



EVALUACIÓN LONGITUDINAL DE LA SUSTENTABILIDAD DEL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN MAGUEY-MEZCAL ARTESANAL, EN EL MUNICIPIO DE VILLA SOLA DE VEGA, OAXACA, MÉXICO †

[LONGITUDINAL SUSTAINABILITY ASSESSMENT IN MAGUEY-MEZCAL ARTESANAL PRODUCTION SYSTEMS, IN THE MUNICIPALITY OF VILLA SOLA DE VEGA, OAXACA, MEXICO]

Aída Carmen Ríos-Colín^{1*}, Jaime Ruiz-Vega²,
Magdaleno Caballero-Caballero², María Eugenia Silva-Rivera²,
and José Luis Montes-Bernabé²

¹*Consultor Independiente, Domicilio conocido, San Sebastián de las Grutas, Villa Sola de Vega, Oaxaca. CP 71418. Email: aida86372@hotmail.com.*

²*Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. (IPN, CIIDIR UNIDAD OAXACA) Hornos 1003 Colonia Nochebuena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca CP 71230, México.*

**Corresponding author*

SUMMARY

Background. The artisanal maguey-mescal production system in Villa Sola de Vega represents culture, identity and an additional monetary income for the families of the municipality. This system is in constant interaction with various subsystems such as environmental, social, economic, technological and cultural. **Objectives:** The objective of this study was to evaluate the degree of sustainability of the artisanal maguey-mescal agroecosystem within a traditional agroecosystem. **Methodology.** The methodological process used was the Framework for the Evaluation of Natural Resource Management Systems incorporating Sustainability Indicators (MESMIS). A first step was to characterize the agroecosystem in terms of its components, recognizing three types of mescal distillation. Subsequently, the main variables and indicators were defined, and associated with the sustainability of the Agave-mescal production system in 2010 and 2015. **Results.** It was found that in the municipality there were 64 factories dedicated to the production of maguey-mezcal, 36 of them distilled in clay pots, 8 in copper alembics and 20 in iron drums; the process is artisan using family or cooperative labor, but with low performance. In the agroecosystem they carry out other productive activities such as the sowing of basic crops (corn, beans, chickpeas, squash, amaranth), backyard crops, and raising poultry, cattle, goats and sheep. Eighteen species of maguey were identified, and the one with the highest use was *Agave angustifolia* Haw, with 40%, followed by *Agave potatorum* Zuc, with 15.27%. The degree of sustainability for the agroecosystem in the evaluation years 2010 and 2015 was medium and high respectively, with better values of the economic and institutional indicators for the evaluation year 2015. **Implications.** The improvement in the sale prices of mescal represents an opportunity to improve the income levels of the producers, but this could also promote the planting of fewer varieties of maguey and less attention to the production of basic crops in the agroecosystem. **Conclusions.** The factors that favored the sustainability of the agave-mezcal subsystem were the high diversity of species and their integration into the traditional agroecosystem; however in the latter, a lower production of basic crops was observed in 2015. The artisanal maguey-mezcal subsystem is at a point where it can improve its degree of sustainability based on future mezcal sales prices.

Keywords: agroecosystem; subsystem; family production unit; participatory rural evaluation.

RESUMEN

Antecedentes. El sistema productivo maguey-mezcal artesanal en Villa Sola de Vega representa cultura, identidad y un ingreso monetario adicional a las familias del municipio. Éste se encuentra en constante interacción con diversos subsistemas como el ambiental, social, económico, tecnológico y cultural. **Objetivos.** El objetivo del presente estudio fue evaluar el grado de sustentabilidad del subsistema maguey-mezcal artesanal como parte de un agroecosistema tradicional. **Materiales y métodos.** El proceso metodológico utilizado fue el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). Un primer paso fue caracterizar el agroecosistema en términos de sus componentes, reconociendo en el subsistema agave-mezcal tres tipos de destilación. Posteriormente se definieron las variables e indicadores principales, asociados a la sustentabilidad del

† Submitted November 22, 2021 – Accepted January 7, 2022. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

agroecosistema productivo para 2010 y 2015. **Resultados.** Se encontró que en el municipio existen 64 fábricas dedicadas a la producción de maguey-mezcal, 36 de ellas destilan en ollas de barro, 8 en alambiques de cobre y 20 en tambos de lámina; el proceso es artesanal utilizando mano de obra familiar o cooperativa, con bajo rendimiento. En el agroecosistema realizan otras actividades productivas como la siembra de cultivos básicos (maíz, frijol, garbanzo, calabaza, amaranto), cultivos de traspatio y la cría aves de corral, ganado vacuno, caprino y ovino. Se identificaron 18 especies de maguey de las cuales la de mayor aprovechamiento fue *Agave angustifolia* Haw, con un 40 %, seguida de *Agave potatorum* Zuc, con un 15.27 %. El grado de sustentabilidad para el agroecosistema en los años de evaluación 2010 y 2015 fue medio y alto respectivamente, con mejores valores de los indicadores económicos e institucionales para el año de evaluación 2015. **Implicaciones.** La mejoría en los precios de venta del mezcal representa una oportunidad para incrementar los niveles de ingreso de los productores, pero también esto podría promover la siembra de menos variedades de maguey y una menor atención a la producción de cultivos básicos en el agroecosistema. **Conclusiones.** Los factores que favorecieron la sustentabilidad del subsistema agave-mezcal fueron la alta diversidad de especies y su integración al agroecosistema tradicional; sin embargo, en este último se observó una menor producción de cultivos básicos en 2015. El subsistema maguey-mezcal artesanal se encuentra en un punto en el que puede mejorar su grado de sustentabilidad en función de los precios futuros de venta del mezcal.

Palabras clave: agroecosistema; subsistema; unidad de producción familiar; evaluación rural participativa.

INTRODUCCIÓN

La ciencia para la sustentabilidad es un campo de investigación que en las últimas décadas ha crecido exponencialmente, surge de reconocer las limitaciones de los enfoques científicos y tecnológicos convencionales contemporáneos para entender y atender la grave crisis ambiental a escala planetaria (Kates *et al.*, 2001).

Satisfacer las necesidades humanas fundamentales al mismo tiempo que preservar los sistemas de apoyo social del planeta Tierra es lo esencia del desarrollo sustentable, una idea que surgió a principios de la década de 1980 a partir de perspectivas científicas sobre la relación entre naturaleza y sociedad. Sin embargo, durante finales de los 80 y principios de los 90, gran parte de la comunidad científica y tecnológica se alejó cada vez más de los procesos predominantemente sociales y políticos que estaban dando forma a la agenda de desarrollo sustentable (Kates *et al.*, 2011; Casas *et al.*, 2017)

El concepto de sustentabilidad tiene múltiples definiciones, pero sobresalen tanto aquellas que, desde la óptica antropocentrista, la enfocan en función de satisfacer las necesidades humanas actuales sin comprometer las futuras, como las correspondientes a los enfoques donde el ecosistema puede responder a presiones drásticas, manteniendo la productividad (similar al concepto de resiliencia). La agroecología, por su parte, incorpora conceptualmente los principios de la agricultura sustentable, dando valor a las prácticas y saberes ancestrales de comunidades campesinas, afro e indígenas, orientadas a proveer la autosuficiencia alimentaria y disminuir su dependencia de insumos energéticos externos (Altieri y Toledo, 2010)

La teoría sistémica es defendida por Marzall (1999) como el enfoque más adecuado para abordar los complejos problemas de la sustentabilidad en la

agricultura y las diferentes dimensiones que envuelven este campo de investigación. Gliessman (1998), presenta el concepto de “agroecosistema” como la unidad de estudio de la agroecología, con una compleja interacción de factores ecológicos y socioeconómicos. Esta red de interacciones involucra componentes bióticos y abióticos y los flujos cíclicos y de entrada y salida de energía, nutrientes, poblaciones y mecanismos reguladores. Debe tenerse en cuenta interacción compleja entre factores ecológicos y socioeconómicos, siendo así, el ser humano debe entenderse como parte integrante del sistema y no como un elemento externo.

El modelo agroecológico sostenible considera los aspectos de conservación de los recursos, el conocimiento tradicional y la agricultura a pequeña escala, conjuntamente con los métodos y conocimiento ecológicos modernos (Gliessman, 1998). Los trabajos relevantes de Altieri (2002) y Gliessman (2005) defienden un claro sesgo socioambiental y sistémico al abordar la sustentabilidad de la agricultura. Atkinson *et al.* (2014) llevaron a cabo una revisión y síntesis exhaustivas sobre el tema, presentando los atributos fundamentales para la agricultura sostenible, a saber: (1) asegurar la equidad intergeneracional; (2) preservar la base de recursos de la agricultura y evitar externalidades ambientales adversas; (3) proteger la diversidad biológica; (4) garantizar la viabilidad económica de la agricultura, aumentar las oportunidades de empleo en la agricultura y preservar las comunidades rurales locales; (5) producir alimentos de calidad suficiente para la sociedad; y (6) contribuir al desarrollo global sostenible.

Se aborda el potencial de los indicadores de la sostenibilidad como enfoque metodológico sistémico de la agricultura. Estas herramientas tienen gran versatilidad, son multidimensionales, funcionan de forma participativa y se adaptan a las realidades locales sistematizando la información para la toma de decisiones. Hayati (2017) realizó una revisión donde

enumera y analiza 48 sistemas de indicadores de sostenibilidad en uso para la agricultura.

La sustentabilidad en los sistemas agrícolas incorpora conceptos tanto de resiliencia (la capacidad de los sistemas para amortiguar choques y tensiones) como de persistencia (la capacidad de los sistemas para continuar durante largos períodos), y aborda muchos aspectos económicos, sociales y resultados ambientales (Pretty, 2008).

En este sentido, los agroecosistemas llamados Unidades de Producción Familiar (UPF), que forman parte de la agricultura familiar son objeto de evaluación porque los agricultores familiares pueden aliviar el hambre y la pobreza, a la vez que aportan seguridad alimentaria y nutrición, mejoran los medios de subsistencia, gestionan los recursos naturales de forma sostenible, protegen el medioambiente y promueven el desarrollo sostenible (FAO, 2012).

En México, las UPF utilizan varias especies vegetales como el maíz, frijol y agaves o magueyes. Estos últimos han sido aprovechados en forma integral en la elaboración de pulque (bebida alcohólica prehispánica), ixtle (fibra para cuerdas), jarcias (redes), miel, dulces, tortillas con 60 % de maíz, vinagre, caldos o jugos, telas, papel y en la medicina tradicional, esto debido a su abundancia. De un total de 166 especies vegetales que se incluyen en el género *Agave* a nivel mundial, 125 son nativas de México (García-Mendoza, 2004); por esa razón se considera como el centro del origen de este género, el cual posee una importante riqueza genética, ya que, desde la llegada de los primeros pobladores españoles, se han utilizado varias de sus especies, variedades y formas que se cultivan o recolectan para elaboración de bebidas alcohólicas de alto grado como el mezcal y el tequila (Espinosa *et al.*, 2002).

