

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE MEZCAL EN SAN DIEGO LA MESA TOCHIMILTZINGO, PUEBLA (RESERVA SIERRA DEL TENTZO), MÉXICO

Sofía Barrera-Cobos, María Rosa Maimone-Celorio*, Edith Salomé-Castañeda, Aline González-Canchola, Lusmila Herrera-Pérez

UPAEP Universidad, 21 Sur no. 1103, Facultad de Ingeniería Ambiental, Barrio de Santiago, Puebla, 72410, México.

*Autor de correspondencia: mariarosa.maimone@upaep.mx

RESUMEN

Derivado del aumento acelerado de la demanda de mezcal en los últimos 10 años, existe una mayor presión sobre las poblaciones silvestres de *Agave* spp., lo cual aumenta el riesgo de desaparecer en la región de San Diego La Mesa Tochimiltzingo, Puebla, ubicada en el Área Natural Protegida “Sierra del Tentzo”. Se realizó un análisis del proceso productivo del mezcal a través de un diagnóstico socioambiental y de la estructura poblacional general de *Agave* silvestre con el fin de determinar acciones para el aprovechamiento sustentable en la producción de mezcal en la comunidad. Para obtener la información, se llevaron a cabo técnicas de desarrollo participativo con los maestros mezcaleros y mediciones en campo de las especies de *Agave* en la zona núcleo de la Reserva. Se determinó que la principal problemática en la producción de mezcal es la cada vez mayor escasez de *Agave*, debido a la extracción de especímenes silvestres sin técnicas de manejo que permitan la recuperación del recurso, así como la falta de capacitación para realizar sus propias plantaciones. En la población evaluada se observó una distribución agregada con individuos de diferentes edades de *A. angustifolia*. Se calculó una densidad poblacional de 460 plantas/ha, valor 60% menor a lo recomendado. No se encontraron individuos de *A. potatorum*. Se registró una sobreexplotación del recurso, por lo que es urgente establecer medidas para la conservación del *Agave* silvestre en la región.

Palabras clave: *Agave*, biodiversidad, conservación, México, Puebla.

INTRODUCCIÓN

El género *Agave* pertenece a la familia Asparagaceae y subfamilia Agavoideae, en la que se reconocen 9 géneros con 300 especies de plantas (Bautista y Smit, 2012), las cuales en su mayoría son endémicas de México (Narváez *et al.*, 2016). En México, se utilizan 42 especies de *Agave* para producir mezcal, las cuales en su mayoría se extraen de poblaciones silvestres y, en la mayor parte de los casos, sin técnicas de reproducción y manejo del aprovechamiento que las preserven de su extinción (Torres *et al.*, 2013). De acuerdo con el Consejo Regulador de Mezcal (CRM, 2015) dentro de los Estados con denominación de origen de mezcal, se encuentran Oaxaca, Durango, Guerrero, Guanajuato, Michoacán, San Luis Potosí, Tamaulipas, Zacatecas y Puebla en 2015 (DOF, 2015). Posteriormente, Morelos, Aguascalientes, Estado de México en 2018 y recientemente Sinaloa en 2021 (DOF, 2021).

En las regiones mezcaleras poblanas, dos de las especies silvestres de *Agave* que se utilizan para la elaboración de mezcal son *Agave potatorum* Zucc., comúnmente conocido como papalómetl, papalomé o tobalá (García-Mendoza, 2010) y *Agave angustifolia* Haw. conocido como espadín. El mezcal elaborado con *A. potatorum* es considerado de alta calidad organoléptica y es uno de lo más apreciados en el país. Debido a las elevadas tasas de extracción de plantas de *A. potatorum*, la creciente demanda de mezcal, las particularidades

Citation: Barrera-Cobos S, Maimone-Celorio MR, Salomé-Castañeda E, González-Canchola A, Herrera-Pérez L. 2023. Análisis de la producción de mezcal en San Diego la Mesa Tochimiltzingo, Puebla (Reserva Sierra del Tentzo), México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i1.1525>

ASyD 20(1): 66-91

Editor in Chief:
Dr. Benito Ramírez Valverde

Received: February 7, 2022.
Approved: August 25, 2022.

Estimated publication date:
March 22, 2023.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



de su biología reproductiva y los limitados esfuerzos de manejo, es una de las especies más vulnerables. Se estima que tan solo en la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán, anualmente se extraen entre 54% y 87% de los individuos reproductivos, generando proyecciones que sugieren que las poblaciones de *Agave* peligran a corto plazo en la zona poblana (Torres *et al.*, 2013).

Derivado del aumento acelerado de la demanda de mezcal en los últimos 10 años (CRM, 2019), se generó una mayor presión sobre las poblaciones silvestres de *Agave*, acrecentando su riesgo de extinción. Esto se debe, a que, para la elaboración del mezcal se requiere extraer las plantas completas antes de que ocurra la floración, esto se realiza porque la floración disminuye la cantidad de azúcares presentes en el tallo y que son necesarias para el destilado. Al recolectar las plantas de agaves antes de la etapa de floración, se limita la reproducción y anula por completo la generación de semillas (Delgado-Lemus, 2008; Torres, 2009; Torres *et al.*, 2013). Cada planta de *Agave* en edad reproductiva puede producir entre 2,000 y 9,500 semillas, mismas que se pierden al realizar la extracción para la producción del mezcal. Pobladores de distintas comunidades han expresado su preocupación al observar las poblaciones fragmentadas de *Agave*, esto los obliga a recolectar en sitios cada vez más alejados de sus comunidades (Torres *et al.*, 2013). La reproducción de los agaves también se dificulta por su ciclo de vida largo, que dura de 6 a 10 años (Bautista y Smit, 2012).

Otro problema identificado en las especies cultivadas y silvestres es la existencia del libre pastoreo, donde se ha observado que el ganado se alimenta de la flor del maguey y pisa-tea plántulas y especímenes juveniles, afectando la supervivencia de las plantas (Baraza y Estrella-Ruiz, 2008; Delgado-Lemus, 2008; Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2009).

En cuanto al uso de tecnologías agrícolas, en Jalisco se ha confirmado que la producción industrial de tequilas y mezcales ha provocado contaminación, erosión edáfica, erosión genética y desplazamiento de cultivares nativos (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2009). Por otra parte, en Oaxaca se ha demostrado que el conocimiento y prácticas agrícolas tradicionales campesinas contribuyen a la sustentabilidad ambiental y productiva (Bautista y Smit, 2012).

Un estudio realizado en la mixteca poblana señala que las poblaciones de *Agave* sometidas a una mayor intensidad de explotación presentan un menor éxito reproductivo, debido a que la escasa oferta floral no atrae a los polinizadores; por tanto, la extracción de plantas no sólo supone un riesgo para los magueyes mezcaleros, sino que representa riesgos para las demás plantas de la zona que muestren dependencia de los mismos gremios animales para su polinización (Baraza y Estrella-Ruiz, 2008).

En San Luis Atolotitlán (Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán) la extracción de plantas reproductivas de *A. potatorum* conduce al decremento de las poblaciones. Los agaves que se desarrollan en condiciones ambientales más estresantes, como baja humedad y alta radiación solar, tienen mayor rendimiento debido al aumento de la disponibilidad de azúcares a fermentar y destilar. Aunado a esto, se establece que las plantas recolectadas en temporada de lluvia no fermentan de la manera deseada. Como medida de protección del recurso, se ha impuesto una veda de extracción de *A. potatorum* en ciertas regiones de San

Luis Atolotitlán, situación que podría repetirse en otras comunidades (Delgado-Lemus, 2008).

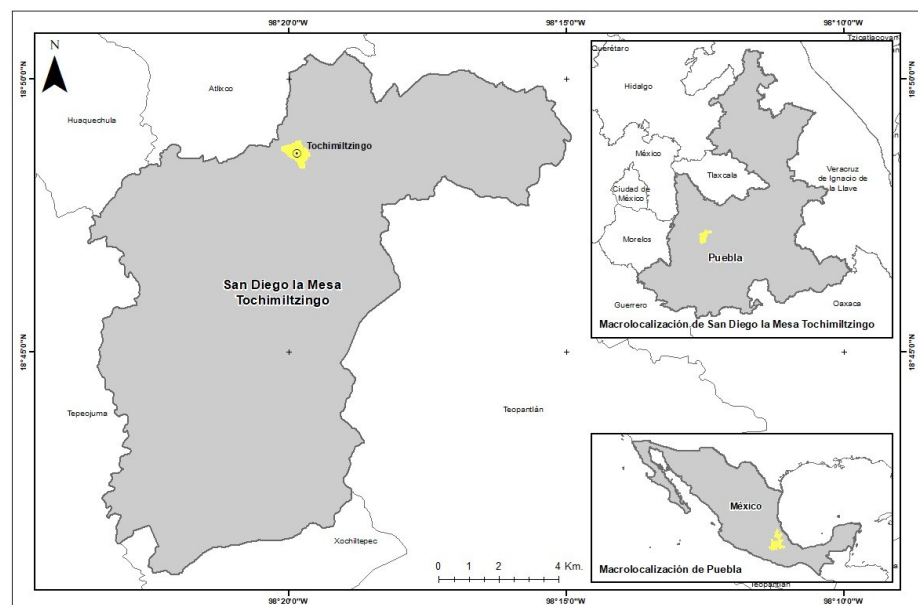
Bajo el presente contexto diversas investigaciones en diferentes regiones agaveras del país proponen soluciones a la sobreexplotación del *Agave* y controlar la producción del mezcal, tales como: instaurar reservorios genéticos y llevar a cabo la reproducción de las especies en viveros para su posterior reintroducción al medio silvestre.

