



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO



**Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales
Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local**

**Manejo Socio-productivo y Variabilidad Genética
del *Agave angustifolia* (Maguey Sacatoro)**

TESIS

**Presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local**

Presenta:

Emir Lenin Serafín Higuera

Dirigida por:

Director: Dr. Elías Hernández Castro

Co-Director: Dr. Edgar León Esparza Ibarra

Iguala de la Independencia, Gro. Mayo 2018

La presente tesis titulada “**Manejo Socio-productivo y Variabilidad Genética del *Agave angustifolia* (Maguey Sacatoro)**”, realizada por el alumno **Emir Lenin Serafín Higuera**, forma parte del proyecto sectorial 263188 SEMARNAT-CONACYT: “**CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL MAGUEY SACATORO (*Agave angustifolia* Haw) PARA SU APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE EN LA REGIÓN COMPRENDIDA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE CHILAPA Y HUITZUCO, GRO. BALSAS**”, bajo la dirección del Comité Tutorial indicado y ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

COMITÉ PARTICULAR

Director

Dr. Elías Hernández Castro

Codirector

Dr. Edgar León Esparza Ibarra

Tutor

Dr. Gregorio Sarabia Ruiz

Tutor

Dr. Miguel Ángel Gruintal Santos

Tutor

Dr. Agustín Damián Nava

*Flalticpac toquichtin tiez (La tierra será como sean los
hombres, proverbio Náhuatl)*



Dedicatoria

A mis padres Nicolás y Modesta por ser el pilar fundamental de todos mis logros y por enseñarme que los obstáculos que pone la vida, se pueden superar con valores, esfuerzo, disciplina y conocimiento. Solo puedo decirles gracias por todo lo que me han dado.

A mis hermanos Idanya y Addiel que siempre han estado a mi lado a pesar de las distancias, y que todos los problemas que hemos vivido, hemos salido adelante por estar siempre juntos, gracias por enseñarme que las ciencias naturales son maravillosas. Sin duda los admiro.

A mis sobrinos Alex y Lalo por enseñarme que a pesar de que existen problemas, la vida es hermosa, gracias por compartir su infancia conmigo.

A mi cuñada Gaby que ya es parte de nuestra familia, gracias por todo, la queremos mucho.

A la Familia Barrientos-Rivera gracias por recibirme, ser parte de ustedes y por toda su amistad.

Y por último a ti Guille, por demostrarme que la vida es linda pero también se debe luchar, sin duda eres una gran compañera de vida y gracias porque me has estado apoyando hasta el último minuto en este trabajo, como siempre lo has hecho en todo.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada durante el proceso de realización de mis estudios de maestría.

Así mismo, agradezco a la institución que me permitió realizar mis estudios de posgrado: La Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local (MCAYGL) UAGro.

A los maestros que fueron parte de mi formación y que compartieron sus experiencias, conocimientos y dedicaron su tiempo durante el proceso de esta investigación.

Mi sincero reconocimiento al Dr. Elías Hernández Castro por el apoyo académico durante estos dos años de estudio.

Al Dr. Edgar León Esparza Ibarra gracias por permitirme aprender nuevas aventuras durante la estancia y así mismo, aconsejarme durante todo este tiempo.

Gracias Dr. Gregorio Saravía Ruiz por compartir sus experiencias y conocimientos durante mi estancia en este posgrado.

Dr. Miguel Ángel Gruintal Santos gracias por su apoyo en este proceso y por su amistad.

Dr. Agustín Damián Nava por contribuir con su conocimiento durante mi formación profesional.

Y muy especial al Dr. Lenín Sánchez Calderón por el aporte a la investigación y por la amistad que surgió (todo se logra con esfuerzo y dedicación).

Dra. Perla Ivonne Gallegos y Dra. Lucía Delgadillo mi más sincero agradecimiento por ser parte de este proceso desde el inicio hasta su conclusión.

A mis compañer@s de generación: Armando, Zayra, Iris y Victoria gracias por su amistad y por compartir momentos agradables durante nuestra formación.

Pero...debo mencionar que esta investigación no hubiese sido posible sin el apoyo de los productores mezcaleros muy en especial a: los Sres. Fernando Navarrete, Severo Manzilla, Ramón Carrillo, Sixto Ambrosio, Faustino Castro, Ruben Velasco, José Luis De La Cruz y Luis y principalmente a la organización SANZEKAN TINEMI por el apoyo incondicional para hacer realidad esta investigación "desde el monte hasta la botella".

Gracias a Dios por una nueva oportunidad en la vida.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos particulares	3
III. CAPÍTULO I. MANEJO SOCIO-PRODUCTIVO DEL <i>Agave angustifolia</i> (MAGUEY SACATORO)	4
3.1. Resumen	4
3.2. Abstract	5
3.3. Introducción	6
3.4. Metodología	8
3.4.1. Entrevista a informantes clave	8
3.4.2. Codificación abierta y selectiva	8
3.4.3. Redes	9
3.5. Resultados	10
3.5.1. Importancia del maguey	10
3.5.2. Usos del maguey	10
3.5.3. Ecología del maguey	10
3.5.4. Prácticas de propagación del maguey	10
3.5.5. Prácticas agronómicas	11
3.5.6. Fenología	14
3.5.7. Problemas antropogénicos y naturales	14
3.6. Discusión	20
3.6.1. Valoración social	20
3.6.2. Ecología	22
3.6.3. Prácticas agronómicas	23
3.7. Conclusión	26
3.8. Referencias	28
IV. CAPÍTULO II. VARIABILIDAD GENÉTICA DEL <i>Agave angustifolia</i> (MAGUEY SACATORO)	33
4.1. Resumen	33
4.2. Abstract	34
4.3. Introducción	35
4.4. Metodología	37
4.4.1. Colecta de maguey	37
4.4.2. Extracción de DNA	39
4.4.3. RAPDS	39
4.4.4. Análisis de datos	39
4.5. Resultados	41
4.5.1. Análisis de polimorfismo	41
4.5.2. Análisis del dendograma y distancias genéticas	42
4.6. Discusión	45
4.7. Conclusión	48
4.8. Referencias	49
V. CONCLUSIÓN GENERAL	53

VI. ANEXOS	54
A.1 Formato de colecta de trabajo campo (colecta de maguey)	54
A.2 Memoria fotográfica del trabajo de campo y siembra de maguey en vivero de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local	56
A.3 Memoria fotográfica del trabajo de campo y análisis genético en el Laboratorio de la Unidad de Ciencias Biológicas, UAZ	57
A.4 Formato de guion de entrevista semiestructurada para conocer las prácticas de manejo del maguey en el área de estudio	58
A.5 Amplificación de bandas polimórficas en geles de agarosa (OPA 11 y OPA 20)	60
A.6 Amplificación de bandas polimórficas en geles de agarosa (OPC 06 y OPG 07)	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio	8
Figura 2. Red temática importancia del maguey	12
Figura 3. Red temática usos del maguey	13
Figura 4. Red temática Ecología.	15
Figura 5. Red temática Prácticas de propagación.....	16
Figura 9. Sitios de colecta de los magueyes Sacatoro en el estado de Guerrero.	37
Figura 10. Resultados de electroforesis con productos RAPDS, amplificados con el iniciador OPA 02 (5'-TGC CGA GCT G-3') en poblaciones de maguey Sacatoro del estado de Guerrero, México.....	41
Figura 11. Resultados de electroforesis con productos RAPDS, amplificados con el iniciador OPH 19 (5'-CTG ACC AGC C-3') en poblaciones de maguey Sacatoro del estado de Guerrero, México.....	42
Figura 12. Dendograma de los 38 magueyes Sacatoros usando seis iniciadores, las distancias genéticas se determinaron por el índice de Jaccard. Los límites de confianza fueron basados con 5000 réplicas de bootstrapp.	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones ambientales de las siete localidades en las que se recolectaron muestras de maguey Sacatoro.....	38
Tabla 2. Porcentaje de polimorfismo.....	41

I.- INTRODUCCIÓN GENERAL

México es un reservorio de biodiversidad natural y cultural, que lo posiciona como un centro de domesticación y de diversidad de numerosos cultivos (Bellon *et al.*, 2009). La domesticación es un proceso de selección artificial modelado por la cultura humana, necesidades sociales y tecnología y que a través del tiempo puede determinar diferencias fenotípicas y genotípicas entre poblaciones de organismos silvestres o de manejo (Figueredo *et al.*, 2014). Tal es el caso de los magueyes, especies que han estado relacionados a los habitantes de Mesoamérica desde hace unos 9000 años (Felix-Valdez *et al.*, 2015) y que debido a un proceso de selección muchas variantes de maguey se conservaron y evolucionaron al ser trasplantadas de su medio natural a zonas cercanas a los campamentos de los recolectores y parcelas de los agricultores, donde probablemente ocurrieron nuevas combinaciones genéticas, con mejores rendimientos y calidad de fibra, alimento, bebida u otros productos especiales (Mora-López *et al.*, 2011).

Los magueyes son especies utilizadas para elaborar bebidas destiladas (mezcales), de acuerdo con Colunga (2007) alrededor de 20 especies se usan para elaborar dichas bebidas. Los mezcales son parte primordial de la cultura de diversas localidades, detrás de cada mezcal existe un conocimiento de prácticas culturales agronómicas y procesos ecológicos relacionados a la planta de maguey. Para la elaboración de mezcal existen innumerables procedimientos desarrollados localmente transmitidos de generación en generación y que son constituyentes esenciales de las características y personalidad de cada localidad (Pérez, 2007). En el estado de Guerrero existe un amplio conocimiento en la elaboración de mezcal, principalmente se utiliza el *Agave cupreata* Trel & Berger, sin embargo también se elabora mezcal a partir de especies de *Agave angustifolia* Haw y *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro). La comercialización anual de mezcal en el estado es de aproximadamente 1'400,000 litros y se espera que esta producción aumente (Susano-García *et al.*, 2013).

La demanda en la producción y venta de mezcal ha propiciado la sustitución de los procesos artesanales de elaboración por procesos industrializados (Bautista *et al.*, 2015). La presión por la demanda de materia prima (agave) ha generado un cambio en el manejo agronómico del maguey (Torres-Moran *et al.*, 2013), que ha dado como resultado cambios en la variabilidad genética de la planta, debido a los esquemas adoptados de condiciones de manejo

(Casas *et al.*, 1995). Actualmente el mezcal presenta un aumento de demanda y sus estadísticas son prometedoras, tan solo en el año 2015 el mercado de exportación de mezcal aumentó 79 % y se espera que en los próximos años estos datos aumenten y sean consolidados (Chavez-Parga *et al.*, 2016). Sin embargo, para garantizar la producción de mezcal, se requiere de mantener en cantidad y calidad los niveles de las plantas, lo cual se puede lograr con las ganancias genéticas, que garantice la variabilidad genética y calidad de la semilla (Muñoz *et al.*, 2014). Por tal motivo el presente trabajo busca analizar el contexto socio-productivo para conocer la variabilidad genética del *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro).

II.- OBJETIVOS

2.1.- Objetivo General

⇒ Conocer el manejo socio-productivo y la variabilidad genética del *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro).

2.2.- Objetivos Particulares

⇒ Precisar el contexto socio-productivo del *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro).

⇒ Determinar la variabilidad genética de *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro).

III. CAPÍTULO I - MANEJO SOCIO-PRODUCTIVO DEL *Agave angustifolia* (MAGUEY SACATORO)

MANAGEMENT PRODUCTIVE PARTNER OF THE *Agave angustifolia* (MAGUEY SACATORO)

3.1. RESUMEN

Los magueyes han sido utilizados en la elaboración de fibras, forrajes y bebidas fermentadas y destiladas lo que ha generado diversas variaciones fisiológicas y morfológicas. Las prácticas tradicionales agronómicas mantienen una amplia variedad de magueyes, en contraste con las agroindustrias del Tequila que tienen una base genética estrecha, obteniendo una erosión genética. El *Agave angustifolia* es la principal fuente de materia prima de elaboración de mezcal exportando anualmente alrededor de 750,000 L de mezcal. En el estado de Guerrero se elabora mezcal artesanal a base del *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro), sin embargo el aumento en la demanda de este producto pondría de manifiesto un cambio sustancial en las prácticas agronómicas, en la estandarización de características fenotípicas y en la valoración cultural del maguey, poniendo en riesgo la producción de mezcal, la percepción cultural y la variabilidad genética de las poblaciones de maguey Sacatoro, por tal motivo, el objetivo de este estudio se basó en conocer y analizar el manejo socio-productivo del maguey Sacatoro, mediante el análisis cualitativo de entrevistas semiestructuradas en las localidades: Trapiche Viejo, Motuapa, Atetetla, Paso Morelos, Coacán. Axaxacualco y Los Amates del estado de Guerrero. Para ello, la codificación e interpretación de los resultados obtenidos se realizó en redes temáticas con base en el programa ATLAS.ti 8, los resultados sugieren que los acuerdos comunitarios, el conocimiento tradicional, las prácticas tradicionales agrícolas y el reconocimiento a las diversas variedades de maguey son estrategias fundamentales para la preservación de los magueyes y el mantenimiento de la producción de mezcal.

Palabras clave: *maguey, conservación, genética, social.*

3.2. ABSTRACT

The magueyes have been used in the manufacture of fibers, fodder and fermented and distilled beverages, which has generated various physiological and morphological variations. Traditional agronomic practices maintain a wide variety of magueyes, in contrast to the Tequila agroindustries that have a narrow genetic base, obtaining a genetic erosion. The *Agave angustifolia* is the main source of mezcal raw material exporting around 750,000 L of mezcal annually. In the state of Guerrero handmade mezcal based on *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro) is elaborated, however the increase in the demand of this product would show a substantial change in the agronomic practices, in the standardization of phenotypic characteristics and in the valuation of the maguey, putting at risk the production of mezcal, the cultural perception and the genetic variability of the populations of maguey Sacatoro, for this reason, the objective of this study was based on knowing and analyzing the socio-productive management of the maguey Sacatoro, through the qualitative analysis of semi-structured interviews in the localities: Trapiche Viejo, Motuapa, Atetetla, Paso Morelos, Coacán. Axaxacualco and Los Amates of the state of Guerrero. To this end, the coding and interpretation of the results obtained was carried out in thematic networks based on the ATLAS.ti 8 program, the results suggest that the community agreements, traditional knowledge, traditional agricultural practices and the recognition of the different varieties of maguey are fundamental strategies for the preservation of magueyes and the maintenance of mezcal production.

Keywords: *maguey, conservation, genetics, social*

3.3. INTRODUCCIÓN

México alberga 58 grupos étnicos culturales que hablan casi 290 lenguas indígenas, la interacción entre los grupos étnicos y la diversidad biológica ha desarrollado un modelo biocultural (Casas *et al.*, 2016), basado en las actividades que realiza el ser humano en recursos vegetales y animales, modificando en algún grado los procesos evolutivos y biológicos, con la finalidad de tener un mejor aprovechamiento (García-Valenzuela, 2011). Se estima que diferentes culturas indígenas utilizan entre 5000 y 7000 especies de plantas (Caballero *et al.*, 1998). Entre estas, los magueyes han tenido una intensa relación con poblaciones humanas de al menos 9000 años y han adquirido un valor cultural y económico por la elaboración de fibras, bebidas fermentadas y destiladas (Félix-Valdez *et al.*, 2015). Además se tiene registro que antes del desarrollo de la agricultura, los magueyes representaban una fuente básica de alimento, se consumían pedúnculos florales, tallos y bases de hojas cocinados en hornos subterráneos (Zizumbo Villareal *et al.*, 2012). México es considerado el centro de mayor riqueza y diversidad de magueyes, de acuerdo con García-Mendoza y Chávez-Rendón (2013) de las 340 especies conocidas, 261 (76%) se encuentran en la República Mexicana, y a su vez, el 70% son endémicas.

El aprovechamiento de los magueyes en la elaboración de fibras, forrajes y bebidas (fermentadas y destiladas) ha contribuido en la evolución dándole variaciones fisiológicas y morfológicas (Castro-Díaz *et al.*, 2013). Colunga-García (2007) infiere que hay alrededor de 74 especies de magueyes que se utilizan en México. Los estudios de Zizumbo-Villareal (2012) y Colunga-García (2006) demuestran que los agricultores utilizan un manejo agrícola basado en diversas prácticas tradicionales y por lo tanto, mantienen la amplia diversidad genética de diferentes variedades de maguey, que se utilizan para elaborar bebidas destiladas y otros productos. En contraste las agroindustrias del Tequila tienen un uso restringido de la diversidad y una base genética estrecha, obteniendo como resultado problemas fitosanitarios y erosión genética en las plantaciones de *Agave tequilana* Weber (var. Azul) (Bellón *et al.*, 2009), aunado a ello el manejo de sistemas agrícolas intensificado de monocultivos provoca impactos negativos en el ambiente (Herrera-Pérez *et al.*, 2017).

