



Universidad de Calidad con Inclusión Social

**UAGro**

**Universidad Autónoma de  
Guerrero**

**Centro de Ciencias de Desarrollo Regional**

**Doctorado en Ciencias Ambientales**

**TESIS**

**Programa de manejo para la conservación de los *Agaves  
angustifolia* y *cupreata* en el estado de Guerrero**

**PRESENTA:**

**Guillermina Barrientos Rivera**

**Para obtener el grado de:**

**DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Director de Tesis**

Dr. Elías Hernández Castro

**Codirector / Tutor externo**

Dr. Edgar León Esparza Ibarra

**Asesores**

Dr. Héctor Ramón Segura Pacheco

Dr. Oscar Talavera Mendoza

Dra. Ma. Laura Sampedro Rosas

**Acapulco, Gro., junio de 2020**



**UAGro**

Universidad de calidad con inclusión social



**Centro de Ciencias de Desarrollo Regional**

**DEPENDENCIA:** Centro de Ciencias de Desarrollo Regional  
Nº de Oficio: 765/CCDR-2020

**ASUNTO:** Autorización de Impresión de Tesis Doctoral

Acapulco, Gro. 27 de abril del 2020

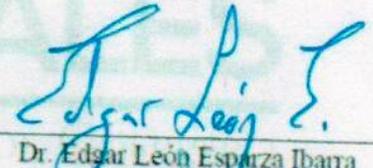
**Dra. María Laura Sampedro Rosas**  
**Directora del Centro de Ciencias**  
**De Desarrollo Regional de la UAGro**  
**PRESENTE**

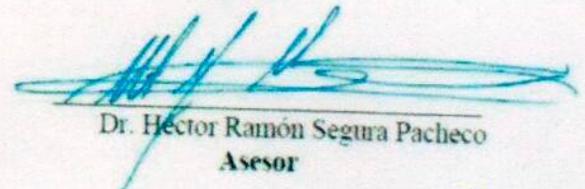
Por medio de la presente, le comunicamos que después de haber leído, analizado y revisado el trabajo titulado: **"Programa de manejo para la conservación de los *Agaves angustifolia* y *cupreata* en el estado de Guerrero"**, de la alumna **C. Guillermina Barrientos Rivera** del Doctorado en Ciencias Ambientales, generación (2016 - 2020), con número de matrícula **16250505**, el Comité Tutorial considera que reúne los requisitos de un trabajo de Investigación Doctoral. Por lo que damos consentimiento para su impresión, y se fije fecha para ser presentado y defendido ante el sínodo examinador, que como requisito parcial es necesario para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Ambientales.

Sin otro particular, reciba la mejor de nuestras consideraciones.

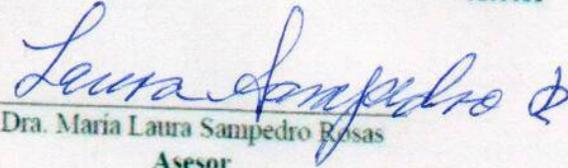
**ATENTAMENTE**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Elías Hernández Castro**  
**Director**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Edgar León Espurza Ibarra**  
**Codirector**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Héctor Ramón Segura Pacheco**  
**Asesor**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Oscar Talavera Mendoza**  
**Asesor**

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. María Laura Sampedro Rosas**  
**Asesor**





UAGro

Universidad de calidad con inclusión social

Centro de Ciencias de Desarrollo Regional

DEPENDENCIA: Centro de Ciencias de  
Desarrollo Regional  
No. OFICIO: 772/CCDR/2020  
ASUNTO: Autorización de examen de  
grado.

Acapulco, Gro., mayo 04 de 2020.

DR. CARLOS JESUS SAAVEDRA SANCHEZ  
COORDINADOR DE ADMINISTRACION ESCOLAR  
DE LA ZONA SUR UAGro.  
PRESENTE.

Por este conducto, le comunico que el **C. Guillermina Barrientos Rivera**, alumna de la generación (2016-2020) del Doctorado en Ciencias Ambientales, con número de matrícula 16250505, presentará su examen profesional mediante la modalidad de tesis, de acuerdo al Artículo 96 Fracción III Inciso B del reglamento general de estudios de posgrado e investigación, la tesis titulada: **“Programa de manejo para la conservación de los *Agaves angustifolia* y *cupreata* en el estado de Guerrero.”** El cual a juicio de los revisores asignados por esta dirección, ha sido autorizada la impresión y por lo tanto ser sustentada ante un jurado calificador. Una vez cubierto todos los parámetros que se requieren para cumplir con el perfil de egreso y se le acredite como Doctor en Ciencias Ambientales.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

*“Universidad de calidad con inclusión social”*



UAGro  
Centro de Ciencias de  
Desarrollo Regional

ADMINISTRACIÓN 2017 - 2021

Dra. María Laura Sampedro Rosas  
Director del Centro de Ciencias de Desarrollo Regional



Privada de Laurel No. 13  
Col. El Roble, C.P. 39040  
Tel. (744) 46 90 430, Ext. 4432, 4433 y 4482  
Correo electrónico: ccdr@uagro.mx  
Acapulco de Juárez, Guerrero, México



Rectorado 2017-2021

Oficio No. 80

Chilpancingo de los Bravo, Guerrero a 05 de Junio de 2020

**DRA. MARIA LAURA SAMPEDRO ROSAS**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE DESARROLLO REGIONAL**

**DIRECTOR(A)**  
**PRESENTE.**

**AT'N**  
**DRA. MARÍA LAURA SANPEDRO ROSAS**  
**COORDINADOR(A)**  
**PRESENTE**

Por medio del presente, comunico a usted que la Dirección de Administración Escolar autoriza al egresado(a):

**NOMBRE:** GUILLERMINA BARRIENTOS RIVERA

**MATRICULA:** 16250505

**PERIODO:** 2016-2020

**PROGRAMA EDUCATIVO:** DEL DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**TEMA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:** Programa de manejo para la conservación de los Agaves angustifolia y cupreata en el estado de Guerrero

Para que presente su examen profesional de manera VIRTUAL ya que cumplió con todos los requisitos exigidos para la **Obtención de Grado de Doctor artículo 96 fracción III inciso B** y por la contingencia sanitaria el artículo cuarto transitorio del Reglamento Escolar Vigente.

Asimismo, le ruego se sirva enviar a los correos [dae@uagro.mx](mailto:dae@uagro.mx) y [nivelsuperior@uagro.mx](mailto:nivelsuperior@uagro.mx), el link de la sala virtual en la que se presentará el examen, la fecha, hora y sinodales, para que se lleve a cabo dicho acto.

**ATENTAMENTE.**



**DR. RUBÉN DARIÓ HERNÁNDEZ GONZÁLEZ**  
**JEFE DE DEPARTAMENTO.**



Mwlu6dwayRwTc4VU7uUdhZCfG4EpiS1SsxjUX2pOoMbPL0xz9ok2Ar7D46MBNceQQldXBYAw/glx3b6tc+zAasCEt8yzJVF7atoSq0l8wQ4Lc50t8V8D4d7WNRPSWo+4Y6xAgz90DSIXUtbvWdzfWcQB/StQLAxnYWwvVCXZ9JfD4zlEmT//R4IM9vVomSpBEXnWb18Lh7Ng26nCW5PIGNEW4rPemvrUIJ5LAFFwk+6t0DGJTr0up6XcsDf8UQSRVg4vV7pavHxdbHPXMOjmycJFduWGpblLbuUTn2yCHJUAzk87F11BZMAvixaA9++TT1z0d/0c6u4gOulNPw==





UAGro

Universidad de calidad con inclusión social

Centro de Ciencias de Desarrollo Regional

La presente tesis titulada "Programa de manejo para la conservación de los Agaves angustifolia y cupreata en el estado de Guerrero", realizada por la alumna Guillermina Barrientos Rivera, formó 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 Huitzucó, Gro. Balsas", bajo la dirección del Comité Tutorial indicado, la cual ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

COMITÉ TUTORIAL

Director

Dr. Elías Hernández Castro

Codirector

Dr. Edgar León Esparza Ibarra

Asesor

Dr. Héctor Ramón Segura Pacheco

Asesor

Dr. Oscar Talavera Mendoza

Asesora

Dra. Ma. Laura Sampedro Rosas



El mezcal, te reanima la alegría. Te aligera la tristeza. Consiente bien la pereza. Enciende la fantasía. Acompaña la agonía. Le da voz al sentimiento. Celebra los nacimientos. Despide bien a la muerte. Se viste de buena suerte cuando soplan malos vientos...

En cada botella de mezcal van partes de una antigua tradición, de la tierra que vio crecer la planta y del saber de cada productor (*García-Mendoza, 2012*).

Mira profundamente y con atención en la naturaleza y, hasta entonces comprenderás todo de una mejor manera (*Albert Einstein*).



# Dedicatorias

Muy en especial y con mucho cariño, respeto y admiración dedico este esfuerzo a mi padre (Guillermo Barrientos Leyva) que se me adelantó en el camino, desafortunadamente ya no me acompaña para culminar este sueño pero sé que desde el cielo siempre estarás ahí cuando te necesite. Con amor a mi madre (Francisca Rivera Jiménez), por el apoyo incondicional y comprensión; por tus bendiciones siempre, TE AMO. Me educaron “a la antigua” pero lo agradezco así, porque gracias a eso adquirí los valores y principios que me caracterizan. Me siento orgullosa de formar parte de sus vidas.

Con mucho cariño para toda la familia Barrientos, y muy en especial para mis herman@s: Leonarda, Manuel, Ruperto, Eduvijes, Guillermo, Antonio, Alfonso y Reyna. Así mismo a Elfega, Lorena y Tomas.

A mis sobrin@s, quienes siempre que inicio y culmino un escalón es pensando en ustedes, tratando de mostrarles que con perseverancia y dedicación se logra el éxito.

Con cariño para ti morenita (Diana Barrientos Ávila), siempre te llevaré en el corazón. Con mucho cariño hasta el cielo, Dios te bendiga y te proteja mi colibrí.

A ti Emi, porque a cada paso que doy estas ahí, sin condiciones. Porque este esfuerzo es de ambos, por no permitir que me rindiera cuando las aguas no eran mansas, y los vientos soplaban con más ganas.

Con cariño para la familia Serafín Higuera por estar siempre al pendiente y apoyarme en cada paso, a ti: Modesta H. F., Nicolas, S. D., Idanya R. S. H., Daphne A. S. S., Eduardo S. S., Gabriela L. M. y N. Addiel S. H.

A una gran amiga; Olivia Delgadillo Ruíz, con mucho cariño hasta el cielo. Aún recuerdo la expresión en tu cara por no saber cómo hacerme entender que escribir un artículo es un arte, que implica mucho más que esfuerzo.

¡Por supuesto! con todo mi cariño y muy en especial dedico esta investigación a tod@s y cada uno de los productores de maguey y mezcal del área de estudio. Sin su apoyo este trabajo no hubiese sido posible. Especialmente hasta el cielo a Melquiades Tlacotempa Zapoteco, Fernando Navarrete Nava y Roberto Ataque Sereno; increíbles personas, quienes tuvieron una aportación clave en el desarrollo de este trabajo.

## Agradecimientos

La gratitud en silencio no sirve a nadie, es por eso que me di a la tarea de escribir estas líneas...

Ante todo...Gracias a Dios por su inmensa bondad que me acompaña y me da fuerzas todos los días; pues me ha dado muchas cosas maravillosas, cada día me da un hermoso amanecer, y una oportunidad más para hacer realidad mis sueños.

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT) por la beca otorgada durante el proceso de realización de mis estudios de Doctorado.

Así mismo, agradezco a la institución que hizo posible mi formación de Posgrado, el Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero.

Agradezco a mis profesores por compartir sus conocimientos, paciencia y dedicación durante el transcurso de doctorado. De la misma manera a mis compañeros de generación que aunque fue poco el tiempo compartido y la experiencia, valieron la pena los diferentes puntos de vista. Lo más importante, la amistad que surgió y que nos hace formar parte de un escalón más en nuestras vidas. Gracias a José, Male, Yesi, Adriana, Saraí, Aide, Daniel, Felix, Mire, Ángeles, Carla, Yareli, Fernando y Abigail (Aunque no hayas culminado con la generación, fuiste parte del proceso).

Uno está en deuda para siempre con aquellos que te apoyan incondicionalmente. Por ello, estaré siempre agradecida con usted Dr. Héctor Segura, por su guía y su ejemplo, principalmente por su tiempo y disponibilidad para hacer posible la conclusión de esta investigación.

Agradezco la disponibilidad de usted Dr. Elías Hernández, por el apoyo económico brindado por parte del proyecto que atinadamente coordinó respecto al maguey sacatoro, y por la importante contribución en la realización de este trabajo.

A la Dra. Laura Sampedro, por el apoyo oportuno para culminar en tiempo y forma este trabajo. Tratando siempre de ser una amiga y apoyo de fortaleza cuando lo necesité. No olvidaré su apoyo cuando realice mi estancia en Zacatecas.

Al Dr. Oscar Talavera, por su paciencia y conocimientos. Porque aunque siempre dejaba en claro que "no era mi director" siempre mostró disponibilidad por compartir sus conocimientos y guía por el camino de la ciencia; por mostrarme que es un mundo en donde la magia no existe, y aprendes que "la estupidez cuesta".