En la presente investigación, se realizó un análisis del proceso productivo del mezcal a través de un diagnóstico socioambiental y de la estructura poblacional de *Agave* silvestre para determinar acciones para el aprovechamiento sustentable en la producción de mezcal en San Diego La Mesa Tochimiltzingo en la Reserva Estatal Sierra del Tentzo.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El municipio de San Diego La Mesa Tochimiltzingo, se ubica al centro oeste del Estado de Puebla, cuenta con una superficie de 91.90 km². Se localiza a 47 km de la ciudad de Puebla (Figura 1). Se encuentra a 1,780 msnm dentro de la Reserva Estatal “Sierra del Tentzo”. La Reserva comprende una superficie total del 57,815.283 ha, de las cuales San Diego La Mesa Tochimiltzingo ocupa 17.6% (SDRSOT, 2011). Presenta un relieve montañoso y alturas que varían entre los 1,800 hasta los 2,300 msnm, pertenece a la cuenca del Río Atoyac y cuenta con una corriente perenne, el Río Grande (Gobierno del Estado de Puebla, 2014). La estructura del paisaje corresponde a un matorral abierto con grupos de árboles de talla baja o mediana, situados sobre todo en las cañadas o en algunas laderas



Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, San Diego La Mesa Tochimiltzingo.

donde aparentemente se recibe más humedad. Algunas especies representativas de la zona son *Quercus* sp., *Ipomoea murucoides*, *Acacia* sp., *Juniperus deppeana*, *J. flaccida*, *Taxodium mucronatum*, y *Brahea dulcis*. En la zona se practica un pastoreo nómada de ganado, estos hábitos de forrajeo y ramoneo contribuyen a la formación de grupos compactos de especies vegetales que se protegen bajo las defensas de las especies espinosas (SDRSOT, 2011). San Diego La Mesa cuenta con una población de 1,132 habitantes en comunidad rural, con 549 hombres y 583 mujeres, lo cual representa una densidad de población de 9 hab/km². Entre los principales indicadores de desarrollo, presenta un alto grado de rezago social, que lo lleva a ocupar el lugar número 39 a nivel estatal en grado de marginación y el lugar número 446 a nivel nacional. La actividad preponderante es la agropecuaria, siendo los principales cultivos el frijol y el maíz, la cría de aves de corral, ganado caprino, bovino y equino, y la producción de mezcal elaborado por tradición familiar y ancestral. También se extrae mármol de yacimientos existentes, el cual tiene buena aceptación en el mercado estatal (Gobierno del Estado de Puebla, 2014).

Diagnóstico socioambiental del proceso productivo del mezcal

El diagnóstico socioambiental se realizó durante los meses de marzo a octubre del 2019 y se llevó a cabo en tres etapas: a) visitas prospectivas; b) diálogo semiestructurado con informantes clave y recorridos de campo; y c) talleres participativos.

- a) Visitas prospectivas. Se realizaron dos visitas prospectivas durante marzo del 2019 a la localidad de San Diego La Mesa Tochimiltzingo, con la finalidad de realizar el primer contacto con los productores de mezcal e identificar a los posibles informantes clave y elegir las herramientas adecuadas para el diagnóstico. Se mantuvieron conversaciones y entrevistas informales con el presidente municipal y con maestros mezcaleros de tres fábricas de mezcal, para hacer un reconocimiento de las generalidades de la región, que posteriormente permitió el diseño del instrumento diagnóstico.
- b) Diálogo semiestructurado con informantes clave y recorridos de campo. La técnica del diálogo semiestructurado tuvo como objetivo recolectar información general o específica mediante la conversación con individuos o grupos, permitiendo flexibilidad para explorar a mayor detalle la información a recabar (Geilfus, 2009). Se estableció una guía de entrevista para llevar a cabo el diagnóstico de la producción de mezcal, la guía abarcó características socioeconómicas de los productores, materias primas, rendimientos de producción, manejo de residuos, comercialización del producto, problemáticas entorno a la fabricación del mezcal y actividades económicas complementarias. Para la aplicación de la técnica de diálogo semiestructurado, se seleccionaron a informantes clave, quienes fueron reconocidos inicialmente en la etapa de visita prospectiva. Se eligieron a seis maestros mezcaleros de la fábrica “Tepenahuazo”. El criterio de selección fue con base en su experiencia (mayor a 10 años) y su disponibilidad para participar en la investigación. El diálogo se realizó de manera individual. Este diálogo se llevó a cabo en el momento en que se encontraban destilando el mezcal, lo cual permitió combinar la actividad con recorridos de campo y reconocimiento y documentación del proceso productivo.

c) Talleres participativos. Posteriormente, se realizaron tres talleres participativos durante el mes de octubre de 2019 con 10 participantes (1 productor de *Agave*, 3 productores de mezcal, 5 comercializadores de mezcal, y el presidente municipal) para la obtención de información más específica sobre la problemática. Las técnicas fueron lluvia de ideas, árbol de problemas (Martínez y Fernández, 2008), y caracterización de prácticas de manejo. El tema tratado en la técnica de la lluvia de ideas fue que los participantes expusieran las principales problemáticas a las que se enfrentan todos los involucrados en la cadena productiva *Agave*-mezcal. Al concluir el ejercicio, los participantes discutieron entre ellos la lista de problemáticas generada y eligieron la más apremiante, montando la base para la siguiente dinámica. Posterior a la lluvia de ideas, los participantes eligieron la problemática más importante respecto a la cadena productiva *Agave*-mezcal, siendo esta el punto de partida para construir el árbol de problemas. Al concluir el ejercicio, los participantes lograron un mayor entendimiento de la situación estudiada, comprendiendo sus causas y efectos, reflexionando a su vez sobre posibles soluciones. Como última actividad del taller participativo, se procedió a realizar la caracterización de las prácticas de manejo usadas. Para este trabajo, la herramienta tuvo como objetivo identificar, caracterizar y diagnosticar las prácticas de manejo del *Agave* cultivado y del *Agave* extraído del medio silvestre. Al grupo enfocado se le pidió que dibujara las diferentes prácticas existentes en el cultivo del *Agave* y el jimado del *Agave* silvestre. Durante esta actividad, los moderadores preguntaron sobre cómo y por qué lo hacen, profundizando en los temas y tomando nota de la información compartida. Para finalizar, la información recolectada fue revisada y clasificada.

Con base en el diagnóstico y los antecedentes del tema en México, se determinaron las acciones más relevantes a desarrollar para la comunidad en un contexto de sustentabilidad.

Estructura poblacional de *Agave* silvestre en zona núcleo de la Reserva Estatal Sierra del Tentzo

Con ayuda de guías locales y productores de mezcal, se realizaron recorridos de campo en la zona, con el objetivo de ubicar poblaciones silvestres de *Agave*. El interés radicó en poblaciones conservadas que presentaran el menor grado posible de incidencia humana. Después de varios recorridos, se logró ubicar una población de *A. angustifolia* en el Paraje de los Ahogados (San Diego La Mesa Tochimiltzingo) dentro de la zona núcleo del ANP Reserva Estatal Sierra del Tentzo, siendo la población elegida para describir la estructura poblacional. Sin embargo, dicha población presentaba intervención humana, por lo que no fue posible encontrar poblaciones silvestres conservadas.

En dicho lugar se trazó un cuadrante de 1,300 m². Se etiquetaron todas las plantas de *Agave* encontradas y se mapearon a través del registro de sus coordenadas cartesianas. Se registraron los siguientes parámetros para cada planta: especie, altura de roseta, diámetro de roseta y número de hojas (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Además, se describió el terreno y la vegetación dentro del cuadrante. Los individuos de *Agave angustifolia* registrados, se clasificaron en clases de acuerdo a su tamaño, con lo que se determinó la estructura

de la población. Se utilizó la fórmula estadística de Sturges ($K=1+3.322 \log N$) para calcular el número de clases en las que se deben agrupar los datos (Palaniswamy y Palaniswamy 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico del proceso productivo del Mezcal

Selección de la fábrica de mezcal

En el reconocimiento inicial de la zona de trabajo, se identificaron 10 fábricas de mezcal, distribuidas en las localidades de San Bartolomé Chimalhuacán (1), La Soledad Tepehuaxtitla (1), Guadalupe Amolocayan (4) y Tochimiltzingo (4). Las cuatro fábricas de Tochimiltzingo son: La Perla, Río Blanco, Huizache y Tepenahuazo, las cuales tienen un total de 88 productores de mezcal que utilizan las instalaciones en relevos. Los productores indicaron que todas las mezcaleras llevan a cabo procesos artesanales y en su mayoría utilizan *Agave* silvestre jimado del monte. La forma de trabajo de los mezcaleros es en sociedad informal. Cada socio realiza una aportación monetaria inicial para construir y equipar la fábrica artesanal. De las cuatro fábricas de Tochimiltzingo, se eligió la fábrica de Tepenahuazo, en la cual participan 14 socios y cuentan con una producción promedio de 800 litros al año por socio.

Proceso productivo del Mezcal

El proceso de producción de mezcal, obtenido a través del diálogo semiestructurado y recorridos de campo, se dividió en 5 etapas: 1) recolección del *Agave*, 2) horneado, 3) triturado o molienda, 4) fermentación y 5) destilación. De estas fases, la única que se realiza en forma colectiva es el horneado. A continuación, se explica cada una de las etapas registradas del proceso productivo local.

Recolección del *Agave*. En la etapa de recolección de *Agave*, los maestros mezcaleros acuden al ambiente silvestre para jimar los agaves necesarios para su producción. Las especies recolectadas son el maguey espadín (*A. angustifolia*) y el maguey tobalá o papalómetl (*A. potatorum*). Los magueyes maduros son seleccionados de forma empírica, es decir, con base en su experiencia adquirida. Para ello, se emplean dos implementos agrícolas: el machete para cortar las pencas u hojas, y la coa para obtener la piña del *Agave*, única parte de interés para los mezcaleros. Los agaves en estado reproductivo son desprovistos del escapo floral denominado “capón” -alusivo al capado-, con el objetivo de alargar el ciclo de vida de la planta. El corte permite que la planta crezca en tamaño y concentre azúcares, lo que genera mayores rendimientos en la producción de mezcal. La recolección se realiza en los meses de diciembre a mayo, en la época seca, debido a que los agaves concentran mayor cantidad de azúcares en el destilado. Para el traslado, se utilizan mulas de carga o camionetas para bajar de la sierra las plantas jimadas (Figura 2A).

Horneado o cocción del *Agave*. Es realizado en un horno de pozo con capacidad para 7 toneladas de maguey, con paredes de tabique y suelo de adoquín (Figura 2B). Esta etapa se realiza en equipo (socios), por lo que todos los productores agrupan las piñas de *Agave* y se hornean al mismo tiempo. Cada productor marca sus agaves, general-



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. A) Piñas de *Agave* recolectado. B) Horno de pozo. C) Encendido del horno con palma seca. D) Petate para cubrir *Agave* en el horno.

mente trazando sus iniciales con un machete, o formando líneas o figuras que permitan distinguirlos. Los productores recolectan leña verde de huizache (*Acacia farnesiana*), mezquite (*Prosopis* spp.), huaje (*Leucaena leucocephala*) y espino (*Acacia mimososa*). Para cocer 7 toneladas de maguey, son necesarias 1.3 toneladas de leña verde y 2 toneladas de roca, aunque esta última tiene vida útil de una temporada entera (de diciembre a mayo). El horno es llenado en capas; se coloca una capa de leña verde que cubre todo el fondo del horno, acomodando los troncos verticalmente, de manera similar a una fogata. Posteriormente, se colocan los troncos de mayor volumen y se enciende la leña utilizando palma seca (*Brahea dulcis*). Cuando la leña está encendida, se coloca encima roca volcánica (Figura 2C). El horno se deja humear aproximadamente durante 6 horas, hasta que la roca se encienda y la leña se consuma, permitiendo que la roca se asiente, dejando espacio suficiente para colocar el *Agave*. Las 7 toneladas de *Agave* se colocan encima de la roca volcánica al rojo vivo, y se cubren con un petate mojado. El horno se cubre en su totalidad con tierra, a manera de sello hermético. Como último paso, se cava un orificio en el centro del horno, se agregan 40 litros de agua y se vuelve a sellar con tierra. El tiempo de cocido del *Agave* dura 4 días, tal como lo indicaron Espinosa-Meza *et al.* (2017), que es una práctica recurrente por los maestros mezcaleros, debido al sabor ahumado que le confiere al producto.