El *Agave angustifolia* es la especie más versátil debido a su amplio rango de distribución, se encuentra en 19 estados de la República Mexicana, entre ellos el estado de Guerrero

(Vázquez-García *et al.*, 2007). Debido a su rango de distribución el *Agave angustifolia* es una de las 12 especies más importante en la elaboración de bebidas destiladas (Colunga-García *et al.*, 2007), y es considerada la principal fuente de materia prima de elaboración de mezcal en México (Chavez-Parga *et al.*, 2016), exportando anualmente alrededor de 750,000 L de mezcal con certificación a Asia, Europa, Estados Unidos y Canadá (Arzate-Fernández *et al.*, 2016). De acuerdo con Kirchmayr y colaboradores 2014, en el estado de Guerrero se elabora mezcal artesanal a base del *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro). Sin embargo, el aumento en la demanda de producción de mezcal, pondría de manifiesto un cambio sustancial en: las prácticas agronómicas, la estandarización de características fenotípicas de la planta para asegurar un crecimiento y una calidad uniforme y por último en la valoración cultural del maguey, poniendo en riesgo la producción de mezcal, el germoplasma y la variabilidad genética de las poblaciones de maguey Sacatoro, generando un impacto negativo en el ambiente. Por tal motivo este estudio se basó en conocer y analizar el manejo socio-productivo del maguey Sacatoro.

3.4. METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de análisis cualitativo, que consistió en los siguientes pasos:

3.4.1. Entrevistas a informantes clave

Se aplicaron entrevistas semiestructuradas (ver anexo A.4) a informantes clave (productores de mezcal) utilizando la metodología de Hernández-Sampieri (2010). Las entrevistas se realizaron en septiembre del 2016 a febrero del 2017 en el estado de Guerrero. La información se obtuvo de las siguientes localidades: Trapiche Viejo y Motuapa del municipio de Ahuacutzingo, Atetetla y Paso Morelos del Municipio de Huitzucu, los Amates del municipio de Chilapa, Coacán del municipio de Atenango del Río y Axaxacualco municipio de Eduardo Neri (Figura 1). Por último la validación de la información recopilada se realizó mediante el método de triangulación de datos (Pujals *et al.*, 2012).

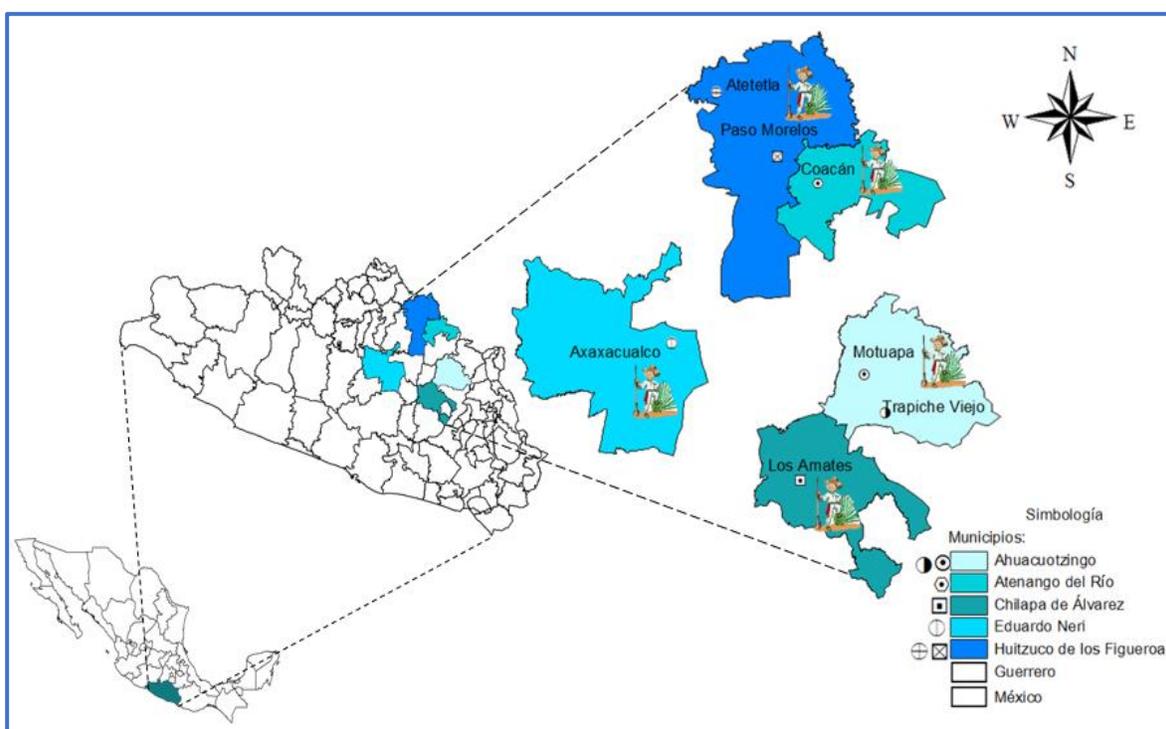


Figura 1. Ubicación del área de estudio

3.4.2. Codificación abierta y selectiva

Las entrevistas se analizaron e interpretaron por medio del software Atlas ti. 8. Para ello se realizó una expresión descriptiva del objetivo por medio de citas libres. Posteriormente se hizo una codificación abierta para identificar y conceptualizar los significados de las

entrevistas y finalmente se obtuvo una codificación selectiva que expreso una categoría central de la investigación.

3.4.3. Redes

Las redes se obtuvieron a partir de la triangulación de la codificación para expresar las condiciones, contextos, dimensiones del problema planteado y obtener validez de la información. En total se generaron siete redes temáticas, a las que se les asignaron los siguientes títulos: Importancia del maguey, usos del maguey, ecología del maguey, prácticas de propagación del maguey, prácticas agronómicas, fenología y problemas antropogénicos y naturales. Mediante la técnica de mapas conceptuales se realizó la interpretación de las siete redes temáticas, del cual se obtuvieron los relatos, dando como resultado una teorización acerca de la temática de estudio.

3.5. RESULTADOS

3.5.1. Importancia del maguey

Los productores entrevistados mencionaron que el mezcal elaborado a partir del maguey es un producto que genera un sustento económico para sus familias. Además manifiestan que existe un profundo conocimiento tradicional en la elaboración de mezcales, mismo que se ha transmitido de generación en generación, como resultado, de acuerdo con la NOM-070 en el estado de Guerrero se tiene un proceso artesanal de elaboración de mezcal. Sin embargo, existe una preocupación por parte de los productores hacia el reconocimiento de su trabajo y al valor que se le da al producto mezcal, el cual ha sido un proceso complejo para obtener un prestigio como lo tienen actualmente a nivel internacional (Figura 2).

3.5.2. Usos del maguey

La producción de bebidas destiladas es de importancia para los productores debido a que genera más ganancias en comparación con otras actividades. Sin embargo, el maguey también se puede utilizar para la elaboración de otros productos, por ejemplo, de acuerdo con el análisis de la red temática de oportunidades de aprovechamiento (Figura 3), se mencionan los siguientes productos: ixtle, vino, alimento, abonos, mieles y elementos para la construcción.

3.5.3. Ecología del maguey

Esta red muestra (Figura 4), que los productores reconocen de manera óptima a las especies polinizadoras en el maguey como murciélagos, abejas e insectos entre otros, además identifican la importancia de estas especies y el papel que tienen no solo en la reproducción del maguey sino en el ecosistema.

3.5.4. Prácticas de propagación del maguey

Las prácticas de propagación que realizan los productores en el área de estudio, se basan en la utilización y selección de semilla y propagación clonal (hijuelo). En la localidad Trapiche Viejo sólo se realiza propagación clonal “pues el productor menciona, *es una forma de obtener plantas maduras más rápido*”. Sin embargo, las prácticas de colecta y reforestación a partir de especies silvestres que se realizan en todas las localidades, es una alternativa óptima para iniciar un manejo incipiente en parcela de estos magueyes que traen “*del cerro como los productores le llaman, debido a que son los que aguantan el clima y las condiciones de la tierra*”, mismo que se han venido trabajando desde generaciones anteriores (Figura 5).

3.5.5. Practicas agronómicas

Los productores entrevistados realizan las siguientes practicas agronómicas: siembra, fumigación, limpieza, capado, reforestación y colecta (Figura 6). Por medio de la red temática se puede observar que la siembra en Atetetla se basa en semilleros establecidos en vivero, se controla el tiempo de germinación, así como un control eficaz a partir de plaguicidas para evitar infestación en plántulas, desde el vivero se le aplica abono orgánico de acuerdo a las necesidades del cultivo, el tipo de plantación es a tres bolillos y el periodo de siembra es principalmente antes de la temporada de lluvias para evitar el estrés hídrico y de esta manera asegurar su sobrevivencia de a plántula. En comparación con las prácticas que realizan los demás productores, solo cosechan los hijuelos y re-siembran sin barbechar la tierra. La limpieza de parcelas con cultivo de maguey, han observado que es fundamental para una producción más rápida, dicha práctica de limpieza de acuerdo con los productores se basa en la utilización de herramientas mecánicas e introducción del ganado inducido como ovinos y caprinos. Además, en la localidad de Motuapa el productor utiliza el mismo ganado para el capado de las plantas, debido a que cuando emerge la velilla del quiote se la comen. Así no pierden tiempo en esta tarea.

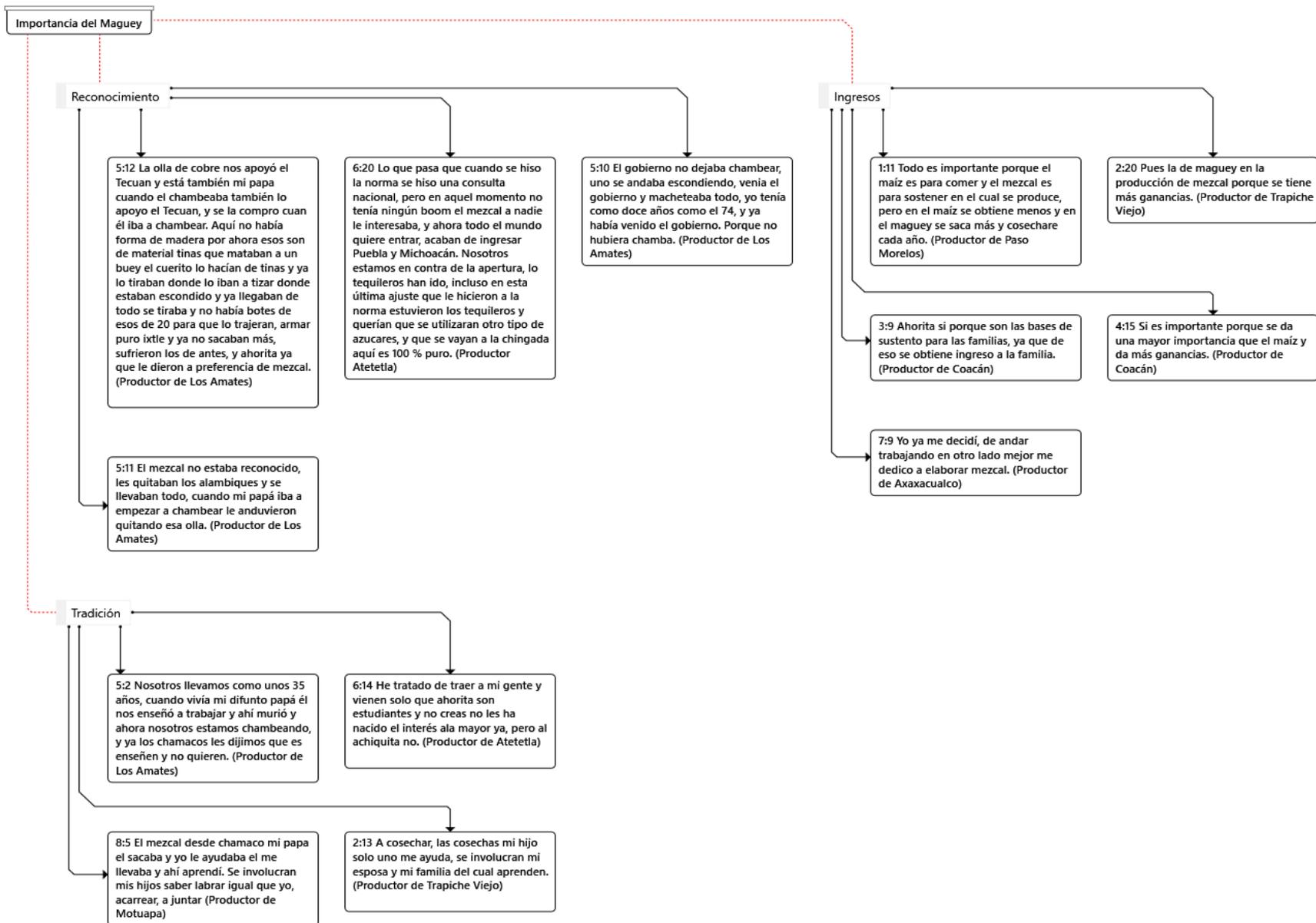


Figura 2. Red temática importancia del maguey

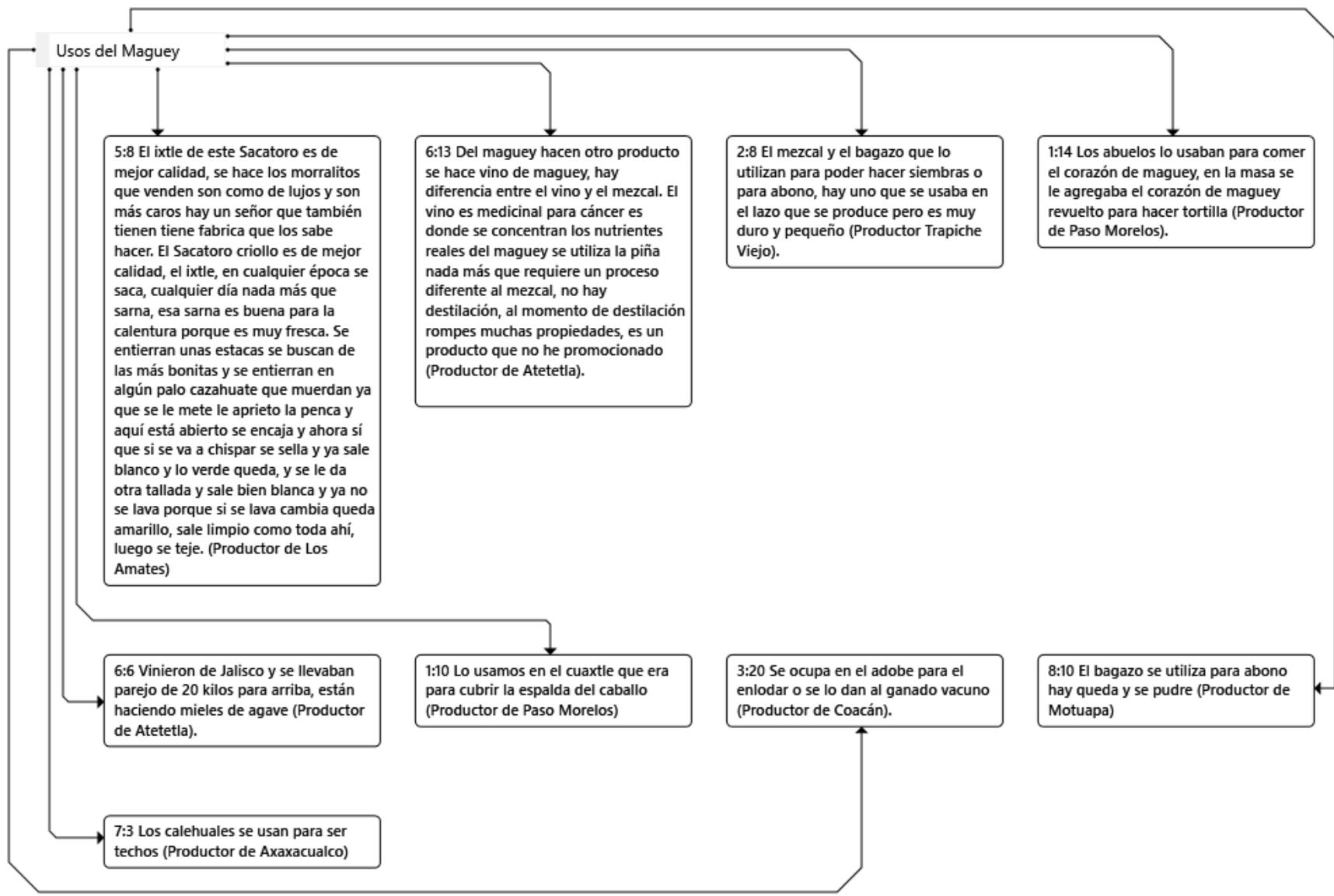


Figura 3. Red temática usos del maguey

3.5.6. Fenología

De acuerdo con la red temática de la figura 7, los productores mencionan que el periodo de floración depende de la variedad del maguey, por ejemplo en los Amates el productor identifica tres variedades de maguey Sacatoro y cinco que morfológicamente son distintas pero el recuerda que ahí en “*el monte*” han estado siempre, cuando cosechan para elaborar mezcal solo se usan plantas maduras para evitar “*el mal sabor*” en el mezcal. La maduración de una planta la identifican de acuerdo al cogollo y la disposición de las pencas (hojas), el tiempo en madurar es de siete años aproximadamente, algunos mencionaron que puede ser hasta 10 años “*todo depende de la forma de reproducción y de las condiciones del terreno*”. También hay casos, en los que se buscan características morfológicas “óptimas” en la planta, que tengan rosetas grandes, por ende piñas (tallos) grandes, y son las que se prefieren para la elaboración de mezcal.