A usted Dr. Edgar, le agradezco el tiempo compartido. De quien aprendí que la ciencia no lo es todo. Gracias por todas las facilidades y por estar siempre en la mejor disposición de ayudar y colaborar.

También agradezco el apoyo y confianza del Dr. Paulino Sánchez Santillán, por darme las facilidades para usar su laboratorio en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UAGro, de Cuajinicuilapa, Gro. Así como a sus alumnos: Conchita Rivera Cristóbal, Ulises Carbajal Márquez y Daniel Bustos de la Cruz por brindarnos el apoyo y disposición para culminar los análisis de Nitrógeno.

Así mismo, agradezco el apoyo del Dr. Agustín Damián, la Maestra Tania y a la Dra. Mirna que forman parte de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, agradezco el apoyo y la confianza por permitirme el uso de equipo y laboratorio.

Sin lugar a dudas, agradezco el apoyo incondicional y la confianza de la Organización Sanzekan Tinemi. Su acompañamiento fue fundamental por los momentos críticos de inseguridad que se vivieron en esos momentos. A pesar de eso, Juanita Flores, Melquiades Tlacotempa, Roberto Ataque y por supuesto a Don Faustino Castro, quien siempre nos decía... trabajemos ¡Dios por delante y nosotros detrás! así sacamos adelante esta investigación. Con éxito, en equipo, con disciplina, responsabilidad, respeto, alegrías y mezcales.

Con cariño quiero agradecer el apoyo incondicional de mis compañerit@s de trabajo de campo y laboratorio, los Ing. Agrónomos Guadalupe Copalchocoteco, Gerardo Sánchez y Yareli Bernal; por compartir su tiempo, dedicación, esfuerzo, trabajo, alegrías, amistad y mezcales.

No puedo dejar de lado el apoyo constante y agradecimiento por la amistad de Perlita Ivonne Gallegos Flores, mi Madrina-amiga, te quiero mucho. Agradezco los consejos, la paciencia, el ánimo cuando no sé para donde tomar el rumbo; por compartir la motivación no sólo en el aspecto académico sino en los andares de la vida, gracias.

Sin duda a ti Lucia Delgadillo Ruíz, con mucho cariño. Agradezco tu paciencia, tu tiempo compartido. Gracias por compartirme tu conocimiento, pero sobre todo gracias por tu amistad. Por enseñarme a perderle el miedo al laboratorio pero siempre con responsabilidad. Sin tu ayuda gran parte de esta investigación no hubiese sido posible.

En fin...No entiendo muchas cosas de la vida, pero agradezco tenerte a mi lado Emi L. S. H. Gracias por tu apoyo en todo el trayecto de esta investigación. Sobre todo, gracias porque con tu cariño y amor fue más fácil. Te admiro por ser un ejemplo a seguir, por darme razones para ser feliz ¡TE AMO!

Ofrezco una disculpa por si me faltó transcribir el nombre y agradecimiento a alguna persona. Es una lista inmensa de personas que de alguna u otra manera me tendieron la mano en el proceso de esta investigación.

*En la naturaleza no hay recompensas ni castigos, hay consecuencias (Robert Green Ingersoll), y este logró es una de ellas.*

¡ G R A C I A S !

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>ÍNDICE</b>	
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	2
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	4
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>	6
2.1 Características generales del agave	7
2.1.1 Distribución de <i>Agave angustifolia</i> y <i>Agave cupreata</i>	7
2.1.2 Fisiología de las plantas de agave	7
2.1.3 Los agaves son plantas con metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM)	8
2.2 El potencial de los agaves	9
2.2.1 La importancia del agave y las funciones del maguey en el ecosistema	9
2.2.2 Bromatología (análisis proximal)	10
2.2.3 El agave y el mezcal	14
2.3 La importancia del suelo en los cultivos de agave	15
2.3.1 Funciones del suelo en el ecosistema	15
2.3.2 Influencia de la contaminación por metales pesados en el suelo	16
2.3.3 Biodisponibilidad de los metales en el suelo	17
2.3.4 Relación del crecimiento vegetal con las características fisicoquímicas del suelo	18
2.4 El conocimiento tradicional de los agaves	19
2.4.1 Servicios ambientales en torno al maguey	19
2.4.2 Desarrollo comunitario y regional: más allá de los mezcales	19
2.4.3 El futuro de lo ancestral	20
<b>CAPÍTULO III. JUSTIFICACIÓN</b>	21
<b>CAPÍTULO IV. OBJETIVOS</b>	24
4.1 Objetivo general	25
4.2 Objetivos específicos	25
<b>CAPÍTULO V. METODOLOGÍA</b>	26
5.1 ÁREA DE ESTUDIO	27
5.1.1 Localización del área de estudio	27
5.2 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE <i>Agave angustifolia</i>	30
5.2.1 Trabajo de campo para describir las características fenotípicas de maguey sacatoro, espadín y papalote	30
5.2.2 Evaluación de la caracterización fenotípica del maguey sacatoro	30
5.3 CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL Y FISICOQUÍMICA DE TRES	32

POBLACIONES DE MAGUEY: SACATORO, ESPADÍN Y PAPALOTE	
5.3.1 Trabajo de campo	32
5.3.2 Procesamiento físico de la muestra de maguey	32
5.3.3 Análisis fisicoquímicos: humedad, materia seca, potenciometría y acidez	32
5.3.4 Grados Brix (°Bx)	33
5.3.5 Composición bromatológica: COT, cenizas, fibra cruda, extracto etéreo, nitrógeno, proteína cruda, azúcares reductores totales	33
5.3.6 Concentración de componentes minerales en maguey	34
5.3.7 Análisis estadístico	34
5.4 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y NUTRIMENTAL DEL SUELO EN LOS CULTIVOS DE MAGUEY	35
5.4.1 Levantamiento de suelos y hojas de maguey	35
5.4.2 Procesamiento físico de la muestra de suelo y hoja de maguey	35
5.4.3 Lixiviación del suelo para determinar: NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> y alcalinidad	36
5.4.4 Procesamiento químico de la muestra de suelo y hoja de maguey	37
5.4.5 Determinación de macro y micronutrientes en el suelo	38
5.4.6 Determinación fisicoquímica del suelo: potenciometría, conductividad eléctrica, materia orgánica, granulometría, alcalinidad, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> y NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	39
5.4.7 Análisis estadísticos	40
5.5 PERCEPCIÓN Y CONOCIMIENTO TRADICIONAL DE LOS PRODUCTORES SOBRE EL USO Y MANEJO DEL MAGUEY	41
<b>CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	42
6.1 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE <i>Agave angustifolia</i> PARA SU CONSERVACIÓN	43
6.1.1 Análisis de componentes principales (ACP)	43
6.1.2 Análisis de agrupamiento jerárquico aglomerativo (AJA)	47
6.2 CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL Y FISICOQUÍMICA DE TRES <i>Agaves</i>	59
6.2.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos	59
6.2.2 Análisis de grados brix en maguey sacatoro, espadín y papalote	62
6.2.3 Análisis de composición bromatológica de los magueyes estudiados	63
6.2.4 Concentración nutrimental en el tallo (piña) y hoja (penca) de maguey	69
6.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y NUTRIMENTALES DEL SUELO EN LAS POBLACIONES DE MAGUEY	73
6.3.1 Análisis fisicoquímico del suelo	73
6.3.2 Análisis granulométrico del suelo	77
6.3.3 Concentración de macronutrientes en plantas de maguey y suelos del área de estudio	80
6.3.4 Concentración de micronutrientes en plantas de maguey y suelos del área de estudio	83
6.4 CONOCIMIENTO TRADICIONAL Y ACADEMIA: UNA EXPERIENCIA DE INVESTIGACIÓN CON PEQUEÑOS PRODUCTORES DE MAGUEY	90
6.4.1 Importancia regional y local del agave y el mezcal	90
6.4.2 Prácticas agronómicas y ecológicas	93
6.4.3 Plagas y enfermedades	100

6.4.4 Usos, costumbres, problemática y alternativas	103
<b>CAPÍTULO VII. PROPUESTA DE MANEJO SUSTENTABLE PARA <i>Agave angustifolia</i> Y <i>Agave cupreata</i></b>	107
7.1 MÉTODO	108
7.2 DESCRIPCIÓN BIOLÓGICA DE <i>Agave angustifolia</i> , <i>Agave cupreata</i> Y <i>Agave megalodonta</i>	108
7.3 REPRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN DE LOS MAGUEYES PAPALOTE, ESPADÍN Y SACATORO EN GUERRERO	113
7.4 USOS EN TORNO A LOS MAGUEYES GUERRERENSES	115
7.5 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE <i>Agave angustifolia</i> , <i>Agave cupreata</i> Y <i>Agave megalodonta</i>	117
<b>CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES</b>	123
<b>CAPÍTULO IX. LITERATURA CITADA</b>	127
<b>ANEXOS</b>	145
A1. GUION DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA	146
A2. FORMATO DE CAMPO PARA EVALUAR LA CARACTERIZACIÓN FISONÓMICA DE <i>Agave angustifolia</i>	148
A3. MEMORIA FOTOGRÁFICA	149

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b> Localización geográfica de las localidades de muestreo de <i>Agave</i> en Guerrero	28
<b>Cuadro 2.</b> Autovalores entre atributos morfológicos de agaves: los seis primeros CP	44
<b>Cuadro 3.</b> Parámetros fisicoquímicos de <i>Agaves</i> del estado de Guerrero	61
<b>Cuadro 4.</b> Análisis de grados brix en agaves del estado de Guerrero	63
<b>Cuadro 5.</b> Perfil bromatológico de la sección de hoja apical de <i>Agaves</i> del estado de Guerrero	64
<b>Cuadro 6.</b> Perfil bromatológico de la sección de hoja basal de <i>Agaves</i> del estado de Guerrero	65
<b>Cuadro 7.</b> Perfil bromatológico de la sección tallo de <i>Agaves</i> del estado de Guerrero	65
<b>Cuadro 8.</b> Contenido de minerales en hoja (penca) de plantas adultas de <i>Agaves</i> : maguey sacatoro, espadín y papalote del estado de Guerrero	70
<b>Cuadro 9.</b> Contenido nutrimental en tallo (piña) de plantas adultas de <i>Agaves</i> : maguey sacatoro, espadín y papalote del estado de Guerrero	72
<b>Cuadro 10.</b> Características fisicoquímicas de los suelos de Atetetla, Paso Morelos, Coacán, Los Amates, Motuapa, Trapiche, Sta. Cruz y Ayahualco	74
<b>Cuadro 11.</b> Datos promedios de la granulometría edáfica en el área de estudio	78
<b>Cuadro 12.</b> Concentración de macronutrientes en los tejidos foliares de maguey	83
<b>Cuadro 13.</b> Concentración de micronutrientes en muestras de suelo del área de estudio	87
<b>Cuadro 14.</b> Concentración de micronutrientes en tejidos foliares de maguey	88
<b>Cuadro 15.</b> Comparación de los valores de concentración promedio en los suelos estudiados respecto a los límites permisibles en sedimentos establecidos por la NOOM-147, CEQG Y NOAA	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Localización geográfica de las regiones, municipios y localidades de Guerrero donde se realizó el estudio	29
<b>Figura 2.</b> Plano bidimensional de los CP1 Y CP2	45
<b>Figura 3.</b> Dendograma de especímenes de maguey	48
<b>Figuras 4 – 12.</b> Poblaciones de maguey sacatoro, espadín y papalote.	50-58
<b>Figura 13.</b> Análisis de dispersión del valor promedio de los parámetros fisicoquímicos del suelo	77
<b>Figura 14.</b> Promedio total de la granulometría edáfica en el área de estudio	79
<b>Figura 15.</b> Promedios de la granulometría edáfica por localidad estudiada	79
<b>Figura 16.</b> Concentración de macronutrientes en los suelos del área de estudio	80
<b>Figura 17.</b> Concentración de macronutrientes en los tejidos foliares de maguey	81
<b>Figura 18.</b> <i>Agave angustifolia</i> ‘maguey espadín’	110
<b>Figura 19.</b> <i>Agave angustifolia</i> ‘maguey sacatoro’	110
<b>Figura 20.</b> <i>Agave cupreata</i> ‘maguey papalote’	111
<b>Figura 21.</b> <i>Agave megalodonta</i> ‘maguey espumoso’	112
<b>Figura 22.</b> Denominación de Origen Mezcal en México	115

## RESUMEN

El *Agave* también denominado ‘maguey’ es considerado como un género que tiene su centro de origen en México. Esta planta tiene potencial económico, agronómico, biológico y sociocultural. La finalidad del estudio fue elaborar una propuesta de manejo para conservar el *Agave angustifolia* y *Agave cupreata* en los municipios: Huitzucó, Atenango del Río, Ahuacotzingo y Chilapa, en el estado de Guerrero. La investigación se realizó en cuatro fases: fenotípica, bromatológica, fisicoquímica y nutrimental del suelo, y se evaluó la percepción y conocimiento tradicional respecto al uso y manejo del maguey. Los resultados fenotípicos, muestran que los magueyes sacatoro y espadín, son finalmente la misma especie, debido a la estrecha relación entre ambos. Con el análisis bromatológico, se determinó que los tres magueyes, podrían contribuir en el valor agregado del producto. Por ejemplo, producir hongos comestibles (principalmente *Pleurotus ostreatus*) para consumo humano, ser una alternativa de alimento para rumiantes (siempre y cuando se complemente con un sustituto de proteína). Además, se mostró que el mezcal producto de los magueyes sacatoro, espadín y papalote es de alta calidad, ya que se encontraron bajas concentraciones de Ca, P, Mg, K, Na, Cu, Mn y Fe en el tallo (órgano que se utiliza para elaborar el mezcal) de maguey. A pesar de las cualidades de estas plantas, en ocasiones, el manejo que se da al maguey no suele ser el adecuado, debido a que no se considera la heterogeneidad del recurso y las diferentes condiciones socioambientales que ejercen presión e impacto distinto sobre el maguey. La estrategia para conservar las dos especies de agave es considerar al maguey como un eje rector desde un enfoque multidisciplinario y priorizar las estrategias de manejo para conservarlo. A partir de la evaluación fenotípica, bromatológica, fisicoquímica y nutrimental del suelo y el conocimiento tradicional de los productores respecto al maguey, se llevó a cabo una propuesta como base para que trabajos complementarios que se realizan en la región norte y centro de Guerrero tengan un soporte técnico que ayude a la toma de decisiones y planificación del maguey como un sistema producto.