Triturado o molienda. Una vez terminado el horneado, se extrae el *Agave* cocido, cada mezcalero reconoce su materia prima por medio de las marcas realizadas con antelación en la fase de horneado. El horno es limpiado y las cenizas son recolectadas y esparcidas en las plantaciones. Es importante destacar que con este proceso se concluye el trabajo en equipo y continúa el proceso de manera individual. Por lo tanto, cada productor se encarga de moler su propio *Agave*; algunos de ellos involucran a sus esposas en esta etapa, para ello utilizan una trituradora de gasolina con motor de 25 caballos de fuerza, se procesa el *Agave* cocido para obtener el producto desmenuzado, el cual se coloca en tinas de plástico (Figura 3A).

Fermentación. En esta etapa el *Agave* triturado es colocado en las tinas de plástico con capacidad de 1 tonelada y se deja reposar durante 7 días. Es importante registrar la fecha de inicio en cada tina para llevar un control. En esta fase se añaden rocas para contrarrestar la elevación del mosto y evitar desbordamientos. Concluido el tiempo de reposo, son agregados 300 litros de agua de pozo a cada tina y se dejan fermentar durante 8 días aproximadamente, aunque puede variar de acuerdo con las condiciones ambientales (Figura 3B). Cada productor se encarga de monitorear sus tinas, utilizando un densímetro de cocina o pesa-jarabes en grados Brix, cuando el instrumento marca de 1 a 2 °Brix, el mosto se encuentra listo para ser destilado.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. A) Trituradora. B) *Agave* triturado reposando en tinas de fermentación. C) Alambique para destilación artesanal. D) Perlado del mezcal indica el grado de alcohol.

Destilación. En este proceso se emplea un alambique de cobre con capacidad para 1/3 de tonelada de *Agave*. Esta cantidad es colocada en la olla de cobre, la cual es calentada con fuego directo usando 28 kg de leña seca de copalillo o palo blanco como combustible para 6 horas de destilación. En la caldera se evapora el alcohol del mosto y se conduce a través de la tubería de cobre hasta llegar a un intercambiador de calor de serpentín, sumergido en una tina de agua a temperatura ambiental, donde el mezcal se condensa y se recupera en garrafas de plástico (Figura 3C). De la destilación se obtienen “puntas” y “colas”, las puntas son el producto obtenido en la primera hora de destilación con un grado de alcohol mucho mayor que las colas (obtenidas en los últimos minutos del proceso). Al concluir la destilación, el maestro mezcalero realiza mezclas de puntas y colas hasta obtener el grado de alcohol deseado para el producto, el cual puede variar de 35% a 55% alcohol volumen a 20°C. Para determinar el grado de alcohol del mezcal, el productor realiza una medición con una jícara de guaje y una caña seca o carrizo que hace la función de una pipeta. Al dejar caer el mezcal en la jícara, se observa la formación de perlas en la superficie y en función de su tamaño y cantidad se determina el porcentaje de alcohol. Este dato coincide con Bautista *et al.* (2015), los cuales refieren que esta técnica es realizada de forma empírica por los maestros mezcaleros (Figura 3D). Esta medición se verifica con un alcoholímetro. Posteriormente, el mezcal es almacenado en garrafones de vidrio de 20 litros.

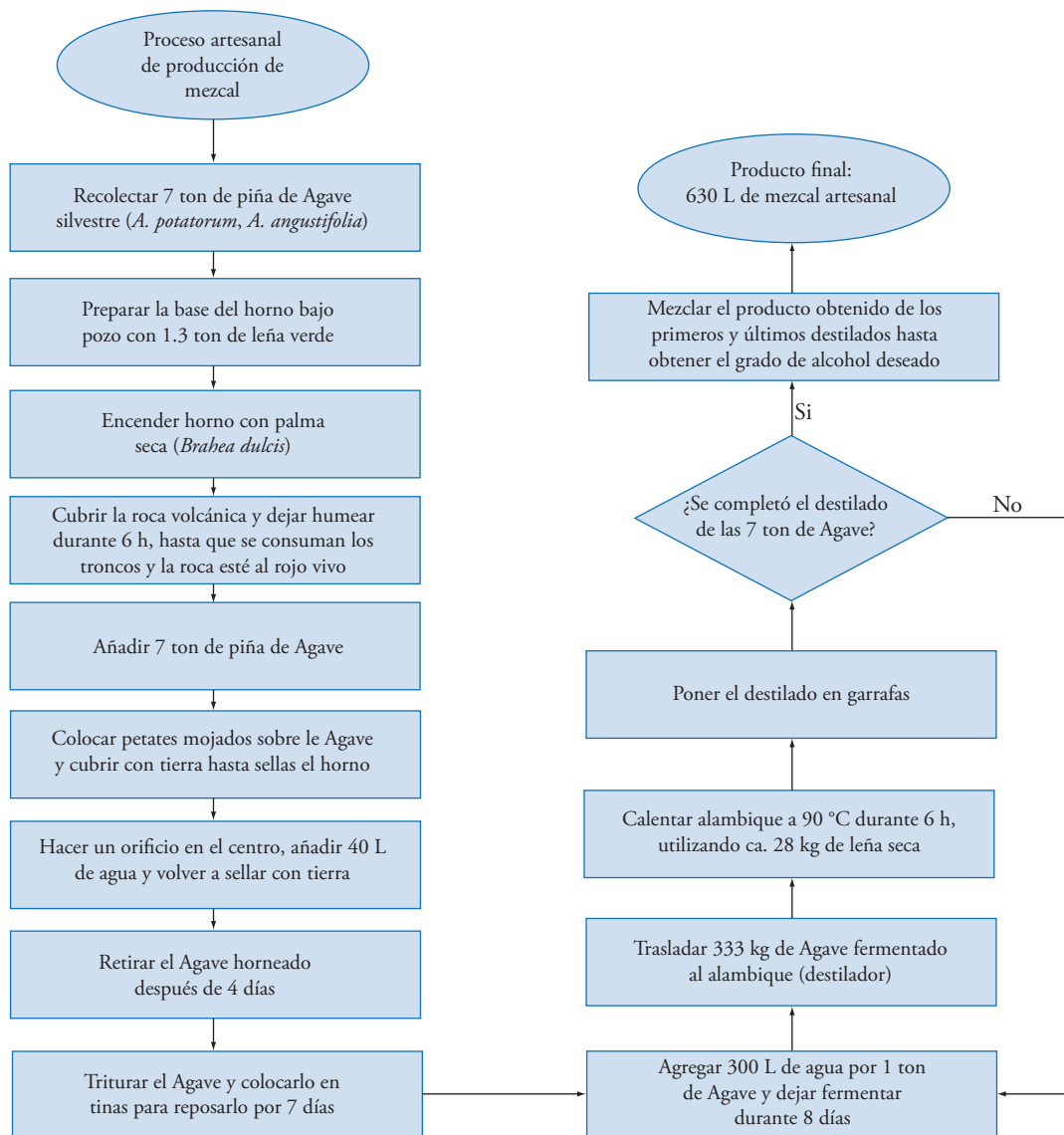
El proceso de destilación continúa hasta que se consumen las 7 toneladas iniciales de *Agave*. Cada maestro mezcalero obtiene su propio mezcal, de acuerdo con la cantidad de *Agave* que aportó inicialmente. En esta fase, se requieren 11.11 kg de *Agave* necesarios para obtener 1 litro de mezcal, con un peso promedio de la piña de 30 kg. Los residuos sólidos del *Agave*, es decir el bagazo, son recolectados para verter como compost al aire libre, el cual se estima tarda 2 años en poder ser utilizado. El proceso completo de producción artesanal de mezcal de la fábrica Tepenahuazo, se presenta en forma de diagrama de flujo en la Figura 4.

Identificación de la problemática comunitaria en el proceso de producción de mezcal

La problemática obtenida a partir de los talleres participativos (lluvia de ideas, árbol de problemas y caracterización de prácticas de manejo), se describe a continuación.

Los principales problemas identificados a partir de la lluvia de ideas fueron los siguientes: 1) No hay materia prima suficiente, el *Agave*, tanto silvestre como cultivado, es escaso para la producción de mezcal; 2) No se tiene un precio homogéneo, varía de acuerdo al productor, donde algunos tienen un precio muy bajo y otros más alto, quedando en desventaja los primeros a pesar de ser el mismo producto; 3) Falta de agua para plantaciones; 4) Falta de organización entre los mezcaleros, les ha sido difícil trabajar en conjunto para obtener las certificaciones necesarias, así como para acordar precios homogéneos y establecer estrategias de manejo y conservación del recurso; 5) No hay financiamiento ni asesoría, han recibido poco apoyo externo y consideran que es necesario para continuar creciendo.

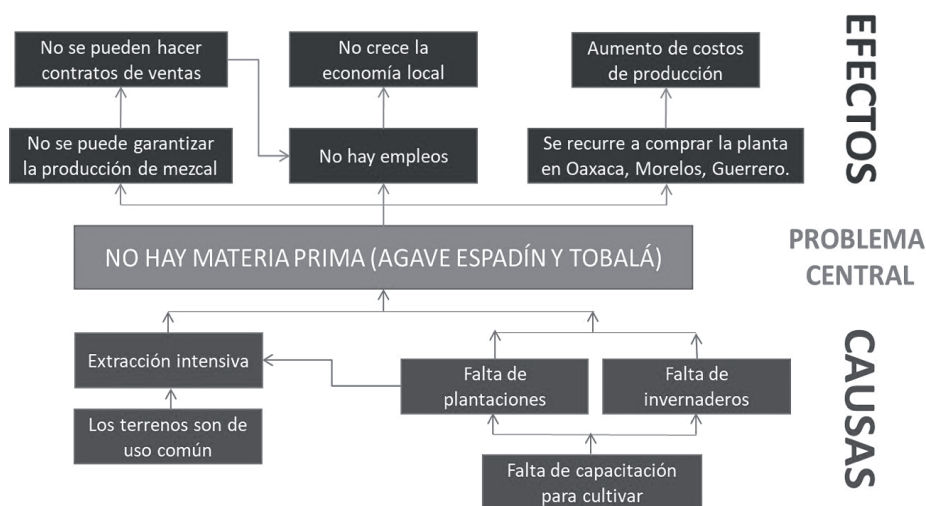
De los problemas mencionados anteriormente, los maestros mezcaleros de las tres fábricas indicaron que la problemática principal actual es la escasez de *Agave* (*A. potatorum*, *A.*



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso productivo de mezcal artesanal.

angustifolia), como materia prima para la fabricación de mezcal. El árbol de problemas mostró en la parte inferior que las causas de la escasez de *Agave* son: la propiedad común de los terrenos donde se encuentran las plantas, la falta de capacitación y asistencia técnica del cultivo. Esto genera diversos efectos como la compra de planta en otros Estados del país, y que no hay garantía de abastecimiento de planta para la producción de mezcal generando, a su vez, aumento en los costos de producción y poco crecimiento de la economía local (Figura 5).



