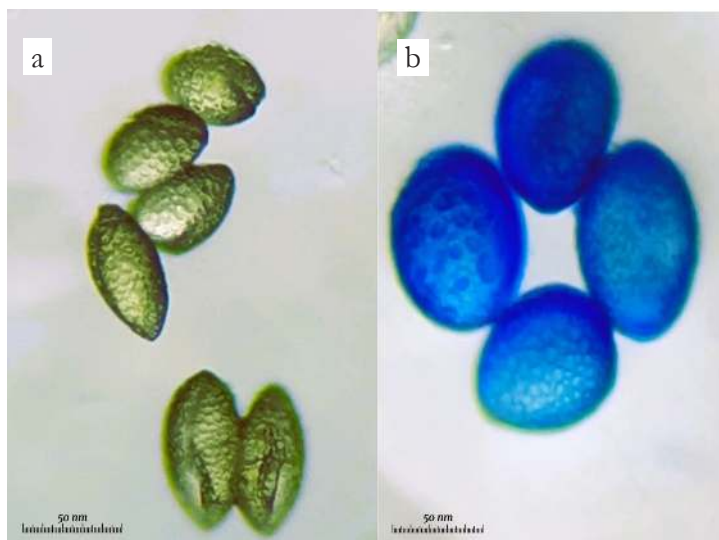


Figura 28. Polen de *Agave maximiliana*: a) Polen en condiciones ambientales, b) Polen (viable) hidratado y teñido con anilina con azul en lactofenol.

Sistemas de micropropagación a gran escala

El planteamiento de los métodos de micropropagación de plantas ha surgido para solventar la necesidad de que su demanda tiende a excederse por el crecimiento natural de la población humana. Es así como estos métodos de micropropagación se distinguen por la capacidad de asistir la producción de materia prima del sistema convencional (obtención de semillas o hijuelos de planta madre en campo), actualmente insostenible por la multiplicación de plantas a gran escala en el laboratorio (Domínguez *et al.*, 2008).

De acuerdo con Coelho *et al.* (2020), las especies de plantas endémicas suelen ser más vulnerables a las amenazas antropogénicas y los cambios naturales y, por lo tanto, tienen un mayor riesgo de extinción. La preservación de estas especies es una preocupación importante en un contexto mundial y la protección *in situ* por sí sola no garantizará su conservación. Sin embargo, cuando el banco de semillas no sea una opción (dependiendo de la especie), se deben considerar enfoques alternativos. Para la conservación de las especies se considera que es necesario conjuntar el mayor número de criterios para tomar decisiones como los genéticos, demográficos, de interacciones biológicas y antropogénicas (Casas *et al.*, 2007; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007).

Los procesos biotecnológicos a los que se ha sometido el género *Agave* spp. representan uno de los manejos exitosos para la producción agrícola; sin embargo, en los últimos años se ha disminuido la importancia ecológica y el uso racional debido al enfoque económico. Por lo tanto, en este apartado se presenta un protocolo para el establecimiento y propagación *in vitro* para *A. maximiliana* como alternativa para su uso racional:

1. Seleccionar hijuelo sano y vigoroso (20-50 cm de alto).
2. Deshoje de hijuelo hasta llegar a hojas fusionadas y corte de parte basal (1 x1 cm³).

3. Lavado en agitación continua con agua destilada y jabón líquido comercial 95:5 v/v.
4. Inmersión a solución de 2 ml en 100 ml de agua destilada con fungicida sistémico RIDOMIL GOLD® 480 (concentrado soluble-Metalaxil-M) durante 1h.
5. Posteriormente los explantes se someten a un choque térmico que consiste en la inmersión en agua destilada a 50 °C durante 5 min, seguido a la inmersión en agua destilada a 5 °C durante 10 min.
6. En campana de flujo laminar, los explantes se desinfectan con cloro comercial (solución que contenga hipoclorito de sodio al 5%) con una concentración de 30:70 v/v por 30 min dentro de contenedores previamente esterilizados (Figura 29a).
7. Lavado con peróxido de hidrógeno al 3% por 5 min seguido por tres lavados en serie con agua destilada estéril.
8. Por último, los explantes se establecen en medio semi-sólido MS con 5 mg/L de BAP (6-Bencilaminopurina) y 8g/L de agar durante 30 d a 25 ± 2 °C con un fotoperiodo de 16 h luz y 8 h oscuridad, ajustado a 5.7 ± 0.05 de pH y esterilizado en autoclave por 15 min a 1.4 kg/cm² de presión a 121 °C (Figura 29b).

Los primeros brotes observados fueron a partir de 30 días establecidos *in vitro*. Posteriormente los brotes son individualizados e incubados en medios de cultivos sin reguladores de crecimiento en las mismas condiciones hasta la aparición de raíces para su aclimatación en condiciones de invernadero (Figura 29c).

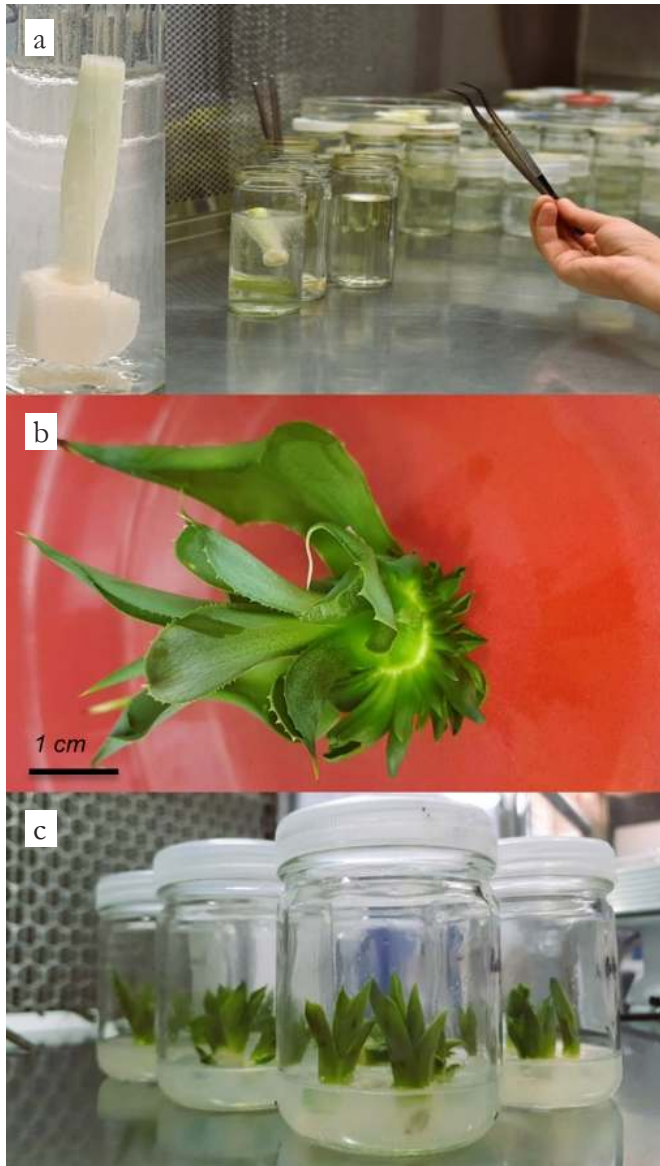


Figura 29. Establecimiento *in vitro* a) Explantes sumergidos en cloro en campana de flujo laminar a) Explante perfilado para su desinfección b) Agave con brotes generados en la parte basal c) Individualización de brotes en medio de cultivo semisólido.



Agave maximiliana

Fotografía: Lourdes Delgado-Aceves

CONSERVACIÓN *IN SITU* Y *EX SITU*

La crisis ambiental afecta de manera directa a todos los seres vivos. En el caso de *Agave* spp., el cambio climático, cambio de uso de suelo, extracción desmedida de ejemplares en área silvestre, pastoreo, explotación de monocultivos e invasión de áreas naturales protegidas han alterado grandes poblaciones de especies endémicas y con ello la disminución de individuos, así como la simbiosis de extraordinarios polinizadores que dependen de manera intrínseca de la planta (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2015; Flores *et al.*, 2016).

Dentro de la NOM059-SEMARNAT-2010 (Diario Oficial de la Federación, 2006) se presentan 22 especies de *Agave* bajo el estatus de protección, amenazado y en peligro de extinción. Además, recientemente (2019) The International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List of Threatened Species TM catalogó taxones que enfrentan un mayor riesgo de extinción global (ej. aquellos considerados en peligro crítico, en peligro y vulnerables) entre los cuales sumó a la lista especies de *Agave* que en México aún no se reconocen bajo amenaza; entre ellos *Agave valenciana* bajo estatus “en peligro crítico” (Torres-García *et al.* 2019). Estos datos resultan sin duda alarmantes y requieren medidas inmediatas de conservación para salvaguardar muchas de estas especies (Delgado-Aceves, 2022).