**Palabras clave:** *Agave angustifolia* y *cupreata*, bromatológico-nutrimental, mezcal y percepción tradicional.

## ABSTRACT

The *Agave* also called ‘maguey’ is considered a genus that has its center of origin in Mexico. This plant has economic, agronomic, biological and sociocultural potential. The present study was carried out with the purpose of preparing a management proposal to conserve *Agave angustifolia* and *Agave cupreata* in the municipalities: Huitzuc de los Figueroa, Atenango del Río, Ahuacutzingo and Chilapa de Álvarez, in the state of Guerrero. The research consisted of four phases: phenotypic, bromatological, physicochemical and soil nutrient-related, and the perception and traditional knowledge regarding the use and management of the maguey was evaluated among the small farmers and mezcal producers. The phenotypic results show that the *sacatoro* and *espadín* maguey plants, ultimately, belong to the same species, due to the close relationship between them. The morphological differences could be attributed to the selection and vegetative propagation of the germplasm. The bromatological analysis determined that the three magueyes could contribute to the added value of the product. For example, the production of edible fungi, a food alternative for ruminants, when it is supplemented with a protein substitute. In addition, it was shown that mezcal, a product of the *sacatoro*, *espadín* and *Papalote* magueyes is of high quality, since low concentrations of Ca, P, Mg, K, Na, Cu, Mn and Fe were found in the maguey stem, the organ that is used to make the distillate. Despite the qualities of these plants, sometimes, the management given to the maguey is usually not adequate, due to the heterogeneity of the resource and the different socio-environmental conditions that exert pressure and different impact on the maguey are not considered. The strategy to conserve the two species of agave is to consider these plants as a guiding principle from a multidisciplinary approach and prioritize management strategies to conserve it. Based on the phenotypic, bromatological, physicochemical and nutritional evaluation of the soil and the traditional perception knowledge producers regarding the maguey, a proposal was as a basis to complement other studies that are currently being carried out in the northern and central regions of Guerrero for them to confer technical support to strengthen the decision making and planning of maguey as a product system.

**Keywords:** *Agave angustifolia* and *cupreata*, bromatological-nutritious, mezcal and traditional perception.

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

---



## INTRODUCCIÓN GENERAL

El género mejor representado de la familia Agavaceae, es *Agave*, es un género de plantas monocotiledóneas suculentas, cuyo centro de origen es México. Los factores socioambientales han permitido el establecimiento de estas plantas en una diversidad de especies, aproximadamente 210, 159 de estas existentes en México y 119 son endémicas de dicho país (García-Mendoza, 2011). Las cuales se distribuyen en una gama de latitudes y altitudes desde Aridoamérica (sur de Estados Unidos de América y norte de México), Sudamérica (Colombia y Venezuela), Mesoamérica, Centroamérica e Islas del Caribe (García-Mendoza, 2002). Consecuentemente, las diferentes especies de *Agave* están adaptadas para desarrollarse en diferentes tipos de suelo, origen geológico y con diversas características fisicoquímicas (Cen-Cen, 2015).

Los agaves tienen una diversidad de aplicaciones, fuente de alimento, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibras, abono orgánico, construcción de viviendas, elaboración de implementos agrícolas y bebidas, entre otros (García-Mendoza, 2007). El tequila y el mezcal son bebidas destiladas para las cuales el agave es la materia prima; son productos mexicanos que han trascendido fronteras y que se han ubicado con éxito en el mercado internacional. Es por esto que los agaves tienen su máxima expresión de diversidad morfológica, filogenética, evolutiva y cultural en México (Colunga-García, 2007). Este género, rico en usos potenciales, dio origen al principal centro agrícola de América, resultando en su diversificación exhaustiva bajo selección y manejo (García-Mendoza, 2007).

A pesar del auge internacional que ha logrado la exportación de mezcal a mercados gourmet de aproximadamente 42 países, las técnicas de cultivo que se implementan en el estado de Guerrero son tradicionales, por lo que fue necesario llevar a cabo investigación científica sobre su manejo en cuanto a preparación del terreno, prácticas de labranza más adecuadas, requerimientos óptimos de fertilización, prevención de plagas y enfermedades, y formas de organización de los productores para mejorar el rendimiento de su producto, razones para evitar crisis de producción en generaciones futuras (Álvarez-Sánchez, 2010).

La mayoría de los estudios existentes han sido sobre *Agave tequilana* (Rulfo *et al.*, 2007), y la carencia de información en otras especies cultivadas como *Agave angustifolia* y *Agave cupreata*

no permite optimizar el cultivo con un manejo agronómico, bromatológico, fisicoquímico y nutrimental racional y sustentado.

Los objetivos de esta investigación fueron: 1) Realizar la caracterización morfológica del maguey sacatoro para la reordenación del género; 2) Determinar la caracterización nutrimental y fisicoquímica de los magueyes sacatoro, espadín y papalote para la valoración potencial de cada uno; 3) Caracterizar fisicoquímica y nutrimentalmente el suelo en el área de estudio para hacer un diagnóstico planta-suelo y mitigar los problemas de fertilización y/o contaminación; y 4) Analizar la percepción y conocimiento tradicional de los productores sobre el uso y manejo del maguey. Para ello se establecieron varios parámetros que finalmente se analizaron en conjunto para potencializar su manejo ya sea agronómico, económico y sociocultural de los tres magueyes estudiados para las regiones del estado de Guerrero donde se realizó la investigación.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

---



## **2.1 Características generales del agave**

### **2.1.1 Distribución de *Agave angustifolia* y *Agave cupreata***

El alto grado de endemismos en el género *Agave* sugiere que la diversidad del grupo se debe a la fisiología que le ha permitido su adaptación en los hábitats heterogéneos en que se ubican. Una de las herramientas que se han utilizado en la familia Asparagaceae para delimitar taxones son los análisis morfométricos (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 1996).

*Agave angustifolia*, también denominado ‘maguey delgado’ o ‘espadín’, es la fuente de fibra y de bebidas alcohólicas como bacanora y mezcal. Este maguey se distribuye principalmente en México, en los estados de Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas desde el nivel del mar hasta más de 2000 msnm (Vázquez-García *et al.*, 2007 y Barrientos-Rivera *et al.*, 2019;). Así mismo, García-Mendoza (2011) menciona que su distribución se ubica hasta panamá.

Por el contrario, *A. cupreata*, también denominado en Guerrero como ‘maguey papalote o ancho’ es considerada una especie endémica de la Región Hidrológica Balsas, en Guerrero, se concentra en la porción correspondiente a la vertiente interior de las Sierras Madre del Sur y Norte. También se le ha ubicado en Michoacán, Morelos, Oaxaca y Puebla (Ibáñez *et al.*, 2011). Así mismo se puntualiza la localización de la especie en pendientes medias y abruptas; en sustratos geológicos de diferentes tipos: calizas, areniscas-conglomerados, caliche y lutitas-areniscas; formando suelos como Leptosol; luvisol cálcico, crómico y órtico; rendzina; cambisol cálcico, crómico y eútrico; regosol eútrico y vertisol pélico. En general, son suelos someros y pobres en nutrimentos, excepto el último que presenta un mayor desarrollo de perfil. Esta especie se localiza en un rango altitudinal amplio, el cual va de los 1100 a los 2200 msnm (Sáenz-Romero *et al.*, 2014).

### **2.1.2 Fisiología de las plantas de agave**

Los agaves son plantas perennes, con hojas dispuestas en espiral y arregladas en rosetas en el ápice del tallo, el cual puede ser corto y apenas sobrepasar unos centímetros del suelo, o bien, ser largo y erecto (llega a medir hasta tres metros de altura); en varias especies el tallo se dobla hacia

el sustrato y reptan sobre el suelo o las rocas, por lo que es difícil observarlo, ya que pueden surgir rosetas a lo largo y, además, quedan cubiertos por hojas secas.

Las hojas por lo general son suculentas, fibrosas, con la base dilatada y carnosa; su forma varía de linear a lanceolada u ovada; las hojas de especies pequeñas de agave pesan aproximadamente 20 g, a diferencia de los magueyes pulqueros, que llegan a pesar aproximadamente 30 kg cada una. La cantidad de hojas varía, de cinco hasta 200 dependiendo de la especie. El margen de la hoja exhibe la diversidad morfológica, los dientes pueden ser córneos, pilíferos o bien presentan denticillos microscópicos. La hoja casi siempre tiene una espina terminal en el ápice que puede medir desde algunos milímetros hasta centímetros. El color de la hoja varía entre verde, glauco o amarillo y rojizo o violeta. Presentan una inflorescencia que surge del meristemo apical; puede ser espigada, racemosa o paniculada con racimos laterales. El fruto es una cápsula seca, trilocular, con semillas dispuestas en dos hileras por lóculo, son negras, aplanadas y rodeadas por un ala corta en su parte distal redondeada (Gentry, 1982).

### **2.1.3 Los agaves son plantas con metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM)**

En condiciones extremas de sequía, ciertas plantas abren los estomas por la noche y los cierran durante el día, mecanismo que impide la pérdida excesiva de agua. Esto es debido a que el cierre de esas estructuras en las horas de mayor temperatura impide pérdida de agua por transpiración, así como el intercambio de gases para la fotosíntesis. Para lo cual existe una vía metabólica llamada *metabolismo ácido de las crasuláceas o fotosíntesis CAM*. Este proceso tiene lugar en numerosas especies vegetales, mismas donde se ubican los *Agaves*. En este tipo de plantas, la asimilación del CO<sub>2</sub> ocurre durante la noche, evitando perder agua. El CO<sub>2</sub> reacciona con el fosfoenolpiruvato (PEP) en una reacción catalizada por la enzima PEP carboxilasa y se forma ácido málico que se almacena en las vacuolas. Durante el día, las vacuolas liberan el ácido málico que luego es descarboxilado y el CO<sub>2</sub> así liberado se integra al ciclo de Calvin (Curtis *et al.*, 2008).

Las plantas de agave presentan características de plantas xerófitas, su anatomía y metabolismo están adaptados para utilizar eficientemente el agua, por ende tienen capacidad de adaptación a condiciones áridas y semiáridas como condiciones de estrés ambiental, déficit hídrico, altas temperaturas, salinidad y deficiencias nutrimentales (García-Mendoza, 2007).

La presencia de una cutícula gruesa en la epidermis de la hoja, así como la acumulación de cera en la superficie, permiten a los estomas presentar una naturaleza compleja como protección de la transpiración excesiva en periodos de sequía (García-Mendoza, 2007).

## **2.2. El potencial de los agaves**

### **2.2.1 La importancia del agave y las funciones del maguey en el ecosistema**

En México, los agaves son de importancia económica y cultural para pueblos indígenas y mestizos, que los han aprovechado como fuente de alimento, bebida destiladas y no destiladas, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibras, abono, construcción de viviendas, elaboración de implementos agrícolas, entre otros (García-Mendoza, 2007).

Dependiendo de la región geográfica del país, cambia la especie del género *Agave* que se utiliza para elaborar bebidas no destiladas y destiladas. Entre las bebidas destiladas, se encuentra el mezcal, una bebida alcohólica que se procesa mediante cocimiento, molienda, fermentación y destilación (Valenzuela, 2007).

Algunas especies de *Agave* tienen una gran importancia económica nivel local, regional, nacional e internacional principalmente por la producción del tequila y recientemente por el mezcal, ya que es una bebida con alta demanda en estos mercados a partir de la segunda mitad del siglo XX. Un factor importante que ha incidido en el incremento de la demanda ha sido el turismo, quienes visitan México, prueban la bebida y posteriormente es solicitada en sus países de origen (Solano, 2011). Guerrero se sitúa como el segundo estado productor de mezcal, donde utilizan como materia prima para la elaboración del mezcal dos especies: *Agave angustifolia* y *Agave cupreata*. Estas plantas son cosechadas de poblaciones silvestres y cultivadas para producir mezcal de forma artesanal por lo que es un producto elaborado de 100% maguey y conservacionista de los procesos tradicionales de elaboración los cuales permiten excelentes características organolépticas (Sánchez *et al.*, 2018).