Actualmente el sistema producto Maguey-Mezcal a nivel nacional, involucra a siete entidades federativas consideradas en la Denominación de Origen Mezcal: Oaxaca, Guerrero, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Guanajuato y Tamaulipas. El estado de Oaxaca destaca porque gracias a la existencia de innumerables microclimas, posee 30 especies del género *Agave* (Palma-Cruz, 1991). El género *Agave* incluye plantas monocotiledóneas, generalmente suculentas, pertenecientes a la familia Asparagaceae, antes Agavaceae. Su área de origen es la región árida que se encuentra ubicada entre el norte de México y el sur de los Estados Unidos. El género empezó a diversificarse hace 12 millones de años, por lo cual ha logrado una enorme diversidad de especies, superando las 300.

Los distritos políticos del estado de Oaxaca que integran la Región del Mezcal son: Tlacolula,

Yautepec, Miahuatlán, Ocotlán, Ejutla, Zimatlán y Sola de Vega, el cual concentra la mayor parte del inventario magueyero, envasadoras de mezcal, y sobre todo por el arraigo de la actividad entre la población (Martínez-Jiménez *et al.*, 2019).

El propósito de llevar a cabo una evaluación de sustentabilidad, es hacer explícitas las ventajas y desventajas ambientales, económicas, sociales y culturales de las diferentes alternativas de manejo de recursos naturales. Asimismo, se requiere evaluar de forma conjunta de qué manera las opciones propuestas mejoran no sólo la productividad o la rentabilidad, sino también la estabilidad, la resiliencia y la confiabilidad del manejo de recursos, así como su adaptabilidad, su equidad y su autogestión. Esta tarea reviste particular importancia en el contexto de los sistemas productivos campesinos que, si bien suelen ser altamente diversos, resilientes y basados en un uso renovable de los recursos naturales locales, han sido generalmente subvaluados con base en criterios meramente productivistas y centrados en los beneficios económicos de corto plazo. (Astier *et al.*, 2012).

Estos sistemas agrícolas campesinos se caracterizan por mantener prácticas adaptadas al entorno biofísico, una alta diversidad de cultivos y una baja dependencia de insumos externos. Sin embargo, son tan frágiles que podrían irse deteriorando y perderse, y con ellos, tanto la diversidad de semillas y cultivos como el conocimiento de prácticas y técnicas de los campesinos. Por estas razones, su revalorización y rescate se han vuelto una tarea indispensable en la búsqueda de sistemas agroalimentarios más sostenibles o sustentables (Astier *et al.*, 2018).

Para la creación de esquemas sustentables primero hay que elaborar marcos metodológicos aplicables en diferentes contextos y que sugieran prácticas claras para mejorar los sistemas productivos existentes. Y segundo, asistir a los gestores de recursos y otros agentes relevantes para anticipar y prevenir resultados inesperados e indeseados, así como mediar en los conflictos sociales inherentes a los sistemas de manejo de recursos naturales (García-Barrios *et al.*, 2008).

Por lo anterior, se utilizó el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad [MESMIS], por sobre otras metodologías que analizan la sustentabilidad de los ecosistemas, e incluyen la relación entre las dimensiones social, económica y ecológica (Bustillo- García y Bechara- Dickdan, 2016; Quintero-Angel y González-Acevedo, 2018), porque ésta permite evaluar, a través de un conjunto de indicadores que reflejan los atributos de sustentabilidad, el proceso de cambio longitudinal de un agroecosistema (Maser *et al.*, 2000). En el presente estudio, el MESMIS se utilizó para realizar

comparaciones entre los años 2010 y 2015 del subsistema maguey-mezcal dentro del agroecosistema tradicional campesino.

En la literatura científica, se reconoce cada vez más que las actividades humanas (sociales, económicas, etc.) y el medio ambiente son sistemas acoplados y mutuamente determinados (Gallopín, 2003). Por lo mismo en la propuesta MESMIS la teoría de sistemas complejos y sistemas socioecológicos brinda la base que permite estudiar la sustentabilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales, con énfasis en el contexto de los productores campesinos y en el ámbito local, desde la parcela hasta la comunidad; brinda una reflexión crítica destinada a mejorar las posibilidades de éxito de las propuestas de sistemas de manejo alternativos y de los propios proyectos involucrados en la evaluación. Se propone como un proceso de análisis y retroalimentación porque incluye varias dimensiones y un conjunto de indicadores de sostenibilidad que incluyen un enfoque sistémico de la agricultura familiar.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la sustentabilidad a nivel de unidad de producción familiar del sistema de producción artesanal maguey-mezcal en los años 2010 y 2015, utilizando la metodología MESMIS, para determinar cuáles actividades agropecuarias contribuyen a mejorar los ingresos y la contribución a la seguridad alimentaria del subsistema de producción maguey-mezcal artesanal en el municipio Villa Sola de Vega, Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se abordó desde el enfoque de agroecosistemas llamados Unidad de Producción Familiar (UPF), considerado como un sistema socioecológico integrado por la parcela donde se siembra el agave y la unidad familiar que lo maneja (FAO, 2012). Durante el estudio se promovió la investigación participativa, metodología que integra a los productores en el proceso de indagación y análisis de su problemática particular, así como en la búsqueda de soluciones (Guzmán y Alonso, 2007).

Área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en el municipio Villa Sola de Vega ubicado en la región Sierra Sur del estado de Oaxaca, entre los paralelos 16°15' y 16°55' de latitud norte y 97°20' de longitud oeste; altitud entre 700 y 3000 msnm. Los climas predominantes son templado subhúmedo con lluvias en verano y semicálido subhúmedo con lluvias en verano y templado húmedo con abundantes lluvias en verano. El rango de temperatura es de 12-26°C y el rango de precipitación

es de 600-2500 mm (Martínez-Jiménez *et al.*, 2019; INEGI, 2010).

Evaluación de la sustentabilidad

El marco MESMIS es aplicable dentro de los siguientes parámetros (López-Ridaura *et al.*, 2001):

- La sustentabilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales se define por siete atributos generales: productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y auto seguridad.
- La evaluación sólo es válida para un sistema de manejo en un determinado lugar geográfico, una escala espacial (por ejemplo, parcela, unidad de producción, comunidad, etc.) y para un determinado período de tiempo.
- Es un proceso participativo que requiere un equipo de evaluación interdisciplinario. Generalmente, el equipo de evaluación incluye personal externo (distintas disciplinas científicas) y participantes locales (productores e informantes clave).
- No se mide la sostenibilidad “per se”, sino que se hace a través de la comparación de dos sistemas o más. La comparación se hace transversalmente (por ejemplo, comparando un sistema alternativo y un sistema de referencia al mismo tiempo) o longitudinalmente (por ejemplo, analizando la evolución de un sistema en el tiempo).

Estos atributos proporcionan una visión holística del agroecosistema que incluye las áreas social, económica y ambiental (Masera *et al.*, 2000). Los atributos de sustentabilidad, identificados a partir de los puntos críticos del sistema de manejo, necesitan indicadores para poder ser medidos.

En este estudio se comparó la evolución del mismo sistema de producción artesanal maguey mezcal en un periodo que comprende de 2010 a 2015, lo anterior llevó a una comparación de tipo longitudinal; es decir, una comparación de la evolución en el tiempo de la sustentabilidad de un sistema particular, tomando como referencia al sistema bajo análisis al año inicial 2010, y como sistema alternativo al mismo sistema en los años subsiguientes de la evaluación, hasta 2015.

Los pasos para aplicar el MESMIS fueron 1) determinación y caracterización del objeto de estudio; 2) determinación de las fortalezas y debilidades que pueden incidir en la sustentabilidad del sistema; 3) selección de los indicadores; 4) presentación e integración de resultados; y 5) conclusiones y recomendaciones (Astier *et al.*, 2008).

Paso 1. Determinación y caracterización del objeto de estudio (López-Ridaura *et al.*, 2001)

En este primer paso, el equipo de evaluación caracteriza al sistema bajo estudio, y también define el contexto socio-ambiental y el ámbito (espacial y temporal) de la evaluación. La descripción incluye: los componentes del sistema (subsistemas), los insumos y la producción del sistema; las principales actividades de manejo y de producción en cada subsistema y las principales características sociales y económicas de los productores y la forma de organización que tienen.

Caracterización del Agroecosistema (AE)

Se caracterizó el AE que incluye al subsistema maguey-mezcal artesanal en un año inicial (2010) y después de 5 años de la evaluación inicial se volvieron a medir los indicadores en 2015, siendo un análisis longitudinal. Se determinaron sus particularidades en cada año de evaluación incluyendo: sus diferentes tipos de componentes biofísicos del sistema, los insumos y productos necesarios (entradas y salidas) del mismo, se determinaron las prácticas que involucran a cada subsistema (agrícolas, pecuarias, forestales) y a nivel unidad de producción familiar (UPF), se detallaron las características socioeconómicas de los productores.

Mapeo participativo

Como actividad inicial con actores locales se hizo un mapeo participativo para obtener la interpretación de ortofotos, georreferenciación y clasificación de áreas de uso según sus criterios, el propósito fue obtener un mapa de uso actual comunitario que se pudiera cruzar con un mapa técnico realizado paralelamente mediante la recopilación de bibliografía; los resultados se expusieron ante la localidad cruzando ambos mapas donde se observó la situación del uso del suelo versus su potencialidad (Segarra-Ramírez, 2011).

Se utilizaron 27 fotografías aéreas de alta definición rectificadas geográficamente por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con escala 1:20,000 (1 cm:200 metros). Con los polígonos y ortofotos se generó un mapa orográfico en alta resolución con cuadrícula incluida para imprimir en medidas de 90 cm x 150 cm.

Diagnóstico participativo

En el taller participativo realizado con 37 socios de la Sociedad de Producción Rural de Responsabilidad Limitada “Raíces Soltecas” se obtuvo: a) participaron hombres y mujeres involucradas en todo el sistema productivo maguey mezcal; b) se ubicaron puntos clave de manejo local; c) se generó el uso local de

nombres y clasificaciones; d) se determinaron las actividades preponderantes en el sistema productivo.

Se realizaron visitas a campo guiadas por los productores de las zonas con menor gradiente altitudinal a las zonas de mayor altura, se georreferenciaron puntos que indicaran partes con las principales zonas ecológicas, haciendo referencia a las variaciones topográficas, zonas productivas, uso de suelo, perfiles del manejo productivo, variaciones altitudinales y zonas con mayor diversidad de agave. Estas herramientas y técnicas del Diagnóstico Rural Participativo pueden ayudar a la población a definir mediante la observación directa y el resumen de las condiciones locales, los problemas y las oportunidades de la comunidad (FAO, 2008).

Realización de estructura de entrevista diagnóstico

Se realizaron dos tipos de entrevistas: una entrevista para el subsistema de producción “maguey” y otra para el subsistema “mezcal”. Fueron entrevistas semiestructuradas (Pardinas, 2005), las cuales se determinaron a partir de la información secundaria disponible para la zona de estudio y la aplicación de una serie de preguntas clave elaboradas por el entrevistador.