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Árbol de problemas de la cadena maguery-mezcal.

Respecto a la caracterización de prácticas de manejo, se dividió en tres tipos de información: 1) Prácticas actuales de manejo del *Agave* silvestre; 2) Prácticas actuales de manejo del *Agave* cultivado; y 3) El escenario ideal del sistema de producción *Agave*-mezcal.

Prácticas actuales de manejo del *Agave* silvestre

En las prácticas actuales de manejo del *Agave* silvestre, los participantes indicaron que entre 90-97% de los mezcaleros realiza la actividad de extracción; no obstante, un pequeño porcentaje lo llega a cultivar. La extracción de los especímenes silvestres de *A. angustifolia* y *A. potatorum* se realiza desde diciembre hasta mayo, debido a la concentración alta de azúcares en la piña. La parte aprovechable del maguery es la piña, el resto de la planta es desechado en el lugar de extracción. Las prácticas de jimado se realizan de manera manual. Adicionalmente, se menciona que se extrae leña de árboles silvestres como el cazahuate (*Ipomea murucoides*), cubata (*Acacia cochliacantha*), el espino (*Acacia, Mimosa*), y el huizache (*Acacia farnesiana*), para el horneado y destilado del maguery.

Prácticas actuales de manejo del *Agave* cultivado

En cuanto a las prácticas de manejo del *Agave* cultivado, entre el 3-10% de los mezcaleros cuentan con sus propias plantaciones y tienen 5 años de experiencia en promedio. Los productores de *Agave* obtuvieron la semilla del medio silvestre de *A. angustifolia* y *A. potatorum*. Mencionaron que se destinan áreas de exclusión para que los especímenes cultivados completen su ciclo reproductivo y se obtenga semilla. La germinación se lleva a cabo en almacigo, donde las plántulas permanecen de 5 a 6 meses y posteriormente son trasplantadas a bolsas de vivero. Las pequeñas plantas son trasplantadas en campo cuando tienen 2 años, con una separación de 1.30 metros entre planta y planta para el maguery espadín y 1 metro para el tobalá.

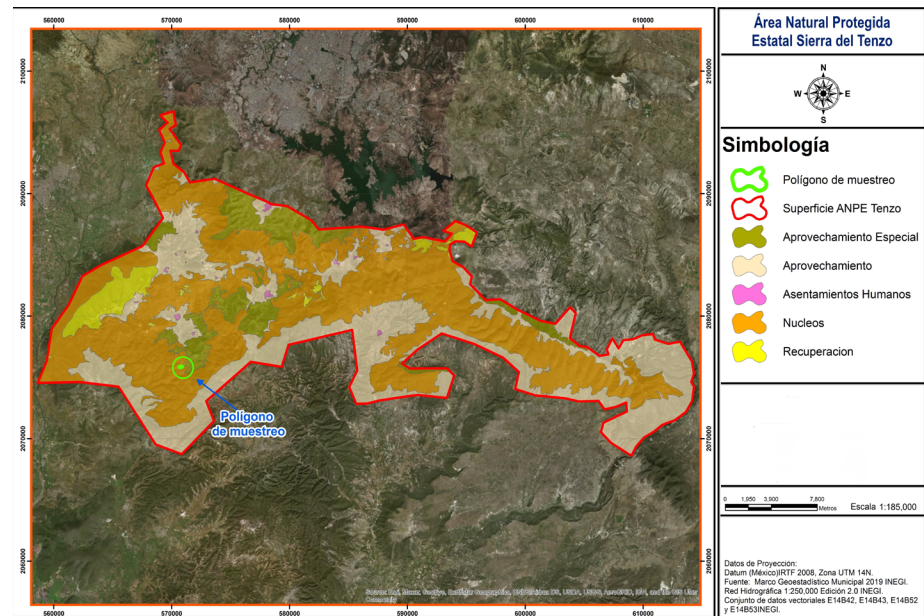
Las plantaciones se realizan en línea recta, sin curvas de nivel, ni escalonando. En referencia a los insumos agrícolas emplean como fertilizante abono orgánico como estiércol y hojas secas, mientras que el control de malezas es manual. Las principales plagas presentes son: la gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) y el picudo (*Scyphophocus interstitialis*), las cuales no han podido controlar. Indican que el pastoreo es un problema para la supervivencia de las plántulas, ya que llegan a ser pisadas o comidas por los animales. No obstante, es posible integrar sistemas silvopastoriles con la producción de *Agave*. Herrera-Pérez *et al.* (2017) reportaron sobre la eficiencia de la práctica de libre pastoreo bajo ciertas condiciones: rotación del ganado entre plantaciones, periodicidad (después del temporal de lluvias), edad de las plantas (tres años), y el tipo de ganado.

Escenario ideal del sistema de producción *Agave*-mezcal

Los participantes del taller realizaron un diagrama del escenario ideal para la cadena *Agave*-mezcal, el cual inicia con un invernadero o área de germinación para las semillas de *Agave*, obteniendo como producto las plántulas que posteriormente se sembrarán en los terrenos de los agricultores, verificando que “las variedades de *Agave* puedan plantarse juntas o por especie”, y monitoreando la edad de los magueyes para su jimado. Se enfatiza la necesidad de asistencia y asesoría técnica continua en las etapas de producción de *Agave*, para “controlar todos los factores y asegurar la materia prima y el producto”.

Estructura poblacional de *Agave angustifolia* en la zona núcleo de la Reserva Estatal Sierra del Tentzo

La población de *Agave* con la que se trabajó, se ubica en la zona núcleo de la Reserva Estatal Sierra del Tentzo, tal como se observa en la Figura 6, donde se señala la zonificación y ubicación del cuadrante o polígono de muestreo. Ampliando la escala del mapa de 1:10,000 a 1:4,000, se observa que el sitio de muestreo se ubica en una pendiente cerca de una cañada, en un área lejos de asentamientos humanos y zonas de aprovechamiento. Entre la vegetación asociada identificada en el polígono, se encontró: cuajote rojo (*Bursera* sp.), cubata (*Acacia cochliacantha*), mala mujer (*Cnidoscolus* sp.), cacalosuchil (*Plumeria rubra*), gallinita (*Tillandsia recurvata*), maguey espadín (*Agave angustifolia*), nopal (*Opuntia* sp.), palma (*Brahea dulcis*), lantana (*Lantana* sp.), y cinco negritos (*Lantana camara*). En el cuadrante se registraron 60 individuos de *A. angustifolia* de tamaños variables. Cabe mencionar que no se registró ningún individuo de *A. potatorum*. La densidad poblacional calculada es de 460 ind/ha (0.046 individuos por m²), la cual es baja al compararse con la literatura, en la cual se registran densidades de 1,080 a 1,340 ind/ha (Cervera *et al.*, 2018; Delgado-Lemus, 2008; Torres, 2009). En la Figura 7, se observa la ubicación de cada individuo dentro del polígono, donde es evidente la distribución agregada de *A. angustifolia*, tal como se reporta en otros trabajos para esta especie (Cervera *et al.*, 2018). Se encontró una mayor frecuencia de individuos con diámetro de roseta entre 34 y 67 cm. Por otra parte, se halló evidencia de la extracción de 9 plantas adultas en todo el cuadrante, lo cual sugiere una pérdida de al menos 18,000 semillas, considerando los planteamientos de Torres *et al.* (2013). Estos datos sugieren una sobreexplotación, incluso en las zonas de



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Zonificación del ANP Reserva Estatal Sierra del Tentzo y ubicación del polígono de muestreo.

conservación y refuerza la necesidad de una estrategia para la conservación del *Agave* en la región.

En cuanto a la estructura poblacional de *A. angustifolia*, se definieron 5 categorías de tamaño, considerando los datos obtenidos de las variables de altura de roseta, diámetro de roseta y número de hojas. La mayor abundancia en cuanto a la altura, fueron aquellos que median de 28 cm a 54 cm. En cuanto al diámetro de la roseta, el mayor número de individuos presentes fueron aquellos que median de 34 cm a 67 cm (Figura 8).

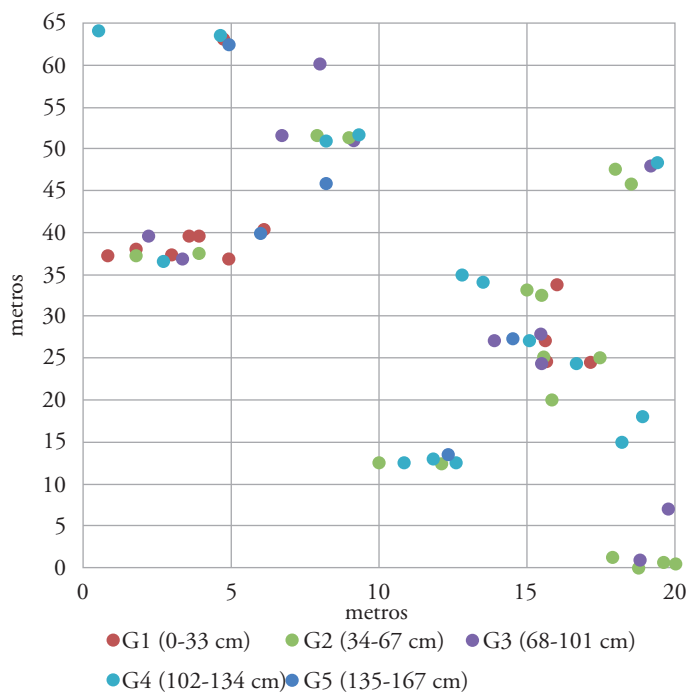
Por su parte, la frecuencia de *Agave angustifolia* por número de hojas fue mayor en los rangos de 0-13, 14-26, y 27-39, indicando muy pocos individuos bien desarrollados (Figura 9).