Conservación *in situ*-corto plazo

Los sistemas de conservación *in situ* se refieren a las estrategias y prácticas destinadas a conservar y proteger la diversidad biológica dentro de los hábitats naturales de las especies. En el contexto de la conservación *in situ* de *A. maximiliana* y otras plantas, aquí se describen algunos enfoques y métodos comunes:

Áreas Protegidas: designación y gestión de áreas naturales específicas como parques nacionales, reservas naturales o santuarios para la conservación de la flora y fauna locales, incluyendo especies como el *A. maximiliana*. Propósito: brindar un entorno natural seguro donde las plantas pueden crecer y reproducirse de manera silvestre.

Manejo Sostenible del Hábitat: implementación de prácticas de manejo del hábitat que promueven la salud y la diversidad del ecosistema. Propósito: mantener un equilibrio sostenible entre las actividades humanas y la conservación de la biodiversidad, asegurando la supervivencia a largo plazo de las especies.

Restauración de Hábitats Degradados: proyectos destinados a restaurar hábitats que han sido degradados debido a actividades humanas o desastres naturales. Propósito: recuperar las condiciones naturales del hábitat, permitiendo que las poblaciones de plantas, incluida el *A. maximiliana*, se recuperen.

Monitoreo de Poblaciones: seguimiento y evaluación regular de las poblaciones de plantas en su hábitat natural. Propósito: recopilar datos sobre la salud de las poblaciones, cambios en la distribución y otros factores que puedan afectar la viabilidad a largo plazo de la especie.

Participación Comunitaria y Educación Ambiental: involucramiento de las comunidades locales en la conservación y educación sobre la importancia de las especies locales,

como el *A. maximiliana*. Propósito: fomentar la conciencia ambiental, promover prácticas sostenibles y obtener el apoyo de las comunidades para la conservación.

Reintroducción y Translocación: transferencia controlada de individuos de una especie desde una ubicación a otra, ya sea dentro del mismo hábitat o a un nuevo sitio. Propósito: reforzar o establecer nuevas poblaciones, especialmente cuando las existentes están en peligro.

La conservación *in situ* es crucial para mantener la integridad de los ecosistemas y las poblaciones silvestres de especies como el *A. maximiliana* (Figura 30), preservando la biodiversidad en su contexto natural. La combinación de esfuerzos *in situ* y *ex situ* es esencial para una gestión integral y efectiva de la conservación.



Figura 30. Ejemplar silvestre de *Agave maximiliana*.

Conservación *ex situ*-corto plazo

Los sistemas de conservación *ex situ* se refieren a la conservación de la diversidad biológica fuera de su hábitat natural. Estos sistemas son esenciales para la protección y preservación de especies en peligro de extinción o vulneradas

ante la demanda comercial, incluidas aquellas relacionadas con el agave, como el *Agave maximiliana*. A continuación, se presenta información sobre algunos de los principales métodos y estrategias utilizados en la conservación *ex situ*:

Jardines Botánicos y Arboretos: establecimiento de áreas dedicadas a la colección, cultivo y exhibición de plantas, incluyendo especies de agave. Propósito: proporcionar un entorno controlado para el crecimiento y la reproducción de plantas, así como informar al público sobre la diversidad vegetal.

Colecciones Vivas en Viveros Especializados: cultivo de plantas en viveros especializados bajo condiciones controladas. Propósito: proporcionar un suministro de plantas para la demanda comercial, proyectos de reintroducción y conservación, así como para estudios científicos (Figura 31 a, b).

Reservas Naturales y Jardines de Plantas Nativas: establecimiento de áreas protegidas que imitan el hábitat natural de las plantas. Propósito: ofrecer entornos seguros para la reproducción y el mantenimiento de poblaciones de plantas en peligro.

Estos sistemas de conservación *ex situ* son complementarios a los esfuerzos de conservación *in situ*, que se centran en la protección de las poblaciones en su hábitat natural. La combinación de ambas estrategias es crucial para garantizar la supervivencia a corto plazo de especies como *A. maximiliana* y contribuir a la preservación de la biodiversidad global.

Investigación Científica y Monitoreo: Estudio y seguimiento continuo de las plantas en ambientes controlados. Propósito: obtener información valiosa sobre la biología y ecología de las especies, así como monitorear el éxito de los programas de conservación.



Figura 31. Producción a gran escala de plantas por semilla a) Manejo de viveros locales b) Plántulas de 2 años de crecimiento para su uso forestal.

Conservación *ex situ*-mediano plazo

Las herramientas biotecnológicas brindan opciones nuevas y complementarias para la conservación de las plantas, incluidas estrategias a mediano y largo plazo (crioconservación). Su aplicación para la conservación de especies de plantas ha aumentado en los últimos años. En este caso se emplean

bancos de germoplasma, estos bancos pueden ser gestionados por instituciones gubernamentales, organizaciones sin fines de lucro, universidades u otros centros de investigación. Por mencionar algunos: Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) y la Universidad de Guanajuato con la Colección Nacional de Agaves.

Bancos de Germoplasma: almacenamiento de semillas, esquejes, tejidos vegetales o incluso embriones en crioconservación, todo ello cuidadosamente almacenado y catalogado para garantizar su viabilidad y disponibilidad a largo plazo. Propósito: salvaguardar material genético para nuevas generaciones y su uso futuro, como la reintroducción en la naturaleza o la investigación.

En cuanto a la conservación a mediano plazo, se encuentran los sistemas de micropropagación, que son redirigidos a un almacenamiento por pocos años (2 a 5 años) limitando los nutrientes y disminuyendo la temperatura en cuartos fríos para que la plántula disminuya su actividad metabólica y el crecimiento vegetativo. A su vez, el establecimiento *in vitro* y la micropropagación (usos de reguladores de crecimiento en el medio de cultivo y condiciones controladas) permiten la multiplicación masiva de la especie (Figura 32 a, b).

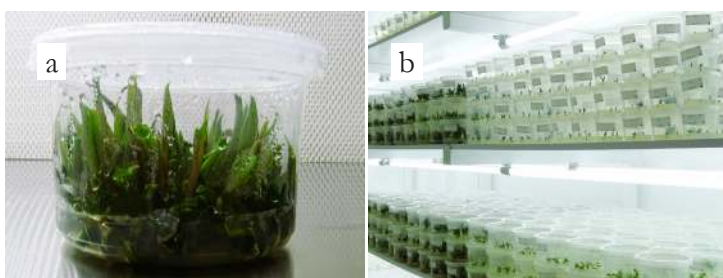


Figura 32. Cultivo *in vitro* de *Agave maximiliana*: a) Contenedor plástico con brotes en medio de cultivo b) Incubador de plantas en condiciones controladas.

Conservación *ex situ*-largo plazo

Crioconservación

La crioconservación se refiere al almacenamiento criogénico, es decir, la conservación a una temperatura congelante, principalmente en nitrógeno líquido (LN) ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). La crioconservación permite la conjunción de herramientas biotecnológicas y la conservación de las especies siendo un gran respaldo puesto que ofrece material biológico certificable y libre de enfermedades y/o patógenos.

Las ventajas que ofrece la conservación *ex situ* (crioconservación) son: permite la seguridad de un material íntegro, menos espacio de almacenamiento y menos costo, material disponible a largo plazo y la vinculación con las áreas naturales protegidas y con las regiones terrestres prioritarias. Algunos materiales biológicos *in vitro* utilizados para la conservación a largo plazo son los meristemos apicales, embriones somáticos (semillas sintéticas) y semillas. Con estos protocolos aplicados en estas especies la disposición de la planta puede ser redirigido a programas en Jardines Botánicos, material para su estudio biotecnológico y el almacenamiento de estas mismas en bancos de germoplasma para su uso racional y sustentable (Delgado-Aceves *et al.*, 2021).

Crioconservación de meristemos

Los órganos meristemáticos son el material más favorable para la crioconservación debido a su alta estabilidad genética y potencial uso en crioterapia (González-Arnao *et al.*, 2020). Los meristemos apicales de *Agave* generalmente están compuestos del ápice meristemático (domo apical) y sus estructuras asociadas (primordios foliares y tejido subyacente) cuya composición y tamaño (0,5–2 mm) depende de la especie y etapa de crecimiento del agave *in vitro*. Se ha logrado alcanzar dimensiones mínimas (0,5 a 1 mm) de

meristemos diseccionados (explante) para la crioconservación y por lo general comprenden el domo apical, con o sin los primordios foliares sin extender y tejido subyacente (parte del tallo).

