

Guía para la selección de Agaves y producción en California



Davis, California, Estados Unidos. Agosto 2023





Cita Recomendada

Fernández Galicia¹, Y.V., Sandoval Solís^{2,3}, S., Rendón Herrera^{2†}, G., Ortíz Partida⁴, J.P., DeVincentis², A.J., and Jackson, L. (2023). Guía para la selección de Agaves y producción en California. University of California, Davis. Davis, CA., April 2023.

¹Universidad Autónoma Chapingo, ²University of California, Davis, ³University of California, Agriculture and Natural Resources, ⁴Union of Concern Scientist, † Illustration and design of this guidelines.

Partial funding for this document was provide by: Universidad Autónoma Chapingo, UC Davis Robert M. Hagan Endowment, California Institute of Water Resources / UCANR

Información de contacto

Ph.D. Candidate. Yessica Viridiana Fernández, Universidad Autónoma Chapingo
y.fernandez@ciestaam.edu.mx

Dr. Samuel Sandoval Solís, University of California, Davis. UC Agriculture and Natural Resources
samsandoval@ucdavis.edu

Agradecimientos

Ofelia Lichtenheld, Joe Muller, Omar Rodríguez, Victor Hernández, Martin Guerena, Carlos Suarez, Erik Porse, Tomas Muller, Raúl Chavez, Katie Herzog

Contenido

¿Por qué agave?

Acerca de la Guía

¿Qué condiciones se deben considerar para un cultivo de agave resistente al cambio climático?

¿Cuáles son las especies utilizadas para producir bebidas destiladas de agave?

¿Cuáles son los aspectos a considerar para la selección de la especie(s) de agave?

¿Cuál es la principal diferencia en la elaboración de productos destilados de agave?

¿Qué otros productos se pueden obtener del agave?

¿Por qué prácticas agroecológicas?

¿Cuál es el proceso de producción agrícola y que productos se obtienen?

- Tequila
- Mezcal
- Aguardiente, Pulque, Comiteco
- Bacanora
- Raicilla

¿Cuáles son las especies más representativas para la producción de destilados de agave?

¿Cuáles son los intervalos de temperatura óptimos, subóptimos y marginales para *Agave tequilana* Weber?

¿Cuáles son las plagas que debo conocer?

¿Cuáles son los residuos de los destilados de agave?

¿Cómo puedo aprovechar los subproductos de la destilación?

References





¿Por que Agave?

El agave es un cultivo que forma parte de las culturas prehispánicas desde hace milenios. Las civilizaciones indígenas (por ejemplo, los aztecas) plantaron y cultivaron agave para bebidas fermentadas, así como con fines medicinales y nutricionales¹. Las plantas de agave son súper plantas: se adaptan y resisten diversas condiciones ambientales² el metabolismo CAM les permite minimizar la pérdida de agua y pueden acumular agua en su organismo, lo que las hace tolerantes a la sequía y viables para condiciones de cultivo de secano³.

El panorama ambiental y regulatorio en California⁴ justifica la exploración de cultivos que sean resistentes frente al cambio climático y a las condiciones de sequía asociadas, así como a la variabilidad climática y la escasez de suministro de agua⁵. El agave es un candidato adecuado para un cultivo que puede ser financieramente viable⁶ ambientalmente resistente y culturalmente apropiado⁷. Existe la necesidad de brindar información relacionada con la factibilidad de la producción de agave en el estado de California.

Acerca de la guía

El objetivo principal de esta guía es brindar información de fácil acceso para la gente en general y los agricultores interesados en la producción de agave o que actualmente están produciendo agave en California. Además, esta guía presenta especies poco comunes de Agave además de las especies más conocidas. Esta guía describe:

La resistencia del cultivo de Agave a las condiciones ambientales que se prevé que empeoren con los cambios climáticos, que incluyen:

- El rango de temperatura al que diferentes especies de Agave están adaptadas.
- La vulnerabilidad del agave a las olas de calor que pueden estresar a las plantas y afectar su rendimiento.
- La vulnerabilidad del agave a las heladas que pueden afectar severamente (y potencialmente destruir) su cultivo.
- Nivel de resiliencia a plagas y enfermedades.

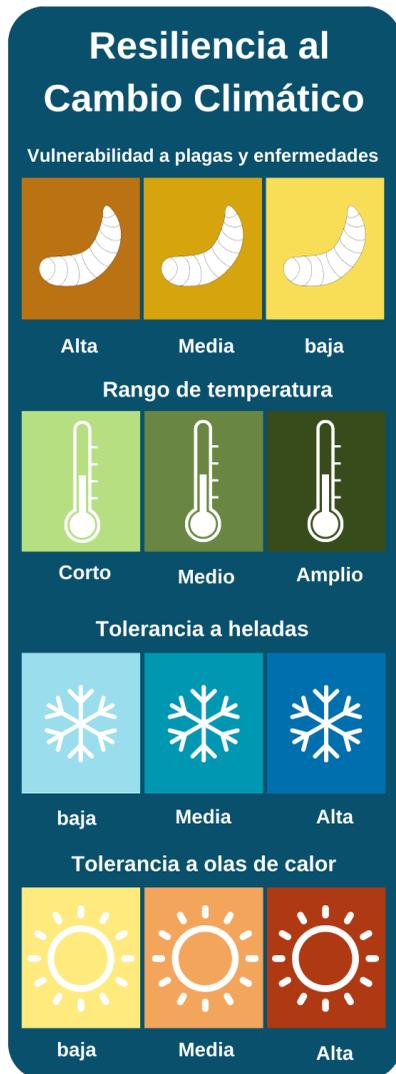
Se proporciona una infografía que relaciona los destilados de agave y las variedades de Agave, para que los agricultores actuales y futuros puedan decidir el tipo de especie de agave teniendo en cuenta sus objetivos de producción. Además, muestra las condiciones climáticas y de plagas antes mencionadas para una producción resiliente al clima. Específicamente, se provee los rangos de temperatura para diferentes especies de agave, incluyendo la especie *Agave tequilana* Weber la cual es una variedad muy sensible a las heladas y altas temperaturas

Finalmente, la guía describe las principales prácticas agronómicas y los productos que pueden ser comercializados. Se presenta una descripción de las plagas más comunes. La guía describe los residuos de la destilación de agave y como se pueden reutilizar.

¿Qué condiciones se deben considerar para un cultivo de agave resistente al cambio climático?

Resiliencia al Cambio Climático

Hay diferentes variables climáticas y ambientales a considerar al decidir qué especies de agave cultivar. El cambio climático ya está afectando la producción agrícola en California y es una variable importante para considerar debido a la gran variabilidad estacional e interanual de la temperatura, las precipitaciones y la disponibilidad de agua. Esta sección identifica cuatro variables principales a considerar al seleccionar una especie de agave para un cultivo resistente al clima y a las plagas.



La resiliencia al cambio climático aumenta de izquierda a derecha

Vulnerabilidad a plagas y enfermedades

Como cualquier cultivo, las plantas de agave son vulnerables a plagas y enfermedades (como insectos barrenadores, *Scyphophorus* spp.⁸, *Erwinia carotovora*⁹, *Asterina mexicana*¹⁰, *Fusarium oxysporum* and *Alternaria* spp.¹¹, *Pectobacterium carotovora*¹²). Hay ciertas especies de agave que son más vulnerables a las plagas atribuidas al manejo intensivo de monocultivos, uso de herbicidas¹³ y exceso de agua. Cabe mencionar que el *Agave tequilana* Weber es la especie con mayor incidencia de plagas y enfermedades. Por lo tanto, es importante considerar esta variable como un factor para seleccionar una especie de agave para sembrar.

Rango de temperatura

El agave se adapta a diferentes temperaturas. Sin embargo, es importante considerar que las temperaturas generales están aumentando debido al cambio climático. Las regiones cálidas se volverán más cálidas, por lo que la selección de especies requiere considerar las temperaturas actuales, así como las condiciones futuras¹⁵.