3.5.7. Problemas antropogénicos y naturales

Las problemáticas que existen se deben a problemas de plagas específicamente a el *Scyphophocus acupunctatus* (picudo), también hay hongo, bacterias y virus. Aunado a ello las problemáticas antropogénicas que se muestran en la figura 8 son: falta de normas o acuerdos comunitarios para la extracción del maguey silvestre, venta de plantas y condiciones de reproducción de esas plantas que se venden y robo de plántulas en las parcelas vecinas, las reforestación fuera de tiempo que trae consigo un estrés hídrico y pocas probabilidades de supervivencia de la planta, conservación de la semilla, ausencia de semilleros naturales debido a que los productores mencionan “*capamos las plantas para aprovecharlas para el mezcal o de lo contrario se mueren y se pierden*”. Sin embargo, es una práctica a la que se debe prestar atención y buscar una alternativa factible en el productor para evitar erosión genética. Además, el interés por preservar el involucramiento de las generaciones jóvenes a estas tareas culturales del maguey, el mezcal y su conservación son las que han propiciado más afectación a tal grado de tener una escases severa de plantas, tal es el caso de la localidad de Axaxacualco.

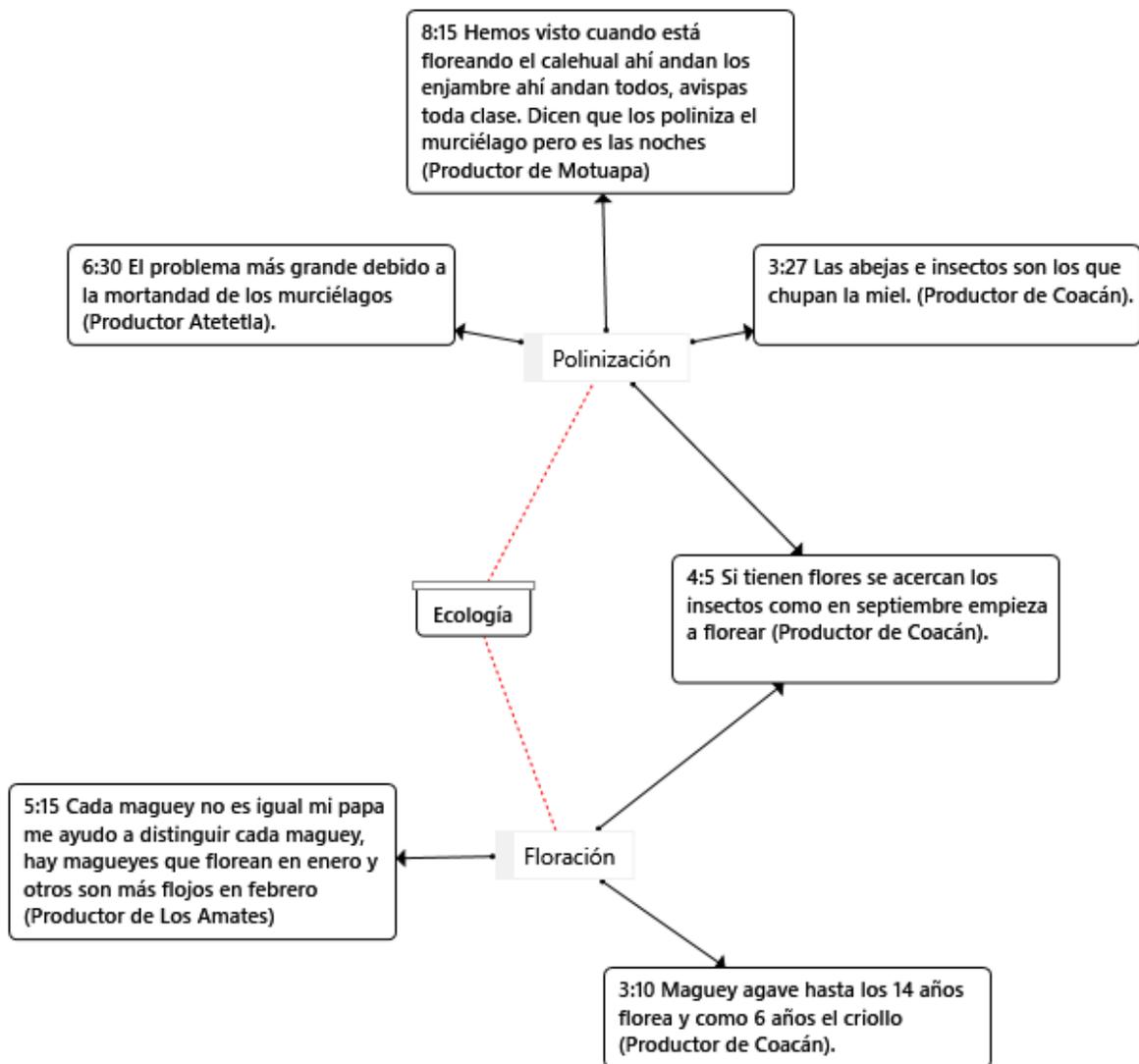


Figura 4. Red temática Ecología.

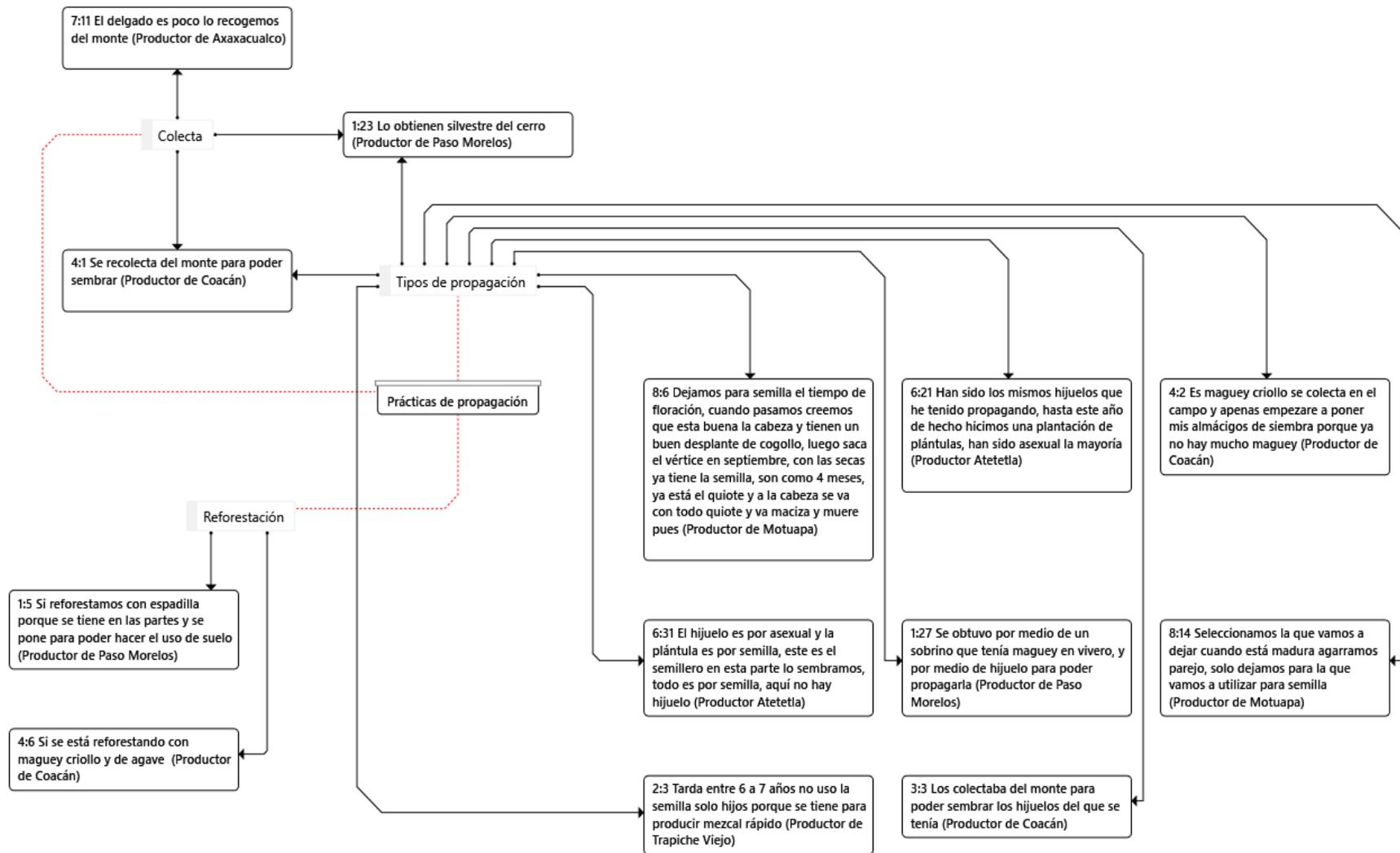


Figura 5. Red temática Prácticas de propagación

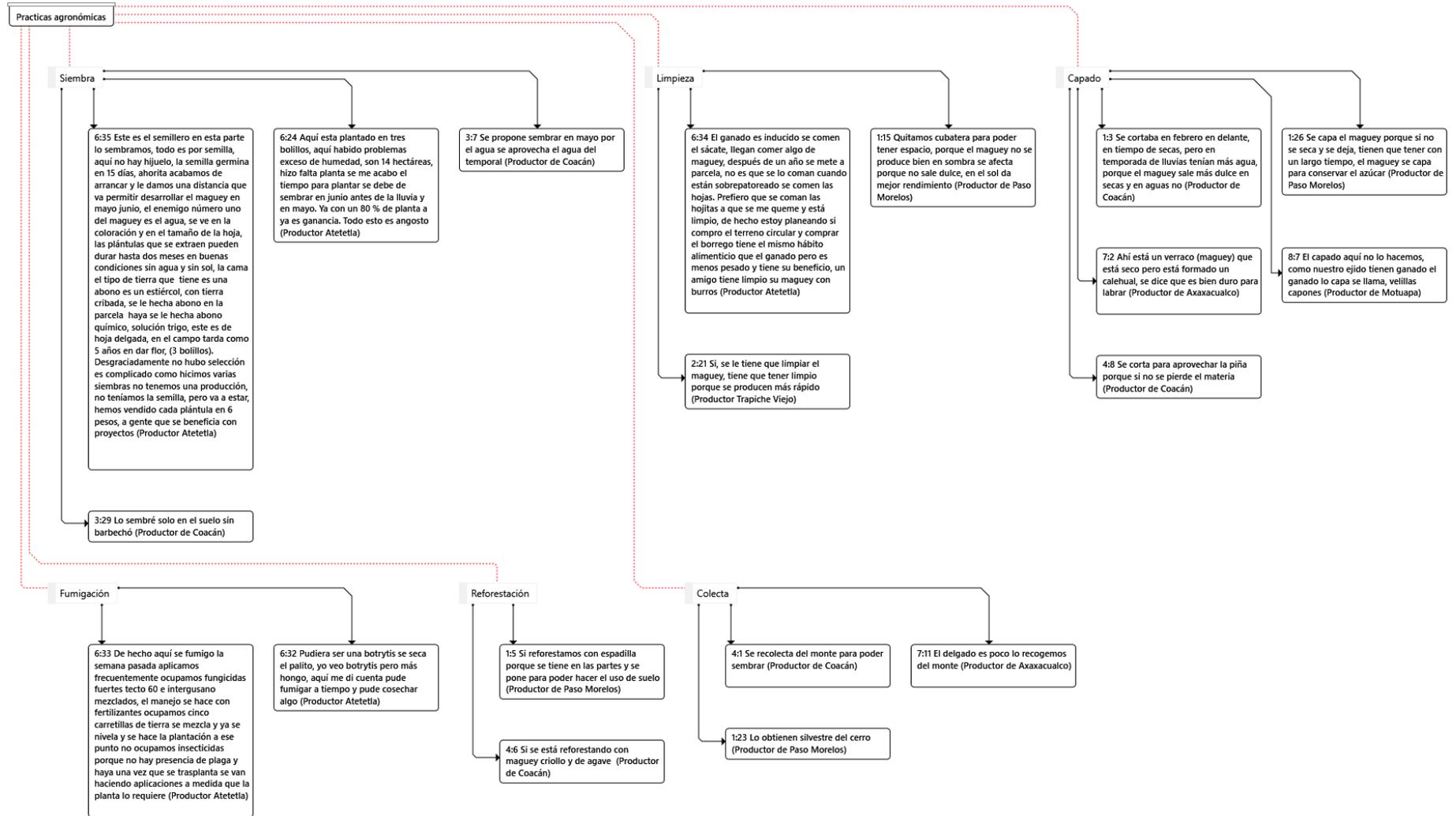


Figura 6. Prácticas agronómicas

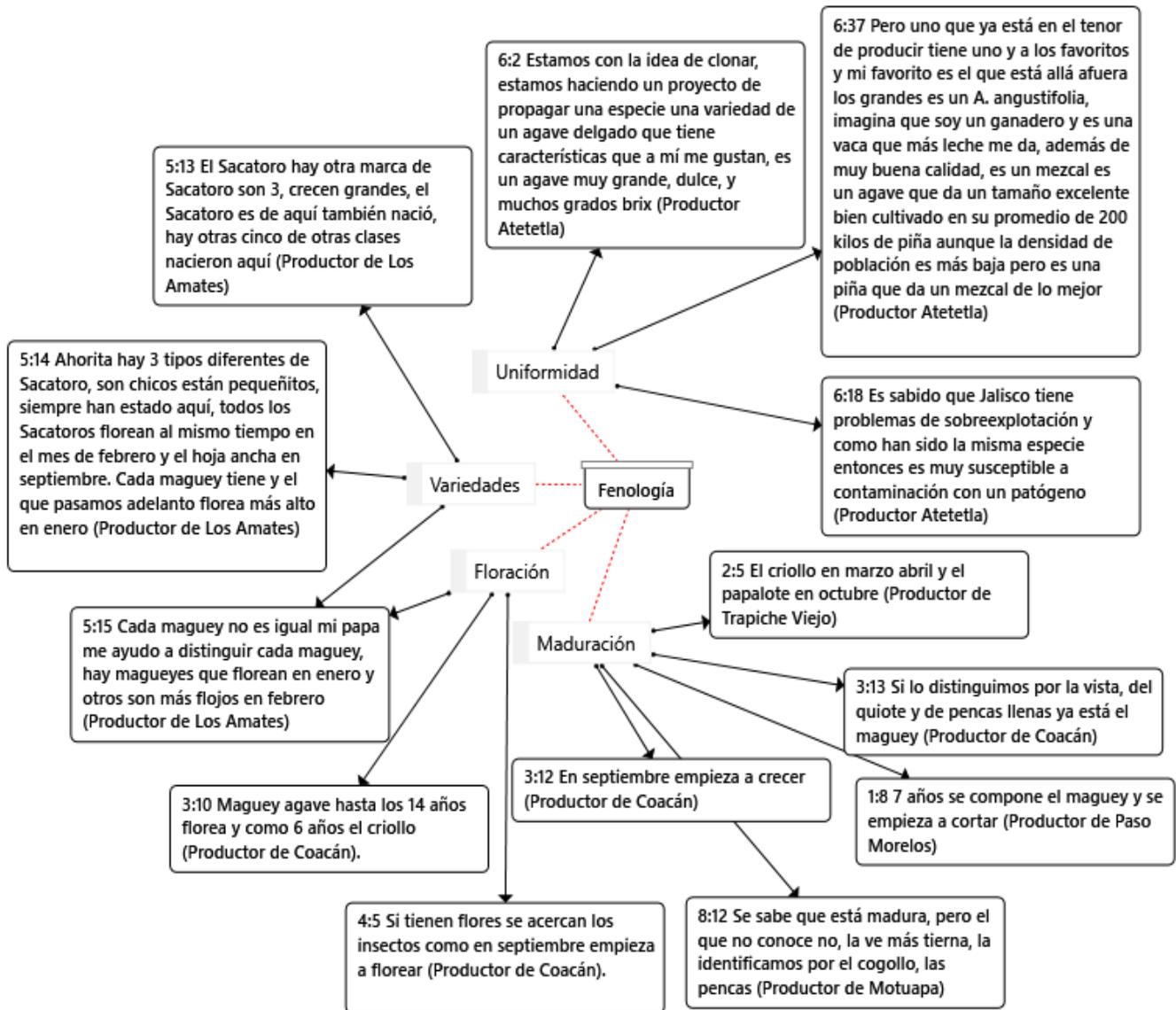


Figura 7. Red temática fenología.