Para la obtención de yemas apicales, las plantas obtenidas por semilla se micropropagan en medio MS basal semisólido, suplementado con vitaminas L2 (Phillips y Collins 1979) y 5 mg/L-1 de 6-bencilaminopurina (BAP). Posteriormente, brotes de 2 cm de alto fueron subcultivados en medio MS modificado semisólido-NH₄NO₃ reducido a 5 mM (Castro-Concha *et al.*, 1990) para su crecimiento. De acuerdo con ensayos previos, se seleccionan vitroplantas (4-5 cm alto) y se llevan a la cámara de flujo laminar para la obtención de los explantes (Figura 33a). Los explantes (domo meristemático de 1 mm³) se diseccionan bajo un microscopio estereoscópico (Delgado-Aceves, 2022).

Tomando como guía este protocolo junto a ensayos en laboratorio, la crioconservación de meristemos apicales de *A. maximiliana* son:

1. Seleccionar la planta madre *in vitro* deseada (4.5 cm de alto).
2. Corte de meristemos (domo 76 meristemático de 1 mm³).
3. Precultivo de meristemos en medio semisólido MS basal con 0.3 M sacarosa durante 24 en oscuridad a 25 ± 2 °C. (Figura 33b).
4. Los meristemos apicales se exponen a una solución de carga (LS; Loading Solution) (ver anexo) durante 20 min en condiciones de oscuridad.
5. Paso de las muestras directo a solución vitrificante PVS2 (PVS2; Plant Vitricification Solution por sus siglas en inglés) (ver anexo) a 0 °C durante 20 min. Posteriormente, se colocan gotas (15 µl) de PVS2 en tiras de papel de

aluminio esterilizado (0,5 x 2,0 cm) junto con los meristemas (realizar el cambio 3 min antes del término de los 15 minutos en solución PVS2) (Figura 33c).

6. Las tiras de aluminio con los meristemas apicales se transfirieren rápidamente a crioviales de 3.6 ml precargados con nitrógeno líquido (NL) y los crioviales se sumergen en NL. Dejar dentro del NL durante 30 min de almacenamiento (Figura 33d, e).
7. Las muestras se recuperan en solución de recuperación o calentamiento (RS; Recovery Solution) (ver anexo) mediante transferencia rápida de las tiras de aluminio al medio líquido y se dejan reposar por 20 min en condiciones de oscuridad (Figura 33f).
8. Después de la crioconservación, los explantes se transfirieren a placas de Petri (5 cm de diámetro) que contiene medio MS basal con sacarosa 0.3 M, ácido ascórbico 0.1 mg/L y agar 0.8% (p / v).
9. Después de dos días los explantes se colocan en medio MS basal con 0.1 mg/L de BAP y 20 mg/L de ácido ascórbico donde se mantienen durante una semana en condiciones de oscuridad (Figura 33g).
10. El rebrote de los meristemas se presenta con la elongación del domo meristemático y hojas de desarrollo a los 15 días posteriores a la crioconservación (Figura 40 h).
11. Por último, los explantes se transfirieren a medio MS modificado semisólido NH_4NO_3 reducido a 5 mM para evaluar el crecimiento de las plantas.

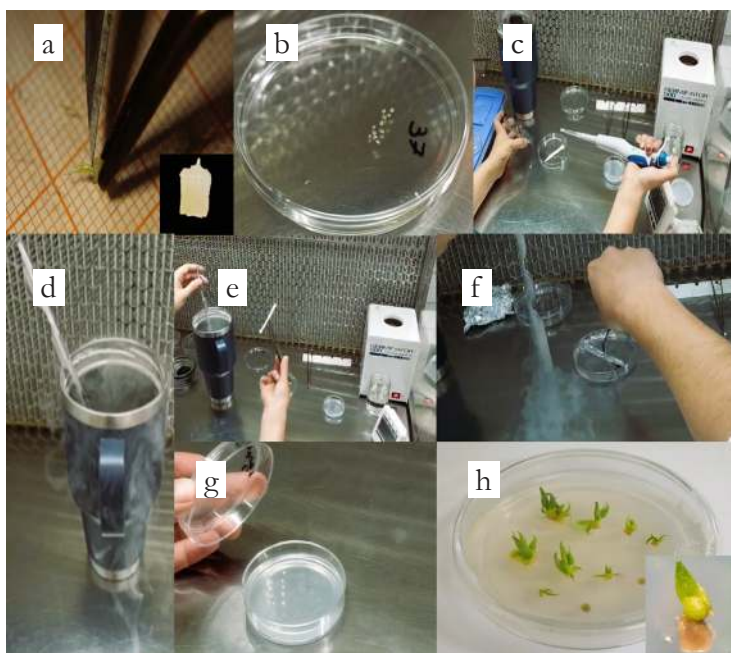


Figura 33. Crioconservación de meristemos apicales de *Agave*. a) Disección de meristemo apical (parte superior derecha-acercamiento de meristemo apical) b) Exposición a solución de carga (LS; Loading Solution) c) Aplicación de solución vitrificante en gotas (PVS2) a lámina de aluminio con meristemos apicales d) Termo con nitrógeno líquido e) Inmersión de lámina de aluminio a nitrógeno líquido f) Recuperación de meristemos apicales en solución de descarga o calentamiento (RS; Recovery Solution) g) Meristemos apicales cultivados en medio semisólido h) Meristemos post-crioconservados después de 30 días de incubación (parte superior derecha-acercamiento de meristemo apical recuperado).

Crioconservación de semillas

Algunas especies de *Agave* no producen hijuelos o bulbillos, por lo tanto, dependen de las semillas para su permanencia en el medio ambiente, este es el caso de *A. maximiliana*. Para mantener la estructura y dinámica de las poblaciones de este agave es imprescindible la utilización de semillas ya que su ausencia disminuye la variabilidad genética (Vázquez *et al.*, 2011; Vázquez-Pérez *et al.*, 2020). En algunos casos la disposición de este material biológico puede ser limitado. Aunque las plantas de *Agave* generan una gran cantidad de semillas (miles) en

su etapa reproductiva, son escasas las que germinan en vida silvestre debido a que las condiciones ambientales donde se desarrollan son bastante secas y la humedad disponible es factor determinante para su germinación (Nobel *et al.*, 1998; García-Mendoza, 2007; Delgado-Aceves, 2022). Además, *A. maximiliana* presenta semillas recalcitrantes, que quiere decir que van perdiendo su viabilidad a través del tiempo. Bioensayos realizados en el laboratorio de cultivos vegetales de CIATEJ con semillas de ciclos reproductivos colectadas en 2019, 2021, 2022 y 2023 en Mascota, Jalisco, demostraron esta recalcitrancia al observar menor porcentaje de germinación de semillas de los ciclos 2019 y 2021.

En lo que respecta a la importancia del estado de desarrollo de los embriones, generalmente existe una etapa de desarrollo óptima que conduce a una mayor supervivencia después de la crioconservación, lo cual requiere de una selección extenuante dentro del material disponible debidamente caracterizado. La crioconservación de semillas y embriones cigóticos es considerada como una alternativa para la preservación de *A. maximiliana*; no obstante, se debe sopesar las limitaciones biológicas y métodos para su manejo y conservación.

Recientemente se han evaluado técnicas para la conservación a largo plazo de semillas, como la inmersión directa de semillas en nitrógeno líquido para la crioconservación de este género. Partiendo de semilla botánica colectada de frutos maduros y sanos adquiridos en zonas silvestres de *A. maximiliana* se desarrolló un protocolo de conservación en nitrógeno líquido. El protocolo consta de los siguientes pasos:

1. Se obtienen semillas de frutos maduros y sanos de diversos ejemplares (Figura 34a).
2. Las semillas se colocan en cajas Petri abiertas, contra el flujo de aire de la cámara para seleccionar las semillas viables (negras).

3. Las semillas se colocan en viales de 3.6 ml (máximo 10 semillas) y se congelan por inmersión directa en un tanque de nitrógeno líquido. Dejar dentro del NL durante 30 min de almacenamiento (Figura 34b).
4. Los viales se sacan al cabo de 30 min del NL colocando las semillas en cajas Petri hasta la evaporación del NL.
5. Posteriormente las semillas se colocan en cajas Petri con papel absorbente húmedo en cámara de incubación (25 ± 2 °C) donde germinan produciendo plántulas normales y vigorosas (Figura 34c).
6. Por último, las plántulas se trasplantan en charolas con sustrato (*peatmoss*) bajo condiciones de invernadero (Figura 34d).

La respuesta después de la congelación de las semillas alcanzó del 95 al 100% de germinación.



Figura 34. Crioconservación de semillas: a) Fruto maduro cerrado b) Crio vial con semillas c) Caja Petri con semillas germinadas después de la inmersión en nitrógeno líquido d) Plántulas en cajas de siembra con sustrato (4 meses).

Vídeos de Consulta

Vídeo 4. Conservación *in situ* y *ex situ*



Únete a nosotros en un examen de las estrategias tanto *in situ* como *ex situ* para proteger la diversidad genética del agave. Desde la conservación en su entorno natural hasta la preservación en bancos de germoplasma, descubre cómo se están salvaguardando las variedades de agave para las generaciones futuras.