La entrevista de maguey constó de 60 preguntas cerradas y de cuatro partes: 1) “identificación”, contiene los datos personales del entrevistado; 2) “dinámica de producción”, aborda concretamente el tema de rendimientos en la producción; 3) “patrón de interacciones”, permite identificar las interacciones dentro del subsistema; 4) “infraestructura y organización”, que muestra las condiciones y el equipo con el que cuentan los subsistemas para poder realizar sus actividades; también fueron incluidas tres preguntas abiertas.

La entrevista dirigida a productores con subsistema mezcal consta de las mismas cuatro partes que la encuesta de maguey; el total de preguntas fue de 70, más dos preguntas abiertas.

La colecta de datos en campo con la entrevista semiestructurada, es un instrumento de medición que necesita ser validado para determinar el nivel de confiabilidad del mismo. En este caso, se validaron las entrevistas mediante la prueba alfa de Cronbach (Cronbach, 1951; Duque, 2017), que midió la homogeneidad de las preguntas promediando todas las correlaciones entre ellas para ver su concordancia. Como criterio general, sugieren las recomendaciones siguientes para evaluar los coeficientes de alfa de Cronbach:

- Coeficiente alfa >0.9 es excelente

- Coeficiente alfa >0.8 es bueno
- Coeficiente alfa >0.7 es aceptable
- Coeficiente alfa >0.6 es cuestionable
- Coeficiente alfa >0.5 es pobre
- Coeficiente alfa <0.5 es inaceptable

Determinación del tamaño de muestra para monitoreo y evaluación

Método de producción de mezcal. Inicialmente se realizó un premuestreo para obtener una muestra representativa que permitiera determinar un tamaño de muestra adecuado que reproduzca la realidad del objeto de estudio (Fuentelsaz, 2004). Para incluir todos los subsistemas de producción de mezcal presentes en el municipio Villa Sola de Vega se realizó un muestreo estratificado aleatorio por asignación proporcional. Se separaron por estrato los métodos de producción de mezcal: destilación en olla, destilación en alambique y destilación en tambo de fierro

El total de productores localizados en el municipio fue de 64, por lo que con base en García-García *et al.* (2013), se aplicó un premuestreo estratificado al 30%, con proporciones de acuerdo con los totales de cada estrato (20 productores de tambo, 8 productores de alambique y 36 productores de olla), para estimar la varianza y después aplicar la fórmula:

$$n = \frac{N \sum N_j S_j^2}{N^2 D^2 + \sum N_j S_j^2}$$

Dónde:

n= Tamaño de muestra
N= Población (64 productores)
S²_j= Varianza del iésimo estrato
D= Precisión al 95 %

Subsistema maguey. Se aplicó un método de muestreo aleatorio simple, determinando el número de variedades de agave manejadas por 20 productores con subsistema maguey-mezcal para determinar la varianza. Posteriormente se empleó la fórmula:

$$n = \frac{N t^2 S^2}{N E^2 + t^2 S^2}$$

Dónde:

n= Tamaño de muestra
N= Población (64 productores)
S²= Varianza
t²= Valor de tablas
E²= Precisión (95%)

Paso 2. Determinación de las fortalezas y debilidades que pueden incidir en la sustentabilidad del agroecosistema

Mediante análisis de fortalezas y debilidades (FODA) se determinaron los puntos críticos y fortalezas. Los puntos críticos de un sistema son las principales características o procesos que hacen peligrar o que refuerzan la sostenibilidad del sistema, los cuáles sirvieron para analizar los aspectos relevantes del mismo y así poder derivar indicadores de sustentabilidad durante el proceso de evaluación (Masera *et al.*, 1999).

Paso 3. Selección de los criterios de diagnóstico e indicadores

Los criterios de diagnóstico representan un nivel de análisis más detallado que los atributos, pero más general que los indicadores, constituyen el vínculo necesario entre atributos, puntos críticos e indicadores, con el objetivo de que éstos últimos permitan evaluar de manera efectiva y coherente la sustentabilidad del sistema. Los indicadores por su parte, son variables cuantitativas y cualitativas que permiten ser monitoreadas, son particulares a los procesos de los que forman parte, pueden ser apropiados para ciertos sistemas y para otros no, los indicadores concretos dependerán de las características del problema en específico bajo estudio, de la escala del proyecto, del tipo de acceso y de la disponibilidad de datos; por tanto, no existe una lista de indicadores universales (López -Ridaura *et al.*, 2001).

Los indicadores generales y específicos se seleccionaron con base a los criterios de diagnóstico para los atributos de sostenibilidad, los que agruparon las fortalezas y debilidades.

Paso 4. Medición y monitoreo de los indicadores

Se diseñaron instrumentos de colecta de datos y análisis, y se incluyeron metodologías específicas para el monitoreo de indicadores particulares.

Se diseñó una encuesta con base en los indicadores a evaluar la cual presenta cinco apartados que abarcan aspectos relacionados con: 1. La UPF. 2. Subsistema productivo pecuario. 3. Subsistema productivo agrícola. 4. Subsistema productivo maguey y 5. Subsistema productivo mezcal. Para el cultivo del maíz y básicos se obtuvieron costos de producción basados en superficies de 1 ha para maíz y frijol, amaranto 0.5 ha y para garbanzo 1/4 ha las que fueron las superficies sembradas en promedio por cada UPF. El costo productivo para mezcal se estimó con base en un lote de 4 t de maguey, el promedio de producción de agave por productor que se obtuvo mediante las encuestas realizadas.

Se validaron las encuestas diseñadas mediante una prueba de fiabilidad con Alfa de Cronbach mediante el software SPSS Statistics 2.0, se aceptó el instrumento desde el nivel >0.7 (aceptable) hasta >0.9 siendo excelente (Cronbach, 1951; Duque, 2017).

Síntesis y estandarización de indicadores

Se procesaron los datos con el objetivo de tener una visión de conjunto de las ventajas comparativas del sistema productivo maguey-mezcal artesanal en 2010 y 2015, lo cual ayudó a emitir un juicio de valor sobre su sustentabilidad. Se sintetizaron los indicadores en una matriz de resultados que mostraron:

- Los indicadores usados y las unidades en que se midieron
- Se especificó la dirección de cambio deseada para cada indicador, es decir, para mejorar (maximizar), o empeorar (minimizar).
- Se describieron los valores que toman los indicadores en cada uno de los sistemas evaluados
- Una vez que se obtuvo una primera visión de los indicadores con los que se cuenta se procedió a estimar su nivel de desempeño, para ello se utilizó un intervalo mínimo y máximo
- Se desarrollaron valores mínimos los cuales representaron el peor escenario para el indicador, mientras que el máximo representó el escenario ideal; cuando el objetivo del indicador es minimizar, el mínimo y el máximo se interpretaron a la inversa, i. e. para la erosión un valor mínimo es lo óptimo.
- Mediante los valores de referencia se determinó el nivel de desempeño (NS) y se aplicó la siguiente fórmula para maximizar:

$$NS = \frac{(V - V_{min})}{(V_{max} - V_{min})} * 100$$

- Para minimizar, es decir cuando el objetivo del indicador es minimizar o disminuir, se usó la fórmula:

$$NS = \frac{(V_{max} - V)}{(V_{max} - V_{min})} * 100$$

Dónde:

NS= Nivel de desempeño del indicador
V= Valor medido del indicador
V_{max}= Valor máximo del indicador y
V_{min}= Valor mínimo del indicador
(Galvan-Miyoshi, 2008).

Paso 5. Integración y presentación de resultados

Una vez estandarizados los indicadores para el sistema de referencia y sistema alternativo, se representó mediante un diagrama tipo AMIBA, que muestra, en términos cualitativos, lo que se ha logrado del objetivo según cada indicador para 2010 y 2015, dando el porcentaje del valor real con respecto al valor ideal (valor óptimo). Esto permite una comparación simple, pero integral, de las ventajas y limitaciones del sistema bajo evaluación (López -Ridaura *et al.*, 2001).

En el diagrama, cada indicador se graficó en un eje de 0 a 100 en donde 0 corresponde al peor escenario posible para el indicador y 100 fue el valor óptimo.

Paso 6. Conclusiones y recomendaciones.

Con base en el análisis de los resultados, donde se comparó el agroecosistema de 2010 con el de 2015 en cuanto a su sustentabilidad, se emitieron algunas conclusiones y recomendaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Determinación y caracterización del objeto de estudio

Se caracterizó al agroecosistema bajo estudio, reconociendo cuatro subsistemas: maguey, mezcal, agropecuario y socioeconómico. También define el contexto socio-ambiental y el ámbito de la evaluación.

Subsistema maguey

En el municipio en total existen 136 comunidades, 18 se dedican a la producción de maguey y/o mezcal y sólo 11 a la producción de ambos; de estas últimas se estimó el porcentaje de uso por variedad de maguey, la variedad con mayor aprovechamiento fue el espadín (*A. angustifolia*) con un 40 %, seguido por tobalá (*A. potatorum*) con un 15.27 %, arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*) 13.18 % y coyote (*A. americana*) con 10.45 % (Figura 1); las otras se englobaron en categorías más pequeñas y se usan en localidades específicas.

Palma-Cruz (1991), identificó 30 especies o variedades de maguey en el estado de Oaxaca; en el municipio de Villa Sola de Vega, se localizaron 18 variedades del total lo que equivale a un 60 % de la diversidad nacional (Martínez-Jiménez *et al.*, 2019).

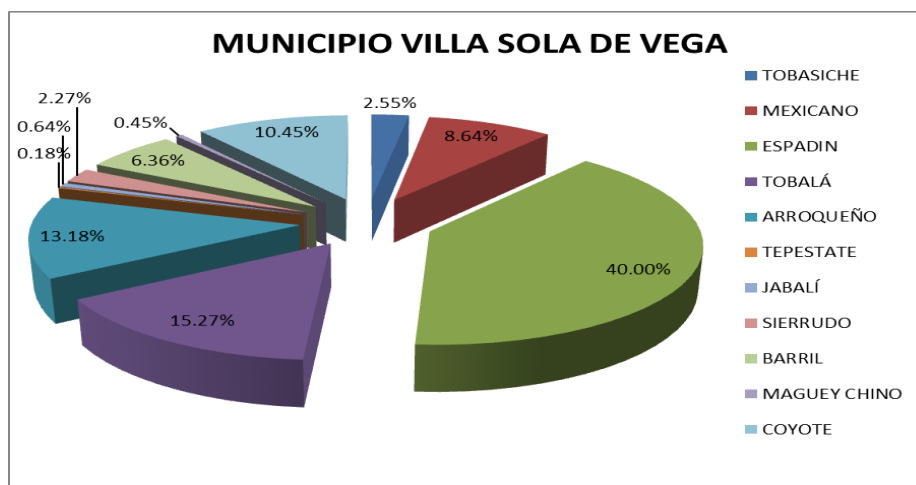


Figura 1. Porcentaje de uso de morfo-especies de agave en el municipio de Villa Sola de Vega, Oax.