Indudablemente, los mezcales mejor conocidos son los de Oaxaca, que se elaboran básicamente de *A. angustifolia* (maguey espadín) cultivado, mientras que en el estado de Guerrero está aumentando el uso de *A. cupreata*, principalmente de las poblaciones silvestres, aunque en algunas regiones se ha comenzado a cultivar (Illsley *et al.*, 2009).

Además de la clara importancia económica que la familia Asparagaceae representa para México, esta familia tiene una gran relevancia ecológica, ya que muchas especies son endémicas en los ecosistemas del país, esto es, son especies que producen elevadas cantidades de recursos, especialmente en la reproducción, como flores, polen y néctar. Recursos de los cuales dependen muchos animales, mismos que a su vez pueden ser de importancia para otras plantas, especialmente como polinizadores (Colunga-García, 2007). Algunas comunidades rurales en Guerrero continúan utilizando el *A. angustifolia* y *A. cupreata* como alimento, medicina y otros relacionados con la cultura (tomar mezcal con usos ceremoniales, por ejemplo).

### **2.2.2 Bromatología (análisis proximal)**

Un análisis bromatológico de alimentos, consiste en una serie de determinaciones analíticas aplicadas a un alimento para determinar la composición química de sus componentes afines. Los parámetros que constituye este análisis son: humedad, grasa, proteína, minerales, carbohidratos y fibra. Los métodos para determinar cada parámetro mencionado varía de acuerdo al alimento que se examina, la humedad se evalúa por método de desecación, las proteínas se calculan a partir de nitrógeno total (Kjeldhal), fibras y cenizas, representan la parte no digerible del alimento y los minerales del mismo respectivamente. Conocer el valor nutritivo de los alimentos es fundamental para la nutrición animal y/o humana, no siendo suficiente con los análisis químicos (Delgadillo, 2010).

#### ***Humedad***

La humedad en los alimentos es importante determinarla debido a que, si el agua está presente en el alimento por encima de ciertos niveles, podría facilitar el desarrollo de microorganismos. Además, cierta cantidad de agua presente en el alimento podría afectar la consistencia del mismo (Delgadillo, 2010).

#### ***Extracto etéreo***

El extracto etéreo también denominado grasa en el alimento consiste en diversas sustancias lipídicas; es el constituyente lípido “libre” (extraído por disolventes menos polares como las fracciones ligeras del petróleo y el éter dietílico). La unión de los lípidos puede romperse por hidrólisis o alguna otra determinación química para producir lípidos libres. Por ende, la cantidad

de grasa extraída en los alimentos va a depender del método de análisis que se utilice (Delgadillo, 2010).

### ***Nitrógeno y proteína cruda***

Para determinar este parámetro generalmente se lleva a cabo por el método Kjeldahl que determina materia nitrogenada total. Sin embargo, incluye tanto no proteínas como proteínas verdaderas. Para ello, pasó por un proceso de digestión con base en sulfato sódico para aumentar la ebullición y un catalizador para acelerar la reacción, tal como sulfato de cobre. Posteriormente, pasó por un proceso de destilación donde el amoníaco se retiene o bien con ácido normalizado se valora por retroceso o con ácido Bórico para valorarlo directamente. El método Kjeldahl no determina todas las formas de nitrógeno a menos que se modifiquen adecuadamente, mismos que incluyen nitratos y nitritos. No obstante, los métodos directos para estimar proteína deben calibrarse contra un método estándar de referencia para nitrógeno (Owen, 1997).

El procedimiento Kjeldahl, se divide en dos etapas: 1) digestión, iniciando con la descomposición de la materia orgánica, misma que se oxida por la mezcla digestiva convirtiéndose el nitrógeno a sulfato ácido de amonio ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ) y 2) destilación, donde se libera el amoníaco de dicha sal, con una solución concentrada de hidróxido de sodio, recibiendo en ácido bórico, el cual forma borato de amonio. Posteriormente, se titula con una solución valorada de ácido clorhídrico, formando el cloruro de amonio valorando el HCL residual con una solución valorada de hidróxido de sodio (Owen, 1997).

### ***Determinación de cenizas totales***

La evaluación de las cenizas es considerada una medida general de calidad o incluso un criterio útil que determina la identidad del alimento o producto. Por ejemplo, si en la determinación se encuentra un alto contenido de cenizas puede ser indicativo de la presencia de un adulterante inorgánico. De acuerdo con Owen, 1997; la ceniza de X producto alimentario está constituida por el residuo inorgánico que queda después de que la materia orgánica se ha calcinado.

### ***Fibra cruda***

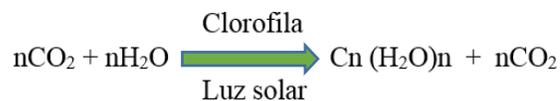
La fibra indigerible en la dieta es fundamental para la nutrición y mantenimiento de una buena salud. Esto es porque está constituida de componentes que las enzimas de conducto alimentario

(humano) no pueden desintegrar, como: hemicelulosa, sustancias pépticas, gomas, mucilagos, celulosa, lignina y polisacáridos tecnológicamente modificados (carboximetilcelulosa). Debido a que se requiere formar compuestos de masa molecular menor y así, adquirir la capacidad de ser absorbidos al torrente sanguíneo (Delgadillo, 2015).

### ***Carbohidratos***

Los carbohidratos también son denominados azúcares, están constituidos de Carbono, Hidrógeno y Oxígeno; en su mayoría son compuestos de “carbono hidratado”  $C_n(H_2O)_{2n}$ . Es decir, tienen una proporción 2:1 por parte de los elementos Hidrogeno y Oxígeno, por ende se denominan carbohidratos o hidratos de carbono; algunos de ellos son: azúcar común, papel, madera, algodón (Solomons, 2004).

A partir del dióxido de carbono y agua, las plantas sintetizan los carbohidratos en el proceso fotosintético.



La clorofila (pigmento de las plantas), pone a disposición del vegetal la energía que absorbe de la luz solar. Proceso en el que tienen lugar una diversidad de reacciones catalizadas por enzimas; el  $CO_2$  se reduce en forma de carbohidrato y a su vez se libera oxígeno. La energía solar se transforma en energía química disponible para plantas y animales, los cuales metabolizan los carbohidratos de forma inversa y la energía la utilizan para diversos fines (Solomons, 2004).

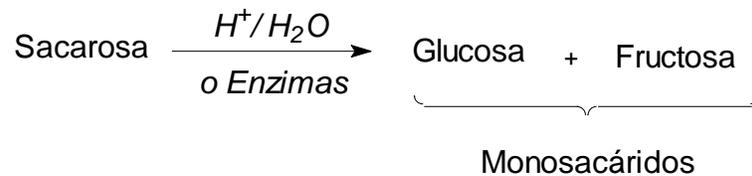


En la naturaleza, los carbohidratos son de gran importancia, debido a que son el almacén químico principal de la energía del sol. Una vez transformados a carbohidratos solubles a través del proceso de fotosíntesis, se almacenan en formas insolubles, por ejemplo, el almidón. Específicamente en los agaves, los carbohidratos de almacenan en forma de inulina. El humano ingiere cereales como fuente de carbohidratos como: el arroz, el maíz, etc., en forma de almidón. Macromoléculas poliméricas de glucosa, que con ayuda de las enzimas son transformadas para que el organismo las pueda aprovechar (Solomons, 2004).

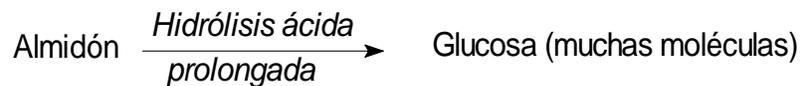


Los carbohidratos se clasifican en:

1. Monosacáridos son una unidad, como: la glucosa, fructosa o galactosa; ya no subdividen más ni por hidrólisis ácida ni enzimática.
2. Oligosacáridos están constituidos de dos hasta diez unidades de monosacáridos, por ejemplo, el azúcar común es un disacárido, por tanto un oligosacárido.



3. Polisacáridos son macromoléculas, que se subdividen por hidrólisis produciendo así una diversidad de monosacáridos, entre 100 y 90,000 unidades. En particular los agaves producen inulina por tanto, un polisacárido. Entre otros ejemplos de polisacáridos: almidón y celulosa (Delgadillo, 2010).



### ***Sólidos solubles (Azúcares) - •Brix***

Los grados brix, representan una escala arbitraria que mide la densidad de una solución de azúcar y equivalen al porcentaje

La refractometría es un método indirecto que determina la concentración de azúcar de una solución mediante la medida de su índice de refracción de una sustancia o un medio transparente; que es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en la sustancia o el medio.

Si consideramos el jugo de fruta como una sustancia constituida por agua, su índice de refracción será mayor cuanto mayor sea la cantidad de azúcar presente en ella. Existen diversos instrumentos que miden esta variación, pero el más útil para nuestros fines es el refractómetro de mano, mediante el índice de refracción. Éste consiste de un tubo con un prisma en su interior que dirige el rayo de luz incidente hacia una escala observable en un ocular. Al colocar una muestra

líquida sobre el prisma (dos o tres gotas), ésta ocasiona una desviación proporcional a la cantidad de sólidos disueltos. Esta desviación es leída en la escala como porcentaje de azúcar, conocida también como grados Brix. El índice de refracción es sensible a los cambios de temperatura y varía con la longitud de onda de la luz, se deben especificar ambas variables al expresar el índice de refracción de una sustancia. La temperatura de medida estándar es de 20°C (Química de Alimentos, 2001).

### 2.2.3 El agave y el mezcal

La producción de bebidas fermentadas y destiladas ha sido una práctica realizada por muchas culturas mexicanas. En el occidente de Mesoamérica, se elaboraban alimentos y bebidas alcohólicas de los agaves, con una alta relevancia cultural y social. En Colima, se originó la destilación de agave a través de la adopción de técnicas introducidas de Filipinas (Zizumbo-Villareal *et al.*, 2009).

De acuerdo con ColungaGarcíaMarín *et al.* (2007), 74 especies de *Agaves* mexicanos se utilizan para producir alimentos, fibras, forraje, bebidas fermentadas y destiladas, de las cuales entre 42 y 53 de estas se utilizan para producir mezcal en 26 estados de México, siendo aprovechadas en su forma silvestre (Torres *et al.*, 2015); de estas, dos son cultivadas en plantaciones agroindustriales mono-específicas: *A. tequilana*, para la producción de tequila y *A. angustifolia*, para la producción de mezcal (Aguirre y Eguiarte, 2013).

En las montañas de la Sierra Madre del Sur, en el estado de Guerrero, se utilizan los *A. angustifolia* y *cupreata* para elaborar el mezcal. La planta es aprovechada en su forma silvestre desde hace años; sumada a una explotación desmedida de ambas especies. Por tanto, la materia prima ha disminuido drásticamente en los últimos años (Pérez *et al.*, 2016). A raíz de esto, surge la necesidad de implementar un programa de manejo para estas especies, en el caso de *A. cupreata* la preocupación se acentúa porque es una planta sólo de reproducción sexual y los quiotes generalmente son cortados por los campesinos para incrementar la concentración de azúcares en las piñas, por lo que se disminuye la propagación natural (Aguirre y Eguiarte, 2013; Cházaro, 2007); *A. angustifolia* es una planta con una gran desventaja debido a que aunque su reproducción es sexual y asexual, se propaga principalmente por hijuelo, lo cual puede poner en peligro la diversidad genética de estos cultivos (Delgado-Lemus *et al.*, 2014).

## 2.3 La importancia del suelo en los cultivos de agave

### 23.1 Funciones del suelo en el ecosistema

El suelo es la capa superficial de material mineral y orgánico, no consolidado, que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, sujeto a los efectos de los factores que le dieron origen: clima, topografía, biota, material parental y tiempo y que, debido a la interacción de éstos, difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas (SSSA, 1984). Aunado a ello, los suelos constituyen uno de los recursos naturales que se caracterizan por su heterogeneidad, de esta manera cumple con diversas funciones vitales para sostener los ecosistemas y la vida humana. Los suelos son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, pues ofrecen el soporte y suministro de nutrimentos a los cultivos de la cubierta forestal (Garrido y Cotler, 2010).

En cuanto a las funciones del suelo abarcan explícitamente su uso de los suelos por las poblaciones humanas y generalmente por plantas y animales. Blum (1988), organizó las funciones de los suelos en cinco categorías, dos de ellas son: socio-económico y técnico-industrial, las tres restantes las denominó ecológicas profundizando en estas:

- ↓ La primera se refiere a la producción de biomasa, por ejemplo, cultivos de campos agrícolas, o árboles en bosques. Los suelos sirven para soporte físico para raíces y como sustrato nutritivo, suministrando aire, agua y nutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas.
- ↓ La segunda se relaciona con el hecho de que los suelos son filtros importantes de contaminantes químicos o biológicos, como amortiguadores físicos del ciclo global del agua.
- ↓ La tercera implica la preservación de la biodiversidad genética de los macro y microorganismos los cuales podrían ser de uso potencial para los seres humanos.