<https://youtu.be/geNboWx3uss>

Vídeos de Consulta

Vídeo 5. Crioconservación de meristemos de Agave



Adéntrate en la vanguardia de la conservación genética con la crioconservación de meristemos de agave. Explore cómo esta técnica innovadora está ayudando a preservar las especies y variedades de agave, para enfrentar los desafíos del cambio climático y la pérdida de hábitat.



<https://youtu.be/mOGps7YnkGQ>



Ruta de la Raicilla, Mascota, Jalisco
Fotografía: Santiago Corona Perez

RAICILLA: TRADICIÓN DESTILADA Y PROMESA PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES

Origen y elaboración de la raicilla

Durante mucho tiempo la raicilla fue producida y vendida de manera clandestina debido a la falta de regulación, estandarización en el proceso (por sus grados de alcohol) y a los efectos “alucinógenos” que provocaba este destilado, lo cual llevó a su estigmatización como una “bebida peligrosa” y de baja calidad. Con el objetivo de darle sustento, orden y sacar del estatus clandestino que tenía la actividad de elaboración y comercialización de la bebida Raicilla, por iniciativa del gobierno del estado de Jalisco en el año 2000 surge la formación del Consejo Mexicano Promotor de la Raicilla A. C.. que recibe la primera marca colectiva de alcoholes emitida por el IMPI a nivel nacional y que fue el soporte de protección para iniciar los trabajos que después de varios años -en el 2019- darían lugar a la declaratoria de Denominación de Origen “Raicilla” por el Gobierno Federal de México.

La raicilla emergió como un tesoro que encierra la riqueza de la herencia agavera. Su relación con la Denominación de Origen destaca la importancia de proteger la autenticidad y la tradición cultural en la producción de bebidas espirituosas. En los últimos años resurge el interés por este destilado, acompañado de fuertes esfuerzos para protegerlo y dar soporte al sector de la actividad primaria. En el 2023 se otorgó el reconocimiento de “Sistema Producto Nacional

Agave Raicilla” por autoridades federales e iniciativa del Consejo Mexicano Promotor de la Raicilla.

La raicilla comparte raíces con el mezcal, pero se distingue por sus métodos de producción únicos. *Agave maxilliana* es el protagonista en esta obra maestra, aportando sabores terrosos y matices botánicos que la caracterizan. El proceso de elaboración, arraigado en la tradición, implica la cocción del agave en hornos de tierra y la fermentación en tinas de madera, creando un destilado que captura la esencia misma de la tierra (Figura 35).

A continuación, se describe de forma general el proceso de elaboración de la raicilla, implicando seis etapas en el proceso.

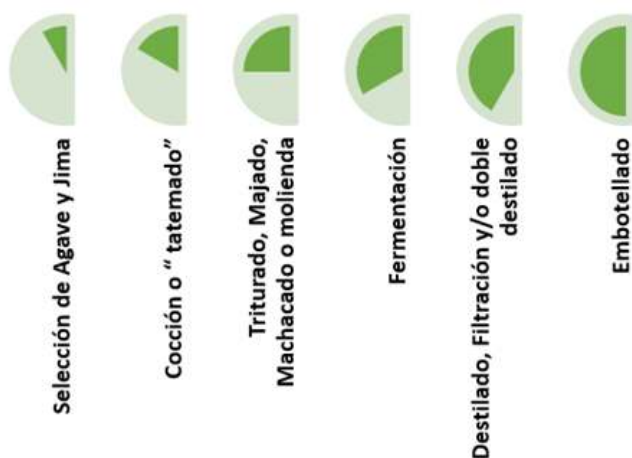


Figura 35. Proceso de elaboración de la "Raicilla"

Selección de agave y jima: la extracción de agaves para hacer raicilla comienza en diciembre y termina antes de la temporada de lluvias en junio o julio. Se cortan las hojas de los agaves con herramientas como la "coa" o el machete (jima). Las piñas pesan entre 50 y 90 kg, siendo las de 50-60 kg las más comunes. Las piñas de aproximadamente 60 kg se

cortan en trozos más pequeños con un hacha o la “tarecua” para facilitar su recolección y transporte (figura 36 a, c).

Cocción o “tatemado”: durante el cocimiento o tatemado los agaves se introducen en hornos, que suelen ser rectangulares o redondos. Estos hornos tienen dos orificios: uno en la parte frontal-baja para introducir la leña y sacar los agaves cocidos, y otro en la parte superior-trasera para introducir los agaves antes de calentar el horno.

- Se calienta el horno con leña durante 5-8 horas hasta alcanzar entre 900-1000 °C.
- Se tapa el orificio frontal-bajo con puertas de hierro, lozas de cemento o piedra, y se sella con lodo, cemento o barro.
- Se introducen los pedazos de “piñas” en el horno por el orificio superior-trasero hasta que el horno esté lleno.
- Se sella el orificio por el cual se introdujeron los agaves y se dejan entre 3 y 4 días dentro del horno hasta que estén cocidos (“tatemados”) (Figura 36b).

Triturado: en la etapa de triturado se utilizan diferentes técnicas mecánicas para machacar los agaves cocidos. Una forma es triturarlos en canoas de roble, que son troncos largos tallados (forma artesanal). Otra técnica es utilizar trituradoras o desgarradoras de acero inoxidable con motor a gasolina (forma industrial) (Figura 36d).

Fermentación: los restos de agave triturados se colocan en botes de plástico o barriles de roble. Algunos productores agregan agua de manantiales locales, hasta un 50% de la cantidad de agave y jugos obtenidos anteriormente. La fermentación dura entre 6 y 15 días, dependiendo de la temperatura. Para controlar la fermentación, los productores utilizan cuartos de fermentación hechos de ladrillo, concreto o madera, con pisos de tierra o cemento (Figura 36e).

Destilación: los productores utilizan el destilador árabe o alambique, que tiene un sistema de condensación externa. Los cocedores árabes son de acero inoxidable con un serpentín de cobre que también es calentado con leña, principalmente de roble. Después de la destilación, se obtienen tres productos: puntas (55-65° de alcohol), corazón (35-55° de alcohol) y colas (25-35° de alcohol). Cada producto se separa después de la destilación y las colas y las puntas suelen ser desechadas o refinadas mediante una segunda destilación. El producto resultante de la primera destilación se llama “ordinario” y tiene una graduación alcohólica de 40-45° (raicilla). Algunos productores realizan una segunda destilación para aumentar la graduación alcohólica y calidad del producto. El bagazo y vinazas (líquido turbio) restantes, son desechados (Huerta Galván, 2018) (Figura 36f, g).

Embotellado: El embotellado es la etapa final en la cual la raicilla se envasa para su distribución y consumo. Tradicionalmente, la raicilla se embotella en botellas de vidrio de diferentes tamaños y formas. Una vez que la raicilla ha sido destilada, se considera lista para ser embotellada. Este proceso puede realizarse de manera manual o con maquinaria especializada, dependiendo del volumen de producción y de los recursos disponibles en la destilería. Después de llenar las botellas, se les aplica la etiqueta correspondiente, la cual suele incluir información sobre el productor, el tipo de raicilla, el porcentaje de alcohol, el origen del agave, entre otros detalles. Antes de que las botellas sean distribuidas al mercado, es importante llevar a cabo un riguroso control de calidad para asegurar que el producto final cumpla con los estándares de la destilería. Esto puede implicar pruebas de sabor, aroma y contenido de alcohol, así como también inspecciones visuales para detectar posibles defectos en el embotellado. Una vez que las botellas han sido etiquetadas, selladas y aprobadas en el control de calidad, están listas para

ser distribuidas y comercializadas. La presentación final del producto es crucial para atraer a los consumidores, por lo que muchas destilerías de raicilla artesanal prestan especial atención al diseño de etiquetas y al embalaje (Figura 36h).



Figura 36. Elaboración de raicilla a) Jima del agave b) Precalentado de horno c) Trozos de piñas frescas de agave d) Piñas cocidas o tatemadas e) Fermentación de jugos y trituras de agave f) Destilación en alambique de acero inoxidable g) Destilado de agave (raicilla) h) Colecta de raicilla en bidones de plástico para su embotellado.

Denominación de Origen: preservando la tradición y la autenticidad

La Denominación de Origen, un sistema de regulación que establece la procedencia geográfica y las prácticas de producción específicas para proteger productos regionales, desempeña un papel crucial en la preservación de la raicilla. En 2019 este concepto alcanzó un hito significativo al reconocer y salvaguardar la autenticidad de este destilado. La designación de origen proporciona un marco legal que garantiza que la raicilla producida en ciertas regiones cumpla con estándares específicos, manteniendo así su carácter único y su conexión arraigada con la tierra y la cultura local (Figura 34). Esta regulación decreta 16 municipios del estado de Jalisco (Atengo, Atenguillo, Ayutla, Cabo Corrientes, Chiquilistlán, Cuautla, Guachinango, Juchitlán, Mascota, Mixtlán, Puerto Vallarta, San Sebastián del Oeste, Talpa de Allende, Tecolotlán, Tenamaxtlán y Tomatlán) y uno de Nayarit (Bahía de Banderas) (Diario Oficial de la Federación., 2019).