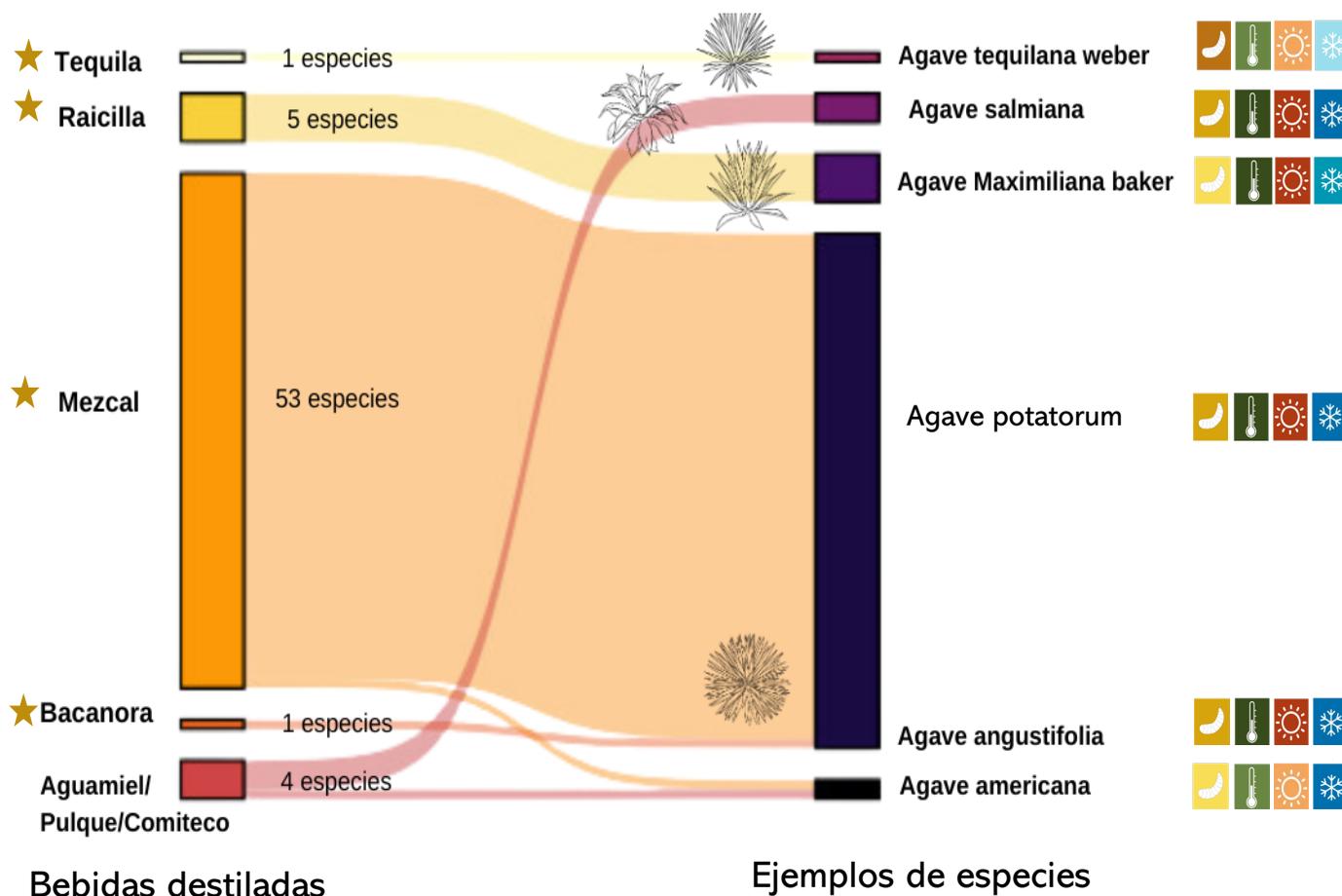
Tolerancia a heladas

La tolerancia a heladas es quizás la variable más importante para considerar al seleccionar una especie¹⁶ de agave en California, para evitar daños severos. Por ejemplo, *Agave tequilana* Weber tiene una baja tolerancia al descenso de temperatura y una limitada capacidad de adaptación. En 1997, se perdieron plantaciones enteras de *Agave tequilana* Weber debido a heladas en México¹⁸ y es una variable clave para el Consejo Regulador del Tequila en México. Se pueden perder años de inversión si no se considera cuidadosamente la tolerancia a las heladas de la especie¹⁹. El clima de California es cada vez más caliente de una manera que reduce el riesgo de heladas; sin embargo, el cambio climático tiene impactos negativos netos generales en la agricultura de California.

Tolerancia a las altas temperaturas

La tolerancia al calor es otro factor crítico para considerar. El clima de California está cambiando de tal manera que las altas temperaturas son más frecuentes y severas. Si bien las especies de agave se adaptan naturalmente a las altas temperaturas, es importante seleccionar especies de agave que puedan tolerar las altas temperaturas actuales y futuras¹⁹.

¿Cuáles son las especies utilizadas para producir bebidas destiladas de agave?



★ Estas bebidas destiladas tienen *Denominación de Origen*, por lo que en California deberán llamarse *Agave Spirits*.

¿Cuáles son los aspectos a considerar para la selección de la especie(s) de Agave?

Hay diferentes aspectos a considerar al seleccionar una especie de agave para la producción agrícola.

El cambio climático y la resistencia a las plagas deben tenerse en cuenta al decidir qué especies de agave sembrar. Si bien los productores pueden considerar una especie por el reconocimiento del destilado de agave asociado, lo que realmente hay que considerar son las condiciones climáticas del lugar donde se plantará, y disminuir el riesgo de pérdida del cultivo¹⁹.

Es una buena práctica considerar plantar diferentes especies de agave, o en sistemas agroecológicos²¹; no solo por la biodiversidad del ecosistema, sino también porque dependiendo de la especie se puede tener diferentes niveles de adaptabilidad.

Se pueden sembrar cuatro especies de agave para producir ensambles de destilados de agave, si una especie no tiene el desarrollo esperado, hay otras tres que pueden sustentar el cultivo.

¿Cuál es la principal diferencia en la elaboración de productos destilados de agave?

En general, las especies de agave siguen un proceso de producción similar hasta la cosecha. Hay dos principales productos destilados de agave:

Las que provienen de la cocción de la piña: Tequila, Mezcal, Raicilla, Bacanora. La producción de estos destilados tiene cinco pasos principales^{21, 22}:

- 1) Selección de los agaves listos para ser cosechados
- 2) Corte de la inflorescencia o quiote (capado)
- 3) Cosecha del corazón del agave (llamada piña) se produce mediante la poda (jima) de las pencas dejando solo el corazón (proceso llamado jimado). Las piñas se llevan a las destilerías (llamadas palenques o vinatas).
- 4) En las destilerías, las piñas son cocidas en hornos.
- 5) Las piñas cocidas son molidas para extraer los jugos.
- 6) Se fermentan los jugos de agave y se agregan levaduras. La fermentación puede tardar hasta 7 días.
- 7) El jugo fermentado se destila y comienza el proceso de maduración.

Las que provienen de la fermentación del aguamiel como: destilados de aguamiel y el Comiteco. Este tipo de producción de destilado tiene cinco pasos principales^{23, 24}:

- 1) Selección de los agaves listos para ser cosechados
- 2) Corte de la inflorescencia o quiote (capado)
- 3) Se perfora una cavidad en el corazón del agave (llamada piña)
- 4) Todos los días se raspa la piña (llamada raspado) para que exuda aguamiel (savia de la planta). El proceso de raspado y recolección del aguamiel se realiza todos los días por la mañana y por la noche. La colecta diaria de aguamiel puede darse hasta por seis meses.
- 5) El Aguamiel se deja en tinas de fermentación con sus bacterias naturales hasta 5 días.
- 6) El aguamiel fermentado (llamado pulque) se destila.

Los destilados obtenidos de la cocción de la piña tienen notas ligeramente ahumadas. Su proceso de producción es más intensivo en mano de obra, requiere más recursos y es generalmente más caro que el proceso de producción de los productos de la fermentación del aguamiel²⁵. Además, con una gestión correcta, la fermentación del aguamiel produce más biomasa y subproductos por acre²⁶. Aunque la mayor parte de la producción actual de destilados corresponde al tipo de cocción de la piña, es conveniente destacar el proceso de fermentación del aguamiel como una oportunidad de producción en California.

¿Qué otros productos se pueden obtener del agave?

Aunque este manual se centra en la selección de agave(s) para las bebidas destiladas, hay otros productos que se pueden obtener de los agaves. Así, es posible tener un manejo integrado de los cultivos de agave, que aproveche todas las partes de la planta. La inulina²⁷ prebiótico que favorece el crecimiento saludable de las bacterias intestinales, se obtiene de las hojas (pencas), corazón (piña) y residuos de la molienda del proceso de la piña (gabazo). El jarabe de agave es un edulcorante natural que se obtiene de las piñas y el aguamiel²⁸. Las hojas del agave (pencas) pueden utilizarse como alimento para animales, obtenidas de las podas anuales. De las pencas se obtienen fibras textiles naturales, fibra I para prendas de vestir. Biodiesel²⁹ obtenido del aguamiel y de los jugos de las piñas cocidas. Condimentos obtenidos de las pencas como saborizantes de comidas tradicionales (por ejemplo, mixiotes).

¿Por qué prácticas agroecológicas?

En México, la producción intensiva de agave utiliza prácticas agronómicas convencionales que han degradado el medio ambiente, con el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos, la falta de prácticas de cultivo de cobertura y el monocultivo de especies de agave. Se ha documentado que este tipo de producción convencional degrada los suelos, disminuye las bacterias del suelo, el monocultivo de especies de agave las hace más susceptibles a plagas³⁰ y el agave ha perdido su adaptación natural a las condiciones climáticas³¹. Los beneficios ambientales del secuestro de carbono y la mejora de la salud del suelo a partir de la producción de agave se pierden cuando se implementan prácticas convencionales. Las prácticas convencionales también pueden hacer que el cultivo sea menos resistente al cambio climático y afectar la salud de los trabajadores agrícolas.

En contraste, las prácticas agroecológicas han demostrado ser efectivas en la producción de agave³². Estas prácticas incluyen el uso de estiércol, cultivos de cobertura, la siembra de diferentes especies de agave, el uso de controles biológicos para plagas y la promoción de la fauna benéfica a través de setos vivos. Las prácticas agroecológicas pueden brindar beneficios económicos y ambientales en términos de secuestro de carbono³³, el cultivo es resistente al cambio climático y los trabajadores agrícolas no están expuestos a fertilizantes y pesticidas sintéticos.