Sin embargo, a pesar de sus funciones y la importancia del suelo por el papel que ocupan en el ecosistema, continuamente se degrada dicho recurso (Monico y Sánchez, 2019). La degradación física del suelo, se encuentra asociada principalmente con la pérdida de la capacidad del sustrato para absorber y almacenar agua, lo que ocurre cuando el suelo se compacta (por actividades

agrícolas y de pastoreo), su superficie se endurece (encostramiento) o se recubre (urbanización) (SEMARNAT, 2003). Aunado a ello la agricultura promueve el cambio de uso de suelo pero además las prácticas agronómicas que en ella se implementan desgastan el suelo, lo que también se relaciona con las condiciones del terreno en donde se ubican las parcelas (Barrientos-Rivera, 2013).

En países como china, Liang *et al.* (2014), señalan que la multifuncionalidad de los suelos se ha convertido en una característica clave la formulación de políticas relacionadas con la planificación del uso de la tierra.

### **2.3.2 Influencia de la contaminación por metales pesados en el suelo**

Los metales pesados se encuentran en forma natural en la pedosfera, mismos que pueden pasar a ser contaminantes si su distribución en el ambiente es alterada por las actividades antropogénicas. En general, ocurre durante la extracción de minerales, el refinamiento de productos mineros, la liberación de residuos industriales, agrícolas y mineros, contaminación del agua potable (tuberías de plomo), altas concentraciones de estos en la atmosfera (emisiones vehiculares, entre otros), la inadecuada disposición de residuos metálicos ha ocasionado la contaminación de los suelos, aguas superficiales y subterráneas (Kabata-Pendias, 2000; Sposito y Col, 2008). De igual forma, un agente efectivo para la dispersión natural de los contaminantes son las arcillas, las cuales tienen una gran capacidad de adsorber los metales pesados, ya sea por transporte a través del aire o suspensión y la movilidad, proceso químico, la cercanía a la superficie con capacidad para moverse dentro de fluidos después de la disolución (Dótor, 2002).

Los metales en el suelo se acumulan en los primeros centímetros, ya que son lixiviados a los horizontes inferiores en pequeñas cantidades. Esto es debido a la disponibilidad de los elementos que dependen de las características del suelo en donde se encuentran (Anxiang y Col, 2009). Los parámetros geoedáficos esenciales para valorar la sensibilidad de los suelos a la agresión de los contaminantes son:

↓ pH.- en un suelo con pH ácido los metales tienden a estar disponibles porque son menos fuertemente adsorbidos, excepto As, Mo, Se y Cr, que son más móviles a pH alcalino.

↓ Granulometría.- suelos con alto porcentaje de arcillas retienen más metales por adsorción o en el complejo de cambio de los minerales de arcilla. Por el contrario, los suelos con

texturas arenosas carecen de capacidad de fijación y favorecen la contaminación del nivel freático.

↓ Materia orgánica.- reacciona con los metales formando complejos solubles. Hay elementos con adsorción fuerte que quedan estabilizados como el Cu, o forman quelatos estables como el Pb y Zn. En muchos casos se forman complejos organometálicos, lo que facilita la solubilidad del metal, la disponibilidad y dispersión, ya que pueden ser biodegradados por los organismos del suelo. Lo cual conduce a una persistencia de la toxicidad.

↓ Capacidad de intercambio catiónico.- esto depende del tipo de minerales de la arcilla, de la materia orgánica, de la valencia y del radio iónico hidratado del metal. A mayor tamaño menor valencia, menos frecuente quedan retenidos los metales.

La contaminación de suelos por altas concentraciones de metales puede presentar una serie de efectos tóxicos, dependiendo del metal que los cause (Segovia, 2014).

### **2.3.3 Biodisponibilidad de los metales en el suelo**

Un metal pesado es un elemento químico metálico de alta densidad y por ende, es tóxico aún en bajas concentraciones; se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. Algunos de los metales pesados y metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.*, 2005). Como elementos traza, algunos metales esenciales para mantener un buen funcionamiento metabólico en los seres vivos son: cobre (Cu), selenio (Se) y zinc (Zn). Sin embargo, los metales no pueden degradarse fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas (Abollino *et al.*, 2002).

La biodisponibilidad de los metales, es el grado en el que un elemento químico presente en el suelo, puede ser absorbido o metabolizado por receptores humanos o naturales, o bien encontrarse en forma disponible para interactuar con los sistemas biológicos (ISO/DIS 17402, 2006).

La biodisponibilidad de un elemento dependerá de la forma química en que se encuentra en el medio, así como de la capacidad de los organismos para absorberlo. Estos elementos pueden

acumularse en el organismo en concentración de varios órdenes de magnitud mayor que la concentración del medio en el que se encuentran (bioacumulación). La bioacumulación es un incremento de la concentración de un elemento químico hospedante en un organismo vivo en cierto tiempo, comparada a la concentración de dicho elemento en el ambiente (Angelova *et al.*, 2004; Galan y Romero, 2008). Una vez ocurrido dicho proceso, el compuesto se almacena, transforma, asimila o degrada dependiendo del medio en que se encuentre y del organismo (Semple y Col, 2004).

La toxicidad de los metales traza disponibles en la biosfera, se debe a los diferentes fenómenos geológicos y a las actividades antropogénicas (He *et al.*, 2005).

#### **2.3.4 Relación del crecimiento vegetal con las características fisicoquímicas del suelo**

Los nutrimentos del suelo provienen de diferentes fuentes: disolución de materiales primarios, descomposición de materia orgánica, fertilizantes, abonos orgánicos, entre otros; una vez en el suelo, los nutrimentos pasan por diferentes procesos para estar disponibles para las plantas (Chang *et al.*, 1992). Sin embargo, los cultivos agrícolas como el agave, tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos; a esta capacidad se le conoce como bioacumulación y su comportamiento es diferente dependiendo de la especie vegetal, así como la capacidad de retención de metales en el suelo y a la interacción planta-raíz-metal (Bañuelos *et al.*, 1997). Por tanto, es importante el tipo de fertilizante y la cantidad necesaria para lograr una buena producción agrícola.

## **2.4 El conocimiento tradicional de los agaves**

### **2.4.1 Servicios ambientales en torno al maguey**

Las plantas de maguey ofrecen una diversidad de servicios ambientales al ecosistema, entre ellos pueden servir para proteger el suelo de la erosión fluvial y eólica, como cercas vivas, hábitat para algún tipo específico de fauna (Colunga-García y Zizumbo-Villareal, 2007). También ofrecen servicios al humano, como alimento, bebidas, medicina, combustible, ornamental, los calehuales y las fibras sirven de apoyo en la construcción, en el caso de las fibras se utilizan para hacer adobes, entre otros (Gschaedler, 2017).

De acuerdo con Casarrubias (2019), la producción de mezcal es incompatible con el uso alimenticio y la construcción. Por tanto, la regeneración natural se ve afectada por la producción de mezcal. Por lo que la falta de prácticas reglamentadas para el manejo del maguey no garantiza el mantenimiento o fomento de las poblaciones silvestres (Illsley-Granich, 2004).

### **2.4.2 Desarrollo comunitario y regional: más allá de los mezcales**

Entre los destilados del mundo, sin lugar a duda, los mezcales tienen la mayor riqueza de materia prima en número de especies. Sin embargo, la dimensión sociopolítica de la legitimación de las denominaciones de origen (DO) son formas materiales de intercambio, objetivan un valor agregado único que dan acceso a un estatus mayor, al ser dotadas con prestigio atribuido a su especificidad de origen, calidad y autenticidad (Rodríguez y Diego, 2002).

La DO, en tanto declarante de una región de origen como eje de la distinción y del derecho a la exclusividad, oculta que la definición de la geografía misma es una construcción sociocultural e histórica que conlleva impactos socioeconómicos positivos y negativos para diversos actores, regiones y países. Es así que un producto con DO como el mezcal, materializa y legitima la geografía y el privilegio y la inclusión, y de manera paralela, concretiza su contraparte: la exclusión de recursos bióticos, actores, identidades culturales, regiones y países de los derechos, beneficios y privilegios que conlleva la DO (Rodríguez, 2007).

### **2.4.3 El futuro de lo ancestral**

Existen pocas especies vegetales con tanta historia social como los agaves. Para México, en cuyo nombre anida la palabra *Mexcatl*, es obligado su estudio a la mayor profundidad posible (Colunga-GarcíaMarín, 2007). Desde un punto de vista interdisciplinario, en lo ancestral del maguey hay futuro. Pues la naturaleza del agave ha sido la base sobre la cual los grupos humanos nativos de México han construido una interrelación ancestral con estas plantas. Esto ha traído como resultado una alta diversidad de germoplasma y de sistemas de manejo agrícola, producto de la selección y del cuidado de variedades, así como una gran diversidad cultural. Por tanto, de acuerdo con Colunga-GarcíaMarín (2007), el potencial futuro de lo ancestral del agave es muy extenso, dada la alta diversidad agrobiológica y cultural.

## **CAPÍTULO III. JUSTIFICACIÓN**

---



## JUSTIFICACIÓN

Guerrero, es uno de los principales estados de México donde las especies *A. angustifolia* y *A. cupreata* se encuentran de manera silvestre y cultivada para utilizarse en la elaboración de mezcal. Se destinan 1,732 ha para su cultivo de *Agaves* spp. y en el ciclo agrícola 2017 el valor de la producción fue de 34, 175.02 miles de pesos (1.711,94 USD), además que se comercializan en promedio 1,527,700 litros de mezcal tanto en el mercado nacional como en el extranjero (SIAP, 2018). Aunado a ello, el mezcal guerrerense cuenta con Denominación de Origen (DOM).

Sin embargo, durante las diferentes etapas de desarrollo del maguey (desde la siembra hasta el producto mezcal) existe una diversidad de problemática, mismas que no permiten mejorar la eficiencia óptima para estas especies. Por ejemplo, la problemática taxonómica en torno a la diferenciación morfológica de *A. angustifolia* en el estado de Guerrero, esto es debido a la variabilidad de formas, tamaños y colores, así como las denominaciones locales que le asignan los productores a estos magueyes, lo que da lugar a confusiones. Tal es el caso del ‘maguey sacatoro o maguey criollo’, ya que no se tiene investigación de este maguey, por lo que surge la necesidad de caracterizarlo morfológicamente para contar con información que permita saber con mayor certeza si es posible diferenciarlo de otras poblaciones de *A. angustifolia* Haw. Este estudio no sólo aportará una aclaración del conocimiento biológico de los taxones comúnmente denominados ‘sacatoro y espadín’, sino que será de utilidad para los productores de mezcal del estado de Guerrero ya que con esta información será posible contribuir en la ordenación del género *Agave*, por la importancia económica que tiene esta especie en la elaboración de mezcal.

Así mismo, el auge internacional que ha logrado la exportación de mezcal a mercados gourmet, le ha permitido convertirse en un importante factor de desarrollo de comunidades rurales mexicanas. Sin embargo, para elaborar mezcal sólo se utiliza el tallo y en Guerrero, las hojas de *A. angustifolia* y *A. cupreata* son un esquilmo agrícola totalmente desaprovechado, como ocurre con otras especies de maguey. Los esquilmos tienen valor potencial como fuente de carbohidratos y fibra cruda, que deberían ser aprovechados para replantear y diversificar los usos del agave y sus desechos más allá de la producción de mezcal, que pudieran incidir en el desarrollo sostenible, el bienestar ecológico y socioeconómico de la población.

Por lo tanto, el cultivo de maguey ocupa cada vez más hectáreas y el maguey aún silvestre se ha ido aprovechando exhaustivamente para la producción de mezcal, lo que ha traído como resultado la degradación física y química de los suelos. Trayendo como consecuencias: baja fertilidad del suelo, elevación de costos de producción y bajo rendimiento y calidad del maguey. Así mismo, los suelos donde crecen estas especies ya sea en su forma natural o de cultivo, no han sido estudiados, y la carencia de información no permite optimizar el cultivo con un manejo agronómico racional y sustentado en dichas especies de agave. A raíz de esta problemática surge la necesidad por hacer un diagnóstico de la relación suelo-planta para una planeación agronómica del maguey; además, de su requerimiento nutrimental mínimo, o el efecto de la deficiencia en los macro y micronutrientes tanto en el suelo como en las poblaciones de maguey considerando a la planta de agave como un sistema producto de importancia económica.

En busca de una agricultura sustentable, es fundamental construir vínculos entre científicos y campesinos en un contexto socioeconómico y cultural. Un punto de partida es lograr la comprensión de las percepciones, objetivos y prácticas de los productores.

por lo tanto, se debe analizar la percepción y conocimiento tradicional de los productores sobre el uso y manejo del maguey a la luz del conocimiento y aportaciones hechos por la comunidad científica, revisándose ambas vertientes en términos de la importancia socioeconómica y ambiental de los magueyes en la vida de las comunidades, las prácticas agronómicas y aspectos ecológicos, las plagas y enfermedades que afectan a esas plantas, así como los usos, costumbres, problemas y alternativas existentes alrededor de la producción de maguey y del mezcal en las localidades y regiones estudiadas.

Este trabajo podría constituir la base de una diversidad de investigaciones sobre los agaves mezcaleros del estado de Guerrero, que a su vez permita a mediano plazo contribuir tanto en la conservación de estas especies como de las cuencas en los que estas plantas se desarrollan.