Acciones para el aprovechamiento sustentable en la producción de mezcal

Establecimiento de viveros y plantaciones

De acuerdo con las dimensiones de sustentabilidad, el establecimiento de viveros permitirá abordar aspectos económicos, como la generación de empleos y creación de nuevas fuentes de ingresos; aspectos ambientales, al permitir la conservación del maguey a través del cese de la extracción de especímenes silvestres, lo cual a su vez permitirá la conservación de especies asociadas al *Agave*; y aspectos sociales, como la integración de los diferentes actores a través de la cadena productiva *Agave*-mezcal y la creación de alianzas entre actores y con otras cadenas productivas.

Con base en el diagnóstico, el estudio de las poblaciones de *Agave* silvestre y de la investigación en la literatura (Illsley *et al.*, 2005; Torres *et al.*, 2013), se propone establecer un



Fuente: elaboración propia.

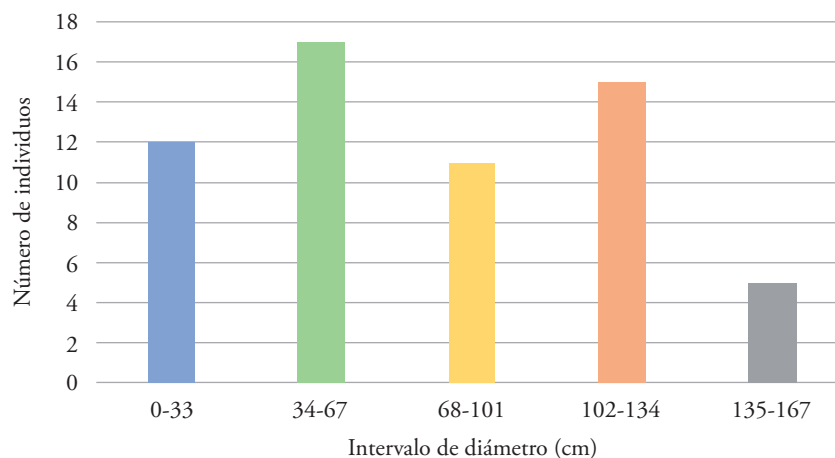
Figura 7. Distribución agregada de *A. angustifolia* silvestre (1300 m²), considerando el diámetro de la roseta. Paraje de los Ahogados, Área Natural Protegida Sierra del Tentzo. 25 de julio de 2019. G1 a G5 corresponde a los grupos de acuerdo al tamaño del diámetro.

vivero rústico para la producción de maguey. Las características mínimas que debe tener el vivero, es usar malla sombra de 60%, cercado para evitar entrada de ganado, y contar con un área para germinación de semillas y para aclimatación de plántulas.

En un inicio, la semilla que se utilice deberá ser recolectada del medio silvestre. Posteriormente, podrá ser recolectada dentro de las mismas plantaciones. La recolección será en los meses de abril y mayo, antes de que el fruto se abra para soltar la semilla. Se sugiere recolectar primero los frutos de las ramas inferiores, mientras aquellos de las ramas superiores continúan su maduración. Las semillas se obtienen abriendo el fruto con pinzas y se separan por colores, donde las negras contienen embrión y el resto son vanas, y se dejan secar un mes antes de utilizarlas. El tiempo máximo que podrán permanecer almacenadas sin germinar será de un año y medio, para asegurar su viabilidad.

En San Diego La Mesa existen 88 productores de mezcal, cada productor fabrica en promedio 800 litros al año y se requieren 11.11 kg de *Agave* para elaborar 1 litro de mezcal. Se estima que cada piña de *Agave* pesa alrededor de 30 kg. Tomando estos datos en cuenta, es posible calcular las necesidades de los productores como se presenta a continuación:

$$\text{Producción anual de mezcal} = 800 \text{ L/año/productor} * 88 \text{ productores} = 70,400 \text{ L/año}$$

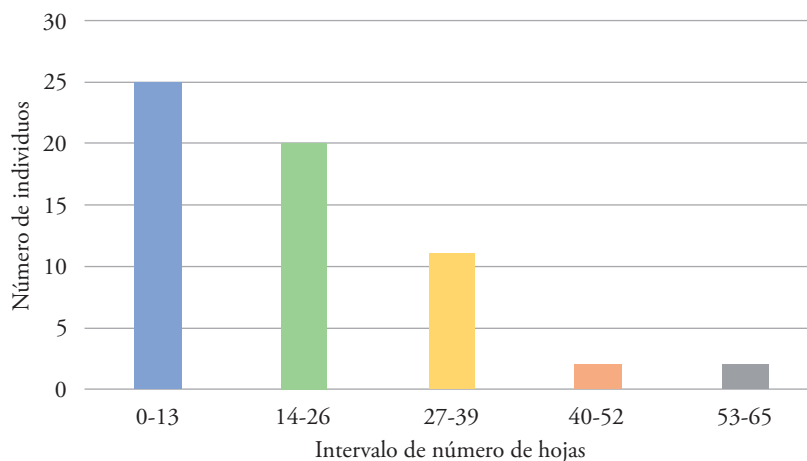


Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Frecuencia de *Agave angustifolia* por categoría, considerando el diámetro de roseta (cm), en el polígono de muestreo Paraje de los Ahogados, Área Natural Protegida Sierra del Tentzo. 25 de julio de 2019.

Kilos de *Agave* necesarios= $70,400 \text{ L/año} \times 11.11 \text{ kg Agave/L} = 782,144 \text{ kg de Agave/año}$
Plantas de *Agave* necesarias= $782,144 \text{ kg/año} \div 30 \text{ kg por piña} = 26,071 \text{ plantas/año}$

La comunidad necesita al menos 26,071 magueyes al año, para cubrir las necesidades de materia prima para la elaboración de mezcal. De manera unitaria, cada productor necesita 296 agaves para cumplir con su producción anual. Si el porcentaje promedio de germinación es de 50%, cada productor deberá sembrar 592 semillas al año o bien, en conjunto,



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Frecuencia de *Agave angustifolia* por categoría, considerando el número de hojas. Paraje de los Ahogados, Área Natural Protegida Sierra del Tentzo. 25 de julio de 2019.

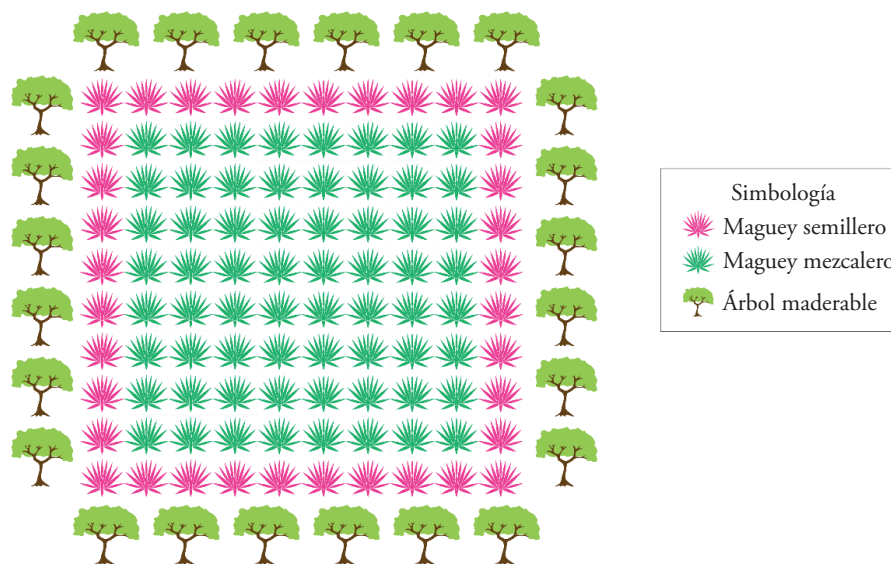
los viveros que se establezcan en la comunidad deberán sembrar 52,142 semillas al año. Esto solo para cumplir la demanda de mezcal, sin embargo, la producción de planta puede ser mayor para venderla a otras comunidades o generar contratos con clientes externos al municipio.

La fertilización de las plántulas iniciará una vez que se encuentren en las bolsas de vivero usando abonos orgánicos como estiércol, lombricompost o el mismo bagazo (residuo de la destilación del mezcal). Mientras se encuentran aún en el vivero, se sugiere hacer una fertilización con 0.5 kg de abono orgánico por planta, cada dos meses (Ayvar *et al.*, 2017). Se propone utilizar al menos 20% de los magueyes cultivados como proveedores de semilla; deberán seleccionarse las plántulas más robustas y separarlas para hacer plantaciones especiales de plantas semilleras (Illsey, 2005). Para el establecimiento de cultivos, se recomienda plantar al comienzo de la temporada de lluvias. Se puede realizar el cultivo en valles o en laderas, siguiendo las curvas de nivel cuando la pendiente sea mayor a 5% (Pérez Ramos *et al.*, 2017). El espacio entre agaves deberá de ser de 1 a 2 metros y estar cercado para evitar la entrada de ganado y proteger las plantas. Se recomienda realizar una fertilización al campo, previo a trasplantar los agaves, utilizando abono orgánico, removiendo la tierra del suelo e integrándolo con esta. Se deberá contar con espacio suficiente para dividir el terreno en 10 partes, donde cada parte deberá contener la producción anual completa. Esto permitirá asegurar la materia prima necesaria para cada año (296 agaves cada año). Cada parcela deberá contener esa cantidad de agaves, con un año de diferencia en la fecha de siembra. De esta forma, al paso de 10 años, tiempo necesario para el desarrollo completo de la planta, se tiene asegurada la planta para las generaciones futuras. La cantidad necesaria de agaves deberá recalcularse cada año, con base en la demanda de mezcal. Una vez cosechado el cuadrante, lo ideal es dejar descansar el suelo al menos durante 1 año antes de volver a plantar, para permitir su regeneración natural. De igual forma se sugiere la rotación de cultivos, en la medida de lo posible.

Sistema agroforestal

La implementación de un Sistema Agroforestal (SAF) en las plantaciones de maguey es viable para su conservación y aprovechamiento (Torres *et al.*, 2019), en la cual se involucran especies maderables aprovechables para el mismo proceso de elaboración de mezcal, tales como el mezquite, el sabino y el huizache. En la Figura 10, se propone el arreglo de lindero o franjas, que funja como barrera/cerca viva. Las hileras contiguas a los árboles serán de magueyes semilleros, con el objetivo de resguardar los agaves bajo los árboles que desempeñarán el papel protector, brindado sombra y protegiendo al maguey de las inclemencias del tiempo, aumentando sus probabilidades de supervivencia y asegurando la obtención de semilla. Asimismo, el resguardo del árbol proporcionará protección del viento al quiote del maguey, cuando se encuentre en su etapa reproductiva, evitando que se quiebre, como sucede en algunas ocasiones en el medio silvestre.