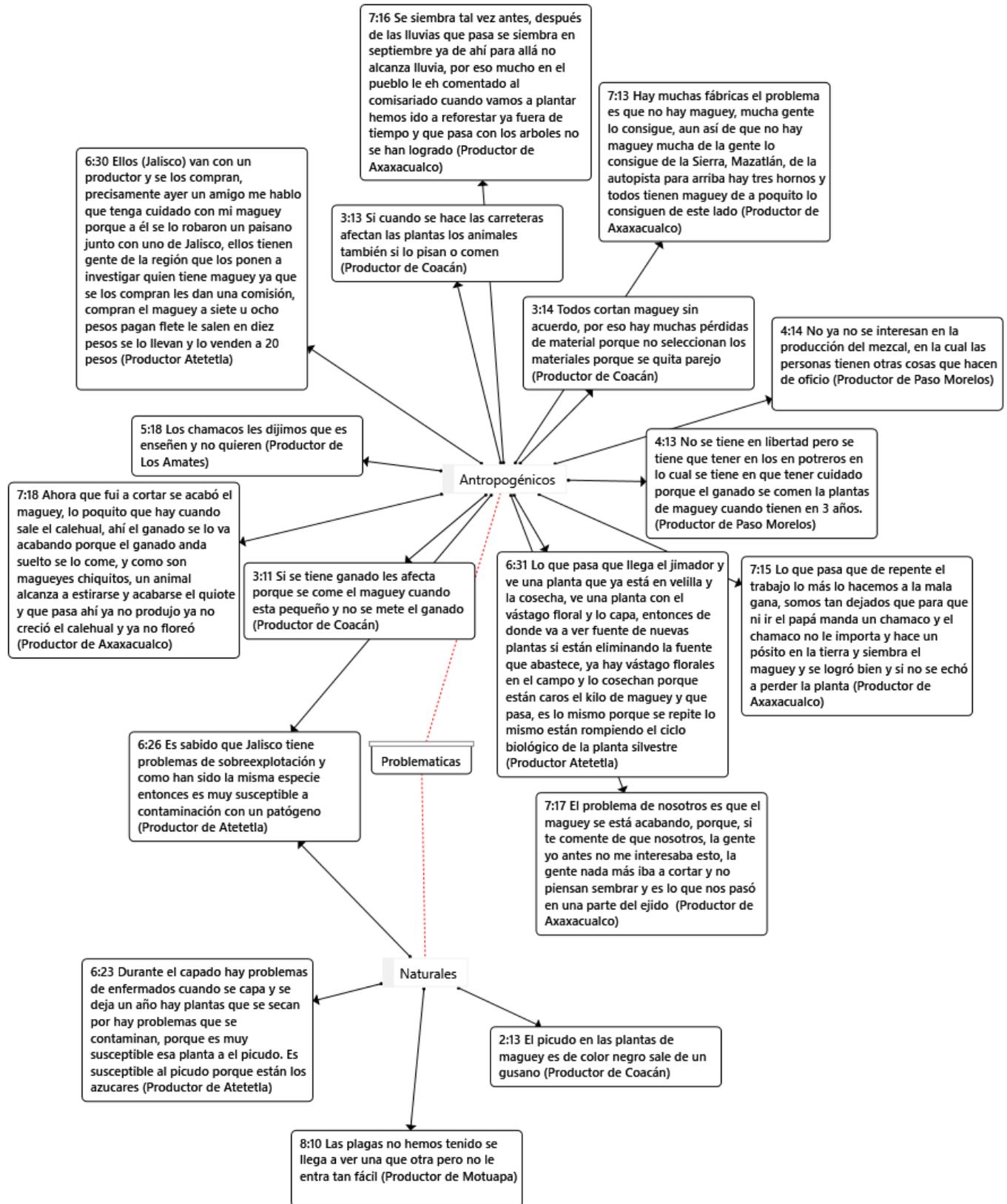


Figura 8. Problemas antropogénicos y naturales

3.6. DISCUSIÓN

3.6.1. Valoración social

Los resultados demuestran que el mezcal es el principal recurso que representa un sustento económico para los productores (figura 2). Hernández-López y colaboradores (2012), manifiestan que la producción de bebidas alcohólicas destiladas, ha cobrado más importancia como una actividad económica e industrial y menos por su valor social. Por ejemplo el *Agave tequilana* (variedad azul) se considera solo materia prima mercantil, dejando de lado otras valoraciones y formas de conceptualizar la planta. En ese sentido, el interés por elaborar mezcal ante un aumento en la venta y producción en el mercado, estaría dejando de lado la valoración cultural del maguey Sacatoro, a pesar de que su importancia cultural se fundamenta en una gran tradición en el aprovechamiento de la planta, en la elaboración del mezcal y otros productos, tal y como menciona Appadurai (1986) los objetos también incorporan una dimensión cultural y por ende no pueden ser pensados solo como mercancías.

Desde 1577, Francisco Hernández Toledo describe al maguey como una planta que “sola podría fácilmente proporcionar todo lo necesario para una vida frugal y sencilla, pues no la dañan los temporales, ni los rigores del clima, ni la marchita la sequía”, en 1590 José de Acosta la describe como el “árbol de las maravillas” (Scheinvar, 2017). En ese sentido los productores entrevistados conciben al maguey como una planta de la que se pueden obtener varios productos desde alimentos, ixtle, vino, abonos, mieles y elementos para la construcción entre otros (figura 3). Por lo tanto es interesante considerar que existe un conocimiento para la elaborar otros productos a parte del mezcal en el estado de Guerrero, sin embargo, a pesar de las características fisiológicas con las que cuentan los magueyes del estado no se le está dando otro valor agregado, las que pudieran ser las siguientes situaciones: la falta de trabajo en conjunto con autoridades competentes, investigadores, productores y miembros de la cadena productiva puede desanimar el interés en la elaboración de nuevos productos tal como sucede en *Agave salmiana* (Duarte *et al.*, 2018), la situación de darle solo un valor mercantil a la planta tal y como menciona Hernández-López y colaboradores (2012), o simplemente se deba a una tradición y un profundo conocimiento que existe por parte de los productores en la elaboración de mezcal.

Las prácticas y técnicas tradicionales para la fabricación de mezcal conforman un conocimiento que ha pasado de generaciones por varios años, por ejemplo el productor de la localidad Los Amates menciona lo siguiente: *Nosotros llevamos como unos 35 años trabajando el maguey, cuando vivía mi difunto papa él nos enseñó a trabajar la tierra y el mezcal y allí murió y ahora nosotros estamos chambeando con esos conocimientos para sacar a nuestras familias adelante* (figura 2). La producción de mezcal de acuerdo con Zizumbo-Villareal y colaboradores (2012), sugiere que el proceso de destilación, probablemente se desarrolló en las estribaciones de los volcanes de Colima a principios del siglo XVII, por lo tanto las técnicas de elaboración de mezcal se han extendido por el territorio nacional, generando un conocimiento y diversificación de mezcales y magueyes, sustentado en el gusto histórico que de acuerdo con Pérez (2007) lo define como el conjunto de saberes, practicas, reglas y tradiciones creadas colectivamente a través de la historia en una región o en una población y que establece, en el caso de los mezcales como deben de elaborarse, saber, oler y las pruebas de calidad a que debe de someterse para que sean considerados legítimos.

Los productores entrevistados mencionan lo siguiente: *“Lo que pasa que cuando se hizo la norma se hizo una consulta nacional pero en aquel momento no tenía ningún boom el mezcal a nadie le interesaba, y ahora todo el mundo quiere entrar”, “el gobierno no dejaba chambear, uno se andaba escondiendo, venia el gobierno y destrozaba todo a machetazos y lo que quedaba, lo quemaban; así cuando íbamos a tener chamba”* (figura 2). El reconocimiento del mezcal se dio a partir de que los productores excluidos de la norma oficial del Tequila, solicitaron en 1994 la Denominación de Origen Mezcal (Scheinvar, 2017). De acuerdo con la NOM-070 de Bebidas Alcohólicas (2016) los estados dentro de la denominación de origen son: Durango, Guerrero, Guanajuato, Michoacán, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. El mezcal pasó de ser un producto de bajo prestigio a un producto que en la actualidad tienen una fuerte demanda en el mercado nacional y en el extranjero. Por tal motivo la preservación del maguey es fundamental para el mantenimiento de la producción de mezcal e incentivación de otros productos.

3.6.2. Ecología

La propagación asexual de acuerdo con Félix-Valdez y colaboradores (2015), es una alternativa importante cuando las posibilidades de exogamia son escasas permitiendo más episodios reproductivos no sexuales. Tal es el caso del *Agave angustifolia* que se reproduce a través de rizomas, bulbilos y semillas (Gutiérrez-Mora *et al.*, 2010). Para los productores de mezcal las prácticas de propagación asexual, es una ventaja por el tiempo de maduración y la uniformidad de la planta con características morfológicas deseadas. Sin embargo el uso constante de esta práctica en plantaciones de maguey ha traído consecuencias en la disminución de la variabilidad genética, como por ejemplo en *Agave tequilana* var. Azul (Gil Vega *et al.*, 2001) y *Agave fourcroydes* (Colunga *et al.*, 1999). Las prácticas de propagación que realizan los productores en sus parcelas son a través de selección de semilla y propagación por hijuelos, además las prácticas de colecta y de reforestación con plantas silvestres en su parcela (figura 4) son importantes en el mantenimiento de la variabilidad genética, aunado a ello las especies polinizadoras en los magueyes son fundamentales para llevar a cabo su reproducción sexual; requieren la visita de murciélagos, colibríes e insectos (Arizmendi., 2009). En ese sentido los productores de mezcal en Guerrero han observado murciélagos, insectos, colibríes y otras especies alimentándose de las plantas de maguey, incluso algunos mamíferos pequeños como las ratas o los mapaches, los reptiles utilizan estas plantas como hábitat y refugio en su etapa reproductiva, lo cual es importante porque tales especies podrían funcionar como indicadores ambientales de conservación en el ecosistema, además la interacción entre diferentes especies son fundamentales en la dinámica y función de las redes tróficas (Del Val., 2012) . Sin embargo en la localidad Atetetla el productor menciona que existen serios problemas ecológicos que podrían desencadenarse de *una mortandad de murciélagos en la región, de la que se desconoce su origen* (figura 5), dicha problemática pondría en riesgo la conservación de la diversidad genética, no sólo en los magueyes sino en las comunidades vegetales establecidas en la región; como mencionan Fleming y colaboradores (2009) los murciélagos desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la continuidad genética de las poblaciones de plantas y, por lo tanto, tienen un considerable valor de conservación.

3.6.3. Prácticas agronómicas

Casas y Caballero (1995) definen a un cultivo como el proceso de manipulación del ambiente y la propagación de plantas en un medio y manejo artificial producido, a sí mismo dicho manejo incluye la manipulación de los genotipos de la planta de acuerdo con las necesidades de la sociedad humana. Los monocultivos de *Agave tequilana* var. Azul se caracterizan por un alto grado de intensificación de prácticas de cultivo (Herrera-Pérez *et al.*, 2017), entre el periodo 1950 y 2008 se generó un esquema de exceso y desabasto de materia prima, lo cual condujo a incrementar la densidad del cultivo, la labranza y el uso de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, plaguicidas), expandiendo el cultivo y provocando problemas de erosión edáfica, contaminación de agua y del suelo (Zizumbo-Villareal *et al.*, 2009). Las practicas agronómicas que llevan a cabo los productores entrevistados en la localidad de Atetetla y Motuapa, se basan en la utilización del ganado para la limpieza de las parcelas y el capado de las plantas (figura 6), los demás productores consideran que el ganado es un problema en sus parcelas debido a que se comen la planta o la pisan (figura 8), por lo tanto realizan la limpieza de sus parcelas de forma manual evitando la utilización de agroquímicos, otras prácticas son la colecta y la reforestación a partir de plantas silvestres, y la utilización de semillas e hijuelos para propagar en su parcela, de acuerdo con Vázquez-Díaz y colaboradores (2011) consideran que los individuos originados a partir de semillas son necesarios para mantener la estructura y dinámica de las poblaciones de maguey, ya que su ausencia disminuye la variabilidad genética.

El monocultivo provoca problemas fitopatológicos debido al ciclo biológico largo en el *Agave tequilana* (Santacruz *et al.*, 2008), sin embargo es común en los productores entrevistados, a excepción de la localidad Los Amates que por el hecho de ser terrenos ejidales y al no contar con una parcela establecida, su manejo se basa en la colecta de plantas de forma silvestre para producir su mezcal, deja plantas en los campos que funcionan como semilleros naturales y también esparce los hijuelos a través de la resiembra cuando estos están muy amontonados. Otra problemática importante es el *Scyphophocus acupunctatus* (picudo, barrenador) es uno de los principales problemas de plagas (figura 8), los productores han observado que “desde que están jóvenes las plantas las ataca el picudo, es un animalito que va barrenando hasta llegar al corazón de la planta, porque es ahí de donde come y, ya cuando se cosecha hay pérdidas importantes porque la mayoría está dañada”; también hay

otras enfermedades que en Atetetla mencionan son hongos, en esta localidad, usan fungicidas en las primeras etapas de crecimiento (figura 6), usan Tecto ® 60 e intergusano mezclados, los cuales se utilizan a medida que la planta lo requiere. Otra problemática que se les ha presentado es después del capado “*consiste en cortar el quiote florar para evitar la pérdida de los azúcares*”, después de esta práctica la planta se deja que concentre sus azúcares por un año, hay plantas que se secan porque son más susceptibles a que se contaminen y a la incidencia del picudo (figura 8). El estudio de las prácticas agrícolas sustentables que realizó Bautista y Smit (2012), de los valles centrales de Oaxaca, demostró que el 100% de los productores entrevistados recurren al uso de insecticidas para el control de plagas debido a que no se realiza ningún control agroecológico por las características físico geográficas del suelo (laderas con pendientes pronunciadas y un alto grado de pedregosidad) que no permite el crecimiento de otras plantas a excepción del maguey. Las prácticas agroecológicas como la rotación de cultivos es una alternativa para controlar las plagas y reducir el uso de fungicidas en las parcelas de las localidades estudiadas, de acuerdo con Herrera-Pérez y colaboradores (2017), la evaluación de dos tipos de manejo (policultivo y monocultivo) en el *Agave tequilana*, demostraron que los motivos para realizar las rotaciones es para descansar la tierra, evitar el desgaste de nutrientes, ablandar y “vitaminar” los suelos, así mismo mencionan que la adición de nitrógeno se logra con la rotación de cultivos con legumbres, suprimiendo los insectos, las plagas y las enfermedades al romper efectivamente el ciclo de vida de las plagas. Así mismo Zizumbo –Villareal y colaboradores (2012), evaluaron las prácticas tradicionales en el sur de Jalisco y determinaron que el sistema tradicional milpa, agave y fruta proporciona ventajas al disminuir la frecuencia de plagas y enfermedades al crear una estructura ambiental heterogénea temporal y espacial, incluso pudieran tener otra fuente de ingresos económicos mientras los magueyes maduran.

El mezcal es un producto que tiene alta demanda en el mercado, el mezcal fabricado en el estado de Guerrero se comercializa en el país y se exporta hacia Estados Unidos de Norteamérica, Europa, Oceanía, Australia, Nueva Zelanda y República Checa. (Susano-García *et al.*, 2014). Sin embargo ante una creciente demanda del producto mezcal, se recurre a la homogeneización de características fenotípicas deseadas por los productores, con la finalidad de tener una uniformidad de plantas en sus parcelas (figura 7); dicha práctica amenaza la diversidad de germoplasma en los magueyes. En el estudio realizado por Colunga

García Marín y Zizumbo-Villarreal (2006) encontraron más de 20 variantes cultivadas por los agricultores tradicionales mientras que en la misma zona, la agroindustria del tequila solo utiliza la variedad azul de *A. tequilana*. La diversidad genotípica de los productores tradicionales consignada en aquel estudio, coincide con lo afirmado por uno de productores de la localidad de los Amates entrevistado por nosotros, quien reconoce hasta 8 variedades de maguey por los distintos tiempos de floración de las plantas (figura 7); lo cual es positivo considerando que el cuidado del germoplasma es el sustento en la producción de mezcal ante un mercado demandante.