La obtención de la Denominación de Origen en 2019 no solo refleja el reconocimiento oficial de la raicilla como un tesoro cultural, sino que también influye en la industria. La designación aporta un valor añadido al destilado al resaltar su autenticidad y calidad, atrayendo a conocedores y aficionados por igual. Además, contribuye a la sostenibilidad al fomentar prácticas agrícolas y de producción responsables, promoviendo así la preservación del *A. maximiliana* (entre otras especies) y su entorno. Aunque la denominación de origen brinda protección y prestigio, también presenta desafíos. El equilibrio entre la regulación y la innovación es esencial para garantizar que la raicilla siga evolucionando sin perder sus raíces. Además, la conciencia sobre la importancia de la denominación de origen debe seguir creciendo para proteger la integridad del destilado y su conexión con las comunidades locales.



Figura 37. Placa de constancia de declaratoria de protección de la denominación de origen raicilla en el poblado de Cimarrón Chico de la Raicilla del municipio de Mascota, Jalisco.



Figura 38. Mapa destacando los municipios dentro de la denominación de origen

Situación actual

Según datos registrados del Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG), se presentan las preferencias y tendencias en la elección de especies de *Agave* spp. (Figura 39) por parte de empresas durante los años 2022 y la primera mitad de 2023 para la elaboración de la raicilla (Figura 40).

Preferencias de Cultivo de Agave

En 2022 el *Agave maximiliana* Baker fue la opción principal para el 82.4% de las empresas, mientras que el *Agave angustifolia* Haw fue la segunda opción con un 22.1%. En la primera mitad de 2023 hubo un cambio notable, con una disminución en el uso del *A. maximiliana* al 73.5%, pero un aumento significativo en la preferencia por el *Agave angustifolia* Haw, que alcanzó el 27.9% de elección.

Nuevas Incorporaciones

A partir de 2023 el *Agave rhodacantha* fue incorporado por un 4.4% de las empresas como una nueva opción de cultivo.

Elección Constante

Aunque el *A. maximiliana* experimentó una disminución en su elección, *Agave Inaequidens* Koch y *Agave valenciana* mantuvieron una constante preferencia por parte del 5.9% de las empresas.



Figura 39. Agaves endémicos de la región utilizados para hacer raicilla: a) *A. valenciana*, b) *A. inaequidens*, c) *A. angustifolia*.

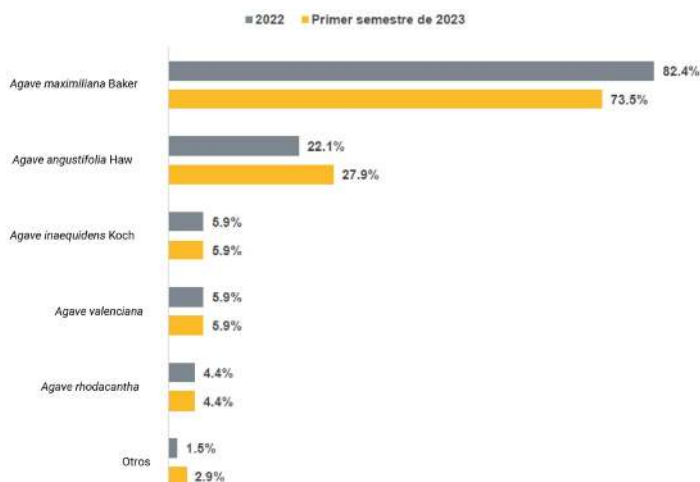


Figura 40. Porcentajes de empresas según tipo de agave plantado (2022 y primer semestre de 2023). **Fuente:** IIEG, Radiografía Estadística de la Industria de la Raicilla 2023. **Nota:** Pregunta exclusiva para empresas que realizan la actividad de agricultura. Los porcentajes no suman 100% debido a que se podían elegir varias respuestas. El total para cada periodo fue el número de empresas que plantaron al menos un tipo de agave durante dicho periodo.

En resumen, este análisis proporciona una visión detallada de cómo las preferencias en la elección de agaves para el cultivo han evolucionado durante este periodo, tanto en términos de especies de agaves como en la distribución geográfica de las plantaciones. Estos cambios podrían estar influenciados por diversos factores, como condiciones climáticas, demanda del mercado y estrategias comerciales de las empresas involucradas.

Producción

Dentro de la Radiografía de la raicilla, publicada por el IIEG en el 2023, se hizo una visión detallada de la producción de raicilla en ciertos municipios, incluyendo aspectos como la obtención de agave, variación de precios y prácticas de adquisición de producto terminado de diversas empresas de la región (Figura 41). De la cual se destacan ciertos puntos:

- El 40.5% de las empresas produce raicilla utilizando agave cultivado exclusivamente en sus propios terrenos. Otro 40.5% cultiva parte del agave en sus terrenos y adquiere otra parte y el 19.0% restante depende completamente de proveedores externos. Hubo cambios respecto al año anterior, con un aumento en empresas que combinan la compra y el cultivo de agave.
- El proceso de transformación del agave en raicilla se lleva a cabo en plantas de producción llamadas tabernas. Mixtlán lideró en la actividad de transformación, desplazando a Mascota del liderazgo del año anterior (2022).
- Un alto porcentaje (78.6%) de participantes incrementó los precios de sus productos en el primer semestre de 2023 debido al alza en el costo del agave. Hubo un aumento significativo en comparación con el 64.3% del año anterior. Un porcentaje menor (14.3%) no ajustó sus precios por esta razón, en comparación con el 31.0% en 2022.
- El 26.2% de las empresas admitió haber adquirido raicilla de otra compañía, además de su propia producción. La mayoría (71.4%) indicó no haberlo hecho, aunque este porcentaje disminuyó ligeramente respecto al año previo (68.6%).



Figura 41. Tabernas de exhibición y marcas de destiladores de Raicilla

Por último, se presenta información sobre la distribución de la superficie de hectáreas plantadas de agave en diferentes municipios durante los años 2022 y 2023.

Aunque Mascota continúa siendo el principal municipio en términos de superficie plantada de agave, su participación disminuyó del 45.6% en 2022 al 35.7% en 2023. Esta disminución indica que, aunque Mascota sigue siendo líder, ha experimentado una reducción en su proporción de la superficie plantada total. Mixtlán, se mantiene en la segunda posición, pero experimenta un aumento en su participación, pasando del 15.0% en 2022 al 23.1% en 2023. Esto indica un crecimiento significativo en la superficie plantada de agave en este municipio durante el período analizado. Por otro lado, Atenguillo conserva el tercer lugar y muestra un aumento en su porcentaje de participación, pasando del 7.8% en 2022 al 16.8% en 2023 y Guachinango asciende del sexto al cuarto lugar, aumentando su porcentaje de participación del 4.5% al 6.5%. Este aumento indica un crecimiento en la superficie plantada de agave en Guachinango, aunque su participación sigue siendo menor en comparación con otros municipios. Cabo Corrientes ocupa el quinto lugar en términos de participación en la superficie plantada de agave en 2023, con un porcentaje del 5.8%. Aunque no experimenta cambios significativos en su posición, aún contribuye de manera notable a la superficie total plantada de agave (Figura 42).

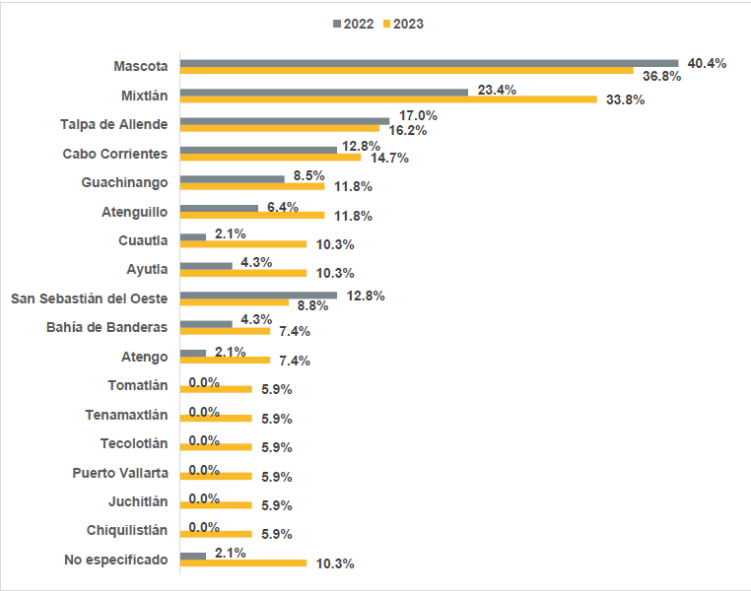


Figura 42. Porcentajes de hectáreas plantadas por municipio (2022-2023)
Fuente: IIEG, Radiografía Estadística de la Industria de la Raicilla. **Nota:** Pregunta exclusiva para empresas que realizan la actividad de agricultura

Vídeos de Consulta

Vídeo 6. Elaboración de la Raicilla: tradición destilada y promesa para pequeños productores



Sumérgete en una exploración sensorial del arte ancestral de la elaboración de Raicilla. Desde la selección del agave hasta la destilación, descubre cómo esta tradición arraigada no solo preserva el patrimonio cultural de la región, sino que también ofrece una promesa de sustento para los pequeños productores locales.