En cuanto al número de productores que siembran maguey en la zona, se determinó que el 60 % de ellos colectan, reproducen o siembran más de una especie. Con base en el muestreo aleatorio simple para el número de variedades de agave manejadas por el productor, los productores usan 8.55 variedades de agave, con una desviación estándar (DEST) de 1.54 variedades. Estos números producen un error estándar (EST) de la media de 0.28 variedades, cercano a cero, por lo que se consideró un buen estimador de la variabilidad de la muestra. La DEST refuerza esta afirmación; el valor fue de 1.54, lo que indica que el número de variedades usadas se dispersa 1.54 de la media; esto se traduce en poca variación en los datos y que la muestra de 6.88 (aproximada a 7) unidades fue representativa para maguey.

Algunas variedades silvestres presentan riesgo de pérdida debido a la extracción masiva como es el caso del maguey tobalá (*A. potatorum*) el cual no es posible reproducir por medio de rizomas o apomixis, por tanto, los productores optan por cosecharlo cuando llega a su madurez sin hacer actividades de conservación. En 2015, producto de la alta demanda de mezcales de variedades por compradores externos al municipio, se ha puesto en riesgo a otras especies como el caso del maguey tepestate (*A. marmorata*), maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*), coyote (*A. americana*) y sierrudo (*A. americana* var. *americana*) y otras especies de bajo valor de uso. En el año 2010, la colecta de hijuelos en campo se realizaba para después sembrarlos en parcelas establecidas, pero en el año 2015 el 30 % de los productores ya establecen viveros para abastecerse de material vegetativo de especies que solamente se conseguían de manera silvestre. El interés del mercado externo por algunas variedades de mezcal, ha generado indirectamente que los productores de maguey conserven la diversidad de agaves mezcaleros del municipio, sin embargo, la alta demanda pudiera hacer desaparecer a más de una especie.

La producción de agave se caracteriza por ser tradicional y transmitida de generación en generación, es asumida por varones, generalmente jefes de familia y cuando éste emigra, por mujeres. Con respecto a la rentabilidad de la producción de agave mezcalero, 100% de los productores de agave prefieren venderlo a las empresas productoras de tequila debido que la compra se ejecuta mediante operaciones de contado y no realizan la selección de la cosecha; en cambio los productores de mezcal lo efectúan en pagos diferidos, hacen la selección del agave con base en el estado de madurez, modifican la capacidad de vehículos que utilizan para la compra, incrementan la altura de las redilas de las camionetas y parten la piña del agave para su acomodo (Bautista y Smit, 2012)

En lo referente a la plantación el sistema más utilizado (>70 % de productores) es el de hileras o surcos sin considerar la pendiente del terreno. El 30 % de los productores, realizan sistemas que permiten una mejor retención de sedimentos, como la siembra en terrazas, la siembra como barreras vivas o el cultivo en curvas a nivel en contra de la pendiente, que es una práctica que en 2015 es más común.

Villa Sola de Vega se encuentra en un área de bajo y mediano riesgo de infestación por plagas y enfermedades (Espinosa *et al.*, 2005). La principal especie plaga que ataca al maguey es el Picudo *Scyphophorus acupuncatus* y enfermedades como *Erwinia carotovora*. Esta razón ha generado que las plagas y enfermedades no sean recurrentes, por lo tanto, no hay acciones enfocadas a su combate. En 2010 el método químico era el más utilizado por los productores; sin embargo, hacia 2015, el 50 % adoptaron medidas sustentables de control de plagas, como el trapeo con feromonas (control etológico), el uso de organismos entomopatógenos (control biológico) o la aplicación de extractos vegetales

Respecto a la fertilización, el maguey es un cultivo que los productores dejan crecer en dependencia de las condiciones de temporal, situación que merma el desarrollo de la planta y no maximiza el potencial genético que pudiera traer la misma, las actividades que realiza el productor como labores culturales son el despencado de forma manual y el control de hierbas principalmente de forma manual o mediante control químico en pocos casos. A pesar de que los productores mencionaron el abonado orgánico, éste se realiza esporádicamente y sin tener una dosis o cantidad acorde a las necesidades de la planta, ya que no existen análisis de suelo. El bagazo generado por las fábricas de mezcal en algunas ocasiones es usado como abono sin haber recibido un tratamiento o composteo previo. En 2015, los productores que cuentan con viveros propios, han comenzado a compostar el bagazo residual de la producción de mezcal para incorporarlo como sustrato en los viveros de maguey, con lo cual evitan la adquisición de sustratos comerciales.

Subsistema mezcal

El proceso de producción de mezcal es el complemento del subsistema maguey de donde se obtiene la materia prima, cuando el maguey comienza a producir el escapo floral se corta (capado) y meses después se inicia con la jima o despencado del maguey, para luego ser acarreado en bestia o en vehículo a las palenques o fábricas de producción para ser horneado.

En el municipio de Villa Sola de Vega existen tres procesos de destilación diferentes dentro del subsistema mezcal: olla de barro, alambique de cobre y tambo de fierro.

Los datos derivados del muestreo arrojaron bajos valores en varianza, DEST y EST, es decir, hubo poca dispersión en los datos respecto a la media (valor de desviación estándar) y un error muestral pequeño con respecto a la media. Por lo que el número de muestras para cada estrato fueron de 7.04 para los que destilan en olla de barro, 0.60 para alambique de cobre y 1.22 para tambo, obteniendo un tamaño de muestra total de 8.86.

Elaboración de mezcal en olla de barro

Es un proceso tradicional, su nombre proviene de la última fase de elaboración, la destilación, la cual se lleva a cabo de manera artesanal en ollas de barro. De los 64 productores del municipio, 36 producen mezcal por este método, sin cambios en el número de productores entre los años 2010 y 2015. Para elaborar mezcal por este método, el mosto fermentado es colocado en una olla calentada con leña y el vapor (destilado) es capturado mediante un recipiente de cobre colocado sobre una segunda olla superpuesta a la primera, que se mantiene frío con un chorro de agua

circulante. El condensado es capturado en una penca (hoja de maguey) suspendida al interior de la segunda olla y esta a su vez se conecta con un carrizo que sale al exterior hasta un recipiente donde se recibe el destilado.

Este sistema representa la forma más rústica para elaborar mezcal, tiene reconocimiento local y regional como único y diferente, prioriza el uso de recursos locales, su producción es limitada y temporal, los costos son altos por la inversión de mano de obra y leña principalmente, los rendimientos son bajos por las pérdidas en el proceso. Esta forma de elaborar mezcal, se basa en conocimientos empíricos que se han transmitido de generación en generación, se producen cantidades pequeñas entre 100 a 300 litros por horneada, al procesar de 1000 a 3000 kg de maguey crudo (piñas) y el producto final se ajusta a 45 a 50 % de alcohol por volumen.

Destilación en alambique

Es un proceso tradicional, que obtiene su nombre de la destilación realizada por un sistema compuesto de una olla de cobre o acero inoxidable, montera, turbante y serpentín. El mosto fermentado es colocado en la olla de cobre o acero inoxidable con capacidad de 200 a 350 litros, la cual es calentada por medio de leña. El vapor producido (destilado) es capturado por la montera y conducido por medio del turbante hacia el serpentín que se encuentra sumergido en agua fría, donde se produce la condensación de los alcoholes volátiles. En 2010 solamente 8 productores destilaban por este método, en 2015 ya fueron 26 los que destilaban en alambique, debido a que el 70 % de los que destilaban en tambos de hojalata, cambiaron a este sistema.

Destilación en tambo de fierro

Se practica en pocas localidades del municipio, en 2010 eran 20 productores que destilaban de esta forma, ahora son menos de 10. En la destilación se sustituye el uso de la olla de barro o el alambique de cobre por un tambo de fierro de 200 litros, esta acción se debe a que el costo del tambo en comparación con los otros destiladores es más bajo, una olla de barro oscila entre los 600-700 pesos, una olla de cobre entre los 30 y 45 mil pesos y un tambo de fierro entre los 200 y 300 pesos. Las características que les confiere cada uno de los procesos son completamente diferentes y se considera un mezcal de baja calidad.

Proceso de elaboración

Al respecto, los productores encuestados respondieron lo siguiente:

Para la hidrólisis de las piñas de maguey, más del 60 % de los productores utilizan los hornos de tierra, lo que provoca cocimientos heterogéneos, piñas quemadas o crudas y un gasto excesivo de leña, a pesar de ello solo el 2 % realiza alguna práctica de selección y manejo de leña en la cocción de las piñas.

En 2015, la mayoría de los productores ya cuentan con desgarradoras mecánicas, que han ayudado a disminuir el consumo de materia prima en esta fase del proceso.

El 44 % de los productores realizan doble destilación, que se establece en la NOM-070-SCFI-2016 como un criterio importante que diferencia al mezcal.

El 100 % de los productores que trabajan con tambo hacen solamente una destilación.

Subsistema agropecuario

Uno de los cultivos más representativos dentro del municipio sigue siendo el maíz, en el cuál se basa la alimentación de las familias, por tanto, es importante describir que los costos productivos se estimaron mediante tres conceptos fundamentales: mano de obra, tracción e insumos. La mano de obra describe 6 actividades base que se realizan para el cultivo, el incluirlas como parte de los costos se debe al tiempo requerido para la producción, el cuál podría ser invertido en otra actividad que genere un ingreso monetario, el costo estimado para dicha actividad fue de \$150.00/día y de \$200.00/día en el año 2010 y 2015 respectivamente. La actividad que requiere mayor cantidad de trabajo es el zacateo (corte de la parte superior de la planta) y la cosecha del grano con 18 y 12 jornales por ha, respectivamente; esto no representa un número real de trabajadores puesto que se puede interpretar como el número de personas trabajando en un día o bien, días de trabajo por persona para terminar la actividad.

Como parte de las actividades económicas que las familias realizan y que representa una forma de ahorro, cada núcleo familiar cuenta con cierto número de

animales ya sea de traspato o algunas cabezas de ganado mayor. Estos animales están disponibles para cuando la familia debe hacer un gasto mayor al que comúnmente realizan, ya que son puestos en venta en algún tianguis. Las especies que se encontraron en mayor cantidad fueron aves, ovinos y caprinos, pero la mayoría contaba con un cerdo, yunta y un asno (Tabla 1).

Los productos extraídos ocasionalmente de este componente, son principalmente alimentos, carne para autoconsumo y venta, como medios de transporte y fuerza de tracción para las actividades agrícolas.

Costos de producción totales y Relación Beneficio/Costo

La inversión realizada en el año 2010 en el agroecosistema artesanal se estimó en \$54,564.04, con el maíz, maguey y mezcal representando el 78.4 % del costo total (Figura 2).