Agroecological

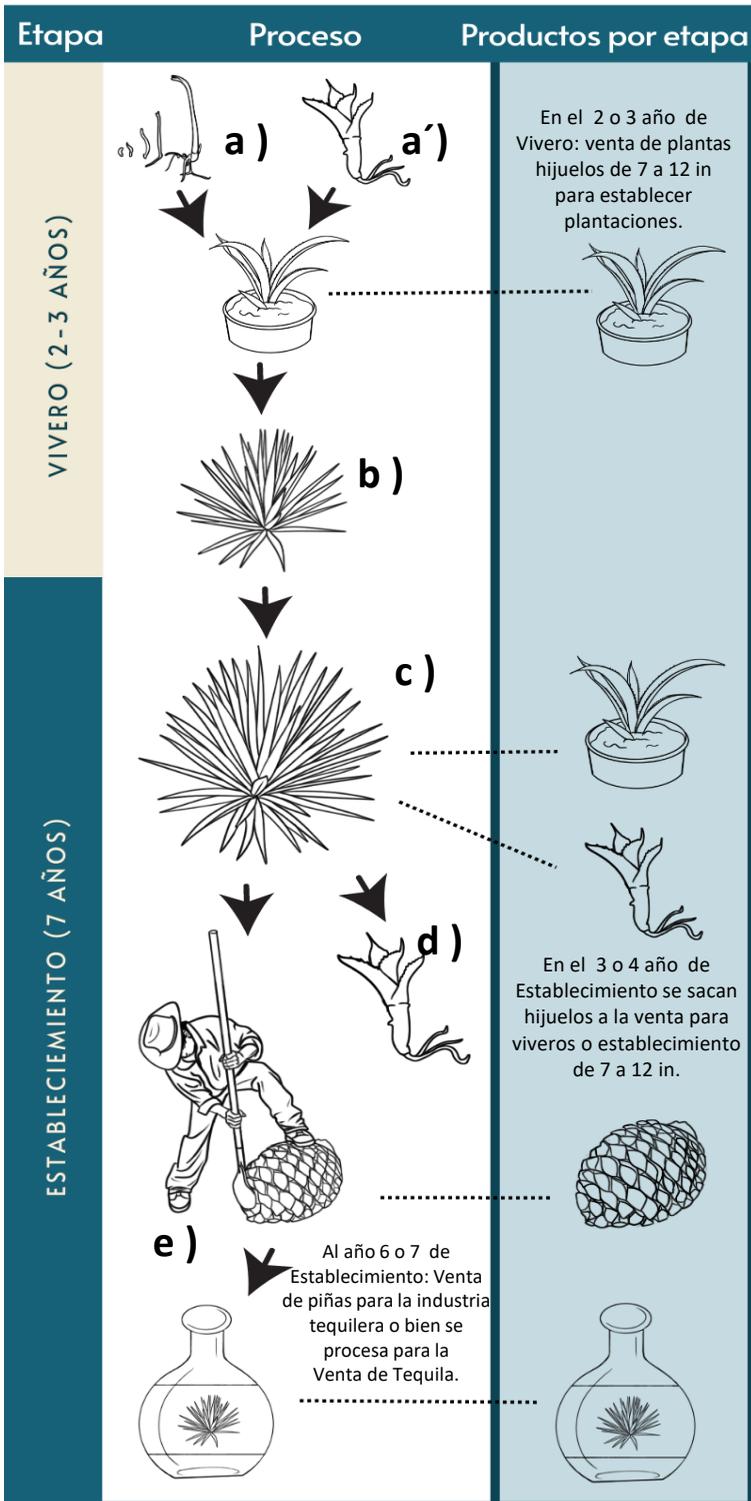


Conventional

★Tequila

Agave azul

Agave tequilana Weber var. azul [8]



Proceso

Antes de empezar: Preparación del terreno, limpieza, fertilización.

a) Germinación-Crecimiento-. Arranque de maguey de 7 a 12 in para establecimiento.
 a') Trasplante de hijuelos de 3 a 4 in y fertilización con estiércol. Arranque de planta 7 a 12 in. Se expone al sol entre 20 y 30 días.

b) Preparación del terreno, limpieza, fertilización de suelo Trasplante de plantas jóvenes de 7 a 12 en Fertilizar plantas.

c) Selección de planta madre, aflojamiento y fertilización.

d) Obtención de hijuelo y selección. Se expone al sol entre 10 y 20 días. Preferentemente de primer corte. A la planta madre limpia y aflojado

e) Depende del nivel de adaptabilidad de la planta puede estar listo entre el 6to y 7to año. Se capa o se le corta el quiote, y se deja añejar entre 4 y 7 meses para la jima (corte de las pencas).



Alta



Medio



Baja



Media

Especificaciones

Temperatura óptima:
59 ° F a 89 ° F

Poco resistente a menos de 2 grados. A menos de 0 grados el daño sufrido por la planta es muy grave. Por encima de 32 grados presenta bajo rendimiento de azúcar.

Alto porcentaje de plagas y enfermedades



★ Esta bebida destilada tiene *Designación de Origen*, por lo tanto, su producción en California debe ser nombrada como *Agave Spirits*

★Mezcal

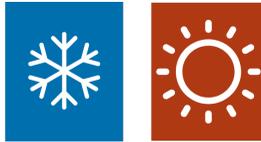
Mezcal

>50 especies y sub-especies por ejemplo *Agave angustifolia* [34]



Media

Amplio



Alta

Alta

Especificaciones

Temperatura óptima:
24 °F a 113 °F

Los agaves para mezcal tienen una amplia capacidad de adaptación al clima y suelos

Porcentaje medio de plagas y enfermedades



Proceso

Antes de comenzar:
Preparación del terreno, limpieza, fertilización.

a) Germinación - Crecimiento - Arranque del maguey de 12 a 16 in para su establecimiento.

a') Arrancada de maguey de 12 a 16 in para establecimiento, o bien a los dos años de estar en el vivero. Se expone al sol entre 20 y 30 días.

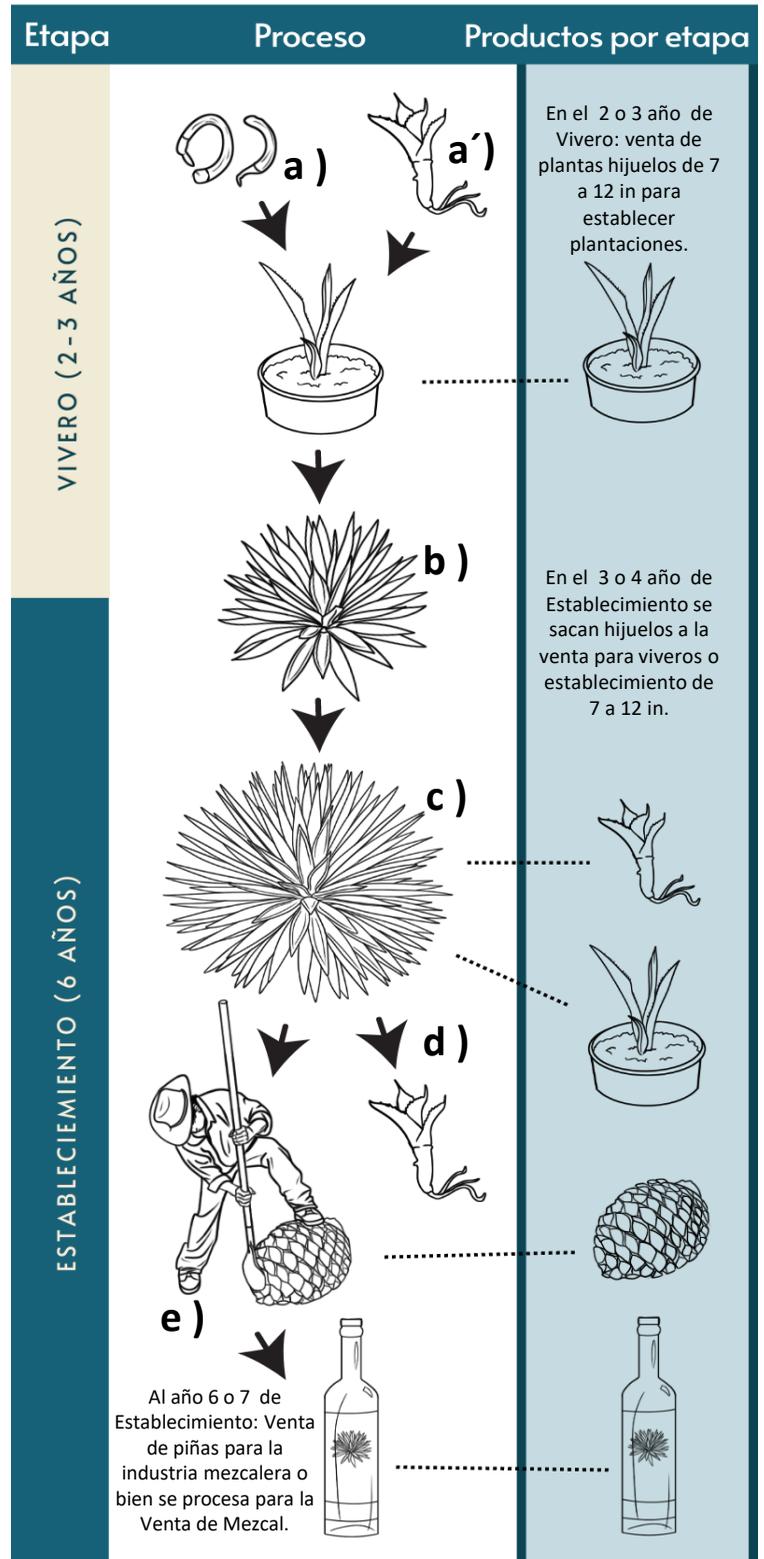
b) Preparación del terreno, limpieza, fertilización. Trasplante de plantas jóvenes de 11 a 16 in. Fertilizar las plantas.