Escánea para ver el video

<https://youtu.be/7ocRnrV7nb8>

Vídeos de Consulta



Vídeo 7. Desde la semilla al campo: Germinación y manejo agronómico del *Agave maximiliana*

El Ing. Benito Salcedo Ríos, productor de raicilla nos comparte parte de su experiencia en el marco del Libro: Manejo agrobiotecnológico para la producción y conservación de *Agave maximiliana* Baker.

<https://youtu.be/qPYfIpezxWI>



Vídeo 8. Explorando la riqueza del *Agave maximiliana*: Una perspectiva desde el productor

El Ing. Benito Salcedo Ríos, productor de raicilla nos comparte parte de su experiencia en el marco del Libro: Manejo agrobiotecnológico para la producción y conservación de *Agave maximiliana* Baker.

<https://youtu.be/9eJIGwrEO9M>



Vídeo 9 El arte del proceso de producción de la raicilla

El Ing. Benito Salcedo Ríos, productor de raicilla nos comparte parte de su experiencia en el marco del Libro: Manejo agrobiotecnológico para la producción y conservación de *Agave maximiliana* Baker.

<https://youtu.be/fK9jwU7yp2o>



Vídeo 10. El *Agave maximiliana* a través de los ojos del agricultor: Generalidades y experiencias

El Ing. Benito Salcedo Ríos, productor de raicilla nos comparte parte de su experiencia en el marco del Libro: Manejo agrobiotecnológico para la producción y conservación de *Agave maximiliana* Baker.

https://youtu.be/fFLOy_yZspo



Vídeo 11 Productor de raicilla, Mascota Jalisco (Benito Salcedo)

El Ing. Benito Salcedo Ríos, productor de raicilla nos comparte parte de su experiencia en el marco del Libro: Manejo agrobiotecnológico para la producción y conservación de *Agave maximiliana* Baker.

<https://youtu.be/Q20dCZD2Wnk>



Vídeo 12. Experiencia de un productor en la elaboración de la raicilla

Manuel Salcedo productor de raicilla, nos comparte parte de su experiencia en el marco del Libro: Manejo agrobiotecnológico para la producción y conservación de *Agave maximiliana* Baker.

https://youtu.be/dDdJ3lFV3DU?si=RkZ0skmof6lw_Z54



Horno de cocimiento
Fotografía: Benito Salcedo

REFERENCIAS

- Álvarez, A & Köhler, E. (1987). Morfología del polen de las Agavaceae y algunos géneros afines. *Grana*, 26 (1), 25-46. <https://doi.10.1080/00173138709428902>
- Cabrera, D., Vargas, O., Ascencio, S., Valadez, L., Pérez, J., Morales, J., & Huerta, O. (2020). Morphological and genetic variation in monocultures, forestry systems and wild populations of *Agave maximiliana* of western Mexico: implications for its conservation. *Frontiers in plant science*, 11, 817. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00817>
- Casas, A., Otero-Arnaiz, E., Pérez-Negrón, E. & Valiente-Banuet, A. (2007). *In situ* management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*, 100(5), 1101-15. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm126>
- Castro-Concha, L., Loyola-Vargas, V.M., Chan, J.L. & Robert, M.L. (1990). Glutamate dehydrogenase activity in normal and vitrified plants of *Agave tequilana* Weber propagated *in vitro*. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 22, 147-151. <https://doi.org/10.1007/BF00043690>
- Chávez-Güitrón, L.E., Salinas-Pérez, F., Pérez-Salinas, E.A., Caballero, J., Vallejo-Zamora, A., & Sandoval-Zapotitla, E. (2019). Variación de caracteres epidérmico-foliares de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* (Asparagaceae) en el centro de México. *Botanical Sciences*, 97(4), 711-724. <https://doi.org/10.17129/botsci.2159>
- Coelho, N., Gonçalves, S. & Romano, A. (2020). Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches. *Plants*, 9(3), 345. <https://doi.org/10.3390/plants9030345>
- Colunga-GarcíaMarín, P. & Zizumbo-Villarreal, D. (2007). Tequila and other *Agave* spirits from west-central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin. *Biodiversity and Conservation*, 16, 1653-1667. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9031-z>

- Delgadillo Ruiz, L., Bañuelos-Valenzuela, R., Esparza-Ibarra, E.L., Gutiérrez-Bañuelos, H., Cabral-Arellano, F.J. & A. Muro Reyes, A. (2015). Evaluación del perfil de nutrientes de bagazo de agave como alternativa de alimento para rumiantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2099-2103. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.778>
- Delgado-Aceves, M.L. (2022). *Desarrollo de estrategias para el cultivo in vitro y crioconservación de especies de Agave (A. tequilana cultivar 'Chato', A. peacockii y A. cupreata)* [Tesis de Doctorado. Universidad de Guadalajara].
- Delgado-Aceves, M.L., González-Arno, M.T., Santacruz-Ruvalcaba, F., Folgado, R., & Portillo, L. (2021). Indirect Somatic Embryogenesis and Cryopreservation of *Agave tequilana* Weber Cultivar 'Chato'. *Plants*, 10(2), 249. <https://doi.org/10.3390/plants10020249>
- Delgado-Aceves, M.L., Portillo, L., Folgado, R., & González-Arno, M.T. (2023). Avances en la criobiotechnología de *Agave* spp. En R. Camacho, A. Gutiérrez & A. Gschaedler (coords.), *Los agaves y sus derivados. Tendencias científicas, uso sostenible y patrimonio* (pp.69-77). CONAH-CyT-CIATEJ. ISBN: 978-607-8734-56-6.
- Delgado-Aceves, M.L., Portillo, L., Folgado, R., Romo-Paz, F.J. & González-Arno, M.T. (2022). New approaches for micropropagation and cryopreservation of *Agave peacockii*, an endangered species. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 150, 85-95. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02246-z>
- DGSV-CNRF. (2020). *Gallinas Ciegas Phyllophaga spp. (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) y Cyclocephala spp. (Coleoptera: Melolonthidae: Dynastinae)*. SaderSenasica. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica. Tecámac, Estado de México, 21 p.

- Domínguez, R., Alpuche, S.A., Vasco, M.N., & Pérez, M.B. (2008). Efecto de citocininas en la propagación *in vitro* de Agaves mexicanos. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 31(4), 317-322.
- Domínguez-Domínguez, O. & Pérez-Ponce de León, G. (2009). Is the Mesa Central of Mexico a biogeographical province? Descriptive analysis based on freshwater biotic components. *Revista mexicana de biodiversidad*, 80(3), 835-852. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532009000300025&lng=en
- Enríquez-Vara, J.N. & Padilla, M. (2023). *Los escarabajos rinocerontes amenazan la raicilla de la Costa de Jalisco*. <https://ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Los-es-carabajos-rinocerontes-amenazan-la-raicilla-de-la-Costa-de-Jalisco/357> (revisado enero 2023)
- Enríquez-Vara, J.N. 2019. *Control Biológico de los Picudos del Agave y Cocotero*. <https://www.ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Control-Biologico-de-los-Picudos-del-Agave-y-Cocotero/136> (revisado enero 2023).
- Figuerola-Castro, P., López-Martínez, V., González-Hernández H., Jones R. W. & Zamora Gallegos, I. A. (2016). First report of *Peltophorus adustus* (Fall) (Coleoptera: Curculionidae: Baridinae) in Mexico, with two new host associations. *The Coleopterists Bulletin*, 70(3), 667-670.
- Flores, H., Chávez, A., Ruiz, J. & Rodríguez-Moreno, V. (2016). Efecto del cambio climático sobre las zonas de riesgo por marchitez en el *Agave tequilana* Weber variedad Azul en Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2497-2510.
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los Agaves de México. *Ciencias*, 87, 14-23.
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of Continental North America*. University of Arizona Press. (pp. 346-350).