La falta de plantas es el problema principal de los productores entrevistados (figura 8) por ejemplo en la localidad de Axaxacualco un productor menciona: “*Hay muchas fábricas el problema es que no hay maguey mucha gente lo consigue, de la Sierra, Mazatlán, de la autopista*”. La falta de normas para la extracción de maguey silvestre, robo y venta de plantas a otros estados y la falta de interés por preservar las especies, entre otros, ocasiona un desabasto de maguey, tal y como sucede con el *Agave potatorum* una de las especies con los más altos índices de riesgo debido principalmente a la elevada extracción para la elaboración de mezcal y a los inexistentes esfuerzos de manejo (Torres *et al.*, 2013). Ante una fuerte presión social para la elaboración de mezcal, es necesario el establecimiento de acuerdos comunitarios entorno a la preservación y el manejo del maguey, debido a que desde el punto de vista social es un recurso común en el cual las comunidades juegan un papel trascendental en el destino de este recurso natural.

3.7. CONCLUSIÓN

El análisis indica que la gran demanda de mezcal en el mercado nacional e internacional, obliga a su elaboración intensa, lo que pudiera generar una pérdida de valoración y conceptualización de la planta como ente biológico, tal y como sucede en el *Agave tequilana* (variedad azul). El conocimiento y la tradición en la elaboración de otros productos a partir del maguey, podrían ser oportunidades de aprovechamiento diverso que coadyuvaría a promover la diversidad genética, el trabajo en conjunto con productores, autoridades, investigadores y miembros de la cadena mezcal podría ser una alternativa para la fabricación de otros productos.

El reconocimiento del mezcal que se dio a partir de que los productores excluidos de la norma oficial del Tequila, solicitaron en 1994 la Denominación de Origen Mezcal, facilitó fijar la atención en el binomio oferta-demanda y permitió la revalorización de la tradición y el amplio conocimiento de los productores tradicionales en su elaboración misma que se basa en un conjunto de saberes de cada localidad que establecen reglas para su obtención, lo que propicia una diversificación de mezcales elaborados a partir de diferentes especies de maguey.

Los diversos mecanismos de reproducción asexual del maguey Sacatoro, son una ventaja para los productores, las prácticas de propagación basadas en semillas, la colecta y la reforestación de especies silvestres mantienen la variabilidad genética, aunado a ello las diversas especies polinizadoras son indicadores de conservación, sin embargo el problema de la mortandad de murciélagos es un problema que debe de ser atendido ya que dichas especies son fundamentales en el mantenimiento de la continuidad genética de las plantas.

Las prácticas agronómicas de eliminación de residuos vegetales en las parcelas, se basan en la utilización del ganado inducido o de forma manual; y para el control de plagas se recomienda implementar prácticas de rotación de cultivos como una alternativa para disminuir la presencia de parásitos.

La utilización productiva de un solo fenotipo de maguey, tiende a la uniformidad, de continuar con esa práctica, sería una amenaza para la conservación de las variedades de magueyes y de la especie de maguey Sacatoro. La generación de un nuevo germoplasma es una prioridad

ante un futuro en el que cobra cada vez más importancia la elaboración de mezcal (Bellón *et al.*, 2009). Por tal motivo al ser un recurso natural con una amplia demanda social, los acuerdos comunitarios se convierten en la principal estrategia para el cuidado y protección de los magueyes.

3.8. REFERENCIAS

- Appadurai, A. (ed.) (1986). La vida social de las cosas. Perspectiva cultural de las mercancías. México: CONACULTA, Grijalbo.
- Arizmendi, C. (2009). La crisis de los polinizadores. *Biodiversitas*, 85, 1-5.
- Arzate-Fernández, A. M., Piña-Escutia, J. L., Norman-Mondragón, T. H., Reyes-Díaz, J. I., Guevara-Suárez, K. L., & Vázquez-García, L. M. (2016). Regeneración de agave mezcalero (*Agave angustifolia* haw.) a partir de embriones somáticos encapsulados. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(4), 359-366.
- Bautista, J. A., & Smit, M. A. (2012). Sustentabilidad y agricultura en la " región del mezcal" de Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 5-20.
- Bautista, J. A., Orozco Cirilo, S., & Terán Melchor, E. (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.
- Bellón, M. R., Barrientos-Priego, A. F., Colunga-García Marín, P., Perales, H., Reyes Agüero, J. A., Rosales-Serna, R., & Zizumbo-Villarreal, D. (2009). Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. *Capital natural de México*, 2, 355-382.
- Caballero, J., Casas, A., Cortés, L., & Mapes, C. (1998). Patrones en el conocimiento, uso y manejo de plantas en pueblos indígenas de México. *Estudios atacameños*, 181-195.
- Casas, A., & Caballero, J. (1995). Domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Ciencias*, 40, 36-45.
- Casas, A., Blancas, J., Otero-Arnaiz, A., Cruse-Sanders, J., Lira, R., Avendaño, A., & Rangel-Landa, S. (2016). Evolutionary ethnobotanical studies of incipient domestication of plants in Mesoamerica. In *ethnobotany of México* (pp. 257-285). Springer, New york.
- Castro-Díaz, A. S., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). El agave y sus productos. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 7(2), 53-61.
- Chavez-Parga, M. D. C., Hernández, E. P., & Hernández, J. C. G. (2016). Revisión del agave y el mezcal. *Revista colombiana de biotecnología*, 18(1), 148.

- Colunga-García Marín, P., & Zizumbo-Villarreal, D. (2006). Tequila and other agave spirits from west-central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin. In *Plant conservation and biodiversity* (pp. 79-93). Springer, Dordrecht.
- Colunga-García Marín, P., Coello-Coello, J., Eguiarte, L. E., & Piñero, D. (1999). Isozymatic variation and phylogenetic relationships between heneque (*Agave fourcroydes*) and its wild ancestor *A. angustifolia* (Agavaceae). *American journal of botany*, 86(1), 115-123
- Colunga-García Marín, P., Zizumbo-Villarreal D. y J. Martínez Torres. (2007). Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a su protección legal y conservación biológica y cultural, en P. Colunga García Marín, A. Larqué, L. Eguiarte y D. Zizumbo Villarreal (eds.), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICY, CONACYT-CONABIO-INE, Mérida, pp. 229-252.
- De Jesús Hernández, J. D. J., & López, E. M. H. (2016). La vida social del agave tequilero. *Carta económica regional*, (108).
- Del Val, E. (2012). Ecología y evolución de las interacciones bióticas. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 313-317.
- Diario oficial de la federación, 2016. Secretaría de comercio y fomento industrial. Norma oficial mexicana nom-070-scfi-2016, bebidas alcohólicas-mezcal-especificaciones. México.
- Duarte, M. D. C. A., Moya, E. G., Espinosa, J. S., Cavazos, M. L., & Acosta, M. R. (2018). Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en municipios de Puebla y Tlaxcala. *Polibotanica*, (45).
- Félix-Valdez, L. I., Vargas-Ponce, O., Cabrera-Toledo, D., Casas, A., Cibrian-Jaramillo, A., & de la Cruz-Larios, L. (2015). Effects of traditional management for mescal production on the diversity and genetic structure of *Agave potatorum* (Asparagaceae) in central México. *Genetic resources and crop evolution*, 63(7), 1255-1271.
- Figueredo, C. J., Casas, A., Colunga-GarcíaMarín, P., Nassar, J. M., & González-Rodríguez, A. (2014). Morphological variation, management and domestication of 'maguey alto' (*Agave inaequidens*) and 'maguey manso' (*A. hookeri*) in Michoacán, México. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 10(1), 66.

- Fleming, T. H., Geiselman, C., & Kress, W. J. (2009). The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. *Annals of botany*, 104(6), 1017-1043.
- García Valenzuela, M. A. (2011). Etnoecología de los agaves (agavaceae) en la comunidad ngiwa (popoloca) de los reyes Metzontla, Puebla. Colegio de postgraduados, campus puebla.
- García-Mendoza, A. J., & Chávez-Rendón, C. (2013). *Agave kavandivi* (agavaceae: grupo striatae), una especie nueva de Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 84(4), 1070-1076.
- Gil, V. K., Chavira, M. G., Vega, O. M., Simpson, J., & Vandemark, G. (2001). Analysis of genetic diversity in *Agave tequilana* var. azul using RAPD markers. *Euphytica*, 119(3), 335-341.
- Gutiérrez-Mora, A., Arana-Gutiérrez, J. P., Tapia-Campos, E., Rodríguez-Garay, B., Estado de Jalisco, A.C., & Normalistas, P. B. A. (2010). Molecular analysis of sexual and asexual genetic variation of two sympatric *Agave angustifolia* varieties. *Professional assoc cactus development*, °12, 155–165.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición.
- Herrera-Pérez, L., Valtierra-Pacheco, E., Ocampo-Fletes, I., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Plascencia, J. A., & Rodríguez-Macías, R. (2017). Prácticas agroecológicas en *Agave tequilana* weber bajo dos sistemas de cultivo en tequila, Jalisco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (18).
- Kirchmayr M. Gallardo J. Gschaedler A. Arellano M. Prado Rogelio. Ramirez E. Lopez J. Estarrón M. (2014). Diagnostico general de los procesos actuales de producción de mezcal en el estado de Guerrero.
- Muñoz Flores, H. J., García Magaña, J., Coria Avalos, V. M., Hernández Aguilar, H., & Hernández Ramos, J. (2014). Selección de plantas madre de *Agave cupreata* Trel et Berg. en Axaxacualco, Guerrero, México. *Foresta Veracruzana*, 16(1).
- Pérez, C. Mezcales tradicionales de los pueblos de México, herencia cultural y biodiversidad (2007) ciencias, julio-septiembre, número 087 universidad nacional autónoma de México distrito federal, México.

- Pujals, P. S., & Jiménez, A. M. E. (2012). Reflexión sobre el rigor científico en la investigación cualitativa. *Estudios sobre el mensaje periodístico*, 18, 879-888.
- Santacruz, F.; Torres, M. I. y Portillo, L. (2008). Micropropagación de *Agave tequilana* weber v. azul: problemas y perspectivas. *Scientia-cucba*. 10:7-20.
- Scheinvar, G, E. (2017). Agave, mezcal tradicional, cultura y diversidad. OIKOS Los agaves y el campo mexicano, Instituto de ecología de la UNAM, no 18.
- Susano-García, J. L., Palmero-Gómez, N., & Cabrera-Ríos, S. (2014). El mezcal guerrerense, su situación productiva y comercial. *Foro de estudios sobre Guerrero*, 1(1), 66-71.
- Torres, I., Casas, A., Delgado-Lemus, A., & Rangel-Landa, S. (2016). 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), 92-109.
- Torres-Moran, M. I., Velasco-Ramirez, A. P., Hurtado-de la Pena, S. A., Rodriguez-Garcia, A., & Mena-Munguia, S. (2013). Variability and genetic structure in a commercial field of tequila plants, *Agave tequilana* weber (Agavaceae). *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 8(1).
- Vázquez Díaz, E., García Nava, J. R., Peña Valdivia, C. B., Tobías, R., Hugo, M., & Morales Ramos, V. (2011). Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* otto ex Salm-Dyck). *Revista fitotecnia mexicana*, 34(3), 167-173.
- Vázquez-García, J. A., & Cázaro, M. D. J. (2007). Taxonomía del género agave en el occidente de México: una panorámica preliminar.
- Zizumbo-Villarreal, D., Flores-Silva, A., & Marín, P. C. G. (2012). The archaic diet in mesoamerica: incentive for milpa development and species domestication. *Economic Botany*, 66(4), 328-343.
- Zizumbo-Villarreal, D., Marín, P. C. G., Vargas-Ponce, O., Rosales-Adame, J. J., & Nieto-Olivares, R. C. (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.
- Zizumbo-Villarreal, D., Vargas-Ponce, O., Rosales-Adame, J. J., & Colunga-García Marín, P. (2012). Sustainability of the traditional management of agave genetic resources in the

elaboration of mezcal and tequila spirits in western México. Genetic resources and crop evolution, 60(1).

IV. CAPÍTULO II - VARIABILIDAD GENÉTICA DEL *Agave angustifolia* (MAGUEY SACATORO)

GENETIC VARIABILITY OF *Agave angustifolia* (MAGUEY SACATORO)

4.1. RESUMEN

El *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro) se utiliza para la elaboración de mezcal en el estado de Guerrero, por lo que se encuentra dentro de la denominación de origen para la fabricación de esta bebida alcohólica destilada en México, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI, 2016. Actualmente, el consumo de este producto ha aumentado y como consecuencia se ha logrado colocar en el mercado nacional e internacional, de ahí la importancia de preservar las características de esta especie. Así el objetivo de este trabajo fue determinar la variabilidad genética del maguey Sacatoro, con el análisis polimórfico amplificado al azar (RAPDS). En total se colectaron 38 plantas en siete localidades diferentes. Se utilizaron seis iniciadores que generaron 819 bandas; el iniciador OPA 02 y OPA 11 amplificaron el mayor número de bandas, cada una con 186 y el menor fue el OPA 20 con 42. El promedio del coeficiente de similitud de los 38 magueyes fue de 0.01 a 0.04, con una media aritmética de 0.02. Los resultados polimórficos del análisis RAPDS fueron del 100% para cada iniciador, los niveles de polimorfismo pueden estar relacionado con el manejo agrícola tradicional por parte de los productores, por lo cual estos resultados se pueden considerar para la conservación de la variabilidad genética del maguey Sacatoro.

Palabras clave: *maguey Sacatoro, variabilidad genética, RAPDS, Mezcal*

4.2. ABSTRACT

The *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro) is used for the production of mezcal in the state of Guerrero, so it is within the appellation of origin for the manufacture of this alcoholic beverage distilled in Mexico, according to the Official Mexican Standard NOM -070-SCFI, 2016. Currently, the consumption of this product has increased and as a result has been placed in the national and international market, hence the importance of preserving the characteristics of this species. Thus, the objective of this work was to determine the genetic variability of the maguey Sacatoro, with random amplified polymorphic analysis (RAPDS). In total, 38 plants were collected in seven different locations. Six primers were used that generated 819 bands; the initiator OPA 02 and OPA 11 amplified the largest number of bands, each with 186 and the lowest was OPA 20 with 42. The average of the coefficient of similarity of the 38 magueyes was 0.01 to 0.04, with an arithmetic mean of 0.02. . The polymorphic results of the RAPDS analysis were 100% for each initiator, the levels of polymorphism can be related to the traditional agricultural management by the producers, so these results can be considered for the conservation of the genetic variability of the maguey Sacatoro.

Keywords: *maguey Sacatoro, genetic variability, RAPDS, Mezcal*

4.3. INTRODUCCIÓN

Los *Agaves* pertenecen a la familia Agavaceae, su centro de origen y de diversidad es México. Se han registrado 200 especies de *Agave* de las cuales 150 son endémicas (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2013). El maguey es un recurso natural que se utiliza para elaborar bebidas alcohólicas destiladas que tienen una fuerte demanda económica para México, tales como: bacanora, mezcal y tequila entre otras. La producción del tequila tuvo un incremento del 17.6 % de enero a septiembre de 2015 y se vendió 180,000,000 L en más de 120 países (Neri-Vega *et al.*, 2017). Sin embargo, la sobreexplotación y la homogenización del *Agave tequilana* (agave azul) para la producción de tequila, ha ocasionado que las plantaciones sean vulnerables a patógenos y enfermedades provocando pérdidas considerables (Gil-Vega *et al.*, 2001).

En cuanto a la comercialización de mezcal, ha aumentado y la venta de este producto ha logrado colocarse en el mercado nacional e internacional. En el estado de Guerrero, se producen anualmente 1,700,000 L de mezcal (CIATEJ, 2014), dando sustento a 1,500 familias guerrerenses. La especie de maguey que más se utiliza para la elaboración de mezcal en el estado de Guerrero, es el *Agave cupreata* Trel & Berger. Sin embargo, existen otras especies como el *Agave angustifolia* Haw y *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro). Para elaborar mezcal del maguey Sacatoro, los productores se basan en la propagación de especies vegetativas (reproducción asexual) debido a que el tiempo de maduración en las plantas es más rápida en comparación con la propagación por semilla (reproducción sexual). Además, los productores de mezcal aseguran un crecimiento uniforme del maguey basada en una selección, que es importante para la producción de azúcares (Eguiarte *et al.*, 2007). Ante esta situación se limita la reproducción sexual de los magueyes disminuyendo la variabilidad genética, reduciendo los procesos de adaptación a cambios ambientales y patógenos, lo cual afectaría su conservación a largo plazo (Lara *et al.*, 2016).