c) Selección de planta madre, aflojamiento y fertilización.

d) Los Hijuelos con un tamaño entre 5 y 10 in son extraídos y replantados en el vivero. Preferiblemente primer corte. Se exponen al sol entre 10 y 20 días (preferiblemente de primer corte). Limpieza y aflojamiento de planta madre

e) Depende del nivel de adaptabilidad de la planta puede estar listo entre el 6to y 7to año. Se capa o se remueve el quiote, y se deja añejar entre 4 y 7 meses para la jima (cortado de las pencas).

Jimado, cocción, molienda, fermentación, destilación, envasado, comercialización.

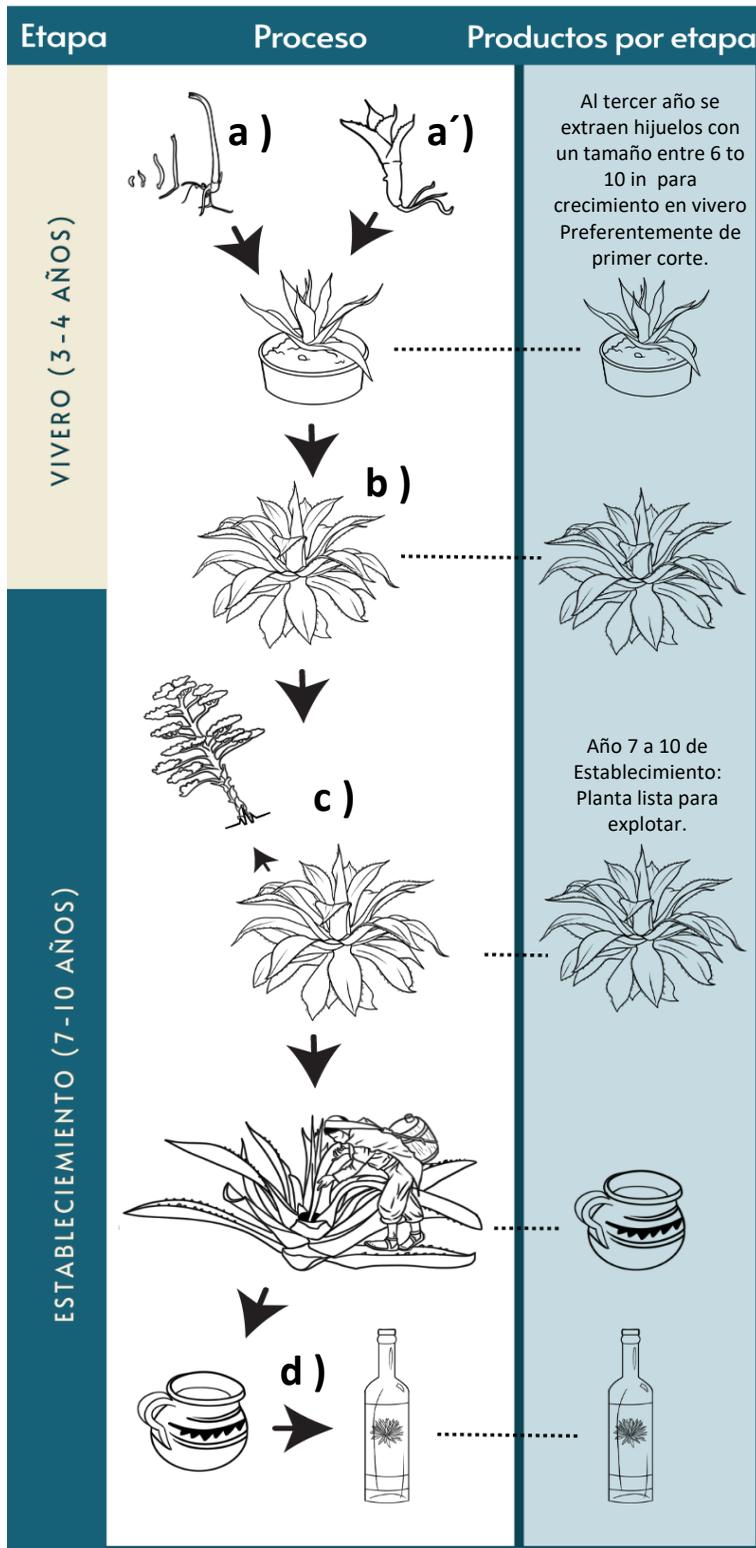


★ Esta bebida destilada tiene *Designación de Origen*, por lo tanto, su producción en California debe ser nombrada como *Agave Spirits*

★ Aguamiel, Pulque, Comiteco

Agave pulquero

4 especies por ejemplo: *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck^[35]



Proceso

Antes de comenzar: Preparación del terreno, limpieza, fertilización.

a) Germinación - Crecimiento - Arrancada del maguey de 5 a 10 in para su establecimiento.

a') Trasplante de Hijuelos de 5 a 10 in aplicación de estiércol.

Arranque de Agave de 31 a 42 pulgadas para su establecimiento. Se expone al sol entre 20 y 30 días.

b) Preparación del terreno, limpieza, fertilización - Trasplante de plantas jóvenes de 31 a 42 in. Fertilizar las plantas. Limpieza, aflojamiento y poda de hojas de agave. Selección y arranque de hijuelos de 5 a 10 in para venta o para vivero.

c) Raspado de la planta, realizado por los trabajadores llamados Tlachiqueros. Depende de la maduración de la planta, esta lista para la producción de aguamiel en el año 7 al 10.

d) Extracción, destilación, envasado, comercialización de pulque.



Baja



Amplio



Alta



Alta

Especificaciones

Crece en temperaturas de 23 ° F a 104 ° F en suelos calcáreos, alfisoles y aridisoles.

Adaptable al frío, baja incidencia de plagas y enfermedades.



★ Esta bebida destilada tiene *Designación de Origen*, por lo tanto, su producción en California debe ser nombrada como *Agave Spirits*

★ Bacanora

Agave

Agave angustifolia Haw var. *pacifica* [36]

Proceso

Antes de comenzar:
Preparación del terreno,
limpieza, fertilización.

a) Germinación - Crecimiento
- Arranque del maguey de
12 a 16 in para su
establecimiento.

a') Arrancada de maguey de
12 a 16 in para
establecimiento, o bien a los
dos años de estar en el
vivero. Se expone al sol
entre 20 y 30 días.

b) Preparación del terreno,
limpieza,
fertilización. Trasplante de
plantas jóvenes de 11 a 16
in. Fertilizar las plantas.

c) Selección de planta
madre, aflojamiento y
fertilización.

d) Los Hijuelos con un
tamaño entre 5 y 10 in son
extraídos y replantados en
el vivero. Preferiblemente
primer corte. Se exponen al
sol entre 10 y 20 días
(preferiblemente de primer
corte).
Limpieza y aflojamiento de
planta madre

e) Depende del nivel de
adaptabilidad de la planta
puede estar listo entre el
6to y 8to año. Se capa o
corta el qurote, y se deja
añejar entre 4 y 7 meses
para la jima.
Jimado, cocción, molienda,
fermentación, destilación,
envasado, comercialización.