Considerando que el maguey es el eje rector en el aspecto social y ecológico, es de vital importancia considerar la propuesta que se describe en esta investigación, permitiendo que las especies *A. angustifolia* y *cupreata* tanto silvestres como cultivadas continúen generándose para su conservación.

## **IV. OBJETIVOS**

---



#### **4.1 Objetivo general:**

- ✿ Elaborar una propuesta de programa de manejo para la conservación de *Agave angustifolia* y *Agave cupreata* en los municipios: Huitzuc de los Figueroa, Atenango del Río, Ahuacuotzingo y Chilapa de Álvarez, Gro.

#### **4.2 Objetivos específicos:**

- 1.- Realizar la caracterización morfológica de *Agave angustifolia* para su conservación en Guerrero.
- 2.- Determinar la caracterización nutrimental y fisicoquímica de tres poblaciones de maguey: sacatoro, espadín y papalote en el área de estudio.
- 3.- Caracterizar fisicoquímica y nutrimentalmente la hoja y el suelo en los cultivos de agave del área de estudio.
- 4.- Analizar la percepción y conocimiento tradicional de los productores sobre el uso y manejo del maguey.

# V. METODOLOGÍA

---



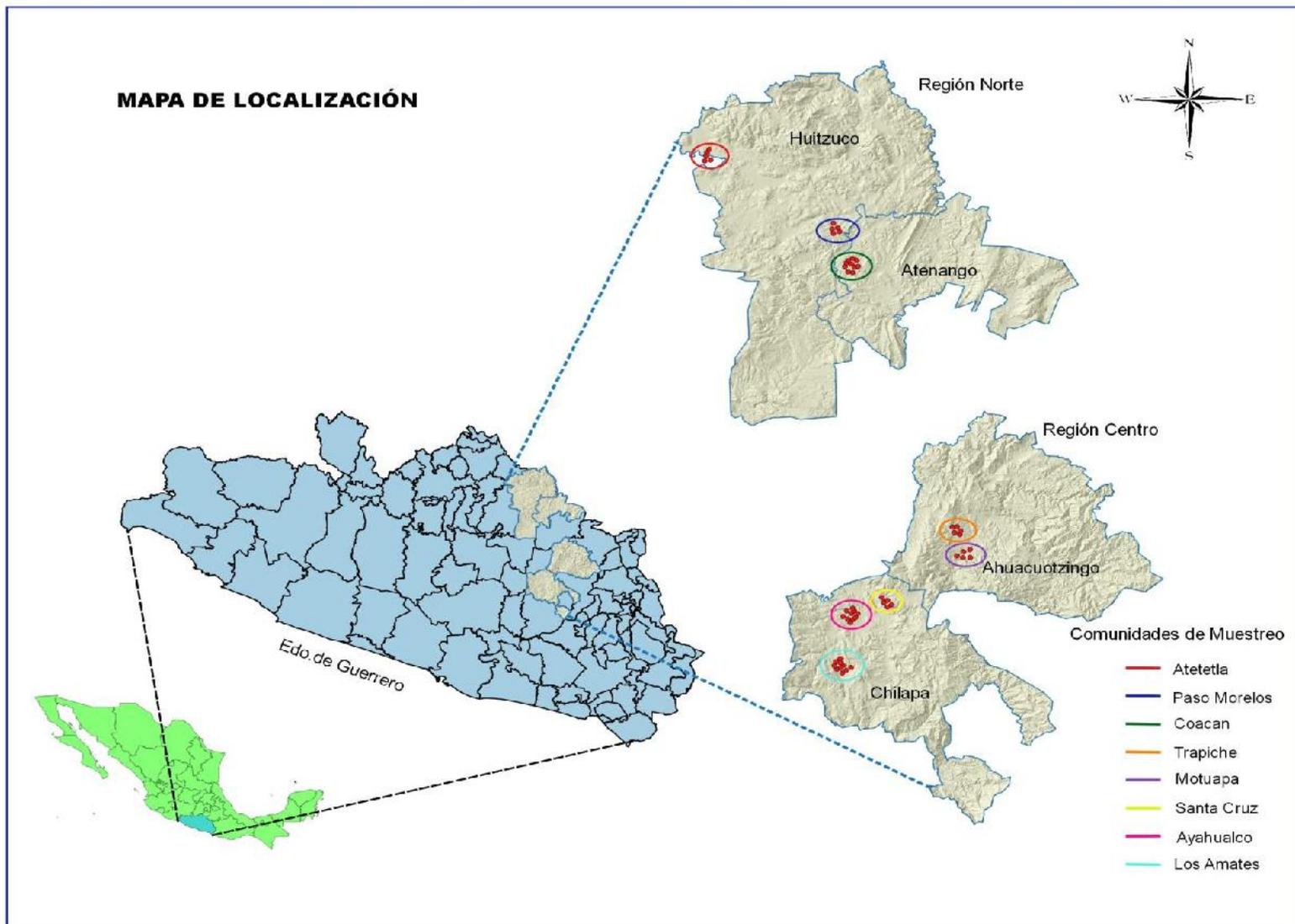
## 5.1 ÁREA DE ESTUDIO

### 5.1.1 Localización del área de estudio

El proyecto de investigación se llevó a cabo en el estado de Guerrero, al Sur de México. El estudio incluyó cuatro municipios: 1) Huitzuc de los Figueroa, 2) Atenango del Rio, 3) Chilapa de Álvarez y Ahuacuotzingo; en los cuales se estudiaron ocho localidades: 1) Atetetla, 2) Paso Morelos, 3) Coacán, 4) Los Amates, 5) Ayahualco, 6) Santa Cruz, 7) Motuapa y 8) Trapiche Viejo (Figura 1). La selección del área de estudio se realizó en función de la existencia de poblaciones de maguey, en su forma silvestre (localidad Los Amates) o cultivada (todas las demás), son localidades productoras de mezcal. Se georreferenciaron respecto a su latitud, longitud y altitud de cada sitio de muestreo, con un sistema de posicionamiento global (GPS), marca Garmin, modelo eTrex 30. El maguey que se estudió es *Agave angustifolia*, mejor conocido como “maguey sacatoro”, se estudiaron seis poblaciones de este. Además, se seleccionó una población de *Agave angustifolia* Haw denominado “maguey espadín”, para usar como referencia principal sus características fenotípicas y otra población más de *Agave cupreata* Trel & Berger denominado “maguey papalote” (endémico de la Región Hidrológica Balsas) para usar como referencia fenotípica diferencial totalmente al momento de llevar a cabo el análisis fenotípico cladístico. El área de estudio se ubica en dos regiones del estado de Guerrero: Norte y Centro; en cada región se estudiaron dos municipios y dentro de los mismos tres localidades. Los diferentes factores ambientales que imperan en cada región permiten el establecimiento de dicho maguey a diferentes altitudes, estos oscilan de los 892 a los 1534 msnm (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Localización geográfica de las localidades de muestreo de *Agave* en Guerrero

región	Municipio	localidad	Clave de especímenes	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Nombre científico	Nombre común del maguey
Norte	Huitzuco de los Figueroa	Atetetla	HAT	18° 19' 43.4'' 99° 23' 57.7''	892	<i>A. angustifolia</i>	sacatoro
		Paso Morelos	HPM	18° 12' 50.5'' 99° 12' 26.6''	1107	<i>A. angustifolia</i>	sacatoro
	Atenango del Río	Coacán	ARC	18° 09' 44.2'' 99° 11' 24.2''	1029	<i>A. angustifolia</i>	sacatoro
		Los Amates	CLA	17° 32' 25.3'' 99° 11' 54.6''	1476	<i>A. angustifolia</i>	sacatoro
Centro	Chilapa de Álvarez	Ayahualco	AMO	17° 37' 2.6'' 99° 11' 7.4''	1534	<i>A. cupreata</i>	papalote
		Santa Cruz	ATV	17° 37' 15.7'' 99° 11' 11''	1474	<i>A. angustifolia</i>	espadín
	Ahuacuotzingo	Motuapa	CSC	17° 44' 57.5'' 99° 02' 15.1''	1308	<i>A. angustifolia</i>	sacatoro
Trapiche		CAY	17° 42' 42'' 99° 00' 56.7''	1295	<i>A. angustifolia</i>	sacatoro	



**Figura 1.** Localización geográfica de las regiones, municipios y localidades de Guerrero donde se realizó el estudio

## 5.2 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE *Agave angustifolia*

### 5.2.1 trabajo de campo para describir las características fenotípicas de maguey sacatoro, espadín y papalote

El trabajo de campo, consistió en hacer recorridos en las parcelas de maguey con los productores en las ocho localidades diferentes para llevar a cabo lo que se describe a continuación:

### 5.2.2 Evaluación de la caracterización fenotípica del maguey sacatoro

Se llevaron a cabo descripciones fenotípicas de la planta de maguey, para este objetivo se utilizó una de n de 57 taxones. En los sitios de muestreo, se utilizó la guía técnica para la descripción varietal de *Agave* spp. (SNICS, 2014). Se evaluaron 32 variables a cada espécimen, la descripción de las variables medidas en: planta, tallo, hoja e hijuelos de cada maguey son:

- Hábito de crecimiento de la planta: 1) acaulescente y 2) caulescente
- Altura de la planta: 3) baja, 5) media y 7) alta
- Diámetro de la roseta: 3) pequeño, 5) medio y 7) grande
- Número de hojas de la planta: 3) bajo, 5) medio y 7) alto
- Número de hojas por filotaxia: 3) bajo, 5) medio y 7) alto
- Visibilidad del tallo: 1) ausente y 2) presente
- Longitud de la hoja: 3) corta, 5) media y 7) larga
- Anchura de la hoja: 3) estrecha, 5) media y 7) ancha
- Relación entre longitud y anchura de la hoja: 3) pequeña, 5) media y 7) grande
- Forma de la hoja: 1) lineal, 2) espatulada, 3) deltoide, 4) lanceolada, 5) oblonga y 6) ovada
- Forma del corte transversal de la hoja: 1) plano, 2) en forma de V, 3) en forma de U, 4) cóncavo, 5) quillado, 6) obdeltado, 7) oblato, 8) hemioblato y 9) circular
- Curvatura de la hoja: 1) ausente, 2) recurvado, 3) incurvado y 4) ondulado
- Borde de la hoja: 1) liso, 2) ondulado, 3) dentado y 4) crenado
- Textura de la hoja: 1) lisa y 2) rugosa
- Glauescencia de la hoja: 1) ausente y 2) presente
- Color de la hoja: 1) verde, 2) verde amarillo y 3) azul
- Intensidad del color de la hoja: 1) débil, 5) medio y 7) fuerte
- Color secundario de la hoja: 1) ausente y 9) presente
- Tonalidad del segundo color de la hoja: 1) amarillo y 2) blanco
- Distribución del segundo color: 1) marginal, 2) central y 3) reticulado
- Espinas laterales de la hoja: 1) presente y 9) ausente
- Forma de las espinas laterales: 1) recta, 2) curva, 3) ganchuda y 4) filífera
- Perfil de la espina lateral: 1) monofurcada, 2) bifurcada, 3) trifurcada y 4) polifurcada
- Color de las espinas laterales: 1) blanco, 2) marrón, 3) rojizo y 4) negro
- Uniformidad en el tamaño de las espinas: 1) homogénea y 9) heterogénea
- Número de espinas laterales de la hoja: 3) pocas, 5) medias y 7) muchas
- Distancia entre las espinas laterales de la hoja: 3) corta, 5) media y 7) larga
- Estrías en las espinas laterales de la hoja: 1) ausente y 9) presente
- Forma de la espina terminal de la hoja: 1) recta, 2) curvada, 3) filiforme y 4) polifurcada

- Longitud de la espina terminal: 3) corta, 5) media y 7) larga
- Prolificidad de hijuelos: 1) ausente, 2) baja, 3) media y 4) alta
- Ciclo a inicio de floración de la planta: 3) precoz, 5) intermedio y 7) tardío

De los 57 especímenes determinados se obtuvieron 1824 datos, con los cuales se realizó una homogeneización de las 32 variables evaluadas con base en la guía técnica (SNICS, 2014). Los datos se sometieron a análisis de correlación de Pearson con nivel de significancia de  $p = 0.05$ , como medida para identificar la relación o asociación entre variables seleccionadas de manera aleatoria. De acuerdo con Castañón-Nájera *et al.* (2008), se eliminaron las variables que aportan poco o nada a la explicación del plano bidimensional.

Por lo anterior, se eliminaron las variables hábito de crecimiento de planta; número de hojas por filotaxia; visibilidad del tallo; ancho, curvatura, color secundario, tonalidad del segundo color y distribución del segundo color de la hoja; espinas laterales; perfil de espinas laterales; prolificidad de hijuelos y, ciclo a inicio de floración. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis de componentes principales (ACP). El ACP, tiene como objetivo la transformación dentro de un sistema de coordenadas relevantes y la reducción de la dimensión. Con este análisis se tomaron las variables correlacionadas, las cuales describen observaciones y se encuentra una combinación lineal para generar nuevas variables no correlacionadas, llamadas componentes principales (CP o PC), por lo que el ACP se generó con las 20 variables que aportaron mayor explicación.