- González, H., Solís A. J. C., Pacheco S. J. C., Flores M. J. C., Rubio C. R., & Rojas J. C. (2007b). Insectos barrenadores del agave tequilero, pp. 39-67. En: H. González Hernández, J. I. del Real Laborde, & J. F. Solís Aguilar [eds.], *Manejo de Plagas del Agave Tequilero*. Colegio de Postgraduados y Tequila Sauza, S.A. de C.V.
- González-Arnao, M. T., Banasiak, M., Snyman & Sershen, S. J. (2020). The Potential of Cryotherapy to Remove Sugarcane Mosaic Virus from Sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) Shoot Tips. *Cryo Letters*, 41(5), 267-271. PMID: 33988664.
- González-Elizondo, M., Galván-Villanueva, R., López-Enríquez, I., Reséndiz-Rojas L., & Gonzalez-Elizondo, S. (2009). *Agaves -magueyes, lechuguillas, y noas- del Estado de Durango y sus alrededores (Primera edición)*. Instituto Politécnico Nacional.
- González-Hernández, H., Figueroa-Castro, P., Rubio-Cortés, R., Jones, R. W. & Valdez-Carrasco, J. M. (2015). First report of *Peltophorus polymitus* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) on three species of *Agave* (Asparagaceae) in Mexico. *Acta Zoológica Mexicana*, 31(3), 473-476.
- Granara de Willink & González, P. (2018). Revisión taxonómica de *Pseudococcus* Westwood (Hemiptera: Pseudococcidae) de Centro y Sud América con descripciones de especies nuevas. *Insecta Mundi*, 673, 1-117.
- Hernández García, E., Uvalle J. X. B., Vélez G., Rubio R. C., Salamanca C., & del Real L. J. I. (2005). *Plagas y enfermedades del Agave tequilana Weber Var. Azul*. Consejo Regulador del Tequila, A. C.
- Hernández José, J., Hernández Domínguez, E. M., López Vázquez, E., & Álvarez Cervantes, J. (2023). Aislamiento e identificación del fitopatógeno causal de viruela o “negrilla” en *Agave salmiana* de municipios del estado de

- Hidalgo, México. *Scientia Fungorum*, 53, e1425. <https://doi.org/10.33885/sf.2022.53.1425>
- Huerta-Galván, O.F. (2018). *Uso y manejo de Agave maximiliana: producción de Raicilla en el municipio de Mascota, Jalisco*. BSc [Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara].
- Ibarra-López, M.C. (2012). *Comparación de la dieta de dos comunidades de murciélagos nectarívoros: implicaciones ecológicas* [Tesis de Licenciatura Universidad de Guadalajara].
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2022). *Radiografía Estadística de la Industria de la Raicilla*. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/11/Radiograf%C3%ADa-Estad%C3%ADstica-de-la-Industria-de-la-Raicilla-2022.pdf>.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2023). *Radiografía Estadística de la Industria de la Raicilla*. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2023/10/Radiografia-Estadistica-de-la-Industria-de-la-Raicilla-2023-20231031.pdf>
- Larry, G.B. (s.f). *Acanthoderes funeraria* Bates. Institution: LGBC Larry G. Bezark Collection, Sacramento, California, USA Collection Location: 14 mi E Tuxpan, Michoacan, Mexico. <http://bezbycids.com/byciddb/wdetails.asp?id=10164&w=n>
- Luna-Alejandro, G. (2020). *Entomofauna asociada a cultivos de agaves en el estado de guerrero*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chapingo].
- Morrone, J. (2005). Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 76(2), 207-252. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532005000200006&lng=es&tlng=es
- Murashige T. & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiology Plantarum*, 15, 473-479.

- Nobel, P., Castañeda, SM., North, G., Pimienta-Barrios, E., & Ruiz-Corral, A. (1998). Temperature influences on leaf CO₂ exchange, cell viability and cultivation range for *Agave tequilana*. *Journal of Arid Environments*, 39(1), 1-9. <https://doi.org/10.1006/jare.1998.0374>
- Ortega-García, S. & Saldaña-Vázquez, R. (2021). *Síntesis del conocimiento de la dieta vegetal de los murciélagos nectarívoros de México (Phyllostomidae:Glossophaginae)*. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.2112>
- Pérez Ramos, A., Rodríguez Ortega, A., Nieto Aquino, J.C., Callejas Hernández, J. & Portillo-Márquez, L. (2017). *Comparación de dos sistemas de siembra Agave salmiana*. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. ISBN: 978-607-9260-16-3.
- Phillips, G.C. & Collins, G.B. (1979). *In vitro* tissue culture of selected legumes and plant regeneration from callus cultures of red clover. *Crop Science*, 19, 59-64.
- Reyes-Castro, S., Valencia-Posadas, M., Gutiérrez-Arenas, DA., Ruiz-Aguilar, GMD. la L., Gutiérrez-Chávez, A. J., Isidró-Pérez, M. F., & Núñez-Palenius, H.G. (2022). Uso del ensilado de *Agave tequilana* weber cv. azul en la alimentación de ovinos en crecimiento / Use of silage of *Agave tequilana* weber cv. blue in the feeding of growing lamb. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(2), 2137–2148. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n2-053>
- Riojas-López. M. (2019). *El Magüey y sus visitantes florales, una planta originaria de América*. FODECIJAL.
- Rodríguez-Garay, B., López-Díaz, S., Rodríguez-Domínguez, J.M., Gutiérrez-Mora, A., & Tapia-Campos, E. (2018). Application of *in Casa* Pollination and Embryo Rescue Techniques for Breeding of *Agave* Species. En Loyola-Vargas, V., Ochoa-Alejo, N. (eds) *Plant Cell Culture Protocols. Methods in Molecular Biology, vol 1815*. Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8594-4_20

- Ruvalcaba-Ruiz, D. & Rodríguez-Garay, B. (2002). Aberrant meiotic behavior in *Agave tequilana* Weber var. azul. *BMC plant biology*, 2, 10. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-2-10>
- Sakai, A., Kobayashi, S. & Oiyama, I. (1990). Cryopreservation of nucellar cells of navel orange (*Citrus sinensis* Osb. var. *brasiliensis* Tanaka) by vitrification. *Plant Cell Report*, 9, 30-33.
- Salas-Araiza, M.D., Parra-Negrete, L.A., & Salazar-Solís, E. (2004) Insectos asociados a agaves (agaveceae) en el Estado de Guanajuato. En A. Morales, M. Ibarra M., A.P. Rivera, G., S. Stanford-Camargo (eds.), *Entomología Mexicana vol 3* (pp. 199- 203). Publicación especial. Sociedad Mexicana de Entomología. Texcoco.
- Salazar-Rivera, G.I., Bolom-Huetar, R. & Enríquez-Vara, J.N. (2024). Picudo pinto (insecto plaga): historia natural y perspectivas de la distribución potencial en regiones de México. *Horizontes Transdisciplinarios*, 2024, 2(1), 89-100.
- Secretaría de Economía. (2019). *Declaración General de Protección de la Denominación de Origen Raicilla*. Diario Oficial de la Federación https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5564454&fecha=28/06/2019&print=true (consultado septiembre 2023)
- Torres, I., Casas, A., Vega, E., Martínez-Ramos, M. & Delgado-Lemus, A. (2015). Population dynamics and sustainable management of mescal Agaves in central Mexico: *Agave potatorum* in the Tehuacán Cuicatlán valley. *Economic Botany*, 69, 26-41. <http://dx.doi.org/10.1007/s12231-014-9295-2>
- Torres-García, I., García-Mendoza, A.J. & Casas, A. (2019). *Agave valenciana*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T115698769A116354608*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T115698769A116354608>.

- Torres-García, I., Rendón-Sandoval, F. J., Blancas, J. & Moreno-Calles, A. I. (2019). The genus *Agave* in agroforestry systems of Mexico. *Botanical Sciences*, 97(3), 263-290. <https://doi.org/10.17129/botsci.2202>
- Torres-García, I., Rendón-Sandoval, F. J., Blancas, J., & Moreno-Calles, A. I. (2019). The genus *Agave* in agroforestry systems of Mexico. *Botanical Sciences*, 97(3), 263-290. <https://doi.org/10.17129/botsci.2202>
- Vázquez, E., García, J.R., Peña, C.B., Ramírez, H.M. & Morales, V. (2011). Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista fitotecnica mexicana*, 34(3), 167-173.
- Vázquez-Pérez, N., Blancas, J., Torres-García, I., García-Mendoza, A., Casas, A., Moreno Calles, A.I., Maldonado-Almanza, B. & Rendón-Aguilar, B. (2020). Conocimiento y manejo tradicional de *Agave karwinskii* en el sur de México. *Botanical Sciences*, 98(2), 328-347. <https://doi.org/10.17129/botsci.2421>
- Venegas-Rico, J. (2017). *Acutaspis agavis* escama armada del agave. *Arthropoda Mexicana*. <https://arthropoda-mexicana.blogspot.com/2017/02/acutasps-agavis-escama-armada-del-agave.html>
- Zizumbo-Villarreal, D., González-Zozaya, F., Olay-Barrientos, A., Platas-Ruiz, R., Cuevas-Sagardí, M., Almen-dros-López, L. & Colung-GarcíaMarín, P. (2010). Importancia cultural precolombina del *Agave* spp. en el valle de Colima. *Arqueología*, 44, 179–195. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/arqueologia/article/view/3477>
- Zizumbo-Villarreal, D., Vargas-Ponce, O., Rosales-Adame, J. & Colunga-GarcíaMarín, P. (2013). Sustainability of the traditional management of *Agave* genetic resources in the elaboration of mescal and tequila spirits in western Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60, 33-47. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9812-z>