El acomodo en lindero permitirá también la exclusión del ganado en las plantaciones de *Agave*. Las hileras siguientes a los magueyes semilleros, serán de magueyes mezcaleros, estos estarán expuestos a la luz solar directa, de manera que generarán más azúcares y por



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Propuesta de sistema agroforestal magüey-mezquite-sabino. La separación entre plantas será de 1-2 m.

ende rendimientos óptimos en la destilación. El arreglo que se observa en la Figura 10 representa un predio con 100 agaves, con espacio de 1 a 2 metros entre cada uno. Para la conservación de los nutrientes del suelo, se sugiere que se intercalen los árboles de esta manera, por cada 100 *Agaves* plantados, los maderables podrán aprovecharse por poda o corte del ejemplar completo.

Algunos autores sugieren incorporar cultivos anuales entre las hileras de *Agave*, permitiendo tener aún más diversidad en la plantación, ayudando a la conservación del suelo, aprovechando el espacio al máximo y disminuyendo la existencia de plagas y enfermedades (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2009; Bautista y Smit, 2012; Ayvar *et al.*, 2017; Herrera-Pérez *et al.*, 2017). Dichos autores plantean cultivar maíz, frijol, cacahuete o garbanzo, durante los primeros tres años del establecimiento de la plantación de magüey. La fertilización deberá hacerse anualmente, incorporando al terreno abono orgánico, como estiércol ovino, bovino o caprino, lombricompost o compost de bagazo, se estima que se necesitan entre 1.5 y 4 kg por planta (Ayvar *et al.*, 2017; Pérez Ramos *et al.*, 2017).

En cuanto al control fitosanitario para el picudo (*Scyphophocus acupunctatus*) y la gallina ciega (*Phyllophaga* spp.), se pueden prevenir y disminuir al tener cultivos con diversidad de especies agrícolas y forestales (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2009; Bautista y Smit, 2012). Entre otras medidas preventivas, se tienen: 1) Arar el terreno previo a la siembra, para exponer aquellas plagas que se encuentran en el suelo como el mayate (*Rhynchophorus* spp.) y otras larvas; 2) Control manual de maleza; 3) Remoción de pencas enfermas o con plaga, o eliminar por completo y retirar del predio la planta enferma o con plaga. Como control biológico se ha encontrado que el hongo *Beauveria bassiana* se puede aplicar a las

pencas de planta, provocando la mortalidad del picudo y otras plagas, al ser utilizado en soluciones de concentraciones de 2.1×10^{10} esporas/ml (Ayvar *et al.*, 2017). A pesar de que los plaguicidas y herbicidas son comúnmente utilizados, se sugiere evitar el uso de agroquímicos y hacer énfasis en las acciones preventivas y de control manual.

Prácticas extractivas sustentables en el medio silvestre

Debido al ciclo biológico del *Agave*, la producción se obtendrá entre 7 a 10 años, en este periodo la comunidad mezcalera continuará realizando extracción de especímenes silvestres para cubrir la demanda. Es por esto que resulta de vital importancia proponer los lineamientos para contar con prácticas extractivas sustentables que permitan la conservación de la biodiversidad en la zona. Para promover la conservación del *Agave*, se propone lo siguiente: 1) Extraer solamente agaves maduros. Los individuos más jóvenes deberán permanecer intactos para permitirles continuar su desarrollo; 2) Dejar como mínimo el 20% de las plantas en etapa de madurez de cosecha, para que lleguen a su madurez reproductiva y propiciar así la regeneración por semilla. En la práctica, se entiende como dejar intacto 1 *Agave* por cada 4 cortados. Las plantas a preservar deberán ser marcadas de forma visible, señalando a otros jimadores que es un maguey semillero y no deberá ser cosechado; 3) Cuando se desee aprovechar solo las pencas, se podrá cortar máximo el 50% de ellas, en aquellos individuos que hayan alcanzado su madurez; y 4) Para favorecer el desarrollo de nuevas plantas de maguey, se recomienda el trasplante de hijuelos en las mismas áreas de aprovechamiento (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012).

Repoblación del medio silvestre

Con base al manual del manejo campesino de magueyes mezcaleros silvestres (Illsley *et al.*, 2005), el manual de germinación y manejo de especies forestales (Rodríguez *et al.*, 2002), y los estudios de Torres (2009, 2013), se propone una estrategia de repoblación de *Agave* en la Reserva Estatal Sierra del Tentzo, seleccionando un sitio dentro de la zona núcleo de la reserva. El área seleccionada deberá cercarse para evitar la entrada del ganado y para delimitar la zona de reforestación y, por ende, de prohibición de extracción. Dentro de este sitio se realizarán cuatro acciones:

- 1) La dispersión de semillas de este u otro sitio de la reserva, para ayudar al repoblamiento natural. Se recomienda dispersar las semillas cosechadas ese mismo año, en los meses de lluvia.
- 2) La repoblación con plántulas provenientes de los viveros de la comunidad deberán ser mayores de 2 años y ser sembradas bajo la sombra de una planta protectora, para aumentar sus probabilidades de supervivencia. La cantidad de magueyes que se deberán plantar en las zonas de reforestación estará en función de la cantidad extraída anualmente, en ese sentido se propone que se planten 20 magueyes por cada maguey aprovechado y la recomendación es plantar al inicio de la temporada de lluvias.
- 3) Las prácticas pertinentes para la prevención de incendios.
- 4) La creación de inventarios anuales, para conocer el estado inicial del sitio y su progreso. Respecto a este último punto, es indispensable establecer una comisión que cuantifique

y realice un censo de los magueyes maduros de forma anual, así como supervisar los sitios reforestados. Para esto deberán organizarse los maestros mezcaleros de las distintas fábricas, en sinergia con autoridades municipales. Existe incluso la posibilidad de crear lineamientos comunitarios para imponer sanciones e incidir en el manejo adecuado de los recursos.

Por otra parte, serán necesarios acuerdos comunitarios para el reparto de beneficios, ya que el maguey en esta zona es de uso común. Bajo este contexto, se sugiere establecer un número de plantas proporcional a la participación y la aportación realizada por cada mezcalero, ya sea en tiempo (jornal), en efectivo o en especie. En general, se deberá hacer una revisión de los acuerdos comunitarios para regular el acceso, uso y manejo del maguey y otros recursos naturales de la región. Incluso se pueden usar los agaves para reforestar y ayudar a la retención de suelos, infiltración del agua y disminución de la erosión, al plantarse en curvas de nivel, en zonas desprovistas de vegetación o de recarga de acuíferos, en forma de bordos o terrazas, o como barreras vivas alrededor de otros cultivos, promoviendo la conservación de otros recursos.

Manejo de subproductos

El bagazo es uno de los principales residuos de la producción de mezcal, siendo las fibras sobrantes del mosto destilado, compuesto principalmente por lignocelulosa. En el caso de las fábricas de San Diego La Mesa generan por cada tonelada de *Agave* 400 kg de bagazo, mismo valor reportado en la literatura (Ordaz *et al.*, 2019). Es decir, por cada litro de mezcal, se producen 4.4 kg de bagazo. Tomando en cuenta que, en promedio, cada maestro mezcalero elabora 800 litros al año, cada productor genera 35,200 kg de bagazo anuales. Por sus diversas aplicaciones y por su gran cantidad producida, se proponen cuatro estrategias para el aprovechamiento del bagazo: compostaje, ecoladrillos, sustrato para cultivo, y alternativa de leña.

Bagazo para compost

Un aprovechamiento común del bagazo en la industria del mezcal es la elaboración de compost (Hernández, 2014; Gurrola *et al.*, 2016; Ordaz *et al.*, 2019). Esta práctica es realizada por los productores de mezcal, quienes apilan el bagazo a un lado de la fábrica, este se descompone durante dos años, posteriormente es aprovechado para fertilizar las plantaciones. Derivado a que el compostaje es recurrente, se realizan las siguientes sugerencias para optimizar su eficiencia: 1) Se debe colocar un hule negro o algún otro material aislante como base, para evitar que los lixiviados escurran al suelo y causen erosión; 2) El compost deberá ser cubierto igualmente por un hule negro, para mantener la humedad del bagazo y para aumentar su temperatura al recibir los rayos del sol, acelerando su descomposición; 3) Mover el compost constantemente, para obtener una descomposición homogénea; 4) Incorporar estiércol de ganado para enriquecer los nutrientes en el compost; 5) Cribar el producto resultante, para una mejor incorporación a los suelos; y 6) Elaborar pacas biodigestoras.

Bagazo para ecoladrillos

El bagazo deshidratado como materia prima es utilizado para la elaboración de ladrillos para construcción (Hernández, 2014; Estrada y Rodríguez, 2016; Ruiz *et al.*, 2019), los cuales pueden ser usados en la elaboración de bodegas, casas o ampliaciones de la fábrica. Los estudios citados demuestran que la incorporación de bagazo en la elaboración de ladrillos de mampostería o adobe es factible e incluso añade propiedades a las construcciones como ligereza en los materiales, resistencia a la compresión y sin afectaciones en el tiempo de fraguado. Tomando como principal referencia el estudio de Ruiz *et al.* (2019), el cual realizó experimentos con bagazo de *A. angustifolia*, especie de interés para el caso de San Diego La Mesa Tochimiltzingo, se establece que la concentración de bagazo debe ser de 18% con respecto al peso del adobe. El bagazo debe estar deshidratado y triturado en longitudes de 0.5 cm, el tamaño de los ladrillos puede ser definido al gusto, mientras se respeten las proporciones de la mezcla. Esta estrategia permite el aprovechamiento de residuos de las fábricas de mezcal, convirtiendo el bagazo en un subproducto utilizable como materia prima en la elaboración de materiales de construcción.

Bagazo como sustrato

Diversas investigaciones concluyen que el bagazo de maguey puede ser utilizado como sustrato para la producción de hongos (Guzmán-Dávalos *et al.*, 1987; Baena *et al.* 2005; Chairez-Aquino *et al.*, 2015), de tomate (Ordaz *et al.*, 2019), y del mismo *Agave* en vivero (Crespo *et al.*, 2013). El cultivo de hongos se ha demostrado factible tanto para el bagazo de *Agave*, como para el bagazo de caña de azúcar, los cuales comparten características similares en cuanto a su carácter lignocelulósico. Las especies de hongos comestibles de mayor estudio son las denominadas comercialmente setas (*Pleurotus* spp.), las cuales se ha comprobado que tienen la capacidad de crecer en bagazo de *Agave*, pues sintetiza enzimas que degradan la celulosa, la lignina y la hemicelulosa. En cuanto al cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), se propone utilizar el bagazo como sustrato orgánico para el cultivo sin suelo. Para el caso del cultivo agave, se utiliza polvo de coco y bagazo derivado del compostaje, en una proporción de 30% a 50%, para plántulas a partir de 16 meses de edad (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2013), por sus características, existe una alta probabilidad de funcionalidad y también como sustrato para germinar agaves. Esto podría resultar en un ahorro económico en la producción de maguey mezcalero en vivero. Otro estudio realizado del bagazo de agave tequilero corrobora la viabilidad del bagazo como sustrato para el cultivo del brócoli, debido a que son bioestables (Rodríguez *et al.*, 2005).