Es decir, se descartaron 12 variables con muy baja significancia y altos valores de correlación. Esta reclasificación de variables se hizo con base en la correlación, con la finalidad de que las variables involucradas en el análisis tuvieran la misma importancia (Crossa *et al.*, 1995). La significancia de los autovalores se determinó con la regla de Keiser (1960). También se realizó un análisis de Agrupamiento Jerárquico Aglomerativo (AJA), mediante el método de ligamiento UPGMA, la medida de disimilitud fue la distancia euclidiana. Los análisis estadísticos se realizaron con el Software XLSTAT (Fahmy, 1993).

## **5.3 CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL Y FISICOQUÍMICA DE TRES POBLACIONES DE MAGUEY: SACATORO, ESPADÍN Y PAPALOTE**

### **5.3.1 Trabajo de campo**

Para este objetivo, se seleccionaron plantas adultas (7 a 10 años) en forma silvestre, en etapa reproductiva y con un claro inicio del desarrollo del escapo floral (conocido como ‘quite’) de las localidades Atetetla (AT), Paso Morelos (PM), Coacán (CO), Ayahualco (AY), Los Amates (LA), Motuapa (MO), Santa Cruz (SC), Trapiche Viejo (TV) en Guerrero.

Se cosechó una planta por localidad, seis de la especie *A. angustifolia* denominada ‘maguey sacatoro (1)’, una de *A. angustifolia* conocida como ‘maguey espadín (2)’ y una de *A. cupreata* Trell & Berger denominada ‘maguey papalote (3)’. De cada planta cosechada se recolectaron 5 hojas (pencas) basales y el tallo (piña); las hojas se fraccionaron en dos partes: basal y apical. Etiquetadas las plantas, se trasladaron al laboratorio de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Zacatecas para llevar a cabo los análisis físicos, químicos y nutrimentales de cada planta de maguey mezcalero en estudio. A continuación se describe el proceso de análisis de las muestras en el laboratorio:

### **5.3.2 Procesamiento físico de la muestra de maguey**

Se cortaron fragmentos pequeños (aproximadamente 1- 2 cm) de las plantas de maguey previamente lavadas con agua desionizada y se secaron en una estufa a 80°C durante 72 horas. Posteriormente, se molieron hasta un tamaño de partícula de aproximadamente 2 mm para continuar con los análisis fisicoquímicos y nutrimentales.

### **5.3.3 Análisis fisicoquímicos: humedad, materia seca, potenciometría, acidez**

Posterior al procesamiento físico, se tomó una fracción de muestra para determinar las variables de humedad y materia seca por desecación (AOAC, 1995); el pH se realizó utilizando preparaciones de extracto de maguey en agua destilada en una proporción 1:5 peso/volumen (Delgadillo *et al.*, 2015) y la acidez se determinó por titulación.

### **5.3.4 Grados Brix (°Bx)**

Para determinar °Bx, se llevó a cabo un muestreo convencional en campo, en el cual se muestrearon cinco agaves por localidad, en total se evaluaron 40 plantas (30 de maguey sacatoro, cinco de maguey espadín y cinco de maguey papalote); utilizando magueyes de entre 7 a 10 años de edad. Dicha evaluación se hizo en maguey sacatoro de septiembre a noviembre de 2016 y en los magueyes espadín y papalote de febrero a marzo de 2017.

La determinación de °Bx en las poblaciones de maguey sacatoro, se realizó en la hoja basal de la planta, se tomaron los primeros 10 cm de la base de la hoja y para las poblaciones de maguey espadín y papalote se realizó el mismo procedimiento pero la determinación se hizo en la piña. Las determinaciones de °Bx se hicieron en distintas partes de la planta (base de hoja y piña) debido a que la mayoría de los productores no permitieron realizar el estudio en las piñas para evitar que se generará alguna plaga y que posteriormente ya no las pudieran aprovechar para la producción de mezcal.

Se utilizaron unas gotas de extracto de maguey en crudo y en fresco y se colocaron en un refractómetro a 25°C, marca Mettler Toledo, modelo Quick-Brix 60 (Pomeranz y Meloan, 1994). Un refractómetro, determina el índice de refracción de un haz de luz que atraviesa el medio en el cual se encuentran los azúcares (Bautista *et al.*, 2001).

### **5.3.5 Composición bromatológica: carbono orgánico total, cenizas, fibra cruda, extracto etéreo, nitrógeno, proteína cruda, azúcares reductores totales**

Para determinar la composición bromatológica se empleó la metodología de la AOAC (1995), cada muestra se analizó por triplicado, empleando materia seca.

Entre los parámetros determinados se analizó carbono orgánico total (COT) el cual se obtuvo mediante la siguiente ecuación:  $COT=100 - (\% C/1.8)$ , cenizas (Cz), fibra cruda (Fc), extracto etéreo (EE), nitrógeno (N) y, contenido de proteína cruda (Pc). Los azúcares reductores totales (ART) se determinaron utilizando la técnica de Lane y Eynon, propuesta por la NOM-070-SCFI-2016.

### **5.3.6 Concentración de componentes minerales en maguey**

Las muestras previamente deshidratadas y pulverizadas se disolvieron en un proceso de digestión, es una mezcla ácida de HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (convirtiendo en iones el analito) y se evaluaron los siguientes minerales, calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y molibdeno (Mo) por espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-OES (Perkin Elmer Optimus 7000) (Jurca *et al.*, 2011).

### **5.3.7 Análisis estadístico**

Para evaluar las diferencias de los distintos parámetros proximales y nutrimentales en las formulaciones, se realizó un análisis de varianza ANOVA de un factor en el paquete estadístico SPSS versión 23. Para determinar diferencias significativas entre las muestras, se utilizó la prueba de Fisher, con un valor de significancia de  $p \leq 0.05$ . Ante la presencia de diferencias estadísticas, se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey (1953) para la comparación de medias.

## **5.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y NUTRIMENTAL DEL SUELO EN LOS CULTIVOS DE MAGUEY**

### **5.4.1 Levantamiento de suelos y hojas de maguey**

El muestreo que se llevó cabo para el levantamiento de suelos y hojas de maguey fue al azar convencional: es una técnica de muestreo no probabilístico donde los sujetos son seleccionados dada la conveniente accesibilidad del investigador.

Cada sitio de muestreo fue georreferenciado con un sistema de posicionamiento global (GPS), marca Garmin, modelo eTrex 30. Con ayuda de los productores se identificaron las plantas de maguey para tomar las muestras y se colectaron tres pencas basales por espécimen, por cada espécimen se colectó una muestra de suelo durante septiembre de 2016 a marzo de 2017; la muestra de suelo se realizó a través del método AS-01 de la NOM-021-RECNAT-2000.

De cada localidad se colectaron cinco especímenes. Una vez obtenida la muestra, se homogeneizó, se etiquetó y se trasladó al laboratorio de Nutrición y Fisiología Vegetal (NyFV) de la Maestría en Ciencias Agropecuarias para posteriormente someterla a los procesos de preparación física de la muestra.

Se analizaron 40 muestras de suelos y 40 muestras de hojas de maguey; las especies de planta que se analizaron corresponden a *Agave angustifolia* y *Agave cupreata*.

### **5.4.2 Procesamiento físico de la muestra de suelo y de hoja de maguey**

La preparación de la muestra incluye el traslado, recepción, registro, secado, molienda, tamizado, homogeneizado, y el almacenamiento para su conservación (NOM-021-RECNAT-2000), para evitar contaminación de la muestra debido a que los elementos a estudiar se encuentran generalmente a muy bajas concentraciones.

#### Secado, Molienda, Tamizado y homogeneizado de la muestra de suelo

El secado se realiza con el propósito de facilitar el manejo de la muestra, mejorar la homogeneización y disminuir los cambios químicos indeseables. El secado de la muestra se lleva a cabo a temperatura ambiente, por tanto, el tiempo en este proceso fue de aproximadamente 15 días (dependiendo del tipo de suelo), consistió en extender la muestra sobre una charola de aluminio, logrando una profundidad inferior de 3 cm.

Para realizar la molienda, se limpió la muestra con anticipación, quitando las rocas y el material orgánico visible, los terrones que no se puedan deshacer con la mano se muelen con un mazo de madera.

El suelo se pasó por un tamiz de malla N. 10 que tiene aberturas de dos mm de diámetro. Este tamaño de partícula es conveniente para la mayoría de los análisis requeridos con el propósito de diagnosticar la fertilidad de un suelo. También se molió una cuarta parte de la muestra en un molino de ágata mismas que se tamizaron con una malla N. 230 (0.063 mm). Una vez tamizado el material se homogeneizó la muestra para evitar sesgo en la selección de la muestra que se destinó para las determinaciones analíticas, y finalmente se homogeneizó y almacenó para su posterior análisis en el laboratorio.

#### Lavado, triturado, secado, y pulverizado de la muestra de maguey

Cada hoja de maguey pasó por un procesamiento físico, el cual consistió en lavado con agua desionizada, secado a temperatura ambiente, triturado en fragmentos pequeños (dos cm), secado en una estufa a 80°C durante 120 h, y pulverizado de la muestra para posteriores análisis de laboratorio.

#### **5.4.3 Lixiviación del suelo para determinar: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Alcalinidad**

Se pesó 1 g de la muestra de suelo en una balanza analítica, la muestra utilizada fue a un tamaño de partícula de 0.063 mm, posteriormente se colocó la muestra en un matraz Erlenmeyer y se le agregaron 100 mL de agua desionizada. Se agitó la muestra durante 1 h en un agitador orbital a 350 oscilaciones por minuto (opm). Transcurrido el tiempo del agitador, se deja reposar la muestra y se decanta en tubos de centrifuga de 50 mL, se pasan a una centrifuga a 400 revoluciones por minuto (rpm) durante 10 minutos, finalmente las muestras se filtraron con papel Whatman No. 1 en matraces volumétricos de 100 mL. Finalizado este proceso, se vertió el filtrado en tubos de centrifuga de 15 mL, se etiquetaron y guardaron para posteriores análisis correspondientes.

#### **5.4.4 Procesamiento químico de la muestra de suelo y de hoja maguey**

##### Preparación de la muestra de suelo para determinar macro y micronutrientes: digestión parcial

Para la determinación de la concentración total de metales, primero se llevó a cabo una digestión de la muestra con agua regia, para destruir el material orgánico. La concentración soluble se realizó en agua regia, considerada como la fracción pseudo total de metales pesados (Ure, 1996; Gupta *et al* (1996). La digestión se llevó a cabo mediante el método ISO11466.3. A continuación, se describe detalladamente el procesamiento de la muestra para su digestión.

Se pesaron 200 mg de la muestra de tamaño de partícula de 0.063 mm en una bomba de teflón Savillex.

Se agregó una cuarta parte de agua y HNO<sub>3</sub> hasta la mitad de la bomba (cuidadosamente gota a gota). Se taparon las bombas (lo más apretado posible) y colocaron sobre una plancha térmica a 80°C por 12 h. Transcurrido el tiempo, se apagaron las planchas, se dejaron enfriar aproximadamente 2 h, se destaparon las bombas (cuidadosamente sin perder líquido) y se procedió a evaporar. Se colocaron las bombas sobre la plancha térmica a 120 – 180°C (máximo 200 °C), hasta que se evaporó todo el líquido (evitar que se seque completamente, para evitar que se quemen las bombas). Ya evaporado el líquido, se dejaron enfriar las bombas por 2 h aproximadamente y se agregó agua regia, porción 3:1 (3 de HCl y 1). Nuevamente se repitió exactamente el mismo proceso con agua regia.

Transcurrido el tiempo, se apagaron las planchas, se dejaron enfriar aproximadamente 2 horas. Se agregaron aproximadamente 10 mL de HNO<sub>3</sub> 2X (destilado 2 veces), se colocaron nuevamente las bombas sobre la plancha térmica a 80°C por 12 horas.

Transcurrido el tiempo, se apagaron las planchas, se dejaron enfriar aproximadamente 1 h y finalmente se filtraron las muestras. El proceso de filtrado consistió en, colocar dentro de una campana de extracción un soporte universal, en el cual se colocó un embudo de vidrio al que se le puso un papel filtro Watman N° 42 y se vació la muestra al embudo para su filtrado (se lavaron muy bien las paredes de la bomba con HNO<sub>3</sub> al 2%) hasta obtener 10 mL de muestra en tubos de centrifuga de 10 mL.

### Preparación de la muestra de hoja de maguey para determinar macro y micronutrientes: digestión vía húmeda

Se pesaron 100 mg de tamaño de partícula 0.063 mm, el cual se colocó en una bomba de teflón Savillex.

Se adicionaron 10 mL de HNO<sub>3</sub> 2x (ultrapuro) y se procedió a calentar las bombas sobre una plancha térmica a <200°C por 12 h. Transcurrido el tiempo, se apagaron las planchas, se dejaron enfriar aproximadamente 2 h, se destaparon las bombas (cuidadosamente sin perder líquido) y se procedió a evaporar hasta casi sequedad (colocando las bombas sobre la placa térmica a 120 – 180°C), hasta que quede sólo una perlita. Una vez evaporada la muestra, se adicionaron 80 gotas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% (colocarse sobre la pared de la bomba muy lentamente).