Media



Amplio



Alta



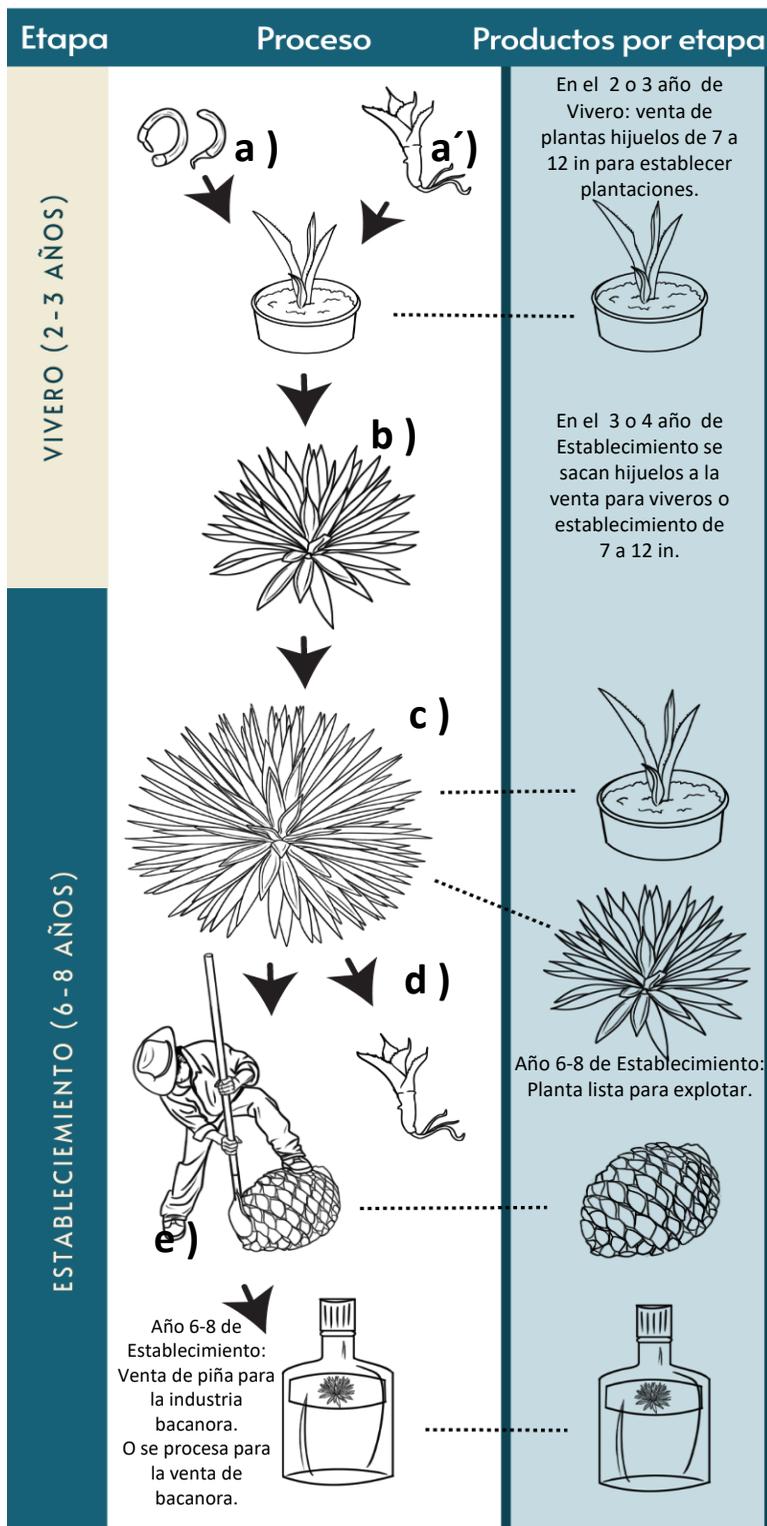
Alta

Especificaciones

Resiliencia de 42
° F a 113 ° F

Se adapta al frío.

Incidencia media
de plagas y
enfermedades.



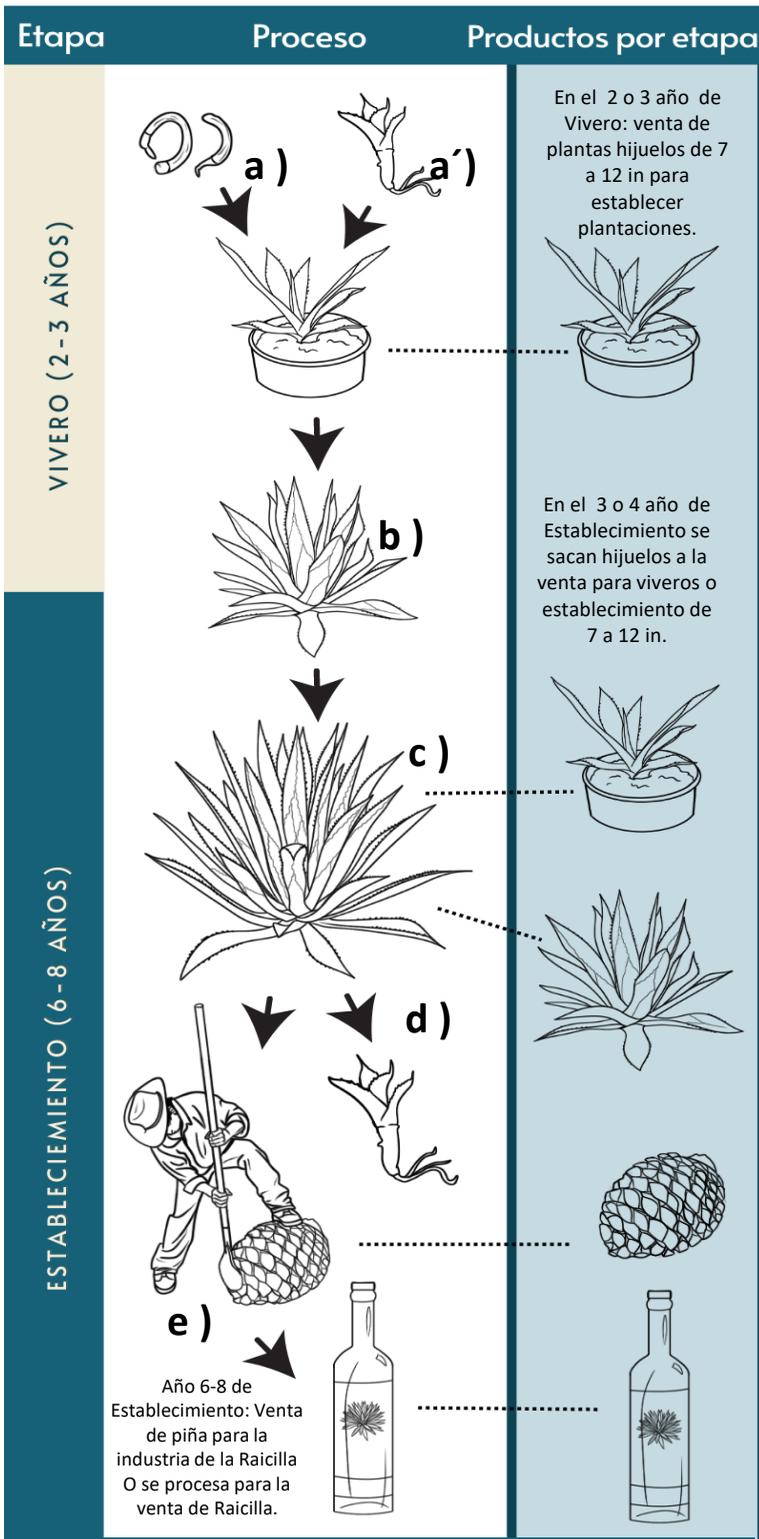
★ Esta bebida destilada tiene *Designación de Origen*, por lo tanto, su producción en California debe ser nombrada como *Agave Spirits*

★ Raicilla

Agave

5 especies por ejemplo *Agave maximiliana* [37]

Proceso



Antes de comenzar: Preparación del terreno, limpieza, fertilización.

a) Germinación - Crecimiento - Arranque del maguay de 12 a 16 in para su establecimiento.
a') Arrancada de maguay de 12 a 16 in para establecimiento, o bien a los dos años de estar en el vivero. Se expone al sol entre 20 y 30 días.

b) Preparación del terreno, limpieza, fertilización. Trasplante de plantas jóvenes de 11 a 16 in. Fertilizar las plantas.

c) Selección de planta madre, aflojamiento y fertilización.

d) Los Hijuelos con un tamaño entre 5 y 10 in son extraídos y replantados en el vivero. Preferiblemente primer corte. Se exponen al sol entre 10 y 20 días (preferiblemente de primer corte). Limpieza y aflojamiento de planta madre

e) Depende del nivel de adaptabilidad de la planta puede estar listo entre 6 a 8 años. Se capa o se le corta el quiote, y se deja añejar entre 4 y 7 meses para la jima (corte de pencas). Jimado, cocción, molienda, fermentación, destilación, envasado, comercialización.



Baja



Medio



Media



Media

Especificaciones

Resiliencia de 50 ° F a 95 ° F

Se adapta al frío medio, baja incidencia de plagas y enfermedades.



★ Esta bebida destilada tiene *Designación de Origen*, por lo tanto, su producción en California debe ser nombrada como *Agave Spirits*

¿Cuáles son las especies más representativas para la producción de destilados de agave?

El mezcal se produce principalmente a partir de *Agave angustifolia*, *A. cupreata* y *A. inaequidens*³⁸. Sin embargo, existen más de 50 especies y sub-especies con las que se puede producir mezcal. Éstas son las más importantes:

Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común
<i>Agave potatorum</i>	Magüey tobalá	<i>Agave spp.</i>	Magüey verde
<i>Agave angustifolia</i>	Magüey espadín	<i>Agave karwinskii</i>	Magüey barril o Madrecuishe
<i>Agave americana</i> var. <i>oaxacensis</i>	Magüey arroqueño	<i>Agave kerchovei</i>	Magüey jabalí
<i>Agave americana</i> var. <i>americana</i>	Magüey sierrudo	<i>Agave asperrima</i>	Magüey cenizo
<i>Agave americana</i>	Magüey blanco, de pulque o coyote	<i>Agave aff. angustifolia</i>	Magüey espadín sin espinas
<i>Agave rhodacantha</i>	Magüey penca larga or mexicano	<i>Agave cupreata</i>	Magüey papalote
<i>Agave aff. tequilana</i>	Magüey mexicano azul o penca angosta	<i>Agave inaequidens</i>	Magüey Saguayo
<i>Agave aff. rhodacantha</i>	Magüey mexicano reyisto	<i>Agave salmiana</i>	Magüey pulquero
<i>Agave durangensis</i>	Magüey cenizo	Otto ex Salm-Dyck <i>Agave marmorata</i>	Magüey tepeztate

Raicilla de cinco especies: *Agave maximiliana*, *A. inaequidens*, *A. valenciana*, *A. angustifolia* Haw var. *pacifica* y *A. rhodacantha*. DO.