Bagazo y pencas de maguey como alternativas de leña

En la etapa del horneado o cocimiento para una tonelada de maguey, se requieren 185 kg de leña verde y 85 kg de leña seca para destilar esa cantidad de *Agave*. Los cálculos para estimar la cantidad necesaria de leña verde y seca, anualmente, en el caso de la fábrica Tepenahuazo indican que, para cumplir la demanda de mezcal, se necesitan 23,020 kg de leña verde y 10,577 kg de seca. Los mezcaleros de San Diego La Mesa Tochimiltzingo,

sólo aprovechan la piña de la planta y dejan las pencas en las plantaciones. En algunos palenques de Oaxaca y Puebla, se aprovechan las pencas de maguey como complemento a la leña, en el proceso de horneado. Con estas referencias, se sugiere que las fábricas estudiadas implementen la práctica de recolección y aprovechamiento de pencas para el horneado del maguey. De esta forma se convierte un residuo del jimado en materia prima para la elaboración de mezcal, reduciendo la cantidad de leña verde necesaria y por ende disminuir la deforestación.

Por otra parte, se sugiere usar el bagazo deshidratado como combustible en los procesos de horneado y destilado, ya que se ha encontrado que este residuo tiene un valor de calor de combustión de 9.55 MJ/kg, el cual puede sustituir a la palma usada para encender el horno y a la leña seca usada en la destilación (Chávez-Guerrero e Hinojosa, 2010). Como proyecto a futuro, se podría explorar la posibilidad de producir bioetanol a partir de las pencas de *Agave* (Corbin *et al.*, 2015).

Manejo de vinazas

Las vinazas son uno de los residuos más importantes en la producción de mezcal, por cada litro de mezcal producido, se obtienen 14.9 litros de vinazas como residuo (Ordaz *et al.*, 2019). Por sus características fisicoquímicas, resultan muy agresivas para el medio ambiente, principalmente suelos y cuerpos de agua, ya que tienen pH bajo, alta acidez, requieren una alta demanda química de oxígeno y presentan una alta concentración de sólidos de materia orgánica, la cual puede causar eutrofización (Robles-González *et al.*, 2012; Morán-Salazar *et al.*, 2016; Ordaz *et al.*, 2019).

Existen tratamientos biológicos y químicos como la digestión anaeróbica, la ozonificación y los procedimientos aerobios incluyendo el uso de bacterias como las pseudomonas y algunos hongos (Robles-González *et al.*, 2012). Sin embargo, son tratamientos que requieren el uso de equipos complejos y costosos como reactores, lechos fluidizados, digestores, filtros y destiladores, siendo una tecnología no viable para el caso de San Diego La Mesa Tochimiltzingo. Se ha reportado la neutralización de vinazas con cal, para posteriormente utilizarse en el riego de campos (Hernández, 2014). Se recomienda que el riego se realice en zonas ubicadas a más de 50 metros de reservas protegidas, fuera de zonas de abasto de aguas subterráneas, a más de 15 metros de los bordes de vías de comunicación y a una distancia de 1000 metros de los núcleos urbanos (CONADESUCA y SAGARPA, 2016). El uso de vinazas neutralizadas para el riego funge a su vez como fertilizante, por sus altas concentraciones de carbono, nitrógeno, potasio y fósforo (Ordaz *et al.*, 2019).

El disponer de las vinazas de esta manera, se reduce el riesgo de erosión de suelos, de eutrofización de cuerpos de agua y propicia el aumento de cobertura vegetal (Robles-González *et al.*, 2012). La adopción del compost con vinazas y materia orgánica sólida es una tecnología de bajo costo, adecuada para regiones rurales, por lo que se propone como estrategia principal para el caso de San Diego La Mesa Tochimiltzingo. Otro uso del bagazo y las vinazas es la producción de biogás (Gómez *et al.*, 2014), aunque esto requiere de una tecnología más elaborada e inversión.

Colector pluvial en fábrica

Por cada tonelada de *Agave* a fermentar, se utilizan 300 litros de agua de pozo y en la etapa de destilado se utilizan 9,000 litros de agua de enfriamiento para la condensación del licor, de los cuales se pierden, por evaporación, 100 litros por cada tonelada de maguey destilada. Es decir, cada tonelada de *Agave* requerirá 400 litros de agua en el proceso de transformación. Por lo tanto, para elaborar 1 litro de mezcal se utilizan 11.11 kg de agave, se calcula el total de kilogramos de *Agave* utilizados anualmente, y se hace la relación con los litros de agua necesarios por tonelada. De acuerdo con los cálculos para el caso específico de la fábrica Tepenahuazo, se necesitan 49,773 litros de agua/año, los cuales provienen de pozos cercanos a la fábrica. Por ello, se justifica el aprovechamiento del agua de lluvia como estrategia de sustentabilidad. Esta fábrica cuenta con un espacio de 1,000 m². Se sugiere que se instale un colector pluvial para utilizar el agua en el proceso de fabricación de mezcal. Para calcular el volumen de agua que se podrá captar anualmente, se utilizó la fórmula propuesta en el Manual de Captación de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos (Adler *et al.*, 2008):

Volumen agua= (0.80) (área efectiva de captación) (cantidad de lluvia anual)

Para San Diego La Mesa Tochimiltzingo se reporta un rango de precipitación anual de 800 mm (INEGI, 2009), equivalente a 800 litros al año por metro cuadrado. Considerando que de los 1,000 m² está techada la mitad, excluyendo el área de horneado, y utilizando el coeficiente de escurrimiento de 0.8, se obtiene el volumen de agua anual a captar de 320,000 litros/año. Al contar con un colector pluvial de estas dimensiones, se tendrá un 84.4% extra de agua, que puede ser utilizada para sanitarios o riego de viveros y plantaciones. En los sistemas de captación pluvial, la inversión más grande es el recipiente de almacenaje, por lo que se sugiere que se construya una cisterna con capacidad de 50,000 litros.

Certificación ante el Consejo Regulador de Mezcal

Contar con la certificación del Consejo Regulador de Mezcal les permite a los productores llamar a su producto “mezcal”, al cumplir con todos los requisitos de la denominación de origen y los estudios de autenticación; si no están certificados, el producto solo puede ser llamado “destilado de *Agave*”. Cuando se cumplen con la certificación, se les otorgan sellos y permisos que avalan el producto auténtico. Esto facilita la entrada a los mercados formales como restaurantes, bares, tiendas de licores, supermercados, entre otros, así como la venta del producto a granel a comercializadores. Al formar parte del CRM también se tiene como ventaja el aparecer en las listas de mezcales autenticados. Como lo refieren Barraza-Soto *et al.* (2014) que la asociación y certificación del mezcal contribuye a minimizar el intermediarismo y aumentar los ingresos económicos.

Agroturismo y turismo rural

El municipio de San Diego La Mesa Tochimiltzingo se encuentra a 19 km, aproximadamente 35 minutos en automóvil del municipio de Atlixco, el cual es un Pueblo Mágico y centro turístico de alta demanda regional principalmente. Esto representa una ventaja para los maestros mezcaleros, pues tienen una enorme oportunidad de comercializar sus

productos en esta zona de turismo local. Actualmente, la comunidad cuenta con un tour creado en el año 2019, el cual consiste en la visita a viveros, fábricas y mezcalerías del municipio, incluyendo degustaciones de mezcales y alimentos. Los recorridos no incluyen el traslado hasta San Diego La Mesa Tochimiltzingo. Una solución es generar alianzas con proveedores de servicios turísticos en Atlixco, quienes podrán facilitar a los turistas el transporte hasta el municipio en cuestión, además permitirá su vez aumentar la difusión de los tours, al incluirse en el catálogo de las agencias turísticas.

Como parte de la estrategia de difusión, se sugiere que el municipio busque los apoyos de la Secretaría de Cultura y de la Secretaría de Desarrollo Rural, las cuales suelen impulsar este tipo de iniciativas, como lo han hecho con el “Festival de los Productores Mezcaleros” que se realiza cada año en noviembre. Para la comercialización directa del mezcal, se pueden formar alianzas con restaurantes y bares de Atlixco que busquen ofrecer a sus clientes experiencias regionales, artesanales y culturales. Se pueden crear contratos de venta, evitando en lo posible los intermediarios, para que las ganancias puedan ser en su mayoría para el maestro mezcalero.

En resumen, las estrategias planteadas son focalizadas con una perspectiva sustentable que parte de la premisa de involucrar a la comunidad y a los productores en el manejo eficiente de los recursos, pero que obtengan un beneficio económico sin extraer de forma extensiva. Se señala que la implementación de estas alternativas puede requerir apoyos institucionales o de empresas relacionadas con el sector.

CONCLUSIONES

Para los mezcaleros de San Diego La Mesa Tochimiltzingo, la problemática principal es la falta de *Agave* para la elaboración del mezcal, debido al uso excesivo de técnicas de extracción silvestre, aunado a la poca capacitación para realizar siembras y las nulas técnicas de reforestación. Se demostró la necesidad de aumentar la cantidad de plantaciones de *Agave* para contar con materia prima asegurada y cumplir con la demanda del destilado, y al mismo tiempo reducir el jimado de especímenes silvestres, contribuyendo a su conservación. Sobre las prácticas de manejo, se encontró que 94% de los mezcaleros extrae *Agave* silvestre y realiza prácticas de capado, interrumpiendo la propagación natural de la planta. El resto ha comenzado a sembrar en los últimos cinco años, pero manifiesta falta de capacitación en siembra y cuidados del maguey. En cuanto a la estructura poblacional y el estado de conservación del *Agave* silvestre, las agrupaciones de plantas se conforman por diversos tamaños, signo de un ecosistema saludable. Se tuvo evidencia de extracción de 9 plantas en todo el cuadrante, lo cual representó una pérdida de al menos 18,000 semillas. La densidad poblacional calculada fue de 460 individuos/ha, la cual es relativamente baja, ya que existen regiones donde se registran densidades de 1,080 a 1,340 individuos/ha. Esto indica una sobreexplotación aún en las zonas de conservación. No se hallaron individuos de *A. potatorum*, lo que muestra la sobreexplotación del recurso y con ello se refuerza la necesidad de una estrategia para la conservación del *Agave* en la región. La implementación de las estrategias propuestas para cada uno de los eslabones de la cadena agave-mezcal permitirán encaminarse hacia un proceso de elaboración sustentable del mezcal, a través

de toda su cadena de valor, desde el cultivo de maguey hasta la comercialización del destilado. Es de vital importancia la organización de los productores y maestros mezcaleros, la integración de los actores relevantes, así como el análisis de la viabilidad ecológica, económica y social del sistema de producción-consumo en cada región.

Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias al apoyo del Centro de Investigación en Plantas Nativas (CIPNA)-UPAEP, a la Presidencia Municipal de San Diego La Mesa Tochimiltzingo y a los maestros mezcaleros de Tepenahuazo.

REFERENCIAS

- Adler I, Carmona G, Bojalil A. 2008. Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos. International Renewable Resources Institute Mexico, 1–47. Retrieved from [http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION oct 2008.pdf](http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION%20oct%202008.pdf)
- Ayvar S, Díaz J, Romero O. 2017. El cultivo de agave mexicano para la producción de mezcal. Editorial Académica Española.
- Baena A, Alpuche A, Flores J. 2005. Aprovechamiento del bagazo de maguey verde (*Agave salmiana*) de la agroindustria del mezcal en San Luis Potosí para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.
- Baraza E, Estrella-Ruiz JP. 2008. Manejo sustentable de los recursos naturales guiado por proyectos científicos en la mixteca poblana mexicana. *Ecosistemas*, 17(2), 3–9.
- Barraza-Soto S, Domínguez-Calleros PA, Montiel-Antuna E, Nívar-Chaidez J, Díaz-Vásquez MA. 2014. La producción de mezcal en el municipio de Durango, México. *Ra Ximhai*, 10(6), 65–74.
- Bautista JA, Smit MA. 2012. Sustentabilidad y agricultura en la “región del mezcal” de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 5–20. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i1.1477>
- Bautista JA, Orozco Cirilo S, Edit Terán M. 2015. La disminución de la producción artesanal de mezcal en la región del mezcal de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1291–1305.
- Cervera Herrera JC, Leirana-Alcocer JL, Alberto JAN. 2018. Environmental factors associated with the cover of *Agave angustifolia* (Asparagaceae) in the coastal scrubland of Yucatán, Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, (124), 75–84. <https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1252>
- Cháirez-Aquino J, Enríquez del Valle JR, Ruíz-Luna J, Campos-Ángeles GV, Martínez-García R. 2015. Uso del bagazo de *Agave* spp. y hojas de maíz para cultivar el hongo *Pleurotus ostreatus*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 2(1), 23–28.
- Chávez-Guerrero L, Hinojosa M. 2010. Bagasse from the mezcal industry as an alternative renewable energy produced in arid lands. *Fuel*, 89(12), 4049–4052. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.07.026>.
- CONADESUCA, SAGARPA. 2016. Vinazas: Alternativas De Uso. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171932/Nota_Informativa_Septiembre_Vinazas.pdf.
- CRM (Consejo Regulador del Mezcal). 2015. Denominación de Origen Mezcal.
- CRM (Consejo Regulador Del Mezcal). Retrieved from <http://www.crm.org.mx/index.php>
- CRM (Consejo Regulador del Mezcal). 2019. El Crecimiento del Mezcal 2018, Resumen del Informe Estadístico. *El Mezcal: La Cultura Líquida de México*, 10–19.
- Corbin KR, Byrt CS, Bauer S, Debolt S, Chambers D, Holtum JAM, Burton RA. 2015. Prospecting for energy-rich renewable raw materials: Agave leaf case study. *PLoS ONE*, 10(8), 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135382>.
- Crespo MR, González DR, Rodríguez R, Rendón AL, Del Real I, Torres J. 2013. Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(8), 1161–1173. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n8/v4n8a4.pdf>
- Delgado-Lemus A. 2008. Aprovechamiento y disponibilidad espacial de *Agave potatorum* en San Luis Atolotlán, Puebla, México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- DOF. 2015. Resolución por la que se modifica la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen Mezcal. *Diario Oficial de La Federación*, 1–6. Retrieved from <http://www.crm.org.mx/PDF/>

- NOM070/DOF241215_DOM_Puebla.pdf
- DOF. 2021. Resolución por la que se modifica la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen Mezcal, para incluir los municipios del Estado de Sinaloa que en la misma se indican. Diario Oficial de La Federación. Retrieved from https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5632309&fecha=12/10/2021#gsc.tab=0
- Espinosa-Meza DE, Rivera González G, Maldonado Ángeles BE. 2017. Caracterizando la producción y organización de los mezcaleros en Matatlán, México “Capital mundial del mezcal”. *Estudios Sociales*, 27(50).
- Estrada J, Rodríguez C. 2016. Fabricación de mampuestos aligerados con bagazo de caña de azúcar. Universidad de la Gran Colombia. <https://doi.org/10.5151/cidi2017-060>
- García-Mendoza AJ. 2010. Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. *Acta Botánica Mexicana*, 91, 71–93. <https://doi.org/10.21829/abm91.2010.292>
- Geilfus F. 2009. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Gobierno del Estado de Puebla. 2014. Plan de Desarrollo Municipal de San Diego La Mesa Tochimiltzingo, Puebla 2014-2018. Retrieved from <http://planeader.puebla.gob.mx/pdf/planes/ayuntamiento/121.pdf>
- Gómez A, Caballero M, Hernández L. 2014. Producción de biogás a partir de bagazo y vinaza del *Agave angustifolia* Haw. generada como residuo en la elaboración de mezcal. Instituto Politécnico Nacional.
- Gurrola D, Herrera J, Hernández V. 2016. Aprovechamiento integral del bagazo de agave mezcalero cocido para su uso en la agricultura y ganadería. Instituto Politécnico Nacional. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/2405>.
- Guzmán-Dávalos L, Martínez-Carrera D, Morales P, Soto C. 1987. El cultivo de hongos comestibles (*Pleurotus*) sobre el bagazo del maguey de la industria tequilera. *Revista Mexicana de Micología* 3: 47-49.
- Illsey Granich C, Gómez Alarcón T, Rivera Méndez G, Morales Moreno MP, García Bazán J, Ojeda Sotelo A, Calzada Rendón M, Mancilla Nava S. 2005. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. V028: Conservación in situ y manejo campesino de magueyes mezcaleros. Grupo de Estudios Ambientales AC.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: San Diego la Mesa Tochimiltzingo, Puebla. Clave geoestadística 21121. Instituto Nacional de Geografía y Estadística, 1–9.
- Hernández J. 2014. La jornalización en el paisaje agavero. Actividades simples, organización compleja. México: Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social.
- Herrera-Pérez L, Valtierra-Pacheco E, Ocampo-Fletes I, Tornero-Campante MA, Hernández-Plascencia JA, Rodríguez-Macías R. 2017. Prácticas agroecológicas en *Agave tequilana* Weber bajo dos sistemas de cultivo en Tequila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 18*, 3711-3724.
- Martínez R, Fernández A. 2008. Árbol de problema y áreas de intervención, México: CEPAL.
- Martínez-Gutiérrez GA, Íñiguez-Covarrubias G, Ortiz-Hernández YD, López-Cruz JY, Bautista-Cruz MA. 2013. Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 209–216.
- Morán-Salazar R, Sánchez-Lizárraga A, Rodríguez-Campos J, Dávila-Vázquez G, Marino-Marmolejo E, Dendooven L, Contreras-Ramos S. 2016. Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives. *SpringerPlus*, 5(1), 1007.
- Mostacedo B, Fredericksen T. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia: Editora El País.
- Narváez AU, Martínez T, Jiménez M. 2016. El cultivo de maguey pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. *Revista de Geografía Agrícola*, (56), 33–44. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2016.56.005>.
- Ordaz L, Madrid M, Rodríguez F, Bailón A. 2019. Aprovechamiento de los subproductos valiosos de la industria del mezcal en durango. *Revista Ciencia Administrativa*, 1(1), 12–21.
- Palaniswamy UR, Palaniswamy KM. 2006. Handbook of statistics for teaching and research in plant and crop science. CRC Press.
- Pérez Ramos A, Rodríguez Ortega A, Nieto Aquino JC, Callejas Hernández J, Portillo Márquez L. 2017. Comparación de dos sistemas de siembra de maguey (*Agave salmiana*). Universidad Politécnica de Francisco I. Madero.
- Robles-González V, Galíndez-Mayer J, Rinderknecht-Seijas N, Poggi-Valardo HM. 2012. Treatment of mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*, 157(4), 524–546. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2011.09.006>.

- Rodríguez S, Vergara M, Ramos J, Sainz C. 2002. Germinación y Manejo de Especies Forestales Tropicales. CONAFOR-CONACYT.
- Rodríguez MR, Alcántar G, Ruiz López MA, Salcedo Pérez E, Larios Ulloa M. 2005. Bagazo de agave tequilero como sustrato en la producción de plántulas de brócoli. Avances en la Investigación Científica en el CUCBA 501. ISBN: 970-27-0770-6.
- Ruiz M, Estrada R, Pérez J, Aguiluz J. 2019. Conformación de bloques de adobe con residuos de agave *Agave angustifolia* Haw. Estrategia para el desarrollo local sustentable en Santa María La Asunción, Zumpahuacán, Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México.
- SDRSOT (Secretaría de Desarrollo Rural Sustentabilidad y Ordenamiento Territorial). 2011. Programa de Manejo del área natural protegida reserva estatal Sierra del Tentzo.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-005-SEMARNAT-2012, Que establece los criterios para realizar el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales no maderables existentes en los ecosistemas forestales; bosques de clima templado frío, selvas y zonas áridas y semiáridas. Diario Oficial de La Federación.
- Torres I. 2009. Dinámica poblacional de dos morfos de *Agave potatorum* Zucc. en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Bases para su manejo sustentable. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11655.60327>
- Torres I, Casas A, Delgado-Lemus A, Rangel-Landa S. 2013. Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable. Zonas Áridas, 15(1).
- Torres GI, Rendón SFJ, Casas A, Moreno CAI. 2019. The genus *Agave* in agroforestry systems of Mexico. Botanical Sciences 97 (3): 263-290. Doi: 10.17129/botsci.2202.
- Zizumbo-Villarreal D, Colunga-García M, Vargas-Ponce O, Rosales-Adame J, Nieto-Olivares R. 2009. Tecnología agrícola tradicional en la producción de vino mezcal (mezcal y tequila) en el sur de Jalisco, México. Revista de Geografía Agrícola, (42), 65-82. Retrieved from <https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rga-699.pdf>.