En el año 2015 los costos del año productivo generados en el agroecosistema fueron de \$83,658.7, superiores al año 2010 por \$29,094.64; tomando como referencia los mismos tamaños de superficie de 2010 (Figura 3). De nuevo los mismos cultivos de 2010 representaron el mayor costo con 82.8 % del total.

La relación beneficio/costo (B/C) fue menor de 1.0 para maíz y frijol en 2010 y 2015, pero mayor de 1.0 para garbanzo y amaranto en ambos años. En 2015 maguey y mezcal mostraron valores de 1.51 y 1.68, pero en 2010 habían mostrado valores de .033 y 0.84, respectivamente. Se observó que cuando alguna especie tuvo valores bajos, otras compensaron por las pérdidas, contribuyendo a la estabilidad del ingreso.

En ambos años la relación B/C del mezcal superó a la del maguey, pero en 2015 tanto maguey como mezcal mostraron valores altos debido al aumento de precios de venta. Por lo tanto, la producción de agave-mezcal contribuye de manera importante al ingreso en el agroecosistema tradicional.

Tabla 1. Promedio de animales en núcleos familiares (UPF's).

Especies manejadas	Ganado (cantidad)								
	Pollos	Guajolotes	Cerdos	Chivos	Borregos	Vacas	Toros	Mulas	Burros
PROMEDIO	10	4	0.9	9.0	8.0	0.3	2	1	1

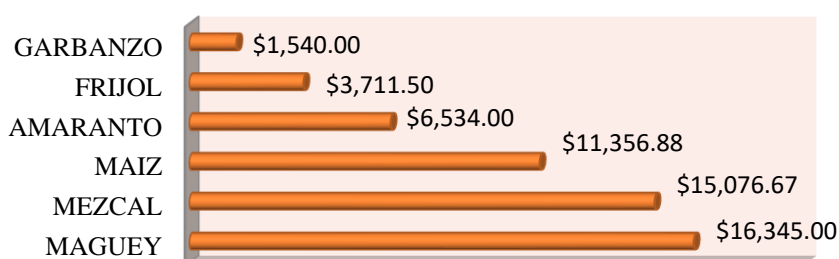


Figura 2. Costos de producción 2010.

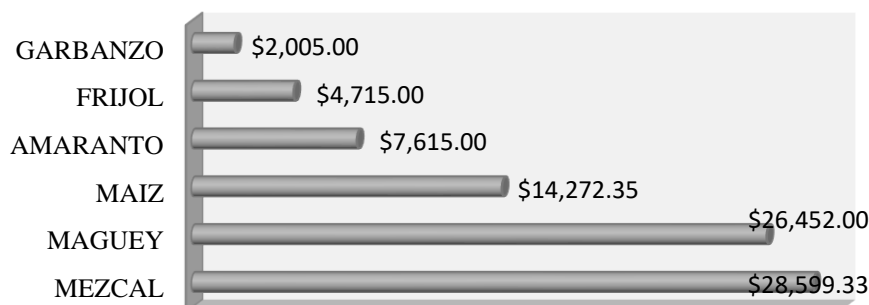


Figura 3. Costos de producción 2015.

Subsistema socio económico

CONEVAL en el año 2010 determinó una población total en el municipio de Villa Sola de Vega de 12,525 personas de las cuales 4079 pertenecen a la población económicamente activa siendo el 69.85 % quienes se dedican a actividades primarias, 10.44 % actividades secundarias, 6.89 % comercio, 12.04 % servicios y 0.78 % no especificados; dentro de las actividades primarias se engloban a los productores de maguey y mezcal con un total de 222 que representa al 8 %. El tamaño promedio de los hogares es de 4.5 integrantes, el grado promedio de escolaridad de la población de 15 años o más en el municipio era de 5.2 años, el municipio cuenta con 42 escuelas preescolares, 66 primarias y 16 secundarias, dos bachilleratos y una universidad, las unidades médicas en el municipio eran 11 contando con un personal médico total de 12 personas a razón de 1.1 médicos por unidad médica.

Algunos indicadores de pobreza y vulnerabilidad mencionan que 82.8 % de la población total del municipio se encuentran en pobreza, de los cuales 36.7 % presentaban pobreza moderada y 46.1% estaban en pobreza extrema; la condición de rezago educativo afectó a 43.2 % de la población, lo que significa que 6,017 individuos presentaron esta carencia social, el porcentaje de personas sin acceso a servicios de salud fue de 27.7 %, equivalente a 3,854 personas, la carencia por acceso a la seguridad social afectó a 93.5 % de la población, es decir 11,711 personas se encontraban bajo esta condición, el 66.6 % de

individuos habitan en viviendas con mala calidad de materiales y espacio insuficiente, el 86.9 % habitan en viviendas sin disponibilidad de servicios básicos fue lo que significa que las condiciones de vivienda no son las adecuadas, un indicador importante fue la incidencia de la carencia por acceso a la alimentación con un total de 40.9 % de la población.

Varias familias dependen de apoyos de instituciones que intervienen en el desarrollo de la comunidad como SEDESOL a través del programa Oportunidades, el sistema DIF y Diconsa. La SAGARPA por medio de PROCAMPO y Alianza para el campo. Sin dejar por un lado la colaboración del IIEPO a través de las instituciones educativas dentro del municipio.

La mayoría de productores en la comunidad tienen una yunta para arar sus terrenos, el resto tiene que rentar este servicio con un costo de \$150.00 por día si el terreno es chico, si es aproximado a 1ha, el costo por día es de \$300.00. Los gastos más fuertes son en el momento de la siembra ya que implica toda una fiesta en la que los invitados especiales son los sembradores.

Otro gasto es la compra de semillas para sembrar, esto es, cuando la cosecha anterior no alcanzó para guardar y sembrar el próximo ciclo o bien, se sembró y la cosecha se perdió.

La cosecha de granos básicos no ha sido suficiente los últimos años para la mayoría de los productores de tal manera que las familias solo la utilizan para

autoconsumo y en caso de agotarse acuden a comprarle a los pocos productores que si obtuvieron buena cosecha o a la tienda Diconsa que se encuentra en la comunidad. Algunas personas venden comida los días de plaza en la comunidad o lavan ropa ajena para obtener algunos ingresos.

Generalmente cuando los animales llegan a tener un buen peso y tamaño y si la UPF lo requiere, los animales son puestos en venta. Son ofrecidos al mejor ofertante y la reposición de los mismos surge conforme pasa el tiempo cuando los adultos se reproducen, mientras, el dinero obtenido por la venta de los anteriores es destinado para cubrir algún gasto familiar.

Algunos productores trabajan “a medias” los terrenos, es decir, toman prestado uno o más predios de algún otro productor y trabajan la tierra dividiéndose los gastos que implica la preparación del terreno y siembra, posteriormente, al cosechar, se dividen la producción entre el dueño y el mediero. Esta actividad se realiza sobre todo cuando el jefe de familia ha emigrado o esta indispuerto para realizar algunas actividades. Según Bautista y Smit (2012), la diversificación de actividades en la unidad doméstica campesina no es un proceso reciente, ante la baja rentabilidad y productividad de la agricultura se profundizan las actividades no agrícolas. Estos grupos desarrollan actividades económicas, de acuerdo a la cantidad y calidad de sus recursos, las cuales no están desarticuladas de lo familiar, como la emigración, producción agrícola, pequeño comercio, y artesanías.

2. Determinación de las Fortalezas y debilidades que pueden incidir en la sustentabilidad del agroecosistema

Mediante un análisis FODA se encontraron 19 debilidades y 4 fortalezas, las que se resumieron y relacionaron con 8 criterios de diagnóstico y 7 atributos (Tablas 2, 3 y 4) que derivaron de cada uno de los subsistemas encontrados. En cuanto a debilidades en el área económica sobresalieron la

venta de mezcal por debajo de los costos de producción y el alto precio de insumos, mientras que en el área social destaca la falta de equidad de género en la toma de decisiones. En el área ambiental e institucional, se observan rendimientos bajos en la producción de mezcal con tendencia a la fluctuación por abasto de materia prima, cambio de prácticas de manejo diversificado en la siembra de maguey por monocultivo y siembra de variedades con mayor demanda en el mercado.

Las fortalezas fueron pocas, destacando todavía la alta diversidad de especies de agave manejadas en la producción de mezcal y el uso de mano vuelta, es decir, la cooperación entre los campesinos para tareas que requieren de mucha mano de obra.

En este último cuadro, se enfatiza que no hay asistencia técnica externa para la producción de maguey y mezcal, tampoco para el manejo de contaminantes como el bagazo del agave y las vinazas.

3. Selección de los criterios de diagnóstico e indicadores

Se determinaron 6 indicadores a monitorear para el área económica, 4 indicadores para el área social, 7 indicadores para el área ambiental y 1 para el área institucional, generando así 18 indicadores específicos para el monitoreo y evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción de maguey y mezcal artesanal (Tabla 5).

4. Medición y monitoreo de los indicadores

La Tabla 6 presenta los resultados de los indicadores monitoreados (cuantitativos y cualitativos) de los sistemas productivos maguey-mezcal artesanal 2010-2015 con sus respectivos valores, los cuáles se convirtieron en un índice (en porcentaje) que tiene un valor óptimo o mínimo como valor de referencia (Actis di Pasquale y Balsa, 2017). En 2015 la Rel. B/C aumentó, a pesar del aumento en costo total de \$54,564.00 en 2010 a \$83,658.00, debido a que el

Tabla 2. Fortalezas y debilidades en el área económica.

ATRIBUTO	CRITERIO DE DIAGNOSTICO	FORTALEZA(F)/DEBILIDAD (D) (alto / bajo / insuficiente)
PRODUCTIVIDAD ESTABILIDAD, RESILIENCIA, ADAPTABILIDAD EQUIDAD	Ingreso	El mezcal tiene precios de venta por debajo del costo de producción (D)
		Producciones bajas que no alcanzan para cubrir los gastos alimenticios (D)
		Alto uso de mano de obra (D)
	Eficiencia	Número de actividades alto (D) Uso de mano vuelta alto (F)
	Autosuficiencia	Alto precio de insumos (D)

Fuente: Adaptado de Astier y González (2008).

Tabla 3. Fortalezas y debilidades en el área social.

ATRIBUTO	CRITERIO DE DIAGNOSTICO	FORTALEZA(F)/DEBILIDAD(D) (alto / bajo / insuficiente)
PRODUCTIVIDAD ESTABILIDAD, RESILIENCIA, ADAPTABILIDAD EQUIDAD AUTOGESTIÓN	Participación	Toma de decisiones antidemocráticas alta (D)
	Eficiencia	Alto número de actividades implementadas (D)
	Organización/control	Se ejerce autonomía sobre las tierras que se trabajan alta (F)

Adaptado de Astier y González (2008).

Tabla 4. Fortalezas y debilidades en el área ambiental e institucional.