Los productos destilados de la fermentación del aguamiel se obtienen principalmente de *Agave salmiana*, *A. atrovirens*, *A. mapisaga*, *A. americana* y *A. potatorum*.

La Denominación de Origen³⁹ (DO) establece la zona geográfica de un país, región o localidad, que sirve para designar un producto originario del mismo, cuya calidad o características se deben exclusiva o esencialmente al medio geográfico, incluidos los factores naturales y humanos.

El tequila es producido por una sola especie: *Agave tequilana* Weber var. azul; agave azul es el nombre común. DO.

Bacanora es un producto de *Agave angustifolia* Haw var. *pacifica*. DO.

Comiteco es producto de *Agave americana* y *A. salmiana*.



¿Cuáles son los intervalos de temperatura óptimos, subóptimos y marginales para *Agave tequilana* Weber?

Entre otros, uno de los factores más importantes para la producción de Agave es la temperatura nocturna ya que son plantas de Metabolismo Ácido Crasuláceo (CAM), por lo que la apertura estomática y la absorción de CO₂ se producen principalmente por la noche, cuando las temperaturas más bajas reducen en gran medida la pérdida de agua⁴⁰. La transpiración nocturna les permite abrir sus estomas por la noche, fijar el carbono en ácidos orgánicos y, durante el día, producir carbohidratos⁴¹. La tabla muestra las temperaturas diurnas y nocturnas óptimas, subóptimas y marginales, así como la temperatura mínima y máxima antes de que se produzcan daños graves.

Evento	Optimal (°C)	Sub-óptima (°C)	Marginal (°F)	Temp. mínima daños graves (°F)	Highest temp. for s (°F)
Día	15– 25 [42] 11 – 21 [43] 30 [45] 26[47] 15 – 25 [50]	10-15 or 25-35[42] 35[44]	< 10 or >35 [42]		36 [44] 30 – 34 [46] 30 [49]
Noche	10 – 16 [42] 10 [45] 16 [47] 11 – 21 [48] 10 – 15 [50]	5-10 or 16-25 [42] -1 - 11 or 21-28 [43] 25 [44]	<5 or >25 [42] <-1 or >28 [43]	-4 [44] 4 – 10 [46] 2.2[49]	
Probabilidad de heladas	< 0.10 [42] < 0.10 [43]		< 0.10 [42] > 0.10 [43]		

- Las regiones restringidas para su cultivo reflejan la evitación de daños por congelación por debajo de 0°C [44]- El *Agave tequilana* Weber, variedad azul, no tiene tolerancia a las bajas temperaturas y las zonas de cultivo deben estar libres de heladas. Se deben buscar lugares con buena circulación de aire y evitar zonas bajas propensas al frío, donde el agave estará expuesto a daños por bajas temperaturas y no se desarrollará bien [48]- El *Agave tequilana* Weber sufre mucho por horas a temperaturas inferiores a 2°C y daños muy fuertes a temperaturas inferiores a 0°C [49]- Las temperaturas extremas de 3 °C y las superiores a 35 °C afectan negativamente el desarrollo de la planta [50].

[42] José A. Ruiz-Corral (2002) [43] Pérez & Real (2007), [44] Nobel et al. (1998) [45] Nobel & Valenzuela (1987) [46] Valenzuela-Zapata (1995) [47] Pimienta-Barrios et al. (2005) [48] CRT (2019) [49] CRT (2018) [50] INIFAP (2012)

¿Cuáles son las plagas que debo conocer?

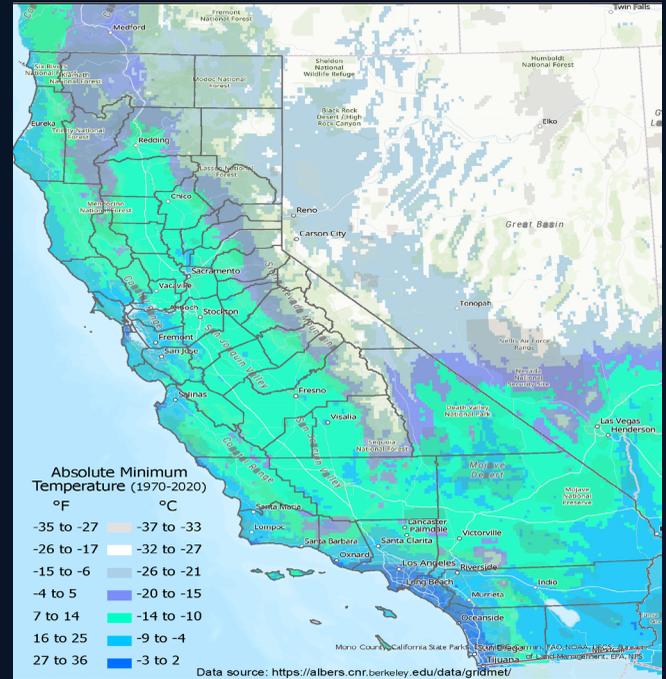
En esta sección se ofrece una breve descripción de las plagas que afectan a las distintas especies de agave.

- *Scyphophorus* spp.⁵¹, Nombre común: Gusano barrenador del agave. Es un escarabajo que incuba en las hojas (pencas) del agave, come el tejido de las hojas hasta llegar al corazón (piña).
- *Erwinia carotovora*⁵², Nombre común: pudrición del cogollo. Lesiones necróticas acuosas aparecen en las hojas, y progresan hacia la piña, causando pudrición blanda, finalmente dejan el corazón (piña) hueco.
- *Asterina mexicana*⁵³, Nombre común: mancha negra. Enfermedad fúngica caracterizada por manchas circulares grises en las hojas, que con el tiempo se necrosan y acaban secándolas.
- *Fusarium oxysporum* y *Alternaria* spp. ⁵⁴, Nombre común marchitez del agave. Comienza por amarillear en el ápice de las hojas nuevas, posteriormente se produce la muerte de la hoja. El cambio de temperatura y las heladas favorecen el punto seco.
- *Pectobacterium carotovora*⁵⁵, Nombre común mancha bacteriana. Putrefacción del corazón del agave, comienza por amarilleamiento en el ápice de las hojas nuevas, posteriormente se produce la muerte de la hoja.

Temperaturas nocturnas y diurnas de California

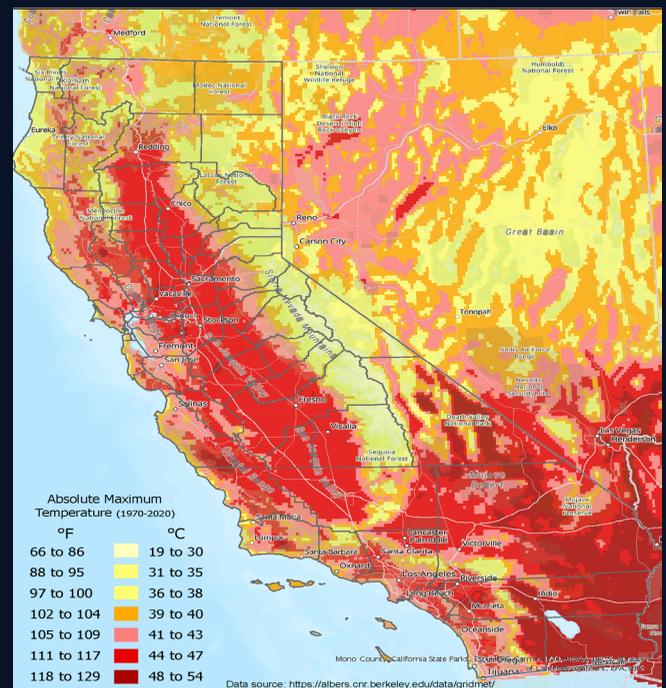
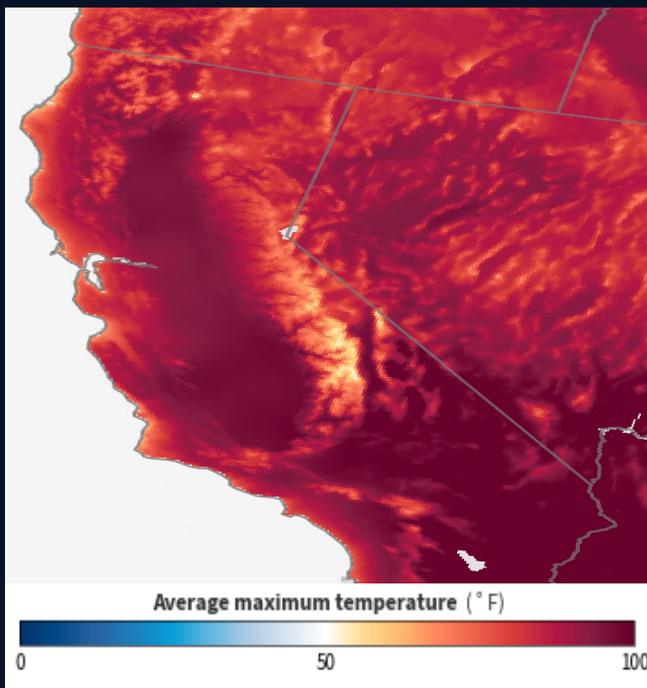
Temperatura mínima nocturna

La temperatura mínima nocturna promedio (izquierda) también es referida como [resistencia de la planta](#) por el USDA (1976-2005) y la temperatura mínima absoluta (derecha) (1970-2020) son utilizadas por los agricultores para determinar qué plantas tienen más probabilidades de crecer bien en un lugar determinado.