La variabilidad genética es una medida de la tendencia de los genotipos de una población a diferenciarse, en la que puede actuar la selección natural adaptándose a los diferentes factores ambientales. La ausencia de variabilidad puede limitar la capacidad de respuesta adaptativa de una población a un ambiente cambiante en el corto y largo plazo (Letelier, 2007). La mejor manera de analizar la variabilidad genética es por medio de marcadores moleculares, herramientas que ayudan en la búsqueda de genes de interés y explorar el nivel de variación

de los organismos a nivel de proteínas o ADN (Alcántara, 2007). El análisis polimórfico amplificado al azar (RAPDS), es un marcador molecular que se basa en la amplificación aleatoria de fragmentos de ADN polimórficos desconocidos (Gonzales, 1998). El polimorfismo se debe a cambios en la secuencia de nucleótidos en los sitios de acoplamiento del iniciador y por inserción o deleción de los fragmentos de estos sitios (Alcántara, 2007). Los RAPDS se han utilizado para estudiar el polimorfismo en animales por ejemplo en ratas (Alberti *et al.*, 2011), y en especies de plantas como *Ficus carica* (higo) (Ciarmiello *et al.*, 2015). En los magueyes los RAPDS representan una técnica útil para evaluar la diversidad genética (Gutiérrez-Mora *et al.*, 2010), como lo evidencia su utilización en *Agave tequilana* var. Azul, (Gil-Vega *et al.*, 2001), en el complejo *Agave deserti* (Navarro-Quezada *et al.*, 2003), en *Agave tequilana* var. Azul, y *Agave angustifolia* var. Lineño (Rodríguez-Garay *et al.*, 2009) y en poblaciones de *Agave salmiana* (Alfaro-Rojas *et al.*, 2007). Así el objetivo de esta investigación fue utilizar los marcadores moleculares RAPDS para determinar la variabilidad genética del *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro).

4.4. METODOLOGÍA

4.4.1. Colecta de maguey

La recolecta de los especímenes (ver anexo A.1) se realizó durante septiembre del 2016 a febrero del 2017, en el estado de Guerrero en las siguientes localidades (Figura 9): Trapiche Viejo y Motuapa del municipio de Ahuacutzingo, Atetetla y Paso Morelos del Municipio de Huitzuco, los Amates del municipio de Chilapa, Coacán del municipio de Atenango del Río y Axaxacualco municipio de Eduardo Neri (ver anexo A.2 y A.3). En total se recolectaron 38 hijuelos de *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro) de 10 a 30 cm de altura. Las condiciones ambientales en las que se llevó a cabo el muestreo se describen en la Tabla 1. Los especímenes colectados fueron trasladados al vivero del posgrado en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local de la Universidad Autónoma de Guerrero (ver anexo A.2), donde fueron sembrados en macetas y se mantuvieron a temperatura ambiente durante seis meses, posteriormente los especímenes se prepararon para trasladarlos al Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Zacatecas para determinar el análisis RAPDS.

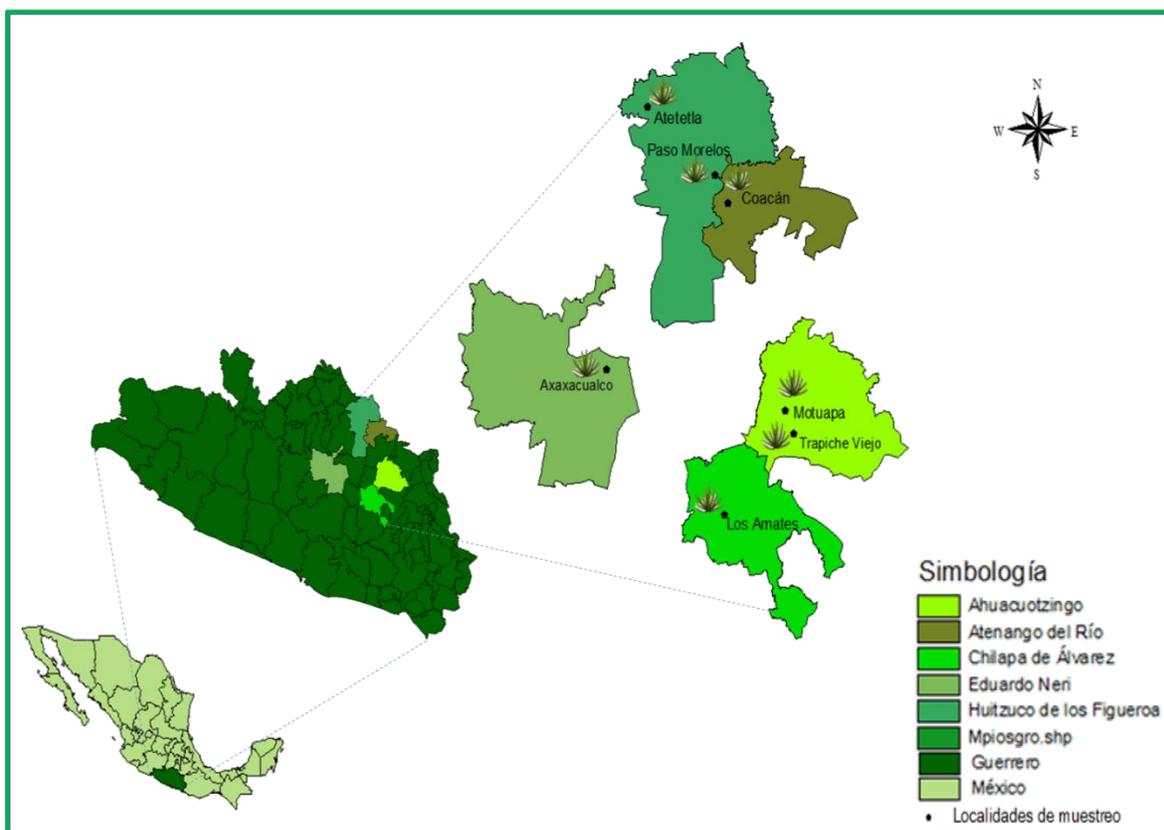


Figura 6. Sitios de colecta de los magueyes Sacatoro en el estado de Guerrero.

Tabla 1. Condiciones ambientales de las siete localidades en las que se recolectaron muestras de maguey Sacatoro.

Municipio	Localidad	Coordenadas	Altitud (msnm)	Clima	Total de especímenes	Condiciones
Ahuacuotzingo	Trapiche Viejo	N 17° 42' 04" W 99° 00' 56"	1295	Semiseco (BS1)	5	Cultivado
	Motuapa	N 17° 44' 53" W 99° 02' 08"	1290	Semiseco (BS1)	5	cultivado
Huitzuco	Atetetla	N 18° 19' 43" W 99° 23' 59"	939	Cálido Subhúmedo (AW1)	5	cultivado
	Paso Morelos	N 18° 12' 50" W 99° 12' 26"	1039	Cálido Subhúmedo (AW0)	5	Silvestre
Atenango del Río	Coacán	N 18° 10' 40" W 99° 12' 19"	1002	Cálido Subhúmedo (AW0)	6	cultivado
Eduardo Neri	Axaxacualco	N 17° 49' 39" W 99° 28' 10"	1302	Cálido Subhúmedo (AW1)	5	cultivado
Chilapa	Los Amates	N 17° 32' 26" W 99° 11' 02"	1458	Semicálido húmedo (A)C(w1)	7	Silvestre

4.4.2. Extracción de DNA

Los magueyes recolectados se limpiaron y desinfectaron, después se tomaron secciones de 3 cm de la hoja y posteriormente se molió con nitrógeno líquido. La extracción de DNA, se llevó a cabo utilizando el Kit de extracción DNeasy® Plant Mini de QIAGEN™, siguiendo el protocolo recomendado por el proveedor. La cuantificación del ácido nucleico obtenido de cada muestra se llevó a cabo en un espectrofotómetro (Quawell UV spectrophotometers Q5000) y su pureza fue determinada considerando las relaciones de absorbancia de 260/280 y 260/230 nm (ver anexo A.3).

4.4.3. RAPDS

Para el análisis RAPDS se utilizaron aleatoriamente seis iniciadores: OPA 02 (5'-TGC CGA GCT G-3'), OPA 11 (5'-CAA TCG CCG T-3'), OPA 20 (5'-GTT GCG ATC C-3'), OPA 06 (5'-GAA CGG ACT C-3'), OPG 07 (5'-GAA CCT GCG G-3') y OPH 19 (5'-CTG ACC AGC C-3'). Se llevó a cabo la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), con 10 ng de ADN genómico, 2mM MgCl₂, 0.4 μM dNTPs (Fermentas), 0.4 μM de cada iniciador, 1 Unidad de Taq ADN polimerasa (ACTGene), 1X Buffer de (NH₄)₂SO₄ (Promega), en un volumen final de 25μL. Las condiciones de amplificación para la PCR fueron las siguientes: una predesnaturalización de 2 min a 95 °C, seguido de 44 ciclos; 30 segundos a 95 °C, 1 minuto a 36 °C, 45 segundos a 72 °C, y una extensión final de 5 min 72 °C. Los productos amplificados por PCR se visualizaron en geles de agarosa al 0.8 % teñido con bromuro de etidio (ver anexo A.5 y A.6) y con ayuda de un fotodocumentador BIO-RAD (ChemiDoc™ XRS).

4.4.4. Análisis de datos

Se determinó el peso molecular de cada banda a través del programa Bio Rad-Image lab® versión 5.0. Además, se elaboró para las bandas RAPDS una matriz de presencia y ausencia, donde se evaluaron las bandas como presente (1) y ausente (0) para cada uno de los materiales estudiados. Las distancias genéticas se determinaron a través del índice de Jaccard (1908) de acuerdo a la siguiente ecuación: $F = M_{xy} / (M_t - M_{xyo})$, donde F es el índice de Jaccard, M_{xy} número de fragmentos compartidos entre dos accesiones, M_t número total de bandas en la matriz de datos y M_{xyo} número de bandas en la matriz. Finalmente, se llevó a cabo el análisis *cluster* empleando el análisis método del grupo de pares no ponderado con media aritmética (UPGMA) (Avisé, 1994). El resultado se presentó en un dendograma y el nivel de confianza se determinó con un análisis de bootstrap (B=5000 repeticiones) (Felsenstein, 1985). Los

análisis estadísticos y de visualización se llevaron a cabo mediante dos softwares Free Tree y Tree View (Hampel *et al.*, 2001) y la edición del dendograma se realizó con la herramienta en línea ITOL (Ivica & Bork, 2007).

4.5. RESULTADOS

4.5.1. Análisis de polimorfismo

De los seis iniciadores para el análisis RAPDS, se generó un porcentaje de polimorfismo del 100 % para cada iniciador en 38 plantas de maguey Sacatoro (Tabla 2). En total se amplificaron 819 bandas polimórficas. De estas, el iniciador con mayor número de bandas fue el OPA 02 y el OPA 11 ambos con 186 bandas y el iniciador con menor número de bandas fue el OPA 20 con 42. Los análisis de amplificación de productos RAPDS en las poblaciones de maguey Sacatoro se pueden observar en las figuras 10 y 11, para el iniciador OPA 02 y el iniciador OPH 19.

Tabla 2. Porcentaje de polimorfismo

Iniciadores	Total de bandas	Total de bandas polimórficas	Polimorfismo (%)	Total de bandas monomórficas
OPA 02	186	186	100	0
OPA 11	186	186	100	0
OPA 20	42	42	100	0
OPC 06	94	94	100	0
OPG 07	147	147	100	0
OPH 19	164	164	100	0
TOTAL	819	819		

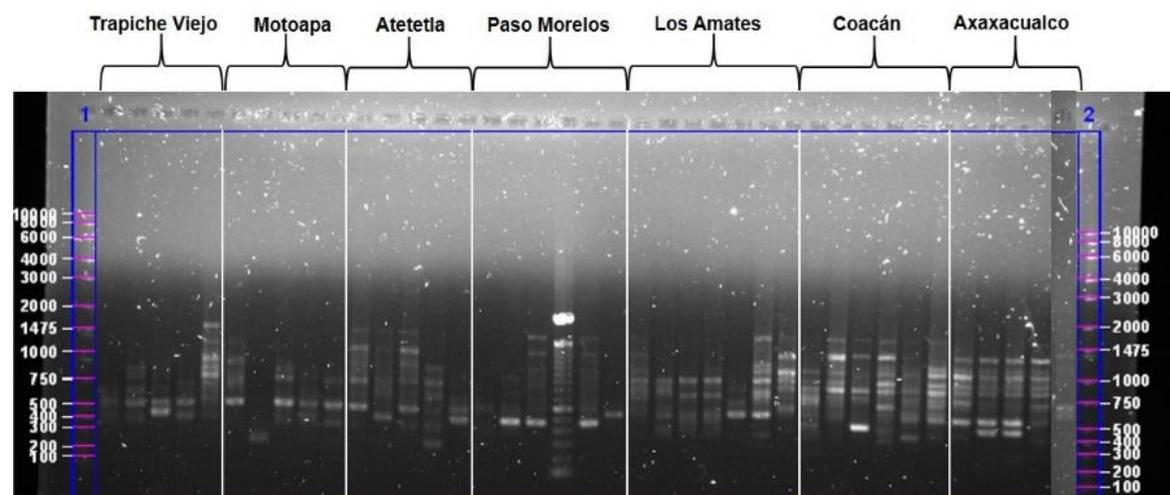


Figura 7. Resultados de electroforesis con productos RAPDS, amplificados con el iniciador OPA 02 (5'-TGC CGA GCT G-3') en poblaciones de maguey Sacatoro del estado de Guerrero, México.

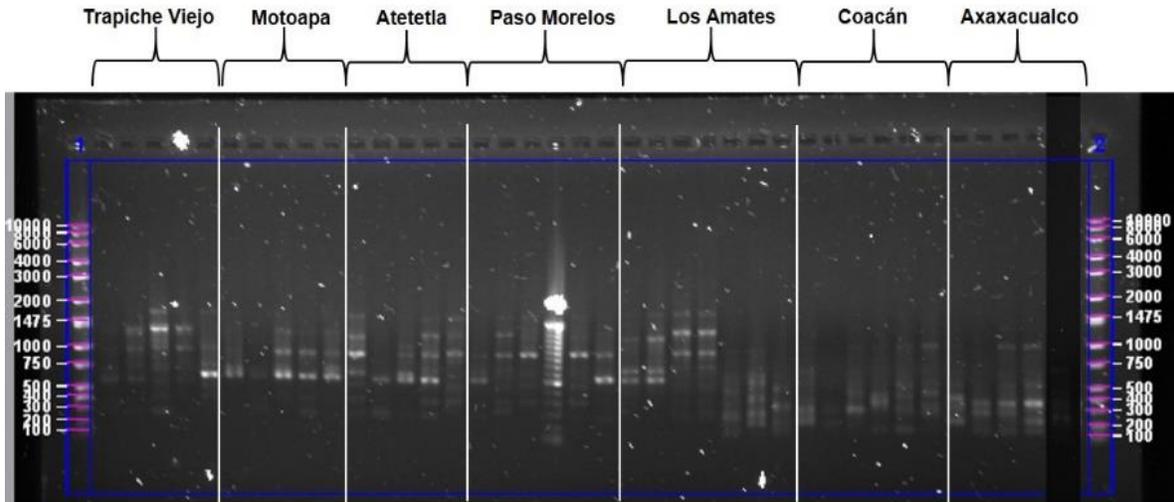


Figura 8. Resultados de electroforesis con productos RAPDS, amplificados con el iniciador OPH 19 (5'-CTG ACC AGC C-3') en poblaciones de maguey Sacatoro del estado de Guerrero, México.

4.5.2. Análisis del dendograma y distancias genéticas

El dendograma sugiere que existe variabilidad genética entre los 38 magueyes Sacatoro recolectadas en siete localidades. En total el dendograma genero nueve subgrupos (A, B, C, D, E, F, G, H y I) (Figura 12). El primer subgrupo lo conforma el maguey Sacatoro de Motuapa 2, el cual tiene diferencia con los demás magueyes Sacatoro; en el subgrupo D se lograron agrupar solo tres magueyes Sacatoro de las localidades de Motuapa con un 31 % de robustez y Trapiche Viejo con un 26 % de robustez. En el subgrupo E hubo un agrupamiento de dos magueyes Sacatoro de la localidad de los Amates con un 34 % de robustez, en el subgrupo F se agruparon tres magueyes Sacatoro de la localidad de Coacán. En los demás subgrupos no hubo un agrupamiento, sin embargo se puede observar que existe una relación entre los magueyes Sacatoro de diferentes localidades.