ATRIBUTO	CRITERIO DE DIAGNOSTICO	FORTALEZA(F)/DEBILIDAD(D) (alto / bajo / insuficiente)
PRODUCTIVIDAD ESTABILIDAD RESILIENCIA CONFIABILIDAD ADAPTABILIDAD EQUIDAD AUTOGESTIÓN	Retornos	Bajos rendimientos en suelos degradados (D)
	Eficiencia	Rendimientos bajos en la producción de mezcal con tendencia a la fluctuación por abasto de materia prima (D)
	Diversidad	Alta diversidad de especies de agave manejadas en la producción de mezcal (F) Preferencia por sembrar variedades con mayor demanda en el mercado (D) Se están cambiando prácticas de manejo diversificado en la siembra de maguey por monocultivo (D)
	Conservación Control	Alta disminución de agave por extracción de foráneos (D) Siembra de maguey en parcelas con pendientes prolongadas superiores al 5 % (D) Poco conocimiento de las características físico-químicas del suelo de las parcelas de agave (D)
	Capacidad de cambio e innovación Organización/control	Poco conocimiento del porcentaje de materia prima con que se cuenta para la producción de mezcal (D) Alto consumo de leña para el horneado y destilación (D) Los residuos líquidos de las fábricas de producción de mezcal (vinazas) son desechados sin ningún tratamiento previo. (D) Algunos residuos sólidos sólo son almacenados en las fábricas (F)
	Autosuficiencia	No hay asistencia técnica externa para mejoras en los procesos de producción de maguey y mezcal (D) No existen apoyos de gobierno para mejoramiento de las fábricas en producción (D)

Adaptado de Astier y González (2008).

rendimiento de maguey y mezcal aumentaron, así como también el precio de venta. En el diagrama tipo amiba se discutirá esta tabla en términos de los índices de lo que se logró con respecto a valores máximos Vmax o mínimos Vmin del indicador.

5. Integración y presentación de resultados

En el diagrama tipo AMIBA se hizo una comparación del proceso de transformación del maguey a la bebida alcohólica-mezcal, envasarla y comercializarla durante los años 2010 y 2015 (Figura 4). Dicho diagrama muestra, en términos cualitativos, lo que se logró del

objetivo según cada indicador, dando el porcentaje del valor real con respecto al valor ideal o referencial (López-Ridaura *et al.*, 2002). La valoración para alcanzar la sustentabilidad se presenta de la siguiente manera: valores de 0 a 20 % se establecen en un nivel nulo, de 21 a 40 % bajo, de 41 a 60 % medio, de 61-80 % alto y de 81-100 % ideal u óptimo.

Con respecto a los criterios de diagnóstico económicos que son retorno, eficiencia de los recursos y relación beneficio/costo en la producción del mezcal, el sistema productivo mejoró en 2015, aumentando la relación beneficio/costo del 20 % (2010) al 100 %; con un rendimiento del mezcal que aumentó del 30 al 70 %.

Sin embargo, el precio de mercado es bajo cuando se vende a intermediarios y envasadores sin mediar y el costo productivo total no representa esta mejora ya que existen otras actividades que merman la ganancia como lo es el alto uso de mano de obra; el alto número de actividades; y el alto precio de insumos, principalmente. Estos gastos se originan por que predomina la elaboración de mezcal en olla de barro (56 %), que es artesanal, más lenta y minuciosa, la cual se mantuvo sin cambios en el número de productores entre los años 2010 y 2015.

La elaboración de mezcal artesanal conlleva una serie de problemas debido a lo imperfecto y rústico de equipamiento utilizado para el proceso de transformación de maguey a mezcal lo cual se observa en el alto consumo de leña para el cocimiento del agave en los hornos cónicos de piedra y la destilación; la molienda con la Tahona produce un maceramiento no homogéneo y por lo tanto hay pérdida de jugo de agave. En la fermentación hay pérdida de jugo en las tinajas debido a que las maderas están unidas con alambres y no cierran herméticamente. De igual manera

Tabla 5. Tabla de indicadores para el monitoreo y evaluación del Agroecosistema con el subsistema maguey-mezcal.

ATRIBUTO	CRITERIO DE DIAGNOSTICO	INDICADOR GENERAL	INDICADORES ESPECÍFICOS
PRODUCTIVIDAD	Retornos	Ingresos	Beneficios/Costos
	Eficiencia	Ganancias	Rendimientos/ha
	Autosuficiencia	Grado de dependencia externa	Porcentaje del gasto en alimentos cubierto con la producción propia
PRODUCTIVIDAD ESTABILIDAD RESILIENCIA ADAPTABILIDAD EQUIDAD	Diversidad de actividades	Uso de conocimientos y habilidades locales	Número de actividades desarrolladas
	Participación	Grado de participación o involucramiento de agentes externos	Índice de intervención institucional
	Autosuficiencia	Proporción de necesidades básicas cubiertas con la producción propia	Autoabastecimiento de materia prima
	Control	Derechos de propiedad (individuales o colectivos) reconocidos	Tipo de tenencia de la tierra, reglas sobre el uso y disposición de los recursos
	Conservación	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	Erosión
ESTABILIDAD, RESILIENCIA, CONFIABILIDAD, ADAPTABILIDAD	Diversidad	Índice de diversidad biológica	Índice de Shannon Índice de agrobiología
	Conservación de recursos naturales	Calidad de suelo, porcentaje de materia orgánica, N,P,K, pH	Índice de calidad del suelos
	Conservación	Incidencia de plagas y enfermedades	Manejo de plagas y enfermedades en maguey
	Capacidad de cambio e innovación	Número y tipo de opciones de manejo disponibles	Diversificación de la producción agrícola
	Autosuficiencia	Evolución y variación de rendimientos	Índice de desempeño ambiental en la producción de mezcal
	Conservación	Calidad de agua	
EQUIDAD	Participación Organización / control	Grado de democratización	Mecanismos de distribución en la toma de decisiones

Tabla 6. Integración y estandarización de resultados de la evaluación del Agroecosistema con el subsistema maguey-mezcal artesanal 2010 y 2015.

INDICADOR	UNIDADES	DIRECCIÓN DE CAMBIO ÓPTIMA	SIST. M-M 2010	SIST. M-M 2015	V min	V max	Índice 2010	Índice 2015
COSTOS PRODUCTIVOS TOTALES	\$/año	MIN	\$54,564	\$83,658	\$50,072	\$111,317	93	45
RENDIMIENTO GRANOS	kg/año	MAX	2287.1	2028.6	1249.7	2759.2	69	52
RENDIMIENTO MEZCAL	L/ton	MAX	64.9	85.2	50.0	100.0	30	70
RENDIMIENTO MAGUEY EN PARCELA	ton/ha	MAX	10.9	11.4	3.0	15.23	64	69
RELACIÓN B/C SIST. M- M	ninguna	MAX	0.76	1.3	1.0	1.3	20	100
DIVERSIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	%	MAX	9.7	9.0	1.0	12.0	81	75
No. ACTIVIDADES DESARROLLADAS	%	MAX	4.25	4.25	1.0	8.0	53	53
GRADO DE AUTOSUFICIENCIA ALIMENTARIA	%	MAX	82.6	75.8	0.0	100.0	83	76
GRADO DE DEMOCRATIZACIÓN	%	MAX	61.0	72.2	33.3	100.0	61	72
DERECHOS DE PROPIEDAD RECONOCIDOS	%	MAX	100.0	90.3	33.3	100.0	100	90
AUTOABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA	%	MAX	85.8	58.3	No aplica	100.0	86	58
MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN MAGUEY	%	MAX	39.6	41.7	25.0	100.0	40	42
ÍNDICE DE SHANNON EN PARCELAS DE AGAVE	ninguna	MAX	0.474	0.487	0.0	1.0	47	49
ÍNDICE DE AGROBIODIVERSIDAD	ninguna	MAX	1.46	1.48	0.0	3.0	49	49
PÉRDIDA DE SUELO	ton/ha/año	MIN	0.09	12.27	0.0	20.0	100	39
ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELOS	%	MAX	77.80	62.20	0.0	100.0	60	57
ÍNDICE DE DESEMPEÑO AMBIENTAL EN PRODUCCIÓN DE MEZCAL	%	MAX	2.50	3.50	1.0	5.0	38	63
ÍNDICE DE INTERVENCIÓN INSTITUCIONAL	%	MAX	13.83	75.20	0.0	100.0	14	75

el alambique no emplea sellos herméticos para unir olla-montera-turbante-serpentin y hay fugas de vapor de alcohol que se disipan en el medio ambiente. Durante la destilación existe un alto consumo de agua que se traduce en un bajo rendimiento en la producción de litros de mezcal (Palma-Cruz *et al.*, 2016).

Debido a que la demanda ha aumentado con los años, el autoabasto de maguey pasó de 86 % en 2010 a 58 % en 2015, por lo cual se han utilizado más los agaves silvestres como tobalá con un 15.27 %, arroqueño 13.18 % y coyote con 10.45 %, que han disminuido por la sobre explotación y por no existir ninguna práctica para la conservación de especies silvestres de agave. Según Pretty (2008), la mejora del capital natural debe ser el objetivo fundamental, y los dividendos pueden provenir de hacer el mejor uso de los genotipos de cultivos y animales y las condiciones ecológicas en las que se cultivan o crían.

La producción del monocultivo de *A. angustifolia* representa el 40 % el abasto total, lo cual se considera un riesgo ya que la mayoría de los sistemas basados en monocultivos superaran los umbrales máximos de daño ambiental establecidos y no será considerada

sostenible y por lo tanto no apta para el suministro de alimentos de una manera ecológica y socialmente sana (Koohafkan *et al.*, 2012). El uso del espadín posiblemente se puede explicar a que esta especie es de ciclo corto, tiene piñas de mayor tamaño, por lo cual es de mayor rendimiento, aporta el mayor volumen de materia prima para la elaboración de mezcal y tiene facilidad para la reproducción de planta (Cuevas-Reyes *et al.*, 2019).

El índice de Shannon clásico máximo fue ligeramente mayor (2.48) en 2010, año en que se cultivaban 11 especies distintas de agave para producir mezcal, pese a que en 2015 se incorpora una nueva especie al monocultivo (*Agave potatorum*). Los valores entre 2-3 se consideran normales. Vale la pena resaltar que los productores siguen conservando las especies de agave que han cultivado por generaciones, pero ahora los productores se comienzan a especializar por las especies o variedades que les exige el mercado, situación que a largo plazo puede ser riesgosa para mantener la riqueza biológica con que cuenta el municipio. En monocultivo, el índice de Shannon clásico produjo valores de 0.0.