Temperatura máxima diurna

La temperatura máxima diurna promedio (izquierda) para julio de la [NOAA](#) (1991-2020) y la temperatura absoluta mínima (derecha) son utilizadas por los agricultores para determinar qué plantas tienen más probabilidades de sobrevivir a las altas temperaturas y ondas de calor extremo en un lugar determinado. Se espera que el cambio climático aumente estos valores máximos de temperatura en un futuro próximo.



¿Cuáles son los residuos de los destilados de agave?

La producción de destilados de agave generan dos tipos de residuos: vinaza y bagazo. Los destilados de agave que provienen de la cocción de la piña (e.g. Tequila o Mezcal) generan ambos residuos, mientras que los que provienen de la fermentación del aguamiel (e.g. destilado de Aguamiel y Comiteco) solo producen residuos de vinaza (ver pagina 7).

Bagazo

El bagazo es un residuo sólido que se genera en la molienda durante la extracción del jugo de las piñas ⁵⁶ para la producción de destilados de agave que provienen de la cocción de la piña. El bagazo está compuesto por celulosa (43%), lignina (15%), hemicelulosa (19%), azúcares (5%), nitrógeno (3%), pectina (1%), grasas (1%) y otros (13%)⁵⁷. La descomposición del bagazo produce lixiviados que contaminan el suelo y los recursos hídricos (ríos y acuíferos)⁵⁸.

En promedio, por cada litro de destilado de agave cocido se producen en promedio 1.4 kg (3 libras) de bagazo, esta cantidad puede ser más dependiendo de los equipos utilizados en el proceso⁵⁹. Una opción sustentable puede ser convertir el bagazo en composta (ver pagina 17).



Vinaza



Las vinazas son los residuos líquidos que se generan después la destilación del extracto (mostro) de agave. Las vinazas se producen en la destilación de agaves que provienen de la cocción de la piña y de la fermentación del aguamiel. Las vinazas son de color marrón oscuro, porque contienen fenoles (ácidos tánicos y húmicos), melanoidinas que son polímeros de bajo y alto peso molecular⁶⁰.

Las vinazas pueden contaminar significativamente al medio ambiente si no son tratadas y son aplicadas en suelos o en cuerpos de agua debido a que contienen altas concentraciones de sólidos totales (> 21,000 mg por litro)⁶¹. En promedio, por cada litro de destilados de agave se generan de 10 a 12 litros de vinazas⁶². Una opción sustentable para su manejo es el tratamiento biológico utilizando sistema de tratamiento anaerobico-anoxico-aerobio⁶³ (Ver pagina 18).

En México existen problemas severos de contaminación ambiental relacionados al mal manejo de grandes cantidades de vinaza debido al incremento de la producción y consumo de destilados de agave. En California, existen leyes que describen los requisitos para el manejo adecuado de residuos líquidos para prevenir la contaminación de ríos y acuíferos⁶⁴. Actualmente, existe una ley para la reglamentación de producción de vinos y otras instalaciones similares para el manejo de las descargas de agua procesada⁶⁵.

¿Cómo puedo aprovechar los subproductos de la destilación?

Es necesario dejar de considerarlos residuos como desechos y gestionarlos como subproductos, ya que con un tratamiento sostenible, estos materiales se pueden reutilizar, agregando valor a la producción en lugar de desperdiciarlos.

Uso del Bagazo de Agave	Tipo de Proceso
Producción de papel y cartón	Pulpeo y fabricación de papel
Generación de energía biogás o biomasa	Digestión anaeróbica o combustión
Elaboración de materiales de construcción	Mezclado y moldeo
Producción de composta y fertilizantes orgánicos	Compostaje
Fabricación de productos textiles y artesanías	Extracción de fibras y tejido
Uso como alimento para animales y ganado	Secado y molienda
Producción de bioetanol y productos químicos	Fermentación y destilación
Utilización en la industria cosmética y de cuidado personal	Extracción de principios activos

Uso de las Vinazas de Agave	Tipo de Proceso
Fertilizante agrícola	Aplicación directa en campos agrícolas
Producción de biogás	Digestión anaeróbica
Tratamiento de aguas residuales	Tratamiento biológico
Generación de energía térmica	Combustión directa en calderas
Producción de biofertilizantes	Fermentación y extracción de nutrientes
Uso en procesos de destilería	Recirculación y tratamiento para reutilización
Utilización en la industria alimentaria	Saborizante o ingrediente en ciertos productos
Procesos de fitoremediación	Utilización de las vinazas para remover contaminantes del suelo
Producción de extractos naturales	Proceso de extracción y concentración de compuestos

Referencias Bibliográficas

1. Pérez-Zavala, M. de L., Hernández-Arzaba, J. C., Bideshi, D. K., & Barboza-Corona, J. E. (2020). Agave: a natural renewable resource with multiple applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15), 5324–5333. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10586>
2. Granados Sanchez, D. (1993). Los agaves en México. Universidad Autónoma Chapingo
3. García Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Clencias* 87, julio-septiembre, 40-49. [En línea], julio-sept, 14–23.
4. Sustainable Groundwater Management, (2014). Senate Bill 1168 and Assembly Bill 1739. Sacramento, California.
5. Peterson, C., Hanak, E., Peterson, C., Pittelkow, C., & Lundy, M. (s/f). Exploring the Potential for Water-Limited Agriculture in the San Joaquin Valley Technical Appendices Appendix A . Cost and Return Scenarios for Water-Limited Winter Wheat
6. Lucio-López Carlos. (2022). Los destilados de agave en México. *Iberoamericana de Ecología* , 1(3), 5–7
7. Suárez, A., Saldana, T., & Jiménez- Velázquez, M. (2016). El cultivo de maguey pulquero : opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. *Revista de geografía agrícola*, 56, 33–44.
8. CRT. (2019). Manual Técnico tequilero. Consejo Regulador del Tequila, 1(1), 637.
9. Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J. L., Peña-Valdivia, C. B., & Aguirre-Rivera, J. R. (2017). COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE SIEMBRA DE MAGUEY (Agave salmiana). En IEEE International Conference on Communications.
10. Santacruz, F., Torres, M., & Portillo, L. (2008). Micropropagación de Agave tequilana Weber cv. Azul: Problemas y perspectivas. *Scientia CUCBA*, 10(1), 1–6.
11. Perez, España, V. H. P., Parra, J. A. C., Burgos, J. E. A., Ovando, M. A. M., Gil, M. P., & Cortes, T. R. (2022). Importance of the cuticular layer during the colonization of the fungus that causes negrilla in *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *salmiana*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 166–176. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1265>
12. Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J. L., Peña-Valdivia, C. B., & Aguirre-Rivera, J. R. (2017). COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE SIEMBRA DE MAGUEY (Agave salmiana). En IEEE International Conference on Communications.
13. Aquino-Bolaños, T., Sánchez-García, J. A., Ortiz-Hernández, Y. D., & Hernández-Cruz, J. (2020). Carrier and Vector of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and its Handling through a Base of Entomopathogenic Fungi in Agave sp. *Florida Entomologist*, 103(2), 243–246. <https://doi.org/10.1653/024.103.0214>.
14. Illsley, C., Torres, I., Hernández, J., Morales, P., Varela, R., Ibañez, I., & Nava, H. (2018). Manual de manejo campesino de magueyes mezcaleros forestales: Vol. I.
15. García-Mendoza, A. J. (2002). Distribution of Agave Agava (Agavaceae) in Mexico. *Cactus and Succulent Journal*, 74 No. 4, 177–187.
16. CRT. (2019). Manual Técnico tequilero. Consejo Regulador del Tequila, 1(1), 637.
17. José A. Ruiz-Corral, E. P.-B. y J. Z.-H. (2002). REGIONES TÉRMICAS ÓPTIMAS Y MARGINALES PARA EL CULTIVO DE Agave tequilana EN EL ESTADO DE JALISCO OPTIMAL AND MARGINAL THERMAL REGIONS FOR THE CULTIVATION OF Agave tequilana ON THE JALISCO STATE. *Agrociencia*, 36(1), . 41-53.
18. Nobel, P. S., Castañeda, M., North, G., Pimienta-Barrios, E., & Ruiz, 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>.
19. CRT. (2019). Manual Técnico tequilero. Consejo Regulador del Tequila, 1(1), 637.
20. NOBEL, P. S., & SMITH, S. D. (1983). High and low temperature tolerances and their relationships to distribution of agaves. *Plant, Cell & Environment*, 6(9), 711–719. <https://doi.org/10.1111/1365-3040.ep11589339>