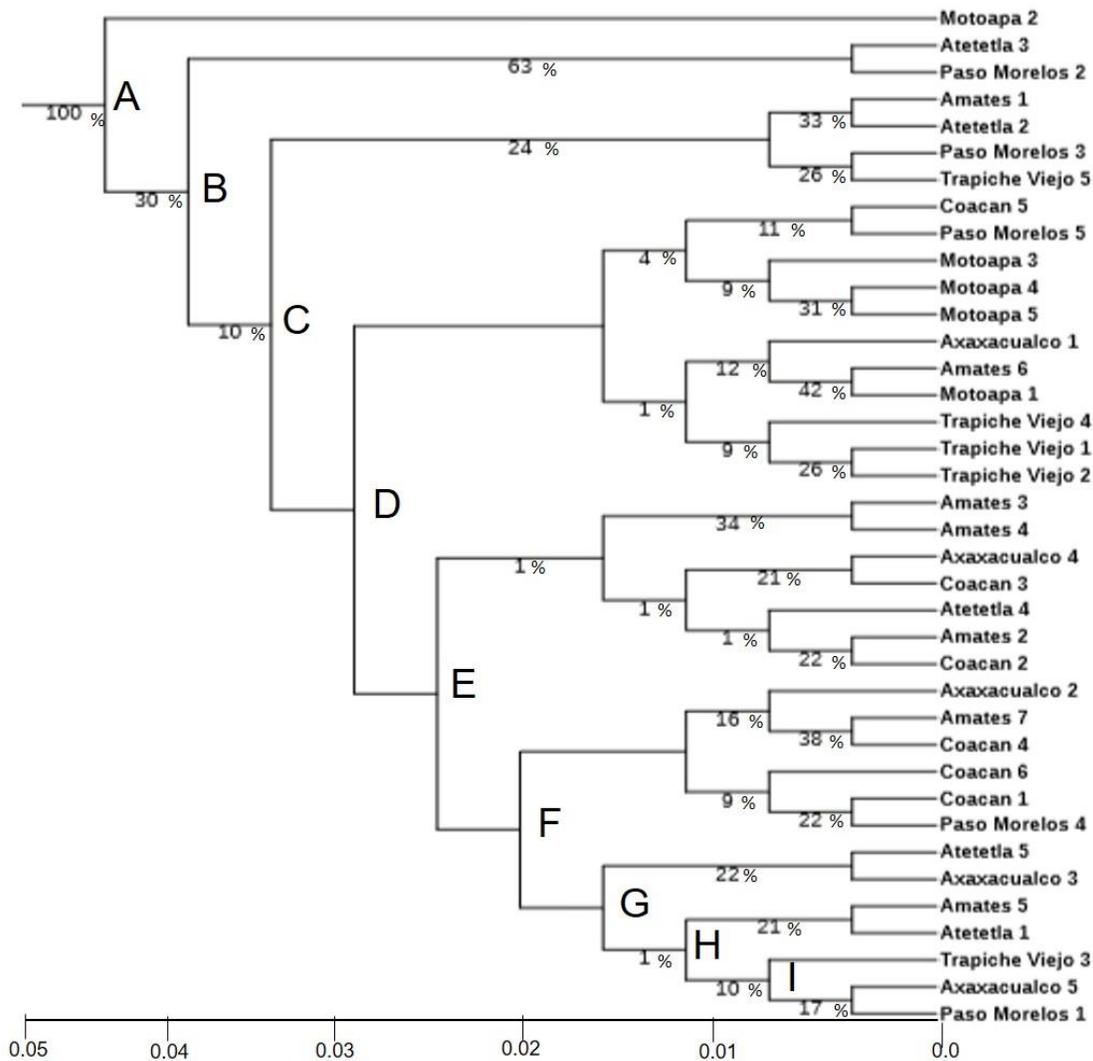


Figura 9. Dendrograma de los 38 magueyes Sacatoros usando seis iniciadores, las distancias genéticas se determinaron por el índice de Jaccard. Los límites de confianza fueron basados con 5000 réplicas de bootstrapp.

El promedio del índice de similitud de los 38 magueyes Sacatoro fue de 0.01 a 0.04 con un valor intermedio de 0.02. El grado de similitud más alto en la localidad de Motuapa fue de 0.04 entre los magueyes Motuapa 4 y 5, y el más bajo fue de 0.02 entre los magueyes de Motuapa 5 y Coacán 5. En la localidad de los Amates, los magueyes de Amates 7 y Coacán 4 tuvieron el grado de similitud más alto con 0.04 y el más bajo fue de 0.018 entre los magueyes Amates 7 y Axaxacualco 3. En la localidad de Trapiche Viejo el grado de similitud más alto fue de 0.032 entre los magueyes de Trapiche Viejo 1 y 2, el grado de similitud más bajo es de 0.020 en los magueyes Trapiche viejo 1 y Atetetla 4. En la localidad Paso Morelos

los magueyes Paso Morelos 1 y Axaxacualco 5 tienen el grado de similitud más alto con un 0.031 y el más bajo es de 0.018 entre los magueyes Paso Morelos 3 y Axaxacualco 3. En la localidad de Atetetla el grado de similitud más alto es de 0.025 entre los magueyes Atetetla 3 y Paso Morelos 3, y el más bajo es de 0.015 entre los magueyes de Atetetla 4 y Axaxacualco 4. En la localidad de Coacán el grado de similitud más alto es de 0.019 en los magueyes de Coacán 1 y 6, y el grado de similitud más bajo se presenta en los magueyes Coacán 3 y Axaxacualco 4 y por último en la localidad de Axaxacualco el grado de similitud más alto se presenta en los magueyes Axaxacualco 3 y 5 con 0.019 y el más bajo es de 0.016 entre los magueyes Axaxacualco 2 y 3.

4.6 DISCUSIÓN

El análisis de la variabilidad genética del maguey Sacatoro se llevó a cabo mediante la técnica RAPDS se emplearon seis iniciadores, el iniciador OPA 02 y OPA 11 son lo que tuvieron mayor número de bandas y el menor fue el OPA 20 (Tabla 2), la técnica RAPDS también ha sido utilizada para medir la diversidad genética en el complejo *Agave deserti* (Navarro-Quezada *et al.*, 2003) y en variedades de *Agave salmiana* (Alfaro-Rojas *et al.*, 2007), dicho estudio contemplo los iniciadores OPA 02 y OPA 20 que detectaron 100% de polimorfismo. Así mismo la técnica RAPDS se ha utilizado en otras especies como sandía (*Citrullus lanatus* y *Citrullus colocynthis*) (Levi *et al.*, 2001) y nopal *Opuntia* spp. (Mondragón-Jacobo, 2003) este último evaluó 46 iniciadores seleccionando nueve asociados con 56 bandas, el número de fragmentos polimórficos varió de 3 bandas con el iniciador OPA 02 y 13 bandas con el iniciador OPG 07.

El índice de similitud de los magueyes Sacatoro fue de 0.01 a 0.04 con un valor intermedio de 0.02. El dendograma obtenido mostro un agrupamiento solo de algunos magueyes recolectados de las comunidades de Trapiche Viejo, Motuapa y Coacán. Dichos resultados pueden deberse a la selección de los iniciadores, ya que al ser arbitrarios pueden hibridar regiones del ADN que no estaba relacionado con el carácter diferenciador (Bobadilla-Larios *et al.*, 2017) o a un manejo agronómico vinculado a la relación humano y agave, del cual surgen variedades de magueyes con una variación morfológica. (Mora-López *et al.*, 2011).

Agave angustifolia es la especie con mayor distribución en México, dicha capacidad de distribución se debe a sus características morfológicas, fisiológicas y a los mecanismos de reproducción asexual (García-Herrera *et al.*, 2010). Durante el desarrollo de la planta madre produce rizomas, en el cual los meristemos apicales emergen cerca de está, formando nuevas plántulas, otra forma de reproducción es a través de la formación bulbilos en el tallo de la flor (Gutiérrez-Mora *et al.*, 2010).

Los mecanismos de reproducción asexual del *Agave angustifolia* son los más utilizados para la propagación en cultivo por los productores de bebidas destiladas, debido a que aseguran una uniformidad en la planta y reducen el tiempo de maduración, aunado a ello los cortes de las inflorescencias para prevenir que la planta agote sus azúcares almacenados, elimina las posibilidades de la reproducción sexual. Los niveles bajos de variabilidad genética están

relacionados con este tipo de propagación. Tal es el caso de Gil Vega *et al.*, (2001) donde demostró que 39 de 40 plantas colectadas en campos de cultivo de *Agave tequila* var. Azul en el estado de Jalisco fueron isogénicas, representando uno de los niveles más bajo de polimorfismo (0.8%), esta disminución en la variabilidad genética se debe a las prácticas de propagación de manera asexual que se han realizado por muchos años. Colunga *et al.*, (1999) concluyeron que los niveles bajos de variabilidad genética en *Agave fourcroydes* se debe a las prácticas de propagación de material vegetativo. El grado de polimorfismo del *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro) en comparación con los trabajos mencionados anteriormente fue del 100%, dichos resultados de altos niveles de polimorfismo pudieran ser la causa del manejo agrícola tradicional por parte de los productores tal y como menciona Vargas-Ponce *et al.*, (2009) la continua introducción de germoplasma silvestre y variedades locales de maguey de otros agricultores locales en el cultivo, junto con la selección continua de antiguas razas autóctonas locales y nuevas reservas de genes, favorecen la diversidad genética, dicho manejo se pudiera estar dando en los cultivos muestreados de las localidades de Trapiche viejo, Motuapa, Atetetla, Coacán, y Axaxacualco (Tabla 1), considerando que en estas localidades aún no existe un proceso industrializado del mezcal como en el tequila.

La Norma 070 de Bebidas Alcohólicas (2016) permite la elaboración del mezcal de la planta de *Agave* y de acuerdo con la denominación de origen del mezcal el estado de Guerrero está incluido dentro de los estados con esta denominación (Colunga *et al.*, 2007), anualmente se producen 1,700,000 L de mezcal y de acuerdo con el Sistema Producto de Maguey-Mezcal (2012), se comercializan 1, 527, 700 L en el país y en el extranjero. Por tanto, la producción de mezcal está adquiriendo gran demanda en el mercado, sin embargo este crecimiento implica un aumento en la producción de bebidas y en las plantaciones de agave, por tal motivo la protección de la variabilidad genética de los cultivos de magueyes debe ser una prioridad.

La investigación elaborada por Abraham-Juarez *et al.*, (2009) demuestra que existen diferencias a nivel molecular en hijuelos (75.085%) y bulbilos (86.06%) en plantaciones de *Agave tequilana* los datos sugieren que la variabilidad genética podría aumentar mediante la propagación de bulbilos en comparación con los hijuelos, dichos datos serían una alternativa para la propagación de los magueyes Sacatoros en parcelas, sin embargo se debe de

considerar un estudio detallado en las formas reproductivas asexuales de la especie maguey Sacatoro. Así mismo las propuestas de conservación para la protección de la variabilidad genética en *Agave cupreata*, descritas por Martínez-Palacios *et al.*, (2011), sugieren que las poblaciones naturales del *Agave cupreata* pueden servir de corredores para especies polinizadoras, además el establecimiento de unidades de conservación de recursos genéticos forestales y la reforestación en áreas específicas considerando la aptitud de los genotipos a los climas previstos debido al cambio climático, tales propuestas pueden ser consideradas para la protección de la variabilidad genética de los magueyes Sacatoro silvestres de las localidades de Los Amates y Paso Morelos

Las áreas para la preservación y la recolección de semillas de distintas poblaciones aumentaría los niveles de variación genética en *Agave duranguensis* (Almaraz-Abarca *et al.*, 2013). Dichas prácticas y la implementación de un plan de manejo sustentable que tome en consideración las áreas de gestión local, económica y ambiental de las localidades de estudio, pudieran ser la solución para soportar a futuro la actividad productiva del mezcal y mantener la variación genética del maguey Sacatoro.

4.7. CONCLUSIÓN

Los marcadores RAPDS permitieron evaluar la variabilidad genética del maguey Sacatoro, los seis iniciadores utilizados generaron un total de 819 bandas, los iniciadores OPA 02 y 11 tuvieron el mayor número de bandas amplificadas, tales iniciadores han sido utilizados en otros trabajos teniendo niveles altos de amplificación de bandas.

El análisis RAPDS reveló un porcentaje de polimorfismo del 100%, dicho porcentaje podría estar relacionado con las prácticas tradicionales por parte de los productores. Ante un aumento en la demanda en la producción de mezcal, es necesario implementar un programa de manejo que tome en consideración la participación de los actores locales para la conservación del maguey Sacatoro.

4.8. REFERENCIAS

- Abraham-Juárez, M. J., Ramírez-Malagón, R., Gil-Vega, K. D. C., & Simpson, J. (2009). AFLP Analysis of genetic variability in three reproductive forms of *Agave tequilana*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(3) 171-175.
- Alberti, E., Fraga, J., García, R., Hernández, E., Cuetara, K. de la, Castillo, L., & Serrano, T. (2011). Study of genetic polymorphism of the bone marrow and the central nervous system of rats cells by RAPD technique. *Revista Colombiana de Biotecnología*, °13(1) ,42-51.
- Alcántara, M. R. (2007). Breve revisión de los marcadores moleculares. In R. M. del P. Lalli (Ed.), *Ecología Molecular* (Primera, p. 566). México.
- Alfaro-Rojas, G., Legaria-Solano, J. P., & Rodríguez-Pérez, J. E. (2007). Diversidad genética en poblaciones de Agaves pulqueros (*Agave* spp.) del nororiente del estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, °30(1).
- Almaraz-Abarca, N., Delgado- Alvarado, E. A., Torres- Morán, M. I., Herrera-Corral, J., Ávila-Reyes, J. A., Naranjo-Jiménez, N., & Uribe-Soto, J. N. (2013). Genetic Variability in Natural Populations of *Agave duranguensis* (Agavácea) Revealed by Morphological and Molecular Traits. *The Southwestern Naturalist*, °58(3), 314–324.
- Awise, J. C. (1994). *Molecular markers, natural history and evolution*. New York: Chapman & Hall.
- Bobadilla-Larios, V., Esparza-Ibarra, E., Delgadillo-Ruiz, L., Gallegos-Flores, P., & Ayala-Lujan, J. L. (2017). Varieties of chile (*Capsicum annum* L) identified by RAPD markers. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3).
- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. CIATEJ. (2014). *Manual para la estandarización de los procesos de producción del mezcal guerrerense*. México. ISBN 978-607-9685-9-5. 231p.
- Ciarmiello, L. F., Piccirillo, P., Carillo, P., Luca, A. De, & Woodrow, P. (2015). Determination of the genetic relatedness of fig (*Ficus carica* L.) accessions using RAPD fingerprint and their agro-morphological characterization. *South African Journal of Botany*, °97, 40–47.
- Colunga-García Marín, P., Coello-Coello, J., Eguiarte, L. E., & Piñero, D. (1999). Isozymatic variation and phylogenetic relationships between heneque (*Agave fourcroydes*) and

- its wild ancestor *A. angustifolia* (Agavaceae). *American Journal of Botany*, °86(1), 115–123
- Colunga-García Marín, P., Zizumbo-Villareal, D., & Martínez-Torres, J. (2007). Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos : una aportación a la protección legal y conservación de su diversidad biológica y cultural. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves °248.
- Diario Oficial de la Federación, 2016. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. México.
- Eguiarte, L. E., & González, A. (2007). De genes y magueyes estudio y conservación de los recursos genéticos del tequila y el mezcal. *Ciencias*, 87.
- Felsenstein, J. (1985). Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution*, °39(4), 783–791.
- García-Herrera, E. J., Méndez-Gallegos, S. de J., & Talavera-Magaña, D. (2010). El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública Y Nutrición*, 5(73), 109–129.
- Gil., V. K., Chavira, M. G., Vega, O. M. de la, Simpson, J., & Vandemark, G. (2001). Analysis of genetic diversity in *Agave tequilana* var. Azul using RAPD markers. *Euphytica*, °119(3), 335–341.
- Gonzales, D. (1998). Marcadores moleculares para los estudios comparativos de la variación en ecología y sistemática. *Revista Mexicana de Micología*, °14, 1–21.
- Gutiérrez-Mora, A., Arana-Gutiérrez, J. P., Tapia-Campos, E., Rodríguez-Garay, B., Estado de Jalisco, A.C., & Normalistas, P. B. A. (2010). Molecular analysis of sexual and asexual genetic variation of two sympatric *Agave angustifolia* varieties. *Professional assoc cactus development*, °12, 155–165.
- Hapl, V., Pavlícek, A., & Flegr, J. (2001). Construction and bootstrap analysis of DNA fingerprinting-based phylogenetic trees with the freeware program FreeTree : application to trichomonad parasites. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, °51, 731–735.
- Ivica, L., & Bork, P. (2007). Interactive Tree Of Life (iTOL): an online tool for phylogenetic tree display and annotation. *Bioinformatics*, 23(1), 127–128.