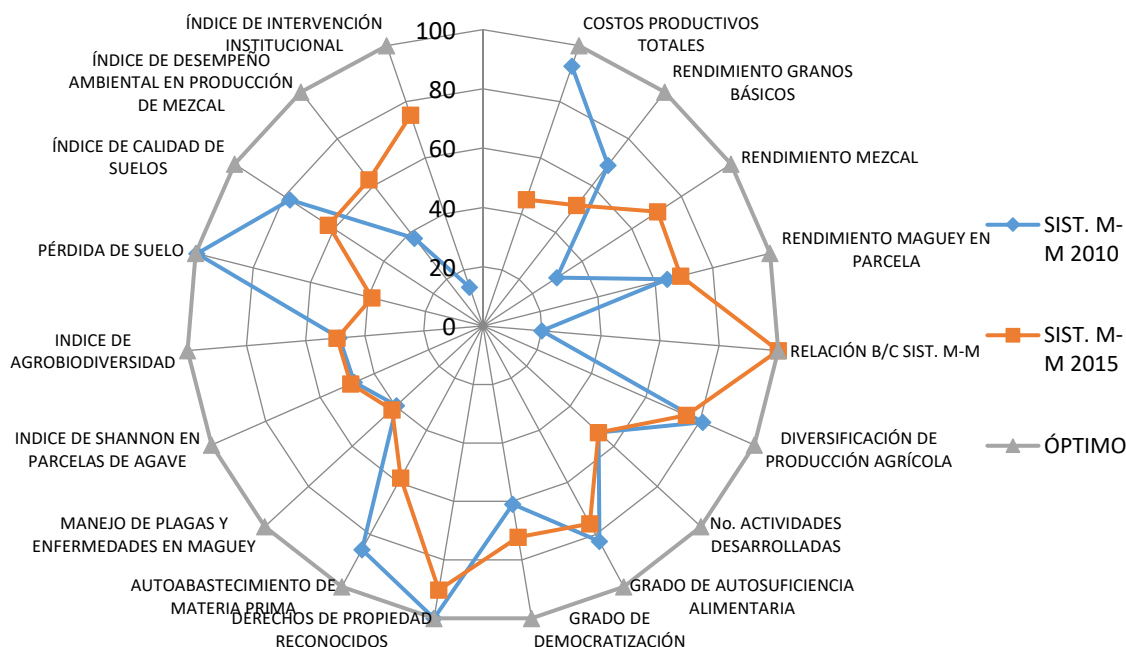


Figura 4. Diagrama tipo AMIBA para el Agroecosistema con el subsistema Maguey-Mezcal en 2010 y 2015.

Aguirre-Dugua y Eguiarte (2013) determinaron en un estudio genético que la extracción de individuos reproductivos de *A. cupreata* y *A. potatorum* para la producción de mezcal no parece haber erosionado la diversidad genética, en las poblaciones que analizaron. Sin embargo, todavía existe un problema demográfico vinculado a los procesos de extracción que debe abordarse mediante actividades explícitamente centradas en la regeneración de poblaciones. En el caso de *A. potatorum*, las poblaciones podrían estar experimentando una disminución más severa causada por una alta extracción tasas (por ejemplo, hasta el 100% de los individuos reproductivos en algunos sitios; falta de regulaciones comunales sobre cosecha de agave y menores densidades de población (de 30 a 1340 individuos ha). Además, un mayor número de plantas de *A. potatorum* son necesario para producir un volumen equivalente de mezcal debido a su tamaño más pequeño.

Existió un ligero aumento en la agrobiodiversidad en 2015, derivado del aumento de la diversidad de agaves cultivados y las mejores prácticas de manejo adoptadas por los productores de mezcal. Es importante resaltar que los valores de densidad del sistema y coeficiente de agrupación fueron elevados, dada la fuerte

interacción que se da entre las especies vegetales y animales que están en el agroecosistema (30 en 2015 y 28 en 2010). Para ambos años se tuvo una densidad del 60 %, que indica que existió un 60 % de posibles interacciones en el agroecosistema.

El agroecosistema y el campesino han experimentado la incidencia de plagas y enfermedades, pérdida de suelos, baja y a veces nula disponibilidad de fertilizante, debido a la falta de recursos económicos y técnicos. Esto se ve reflejado también en el rendimiento de granos básicos que ha disminuido de 69 % (2010) a 52 % en 2015 y la diversificación de producción agrícola de 81 a 75 % (Figura 4). A pesar de sus limitaciones y pérdidas, se han seguido prácticas de conservación de suelos agrícolas, mantenidos y mejorados por sistemas ingeniosos de manejo de suelos, biodiversidad y agua nutridos por complejos sistemas de conocimiento tradicional (Koohafkan y Altieri, 2010). Por ejemplo, en referencia a la fertilización, el maguey es un cultivo que los productores dejan crecer en dependencia de las condiciones de temporal, con abonado orgánico esporádico (estiércol) y bagazo del mezcal. También, por ser un área de bajo y mediano riesgo de infestación por plagas y enfermedades (Espinosa *et al.*, 2005),

hacia 2015, el 50 % adoptaron otras medidas de control de plagas, como el trapeo con feromonas (control etológico), el uso de organismos entomopatógenos (control biológico) o la aplicación de extractos vegetales. Estas prácticas han contribuido a aumentar la habilidad de los cultivos de agave de resistir o tolerar el ataque de insectos plaga y enfermedades, esto ligado a las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo. Los suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que previenen la infección. Por otro lado, las prácticas agrícolas que causan desequilibrios nutricionales bajan la resistencia de las plantas a plagas (Altieri y Nicholls, 2007).

Es indiscutible que el sistema productivo maguey-mezcal se ha mantenido a través de los años debido principalmente a su alta diversidad de especies ya que algunas variedades silvestres se usan para completar la carga a hornear; los sistemas más diversos son en general más capaces de absorber impactos y mantenerse productivos a largo plazo (Astier y González, 2008). También el sistema ha perdurado debido a los productores han logrado incorporarlo a su agroecosistema tradicional. Según Cuevas-Reyes *et al.* (2019), la producción de mezcal es realizada por pequeños productores los cuales tienen un conocimiento tradicional que mantienen y se refleja en el mezcal producido por cada una de estas pequeñas unidades familiares, son productores del estrato de subsistencia y tienen mayor edad y menores recursos para la producción.

El sistema productivo maguey-mezcal artesanal 2010 presentó 10 indicadores que se encuentran cercanos al 60 % aproximándose a una ponderación de tipo alto, de igual manera el año 2015 tuvo otros 10 indicadores diferentes que se encuentran por arriba del 60 % teniendo una alta probabilidad de alcanzar la sustentabilidad. Los indicadores más bajos para 2010 fueron: la relación beneficio/costo y el índice de intervención institucional menores al 21 % estableciendo una valoración de tipo nulo; sin embargo, para el año 2015 no hubo indicadores con nulas posibilidades de alcanzar la sustentabilidad, la pérdida de suelo se presentó como un indicador en un nivel de tipo bajo con un porcentaje del 39 %, mientras los 17 indicadores restantes alcanzaron niveles de rango medio con valores arriba del 41 %. La sustentabilidad en los sistemas agrícolas incorpora conceptos tanto de resiliencia (la capacidad de los sistemas para amortiguar choques y tensiones) como de persistencia (la capacidad de los sistemas para continuar durante largos períodos), y aborda muchos aspectos económicos, sociales y factores ambientales (Pretty, 2008). Esto se observa en la tenacidad de generaciones para la fabricación de mezcal artesanal,

donde se emplean herramientas rudimentarias y exceso de mano de obra. Sin embargo, su participación en los mercados internacionales, exige el cumplimiento de la certificación de origen sin necesidad de innovar el proceso, ya que el valor agregado del producto es el resultado de la suma de esfuerzos y trabajo de los maestros mezcaleros, la experiencia y conocimientos que por décadas ha sido el sustento de sus familias y la actividad es generadora de ingresos al intervenir la apreciación del trabajo artesanal, cultural y tradicional (Colmenares-Olivera *et al.*, 2016).

Los indicadores mejor evaluados para el año 2010 fueron derechos de propiedad reconocidos y pérdida de suelos con una ponderación del 100 %, y costo total con 93 %. Los indicadores mejor evaluados para el año 2015 fueron la relación beneficio/costo alcanzando una ponderación del 100 %, rendimiento de mezcal con 70 % y la intervención institucional con 75 %.

Las innovaciones menos adoptadas por los productores fueron las de índole organizativo empresarial y de comercialización, situación que limita las opciones comercialización del productor al carecer de un sentido empresarial a la actividad y que limita la planificación en el control de sus gastos y la definición de precios de venta que hagan esta actividad redituable. Palma-Cruz *et al.* (2016), afirman que la falta de organización entre los productores de mezcal y la alta dependencia de insumos externos ha ampliado la brecha de inequidad con los otros eslabones del Sistema Producto Maguey Mezcal y de las condiciones históricas de marginación y pobreza que tienen. El 14 % de los productores constituyeron figuras jurídicas, pero en su mayoría son solo para la operación o gestión de recursos gubernamentales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en el análisis de los resultados, se determinó el grado de sustentabilidad del sistema productivo maguey-mezcal artesanal para el año 2010 con una ponderación del 60 % (nivel medio) de alcanzar la sustentabilidad, pero para el año 2015 su valoración fue de 63 % (nivel alto), es decir, la sustentabilidad incrementó.

A pesar de que la actividad de producir mezcal en palenques rústicos es una actividad complementaria a otras actividades primarias, como la necesidad de sembrar la tierra para generar productos destinados a la alimentación (maíz, frijol, calabaza) o atender la ganadería, el aporte económico proveniente de la venta de maguey y mezcal es importante, ya que mostró aumentos en la relación B/C en 2015.

Los factores que limitaron la sustentabilidad de sistema fueron la incidencia de plagas y enfermedades, rendimientos bajos en la producción de mezcal,

erosión de suelos, siembra de maguey en monocultivo, baja disponibilidad de fertilizante, alto precio de insumos, falta de recursos económicos, falta de equidad de género en la toma de decisiones y asistencia técnica adecuada. Al diseñar estrategias para la asistencia técnica debe considerarse que 46.1% de la población estaba en pobreza extrema; mientras que la condición de rezago educativo afectó al 43.2 %.

Los factores que favorecieron la sustentabilidad del subsistema agave-mezcal fueron la alta diversidad de especies y su integración al agroecosistema tradicional; pero en este último se observó una menor producción de cultivos básicos en 2015. El subsistema maguey-mezcal artesanal se encuentra en un punto en el que puede mejorar su grado de sustentabilidad en función de los precios futuros de venta del mezcal.

Es necesario de mejorar la eficiencia del proceso de producción, así como las prácticas de conservación del material genético pues los productores comienzan a priorizar las especies o variedades que les exige el mercado, lo cual a largo plazo puede evitar mantener la riqueza biológica con la que cuentan.

Es necesario cimentar las bases organizativas que permitan al productor tener una visión empresarial y estrategias de comercialización a sus productos como planes de negocios, redacción de contratos de compraventa, aspectos de promoción y mercadotecnia, entre otros.

Acknowledgments

To the reviewers who contributed to improving the structure and content of the submitted manuscript.

Funding. It is declared that the costs of this research were mainly financed by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) and the Instituto Politécnico Nacional (IPN), during the master's studies of Aida Ríos Colín at the Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (IPN, CIIDIR U. OAXACA).