21. Serra Puche, M. C., & Lazcano Arce, J. C. (2016). Etnoarqueología del Mezcal su origen y su uso en Mesoamérica. *Estudios Etnoarqueológicos*.
22. Barraza-Soto, S., Domínguez-Calleros, P. A., Montiel-Antuna, E., Díaz-Vásquez, M. A., & Návar-chaidez Manuel, J. J. (2014). La producción de mezcal en el municipio de Durango, México. *Ra Ximhai Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 10, 65–74.
23. Enciso, M. M. (1950). *Manual del magueyero*. B. Trucco.
24. Hernández, Lopez, J. J., & Iwadare, M. (2015). En torno a las bebidas alcohólicas mexicanas.
25. IWSR. (2022). Is tequila's future under threat?
26. Escamilla-Treviño, L. L. (2012). Potential of Plants from the Genus *Agave* as Bioenergy Crops. *Bioenergy Research*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12155-011-9159-x>
27. Ulloa, J. A., Espinosa Andrews, H., Cruz Rodríguez, G. K., Rosas Ulloa, P., Ulloa Rangel, B. E., & Ramirez Ramírez, J. C. (2010). Los fructanos y su papel en la promoción de la salud. CONACYT.
28. Montañez, J., Venegas, J., Vivar, M., & Ramos, E. (2011). Los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del *Agave tequilana* Weber Azul. *Bioagro*, 23(3), 199–206.
29. Ordoñez Valdes, A. (2017). Bioetanol a partir del maguey (agave americana) y su prospectiva en México.
30. Marín, P. C., Saavedra, A. L., & Eguiarte, L. E. (2008). En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. *Revista de La Universidad Autonoma de Yucatán*, 75–80.
31. Illsley, C., Torres, I., Hernández, J., Morales, P., Varela, R., Ibañez, I., & Nava, H. (2018). *Manual de manejo campesino de magueyes mezcaleros forestales: Vol. I*.
32. Suárez, Narváez, U. A., Cruz, León, A., & Sangerman-Jarquín, D. M. (2020). Servicios ambientales: sistema agroforestal tradicional con plantas de maguey pulquero en. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11, 1957–1969.
33. José-Jacinto, R., & García-Moya, E. (1995). Fijación de CO₂, en *Agave angustifolia* Haw. *Botanical Sciences*, 10(57), 5–10. <https://doi.org/10.17129/botsci.1471>
34. Quirino-Olvera, R., Castro-castro, A., Piedra-leandro, N. L., Tena-flores, J. A., & Heynes-silerio, S. A. (s/f). Los agaves mezcaleros en la Sierra Madre Oriental.
35. Nieto Aquino, R., Vargas Monter, J., Nieto Aquino, J. C., Rodríguez Ortega, A., Jiménez Pérez, V. M., Hernández Callejas, J., & Marineth Ortiz Balderas, M. (2016). El cultivo de maguey pulquero (*Agave salmiana*) en el Valle del Mezquital. En *Universidad Politécnica de Francisco I. Madero (Vol. 5, Número 3)*.
36. García-Mendoza, A. J., Franco Martínez, I. S., & Sandoval Gutiérrez, D. (2022). El complejo taxonómico *Agave angustifolia*: restablecimiento y circunscripción del *Agave pacifica* en Sonora. 12–26.
37. Salvador, M. M., Enrique, L. I. C., Martínez, M. Y., Luis, L. I. C., & Gutiérrez, C. (2013). Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México (Número 5).
38. CRM, Consejo Regulador del Mezcal. (2020). *Informe Estadístico 2020*.
39. WIPO. *Acta de Ginebra del Arreglo de Lisboa relativo a las Denominaciones de Origen y las Indicaciones Geográficas (2015)*
40. Nobel, P. S. (1990). Environmental Influences on CO₂ Uptake by Agaves , CAM Plants with High Productivities Author (s): Park S . Nobel Published by : Springer on behalf of New York Botanical Garden Press Stable URL : <https://www.jstor.org/stable/4255289> *Environmental Influe.* 44(4), 488–502.
41. García Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Clencias* 87, julio-septiembre, 40-49. [En línea], julio-sept, 14–23.

42. José A. Ruiz-Corral, E. P.-B. y J. Z.-H. (2002). REGIONES TÉRMICAS ÓPTIMAS Y MARGINALES PARA EL CULTIVO DE *Agave tequilana* EN EL ESTADO DE JALISCO OPTIMAL AND MARGINAL THERMAL REGIONS FOR THE CULTIVATION OF *Agave tequilana* ON THE JALISCO STATE. *Agrociencia*, 36(1), . 41-53.
43. Pérez, J., & Real, J. (2007). Conocimiento y practicas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber, en la zona de denominación de Origen del Tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
44. Nobel, P. S., Castañeda, M., North, G., Pimienta-Barrios, E., & Ruiz, 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>.
45. Nobel, P. S., & Valenzuela, A. G. (1987). Environmental responses and productivity of the CAM plant, *Agave tequilana*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 39(4), 319–334. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(87\)90024-4](https://doi.org/10.1016/0168-1923(87)90024-4).
46. Valenzuela-Zapata, A. G. (1995). La agroindustria del agave tequilero *Agave tequilana* Weber. *Botanical Sciences*, 25(57), 15–25. <https://doi.org/10.17129/botsci.1473>.
47. Pimienta-Barrios, Zañudo-Hernández, Nobel, & García-Galindo. (2005). Cochineal (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE) production. En *scientiaCUCBA* (Vol. 7, Número 2).
48. CRT. (2019). Manual Tecnico tequilero. Consejo Regulador del Tequila, 1(1), 637.
49. CRT, C. R. del tequila. (2018). Prácticas de cultivo (*Agave tequilana* Weber variedad azul). <https://www.youtube.com/watch?v=kQvaoN3MlwE&t=3671s>.
50. INIFAP,. (2012). Paquete Tecnológico *Agave tequilana* Weber Condición: Temporal Ciclo 2012 Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.
51. CRT. (2019). Manual Tecnico tequilero. Consejo Regulador del Tequila, 1(1), 637.
52. Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J. L., Peña-Valdivia, C. B., & Aguirre-Rivera, J. R. (2017). COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE SIEMBRA DE MAGUEY (*Agave salmiana*). En IEEE International Conference on Communications.
53. Perez, España, V. H. P., Parra, J. A. C., Burgos, J. E. A., Ovando, M. A. M., Gil, M. P., & Cortes, T. R. (2022). Importance of the cuticular layer during the colonization of the fungus that causes negrilla in *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *salmiana*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 166–176. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1265>
54. Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J. L., Peña-Valdivia, C. B., & Aguirre-Rivera, J. R. (2017). COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE SIEMBRA DE MAGUEY (*Agave salmiana*). En IEEE International Conference on Communications.
55. Aquino-Bolaños, T., Sánchez-García, J. A., Ortiz-Hernández, Y. D., & Hernández-Cruz, J. (2020). Carrier and Vector of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum* and its Handling through a Base of Entomopathogenic Fungi in *Agave* spp. *Florida Entomologist*, 103(2), 243–246. <https://doi.org/10.1653/024.103.0214>.
56. Ordaz Díaz, L. A. et al. (2019) “Aprovechamiento de los subproductos valiosos de la industria del mezcal en Durango.”, Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C., (August).
57. Alonso, M. S., y Rigal, L. (1997) “Caracterización y valorización del bagazo de *Agave tequilana* Weber de la industria del tequila”, *Revista Chapingo, Serie Horticultura.*, 3(2), pp. 31–39.
58. Ordaz Díaz, L.A., M. Madrid del Palacio, F. Rodríguez Flores, y M. Bailón Salas. 2019. “Aprovechamiento de los subproductos valiosos de la industria del mezcal en Durango.” Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. (August).
59. López-López, A. et al. (2010) “Tequila vinasses: Generation and full scale treatment processes”, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 9(2), pp. 109–116. doi: 10.1007/s11157-010-9204-9.
60. Satyawali, Y. y Balakrishnan, M. (2008) “Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: A review”, *Journal of Environmental Management*, 86(3), pp. 481–497. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.12.024.

61. Hernández-Vargas, Omar. 2019. Análisis del impacto potencial de contaminación sobre los ecosistemas acuáticos por la actividad del cultivo y destilación del agave.
62. López-López, A. et al. (2010) “Tequila vinasses: Generation and full scale treatment processes”, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 9(2), pp. 109–116. doi: 10.1007/s11157-010-9204-9.
63. SAGARPA. Vinazas: Alternativas de Uso. Septiembre 2016
64. SWRCB (2023). National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) – Wastewater. Website: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/npdes/
65. SWRCB. Statewide General Waste Discharge Requirements (WDRs) for Wineries (and other similar facilities). Website: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/waste_discharge_requirements/winery_order.html
66. COMERCAM, Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C. 2022. Informe Estadístico Comercam 2022.
67. CRT, Consejo Regulador del tequila. 2023. Información estadística.