- Jaccard, P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 44, 223-270.
- Lara-Ávila, J. P., & Alpuche-Solís, Á. G. (2016). Análisis de la diversidad genética de agaves mezcaleros del centro de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, °39(3), 323–330.
- Letelier, A. M. (2007). Tamaño efectivo de la población. *Ecología Molecular*. México DF (México). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, UNAM, 63-86.
- Levi, A., Thomas, C. E., Keinath, A. P., & Wehner, T. C. (2001). Genetic diversity among watermelon (*Citrullus lanatus* and *Citrullus colocynthis*) accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution*, °48(6), 559–566.
- Martínez-Palacios, A., Gómez-Sierra, J. M., Sáenz-Romero, C., Pérez-Nasser, N., & Sánchez-Vargas, N. (2011). Genetic diversity of *Agave cupreata* Trel & Berger considerations for its conservation. *Revista Fitotecnia Mexicana*, °34(3), 159–165.
- Mondragón-Jacobo, C. (2003). Caracterización molecular mediante RAPDS de una colección de nopal (*opuntia* spp. cactaceae) del centro de México, como base del mejoramiento genético. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, °9(1), 97–114.
- Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J. L., Peña-Valdivia, C. B., & Aguirre-Rivera, J. R. (2011). Variación morfológica y humanización de la sección Salmianae del género *Agave*. *Agrociencia*, 45(4), 465-477.
- Navarro-Quezada, A., González-Chauvet, R., Molina-Freaner, F., & Eguiarte, L. (2003). Genetic differentiation in the *Agave deserti* (Agavaceae) complex of the Sonoran desert. *Heredity*, °90, 220–227.
- Neri Vega, J. G., González Zarza, R., Gonzáles Neri, A I., Neri, G., Albertti, R., & González Neri, H. M. (2017). Procesos productivos, costos y competitividad: caso empresa productora de tequila artesanal. *Revista Global de Negocios*, 5(4), 91–101.
- Rodríguez-Garay, B., Lomelí-Sencion, J. A., Tapia-Campos, E., Gutiérrez-Mora, A., García-Galindo, J., Rodríguez-Domínguez, J. M., & Vicente-Ramírez, I. (2009). Morphological and molecular diversity of *Agave tequilana* Weber var. Azul and *Agave angustifolia* Haw. var. Lineño. *Industrial Crops and Products*, °29(1), 220–228.
- Sistema producto maguey-mezcal (2012). SAGARPA-INCA. 72 pág.

- Vargas-Ponce, O., Zizumbo-Villareal, D., Martínez-Castillo, J., Coello-Coello, J., & Colunga-García Marín P. (2009). Diversity and structure of landraces of *Agave* grown for spirits under traditional agriculture : a comparison with wild populations of *A. angustifolia* (Agavaceae) and commercial plantations of *A. tequilana*. *American Journal of Botany*, °96(2), 448–457.
- Zizumbo-Villarreal, D., Vargas-Ponce, O., Rosales-Adame, J. J., & Colunga-García Marín, P. (2013). Sustainability of the traditional management of *Agave* genetic resources in the elaboration of mezcal and tequila spirits in western Mexico. *Genet Resour Crop Evol*, °60(1), 33–47.

V. CONCLUSIÓN GENERAL

El análisis del manejo socio-productivo permitió entender los niveles altos (100%) de variabilidad genética de las parcelas de *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro), demostrando que existe una relación de los aspectos sociales y las variaciones en la secuencia del ADN (polimorfismo) de las plantas de maguey.

El maguey es una planta que ha tenido una relación por varios años con el ser humano y que se ha utilizado para la obtención de varios productos, por ejemplo el mezcal, producto que se elabora a partir de en un conjunto de saberes y que tienen un papel importante en la cultura y cosmovisión de varias localidades del estado de Guerrero, sin embargo la demanda de producción de mezcal ha aumentado en los últimos años y se prevé que siga aumentando en los años posteriores, por lo tanto la conservación de la variabilidad genética del maguey Sacatoro se convierte en el principal medio para soportar dicha demanda, en ese sentido las principales estrategias de conservación tendrán que basarse en los acuerdos comunitarios, la valoración y la conceptualización de los productores hacia la planta de maguey y las prácticas tradicionales agrícolas.

Los niveles de variabilidad genética del maguey Sacatoro deberían ser una prioridad de conservación, en ese sentido la implementación de programas de manejo basados en sus características fenotípicas, bioquímicas y fisiológicas sería una alternativa, así mismo la organización y la participación colectiva como empresa autogestionaria para la generación de diversos productos a partir de la planta de maguey podrían ser oportunidades de mejora y ayudaría a promover la variabilidad genética del maguey Sacatoro.

VI. ANEXOS

A.1 Formato de colecta de trabajo de campo (colecta de maguey)

Código de planta	
------------------	--

COLECTA			
Nombre del colector		Fecha	

UBICACIÓN			
Municipio:		Localidad	
COORDENADAS			
Latitud	N		Longitud
Altitud		msnm	Notas:

DATOS DE LA PARCELA			
No. Grabación			
No. Fotos			
Productor		Extensión	
Fecha de siembra		Edad de la siembra	

DATOS DE LA PLANTA			
No. Grabación			
No. Fotos			
Altura		Número de hojas	

HOJAS			
Color de la espina terminal		Número de foto	
Longitud			
Longitud de la espina terminal			
Ancho de la hoja			

Distancia entre las espinas laterales	
Número de espinas laterales	

INFLORESCENCIA					
No. Grabación					
No. Fotos					
Presencia		Ausencia		Altura	

HIJUELOS			
Número total		Notas	
Altura			
Observaciones:			

A.2 Memoria fotográfica del trabajo en campo y siembra de maguey en vivero de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local



Preparación de muestras para análisis genético en la localidad Coacán, municipio de Atenango del Río.



Colecta de hijuelos para en la localidad Trapiche Viejo, municipio de Ahuacutzingo.



Entrevista a productores de mezcal en la localidad Motuapa, municipio Ahuacutzingo.



Entrevista a productores de mezcal en la localidad Los Amates, municipio de Chilapa de Álvarez.



Siembra de magueyes en vivero de la Maestría en ciencias Agropecuarias y Gestión Local.



Magueyes en vivero de la Maestría en ciencias Agropecuarias y Gestión Local.

A.3 Memoria fotográfica del trabajo en campo y análisis genético en el Laboratorio de la Unidad de Ciencias Biológicas, UAZ.



Trabajo de campo en la localidad Axaxacualco, municipio de Eduardo Neri.



Preparación de muestras en campo



Análisis de la variabilidad genética a través de la técnica RAPDS



Extracción de DNA



S...



Presentación de la investigación en congreso Nacional de Agave-Mezcal, Oaxaca.

A.4 Formato de guion de entrevista semiestructurada para conocer las prácticas de manejo del maguey en el área de estudio

I.- Información personal

Fecha de la entrevista:

Nombre del entrevistador:

Nombre de la comunidad y municipio:

Nombre del productor:

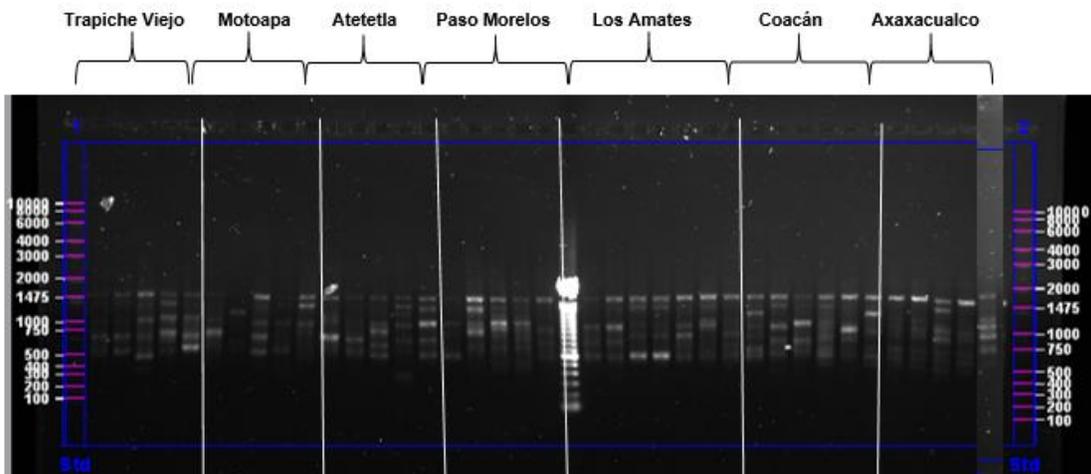
En donde nació:

II.- Conocimiento sobre el manejo socio-productivo del maguey

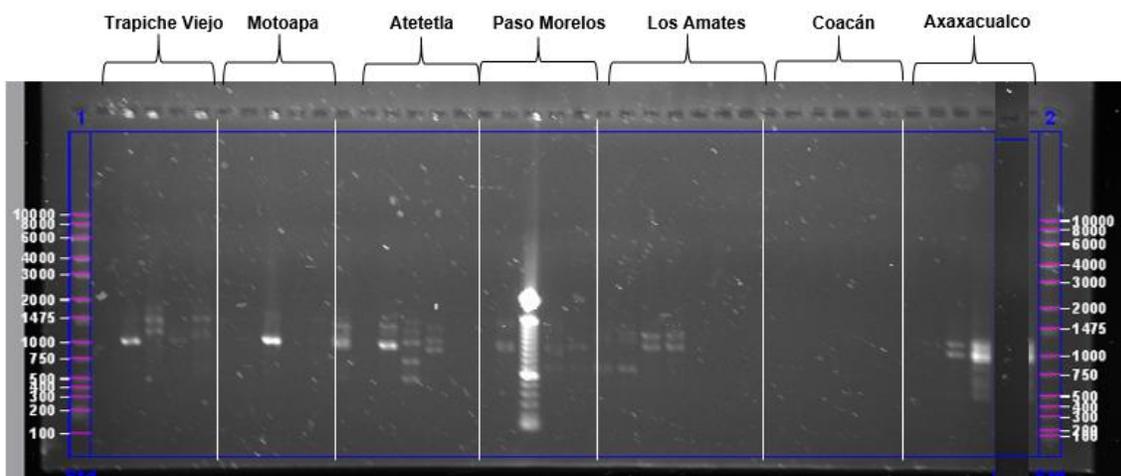
1. ¿Cuáles son las principales actividades de las familias en su comunidad?
2. Usted considera que los magueyes son importantes para su comunidad (¿Por qué?)
3. ¿Desde hace cuántos años usted siembra maguey? (experiencia)
4. ¿Los jóvenes en la comunidad están involucrados en el proceso del maguey? y las mujeres también ayudan.
5. ¿Qué tipo de maguey crece en su comunidad?
6. ¿En la comunidad, existen algunas áreas donde antes había maguey y actualmente ya no hay? ¿A qué cree que se deba?
7. Los magueyes que usa para sembrar en su parcela ¿son de los que trae del monte o los extrae de las plantas que hay en la misma parcela?
8. En su terreno, antes de sembrar maguey (si es el caso) ¿qué sembraba?, ¿porqué decidió sembrar maguey?
9. ¿Quién tiene derechos a los beneficios del maguey?
10. ¿Qué tipos de maguey (angosto, ancho) utiliza para producir mezcal?
11. ¿Con algún otro agave produce otro producto además de mezcal?
12. ¿Cuánto tiempo lleva fabricando estos productos? ¿Cómo lo aprendió?
13. ¿Aproximadamente a los ¿cuantos años florea cada tipo de maguey?
14. ¿Prepara el terreno antes de sembrar el maguey? Si la respuesta es positiva, ¿cómo lo hace?
15. ¿En qué tiempo empieza a crecer el quiote o calehual de cada maguey que usted conoce?
16. ¿Hay alguna actividad que evite que se produzca la flor? ¿Cuál?
17. ¿En qué tiempo se capa la planta y cómo se hace? ¿Por qué se hace?
18. ¿En qué época del año se debe llevar a cabo la siembra de un maguey en el campo?

19. ¿en su parcela, deja algunas plantas de maguey que floreen? ¿Cuántas? Si la respuesta es negativa, ¿por qué?
20. ¿Usted ha apreciado alguna plaga en sus magueyes? ¿Cómo la pudiera describir?
21. ¿Cómo controla las malezas y las plagas? ¿Cada cuánto tiempo se hace?
- 22.- ¿Usted considera que el tipo de plaga que menciona merma o disminuye la producción de la piña?
23. ¿qué animalitos ha visto que son los que se comen la miel de las flores? ¿Dónde viven? Si se están conservando o acabando, Hay buena regeneración o se están acabando
24. ¿Cómo describiría una planta de maguey cuando ya está madura?
25. ¿Con que cosen el maguey? ¿Qué tipo de leña usan? ¿De dónde extraen la leña que se utiliza para cocer el maguey? ¿Hay mucha leña? ¿Cómo cuánta? Por cada tina ¿Cuánta leña usa para hacer mezcal? ¿De esas plantas que usa para leña usted siembra?
26. ¿Cuántos litros de mezcal produce en cada horneada? y, en cada horneada ¿cuántas piñas tiene que procesar para poder obtener esa cantidad de litros de mezcal? ¿Cuántas horneadas hace al año?
27. ¿Cuántos litros de mezcal vende?
28. ¿A quién le vende el mezcal?
29. ¿dónde se vende mejor el mezcal?
30. ¿Cuál es el tipo de mezcal que más se vende, el joven, el reposado (2 a 12 meses) o el añejo (1 más de un año)?
31. ¿Tienen otra forma de pago del mezcal que se vende?
32. ¿En que almacena el mezcal?
33. ¿A qué precio vende el mezcal?
34. ¿Cuántas hectáreas de maguey siembra?
35. ¿Hay conflictos con las tierras (¿por ejemplo, las de uso común)?
36. ¿Existe alguna norma o acuerdo comunitario en torno al maguey?
37. ¿Requieren de permisos para extraer las plantas de maguey legalmente? ¿A quién se los solicitan?

A.5 Amplificación de bandas polimórficas en geles de agarosa (OPA 11 y OPA 20)

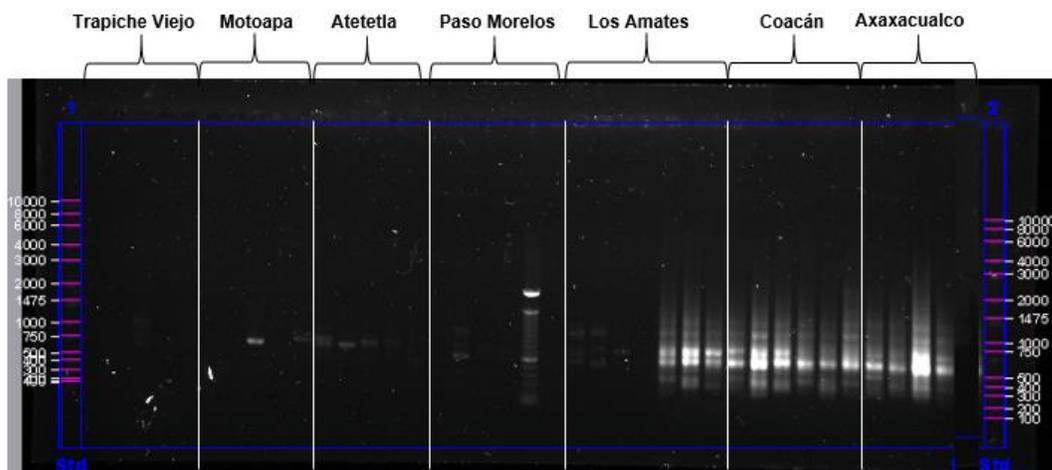


Resultados de electroforesis con productos RAPDS, amplificados con el iniciador OPA11 (5'-CAA TCG CCG T-3') en poblaciones de maguey Sacatono.

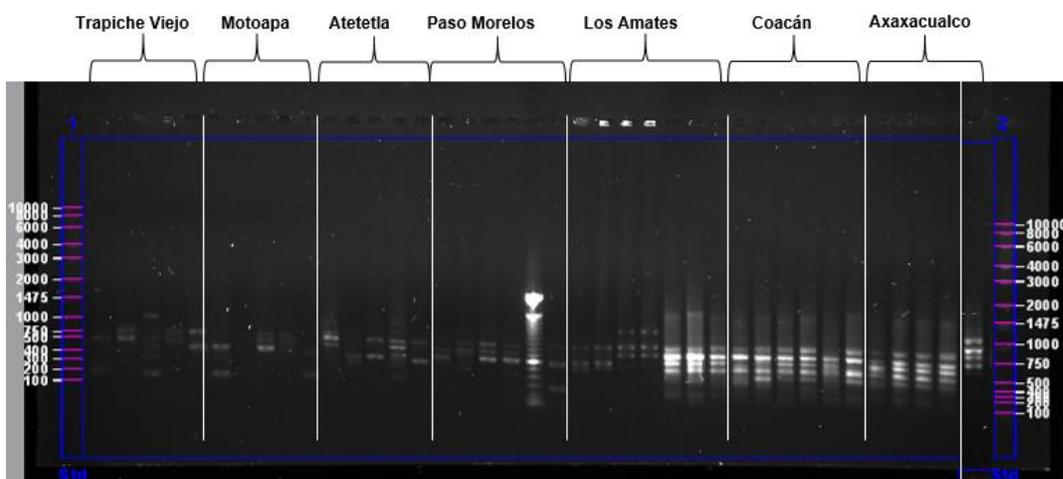


Resultados de electroforesis con productos RAPDS, amplificados con el iniciador OPA20 (5'-GTT GCG ATC C-3') en poblaciones de maguey Sacatono.

A.6 Amplificación de bandas polimórficas en geles de agarosa (OPC 06 y OPG 07)



Resultados de electroforesis con productos RAPDS, amplificados con el iniciador OPC 06 (5'-GAA CGG ACT C-3') en poblaciones de maguey Sacatoro.



Resultados de electroforesis con productos RAPDS, amplificados con el iniciador OPG 07 (5'-GAA CCT GCG G-3') en poblaciones de maguey Sacatoro.