ANEXOS

Fosfatos super básicos (PBS) 10 X

800 mL de agua desionizada estéril

5.68 g de Na_2HPO_4 (80 mM)

0.90 g de KH_2PO_4 (15 mM)

38 g de NaCl (1.3 mM)

0.84 g de KCl (30 mM)

Disolver por agitación a temperatura ambiente

Ajustar pH 7.2 y aforar a 1000 mL

Preparación de medio

MS (Murashige y Skoog, 1962)

Sales de MS

Vitaminas L2 (Phillips y Collins, 1979)

3 % de sacarosa

8 g·L⁻¹ de Phytigel® (Sigma P-8169)

MS modificado

Sales de MS- NH_4NO_3 reducido a 5 mM (Castro-Concha et al., 1990)

Vitaminas L2 (Phillips y Collins, 1979)

3 % de sacarosa

8 g·L⁻¹ de Phytigel® (Sigma P-8169)

Solución vitricante (PVS2)

Sales de MS basal suplementada con 30 % de glicerol + 15 % de etilenglicol + 15 % DMSO

en medio de cultivo con 0.4 M de sacarosa, pH 5,8. (Sakai, et al. 1990)

Solución de carga

Sales de MS basal suplementada con sacarosa 0,4 M y glicerol 1,6 M, pH 5,8.

Solución de recuperación

Sales de MS basal suplementada con sacarosa 1,2 M, pH 5,8.

Caldo sulfocálcico

El caldo sulfocálcico es una mezcla utilizada en la agricultura para proteger las plantas contra diversas enfermedades fúngicas y bacterianas.

Ingredientes:

1 kg de cal viva (óxido de calcio)

1 kg de azufre en polvo

10 litros de agua

Instrucciones:

- Preparación de la suspensión de cal: llenar un recipiente grande con aproximadamente 5 litros de agua. Agregar lentamente el kilogramo de cal viva, revolviendo constantemente con un palo o una paleta de madera. Tener cuidado, ya que esta mezcla generará calor y vapores. Realizar esta operación en un área bien ventilada y usar equipo de protección personal, como gafas y guantes.
- Dejar reposar la suspensión de cal: después de que se agrega toda la cal, se deja reposar la suspensión durante al menos 12 horas. Durante este tiempo, la cal se hidratará y formará una solución lechosa. Esta es una etapa crítica, ya que la suspensión de cal debe decantarse correctamente antes de continuar con la preparación del caldo sulfocálcico.

- Preparación de la solución de azufre: en otro recipiente grande, disolver el kilogramo de azufre en polvo en aproximadamente 2 litros de agua caliente. Se puede usar un agitador para asegurarse de que el azufre se disuelva completamente.
- Mezcla de la solución de cal y azufre: una vez que la suspensión de cal haya reposado durante al menos 12 horas, se procede a agregar la solución de azufre disuelto a la suspensión de cal. Se vierte la solución de azufre gradualmente en la suspensión de cal mientras se revuelve constantemente para asegurar una mezcla homogénea.
- Dilución final: después de mezclar el azufre y la cal, se agrega agua suficiente para alcanzar un volumen total de 10 litros. Se continúa revolviendo para asegurar una distribución uniforme de los ingredientes.
- Filtrado (opcional): filtrar el caldo sulfocálcico para eliminar cualquier residuo grueso que pueda obstruir las boquillas de pulverización. Se puede utilizar un tamiz de malla fina o un paño de algodón para este propósito.
- Aplicación: el caldo sulfocálcico está listo para su uso. se aplica en las plantas utilizando un pulverizador manual o una máquina pulverizadora. Es importante seguir las indicaciones de aplicación recomendadas para evitar daños a las plantas y maximizar la eficacia del tratamiento.

*El caldo sulfocálcico es un producto químico y debe manipularse con precaución. Se recomienda consultar las regulaciones locales sobre el uso de este tipo de productos en la agricultura.

Caldo bordelés

El caldo bordelés es un fungicida y bactericida ampliamente utilizado en la agricultura para controlar diversas enfermedades de las plantas, especialmente aquellas causadas por hongos y bacterias.

Ingredientes:

50 gramos de sulfato de cobre (CuSO_4)
50 gramos de cal viva (óxido de calcio, CaO)
10 litros de agua

Instrucciones:

- Disolución del sulfato de cobre: llenar un recipiente con aproximadamente 2 litros de agua. Agregar los 50 gramos de sulfato de cobre al agua y mezcla hasta disolver por completo. Es importante que el sulfato de cobre se disuelva completamente para evitar la formación de grumos en la mezcla final.
- Preparación de la lechada de cal: en otro recipiente, agregar la cal viva a aproximadamente 2 litros de agua. La cal viva reaccionará con el agua para formar una lechada de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Esta reacción puede ser exotérmica, por lo que se debe tener cuidado. Posteriormente agregar la cal al agua lentamente y en pequeñas cantidades mientras mezclas.
- Dejar reposar la lechada de cal durante al menos 12 horas. Esta etapa es crucial para permitir que se complete la reacción y para que la lechada de cal alcance su pH máximo.
- Mezcla final: pasadas las 12 horas, añadir la lechada de cal a la disolución de sulfato de cobre. Asegurarse de

mezclar bien ambos componentes para obtener una mezcla homogénea.

- Dilución: verter la mezcla en un tanque o recipiente grande y añadir agua hasta alcanzar un volumen total de 10 litros.
- Mezclar nuevamente para asegurar una distribución uniforme de los ingredientes.

*Usar guantes y gafas de protección al manipular los ingredientes químicos.

Caldo de cenizas

El caldo de cenizas es una preparación orgánica que se utiliza en la agricultura como fuente de potasio y otros nutrientes para las plantas. Aquí tienes una receta básica para prepararlo:

Ingredientes:

Cenizas de madera limpia y seca (preferiblemente de árboles de hoja caduca como el roble, el haya o el fresno)

Agua

Instrucciones:

- Recopilación de cenizas: recolectar las cenizas de madera limpia y seca. Se pueden obtener quemando madera en un fuego controlado al aire libre o utilizando una estufa de leña. Es importante asegurarse de que las cenizas provengan de materiales naturales y no contengan sustancias tóxicas o contaminantes.
- Tamizado (opcional): si las cenizas contienen trozos grandes de carbón o material no quemado, tamizar

para obtener una consistencia más fina. Esto facilitará la mezcla con agua y la aplicación en el campo.

- Mezclar con agua: agregar las cenizas tamizadas a un recipiente grande y luego añadir agua lentamente revolviendo constantemente. La proporción típica es de aproximadamente 1 parte de cenizas por 10 partes de agua, pero esta proporción puede variar según la concentración deseada y las necesidades específicas de las plantas y el suelo.
- Dejar reposar la mezcla: una vez que se haya agregado suficiente agua, dejar reposar la mezcla durante al menos 24 horas. Durante este tiempo, las cenizas liberarán los nutrientes solubles en el agua, creando un caldo nutritivo para la planta.
- Filtrado (opcional): se puede filtrar el caldo de cenizas para eliminar cualquier residuo grueso que pueda obstruir las boquillas de pulverización. Usar un tamiz de malla fina o un paño de algodón para este propósito.
- Aplicación: el caldo de cenizas está listo para su uso. Aplicarlo directamente al suelo alrededor de las plantas como fertilizante líquido o pulverizarlo sobre las hojas como un foliar. Es importante diluirlo adecuadamente si se va a aplicar directamente sobre las plantas para evitar quemaduras.

*El caldo de cenizas es una fuente de potasio y otros nutrientes, pero no es un fertilizante completo. Es recomendable complementarlo con otros nutrientes según las necesidades específicas del cultivo y condición del suelo.

MANEJO AGROBIOTECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE *Agave maximiliana Baker*.

María de Lourdes Delgado Aceves, Antonia Gutiérrez Mora,
Benito Salcedo Ríos & Santiago Corona Perez (coordinadores) se terminó de
imprimir en julio de 2024 en los talleres de Acento Editores Calle Fray Juan
de Zumárraga 349, 44500 Guadalajara, Jalisco

La edición estuvo a cargo del Consejo Editorial del CIATEJ y los
coordinadores.

El tiraje fue de 200 ejemplares