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interest in carrying out the research work from which they derived the data used.

Compliance with ethical standards. The authors declare that they have complied with the required national and international regulations.

Data availability. Data are available upon reasonable request with aida86372@hotmail.com

Author contribution statement (CRediT)

A. C. Ríos-Colín – Conceptualization, funding, data acquisition, analysis and writing., **J. Ruiz-Vega** – Data analysis and review., **M. E. Silva-Rivera** – Data

acquisition and editing., **M. Caballero-Caballero** – Data acquisition and supervision., **J. L. Montes – Bernabé** – Data curation.

REFERENCIAS

- Actis di Pasquale, E. and Balsa, J., 2017. La técnica de escalamiento lineal por intervalos: una propuesta de estandarización aplicada a la medición de niveles de bienestar social. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 23, pp.164-193.
- Aguirre-Dugua, X. and Eguiarte, L. E., 2013. Genetic diversity, conservation and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mezcal production in Mexico. *Journal of Arid Environments*, 90, pp.36-44. DOI:10.1016/j.jaridenv.2012.10.018
- Altieri, M., 2002. Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 93(1-3), pp.1-24. DOI: 10.1016/S0167-8809(02)00085-3
- Altieri, M. and Toledo, V.M., 2010. La Revolución Agroecológica de América Latina: rescatar la naturaleza, asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino. *El Otro Derecho*, 42(1), pp.163- 201.
- Altieri, M.A. and Nicholls, C.I., 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas*, 16(1), pp.3-12. Available at: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=457> [Accessed 28 Jul. 2019]
- Astier, M. and González, C., 2008. Formulación de indicadores socioambientales para evaluaciones de sustentabilidad de sistemas de manejo complejos. In: Astier, M., Masera, O. R. and Y. Galván-Miyoshi, eds. *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. © 1ª edición, SEAE / CIGA / ECOSUR / CIEco / UNAM / GIRA / Mundiprensa / Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable, España, pp.74-94.
- Astier, M. and Arnés, E., 2018. Sostenibilidad en sistemas de manejo de recursos naturales en países andinos UNESCO y UNAM, CIGA Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México, 246 p. Available at: https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/MESMIS.pdf [Accessed 2 Jun. 2018]

- Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y. M., González-Esquivel, C.E. and Masera, R.O., 2012. Assessing the sustainability of small farmer natural resource management systems. A critical analysis of the MESMIS program (1995-2010). *Ecology and Society*, 17(3), pp.1-25. DOI: 10.5751/ES-04910-170325
- Astier, M., Masera, O. R. and Galván-Miyoshi, Y. M., 2008. *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. © 1ª edición, SEAE / CIGA / ECOSUR / CIEco / UNAM / GIRA / Mundiprensa / Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable, España, 201 p.
- Atkinson, G., Dietz, S., Neumayer, E. and Agarwala, M., 2014. *Handbook of sustainable development*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK • Northampton, MA, USA, 587 p.
- Bautista, J. and Smit, M., 2012. Sustentabilidad y agricultura en la "región del mezcal" de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), pp.5-20.
- Bustillo- García, L. and Bechara Dickdan, Z., 2016. Sustentabilidad y desarrollo rural de los agroecosistemas bufalinos. *Revista Venezolana de Gerencia*, 21(73), pp.50-61.
- Casas, A., Torres, I., Delgado-Lemus, A., Rangel-Landa, S., Ilsley, C., Torres-Guevara, J., Cruz, A., Parra, F., Moreno-Calles, A. I., Camou, A., Castillo, A., Ayala-Orozco, B., Blancas, J. J., Vallejo, M., Solís, L., Bullen, A., Ortiz, T., and Farfán, B., 2017. Ciencia para la sustentabilidad: investigación, educación y procesos participativos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, pp.113-128.
- Colmenares-Olivera, E., Flores-Olivera, I., Benito-Díaz, S. and Meza-Hernández, A. D., 2016. Impacto de la producción del mezcal en el desarrollo económico de la región de Ocotepic, Tlaxiaco, Oaxaca. *Revista de Desarrollo Económico*, 3(6), pp.14-27.
- Cronbach, L., 1951. Coefficient alpha and the internal structure of test. *Psychometrika*, 16(3), pp 297-334.
- Cuevas-Reyes, V., Sánchez Toledano, B., Borja Bravo, M., Espejel García, A., Sosa Montes, M., Barrera Rodríguez, A. I.I. and Saavedra García, M. J., 2019. Caracterización de la producción de maguey en el Distrito de Miahuatlán, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), pp.365-377.
- Duque, M., 2017. ALFA DE CRONBACH para validar un cuestionario de uso de TIC en docentes. *Revista mktDescubre - ESPOCH FADE*, 10, pp.37-48.
- Espinosa- Paz, H., Bravo, M. E., López, L. P. and Arredondo, V. C., 2005. El Agave mezcalero de Oaxaca: Avances de investigación. INIFAP. Libro Técnico No.3. México, 180 p.
- Espinosa-Paz, H., Arredondo, C., Cano, M.A., Canseco, A.M. and Vázquez, F., 2002. La materia prima para producir el mezcal oaxaqueño: Catálogo de la diversidad de agaves. INIFAP, SAGARPA, Folleto Técnico No. 2, Oaxaca, México, 74 p. Available at: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3160> [Accessed May 1 2019].
- FAO., 2008. *Manual Diagnóstico participativo de comunicación rural*. Comenzando con la gente. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 181 p.
- FAO., 2012. *Naciones Unidas declara 2014 "Año Internacional de la Agricultura Familiar*. FAO, Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe, 03/01/2012.
- Fuentelsaz, G. C., 2004. Cálculo del tamaño de la muestra. *Matronas Profesión*, 5(18), pp.5-13.
- Gallopín, G., 2003. *Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico*. Santiago de Chile: CEPAL, Serie Medio Ambiente y Desarrollo, 47 p.
- Galvan-Miyoshi, Y. M., 2008. Integración de indicadores en la evaluación de sustentabilidad: de los índices agregados a la representación multicriterio. In: Astier, M., Masera, O. R. and Y. Galván-Miyoshi (Ed.). *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. 1ª edición, SEAE / CIGA / ECOSUR / CIEco / UNAM / GIRA / Mundiprensa / Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable, España, pp.95-115.
- García-Barrios, L.E., Speelman, E.N. and Pimm, M. S., 2008. An educational simulation tool for negotiating sustainable natural resource management strategies among stakeholders with conflicting interests. *Ecological Modelling*, 210, pp.115-126.
- García-García, J. A., Reding-Bernal, A. and López-Alvarenga, J. C., 2013. Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en Educación Médica*. 2(8), pp.217-224.

- García-Mendoza, A. J., 2004. Agaváceas. In: A. J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez and M. Briones-Salas (eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM. Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza. World Wildlife Fund, México, pp.159-169.
- Gliessman, S. R., 1998 *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. Boca Raton, FL: CRC Press, 357 p.
- Gliessman, S. R., 2005 *Agroecology and agroecosystems*. In *The earth scan reader in sustainable agriculture* (ed. J. Pretty). London, UK: Earthscan, 421 p.
- Guzmán, G.I. and Alonso, A. M., 2007. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas*, 16(1), pp.24-36.
- Hayati, D., 2017. A literature review on Frameworks and Methods for Measuring and Monitoring Sustainable Agriculture. Technical Report n.22. Global Strategy Technical Report: Rome, 64 p.
- INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Villa Sola de Vega Oaxaca, Clave geoestadística 20277. México, 10 p.
- Kates, R. W., 2011. What kind of science is sustainability science? *Proceedings of the National Academy of Science*, 108, pp.19449–19450.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1116097108>
- Kates, R. W., Clark, W.C., Corell, R., Hall, J.M., Jaeger, C.C., Lowe, I., McCarthy, J.J., Schellnhuber, H. J., Bolin, B., Dickson, N.M., Faucheux, S., Gallopin, G.C., Grübler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N., Kasperson, S.R.E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B., O'Riordan, T. and Svedin, U., 2001. Sustainability Science. *Science* 292, (5517), pp.641-42. DOI: 10.1126/science.1059386
- Koohafkan, P. and Altieri, M.A., 2010. Globally Important Agricultural Heritage Systems: a legacy for the future. UN-FAO, Rome, 46 p.
- Koohafkan, P., Altieri, M.A. and Holt-Gimenez, E., 2012. Green Agriculture: Foundations for Biodiverse, Resilient and Productive Agricultural Systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 10(1), pp.61-75.
<https://doi.org/10.1080/14735903.2011.610206>
- López-Ridaaura, S., Masera, O. and Astier, M., 2002. Evaluating the sustainability of complex Socio Environmental Systems. The MESMIS Framework. *Ecological Indicators* 35, pp.1-14.
[https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00043-2)
- López-Ridaaura, S., Masera, O. and Astier, M., 2001. Evaluando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas integrados: El marco MESMIS. *LEISA Revista Agroecológica*, 16(4), pp.25-27.
- Martínez-Jiménez, R., Ruiz-Vega, J., Caballero, C. M., Silva, R. M. E. and Montes, B. J. L., 2019. Agaves silvestres y cultivados empleados en la elaboración de mezcal en Sola de Vega, Oaxaca, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, pp.477-485.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2750>
- Marzall, K., 1999. Indicadores de Sustentabilidade para Agroecossistemas. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (208f.), Brazil. UFRGS, 230 p.
- Masera, O., Astier, M. and López-Ridaaura, S., 2000. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS*. Mundi-Prensa, México, S.A. de C.V. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A. C. Instituto de Ecología UNAM, 59 p.
- Masera, O., Astier, M. and López-Ridaaura, S., 1999. *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El marco de Evaluación MESMIS*. MundiPrensa – GIRA – UNAM, México, 109 p.
- NOM-070-SCFI-2016. 2016. NORMA Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016, Bebidas Alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. SINEC-20160815180244200. Diario Oficial de la Federación.
- Palma-Cruz, F., Pérez, P. and Meza, V., 2016. Diagnóstico de la Cadena de Valor Mezcal en las Regiones de Oaxaca. COPLADE Oaxaca, 83 p.
- Palma-Cruz, F.J., 1991. El género *Agave* L. y su distribución en el estado de Oaxaca. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales “Iztacala”-UNAM. México, D. F., 161 p.
- Pardinas, F., 2005. *Metodología y técnicas de investigación en ciencias sociales*. México, D.F. Siglo XXI, pp.62-80

- Pretty, J., 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions Royal Society*. B. 363, pp.447–465. DOI:10.1098/rstb.2007.2163.
- Quintero-Angel, M. and González- Acevedo, A., 2018. Tendencies and challenges for the assessment of agricultural sustainability. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 254, pp.273-281. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.030>
- Segarra- Ramírez, G. P., 2011. Identificación de los impactos a través de las actividades antrópicas ejercidas sobre los suelos utilizando la teledetección, en el cantón Santa Lucia, Provincia del Guayas. Tesis de Maestría en Sistemas de Información Geográfica. Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Postgrados, 162 p.