Ya adicionado el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, se colocaron nuevamente las bombas sobre la plancha térmica a 150°C (destapadas), para iniciar a evaporar, hasta quedar una perlita blanca. Una vez evaporado el líquido se dejaron enfriar las bombas por 2 h aproximadamente y se agregaron 10 mL de HNO<sub>3</sub>. Se procedió a cerrar las bombas y colocarlas sobre la plancha térmica a 80°C por 12 h. Transcurrido el tiempo, se dejaron enfriar aproximadamente 1 h, se evaporó el HNO<sub>3</sub> y se dejaron enfriar las bombas para volver a adicionar 2 a 3 mL de HNO<sub>3</sub> al 2% y calentar en la plancha térmica por dos h.

Finalmente, se filtró la muestra a 10 mL con Watman N. 1. El proceso de filtrado se realizó en una campana de extracción, lavando las paredes de la bomba con HNO<sub>3</sub> al 2% hasta obtener 10 mL de muestra en tubos de centrifuga de 15 mL.

Notas:

\*El estándar utilizado fue para hojas de planta: TOMATO 1573

\*Se digirió un blanco

\*se digirieron dos repeticiones (una cada 15 muestras).

#### **5.4.5 Determinación de macro y micronutrientes en suelos y hoja de maguey**

Los nutrientes minerales en suelos fueron extraídos por digestión parcial siguiendo la metodología propuesta por Tessier *et al.* (1979) con HNO<sub>3</sub> + HCl en una relación 3:1, utilizando una plancha caliente a <200 °C, posteriormente la solución se filtró en papel filtro Watman N.1, la lectura se realizó utilizando un espectrómetro de emisión atómica con plasma acoplado

inductivamente (ICP-OES), marca Perkin Elmer, modelo Optima 3300 DV. Para su calibración y chequeo se utilizaron siete estándares de mg/L: Fe-Cu 50 mg/L, Mg 100 mg/L, Al – Mn 100 mg/L, Zn 150 mg/L, Ca 1000 mg/L, para estandarizar el análisis cada cinco muestras se usaron dos estándares de alta pureza, CWW-TM-D y CWW-TM-A (Talavera-Mendoza *et al.*, 2016). Los nutrimentos analizados fueron: Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Zn, K, Ni, Pb, Si, Sr, V, Al, Na, As y Nitrógeno fue analizado mediante el método de Kjeldhal (AOAC, 1995).

La lectura de Ca se llevó a cabo en un espectrómetro de absorción atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) en un equipo AAnalyst 100 de la marca Perkin Elmer Optima 3200 DV. Para su calibración y chequeo se utilizaron estándares de mg/L: 0.4, 0.8, 1.2, 2.0 y 3.6; la concentración mínima considerada como límite de detección fue de 0.025 mg/L.

En las hojas de maguey también se determinaron los nutrimentos minerales a través de una extracción por digestión parcial – vía húmeda para la liberación de los elementos en la planta, siguiendo la metodología propuesta por Tessier *et al.* (1979) y nitrógeno por el mismo método utilizado en suelos.

#### **5.4.6 Determinación fisicoquímica del suelo: potenciometría, conductividad eléctrica, materia orgánica, granulometría, alcalinidad, sulfatos, nitratos**

A cada muestra de suelo, se le determinó pH por potenciometría con un peachímetro portátil marca Oakton; conductividad eléctrica se midió con un conductímetro marca Horiba, Modelo ES-14E con compensación automática de temperatura y estabilización; materia orgánica se analizó por el método de calcinación (Bazan, 2017); granulometría por vía húmeda (Folk, 1975); alcalinidad se determinó por volumetría mediante el método volumétrico de valoración con HCl 0.02M utilizando fenolftaleína, verde de bromocresol y rojo de metilo como indicadores colorimétricos; los contenidos de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$  como N) fueron analizados por colorimetría usando un HACH modelo DR/890, se usaron  $\text{BaCl}_2$  y  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  para los sulfatos y para nitratos se usó un reactivo de reducción de cadmio.

#### **5.4.7 Análisis estadísticos**

Para determinar las diferencias en las características fisicoquímicas y nutrimentales de los suelos y de los tejidos foliares de las especies de *A. angustifolia* y *A. cupreata*, estudiados en ocho localidades diferentes del estado de Guerrero, se realizó un análisis de varianza ANOVA de un

factor; los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa estadístico SPSS versión 23. Se utilizó la prueba de Fisher con un valor de significancia de  $p \leq 0.05$ . Para el análisis de la evaluación se utilizó prueba de Tukey. La prueba de Tukey ofrece información de agrupación y comparación múltiple para identificar las diferencias entre los promedios.

## **5.5 PERCEPCIÓN Y CONOCIMIENTO TRADICIONAL DE LOS PRODUCTORES SOBRE EL USO Y MANEJO DEL MAGUEY.**

Durante el periodo enero de 2017 a marzo de 2018, se visitaron parcelas de agave y fábricas de mezcal en las localidades participantes, con el propósito de observar las prácticas productivas, el conocimiento ecológico y agronómico tradicional de los productores e intercambiar opiniones con ellos sobre los problemas que enfrentan, así como sus expectativas y alternativas a ellos. La información recabada se obtuvo mediante observación participante y la aplicación de entrevistas semiestructuradas a 13 informantes clave mayores de edad en las ocho localidades de estudio, quienes fueron identificados por referencia de sus pares y a partir de su participación y colaboración como productores de maguey y mezcal. Al entrevistado se le explicó con detalle el proceso de la entrevista y el objetivo que se pretendía, logrando así un dialogo abierto y cómodo entre el entrevistado y el entrevistador, lo cual permitió al entrevistador profundizar en sus comentarios. Las entrevistas se realizaron en las parcelas y en las mezcaleras, mismas que se registraron en audio grabadora para posteriormente realizar la transcripción en un procesador de textos de Microsoft Word para su análisis. Con la información recabada se llevó a cabo un análisis cualitativo, utilizando como apoyo para ello el software Atlas.ti 8, a través de la codificación o acontecimiento significativo para los entrevistados (Stratuss y Corbin, 2002), citación de texto, creación de memos y elaboración de redes conceptuales que facilitaran la comprensión de los hallazgos obtenidos en la investigación (San Martín, 2014; Quecedo, 2002). Los textos que aparecen en cursivas en el apartado de resultados y discusión (con excepción de los nombres científicos) son transcripciones *verbatim* de afirmaciones hechas por los informantes clave, en respuesta a preguntas formuladas a ellos durante las entrevistas.

## **VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---



## 6.1 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE *Agave angustifolia* PARA SU CONSERVACIÓN

La especie *A. angustifolia* crece en varios tipos de vegetación, desde dunas costeras hasta bosques de pino encino, con variación fenotípica en función del ambiente que ocupa, dando como resultado que la taxonomía intraespecífica de *A. angustifolia* sea complicada (García-Mendoza y Chiang, 2003). Sin embargo, el maguey sacatoro aunque pertenece al complejo *A. angustifolia*, la población tiene características fenotípicas que la diferencia de *A. angustifolia* Haw. Para caracterizar morfológicamente el *A. angustifolia*, se evaluaron 57 especímenes de agave, de los cuales 47 fueron de *A. angustifolia* sacatoro, 10 de *A. angustifolia* espadín y 10 de *A. cupreata* papalote, de las cuales se observaron variaciones importantes entre especímenes y entre poblaciones.

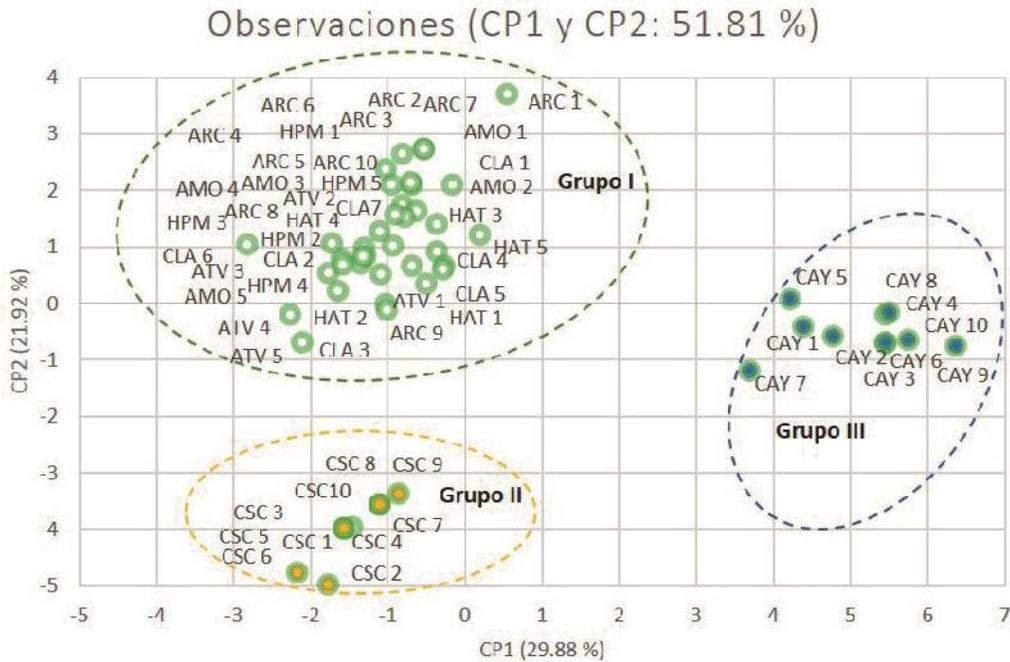
### 6.1.1 Análisis de componentes principales (ACP)

En el cuadro 2, se muestra que los primeros seis CP explican el 79% de la variación total en los datos. Por lo tanto, generan conocimiento básico sobre las relaciones entre variables y componentes principales. El CP1, explica el 30% de la variación total con autovalor de 5.976, mientras que el CP2 el 22% de la variación con autovalor de 4.385. Los CP3, CP4, CP5 y CP6 explicaron el 9.647, 6.774, 5.874 y 4.874 % de la variación morfológica con autovalores de 1.929, 1.355, 1.175, y 0.975, respectivamente.

**Cuadro 2.** Autovalores entre atributos morfológicos de agaves: los seis primeros CP

VARIABLES	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Altura de la planta	-0.135	-0.103	0.471	-0.156	0.007	0.001
Diámetro de la roseta	-0.079	-0.080	0.485	-0.358	0.061	0.072
Número de hojas	-0.091	0.278	0.238	-0.198	-0.243	-0.091
Longitud de la hoja	-0.169	-0.145	0.445	0.171	-0.305	-0.043
Relación longitud y anchura de la hoja	-0.130	0.085	0.236	0.694	-0.001	-0.054
Forma de la hoja	0.324	-0.113	0.007	-0.060	-0.222	0.157
Forma del corte transversal de la hoja	0.079	-0.201	-0.015	0.032	0.396	0.269
Borde de la hoja	0.394	-0.055	0.119	0.050	-0.001	-0.009
Textura de la hoja	0.225	-0.376	-0.052	-0.065	-0.071	-0.104
Glauescencia de la hoja	0.111	0.417	0.185	0.132	0.088	0.122
Color de la hoja	0.381	-0.044	0.077	0.045	0.030	-0.014
Intensidad del color de la hoja	-0.036	-0.186	0.125	0.029	0.123	0.786
Forma de espinas laterales	0.000	0.250	0.081	-0.309	0.560	-0.187
Color de espinas laterales	0.193	0.277	0.021	-0.315	-0.195	0.131
Uniformidad en el tamaño de espinas	0.111	0.417	0.185	0.132	0.088	0.122
Número de espinas laterales	-0.183	-0.311	0.133	-0.168	-0.102	-0.160
Distancia entre espinas laterales	0.297	-0.051	0.182	0.027	0.024	-0.042
Estrías en espinas laterales	0.361	-0.008	0.126	0.046	-0.034	-0.272
Forma de la espina terminal	-0.023	0.232	-0.195	-0.141	-0.483	0.268
Longitud de la espina terminal	0.379	-0.051	0.115	0.052	-0.065	0.019
Autovalor	5.976	4.385	1.929	1.355	1.175	0.975
Variabilidad (%)	29.882	21.925	9.647	6.774	5.874	4.874
Variabilidad acumulativa (%)	29.882	51.807	61.454	68.228	74.101	78.975

En el plano bidimensional (Fig. 2), el grupo I está conformado por especímenes de *A. angustifolia* ‘sacatoro’ y el grupo II, por especímenes de *A. angustifolia* Haw ‘espadín’ con correlación positiva entre sí. Es decir, los grupos I y II presentan una fuerte correlación, por lo que tiende a ubicarse y agruparse hacia el extremo izquierdo del CP2 en el plano bidimensional y el grupo III formado por especímenes de *A. cupreata* Trell & Berger ‘papalote’, muestra una correlación positiva entre especímenes, pero negativa con respecto a los grupos I y II.



**Figura 2.** Plano bidimensional de los CP1 y CP2. Grupo I (maguey sacaturo): Atetetla (HAT), Paso Morelos (HPM), Coacán (ARC), Los Amates (CLA), Motuapa (AMO) y Trapiche Viejo (ATV). Grupo II (maguey espadín): Santa Cruz (SCS). Grupo III (maguey papalote): Ayahualco (CAY).

El CP1, estuvo determinado de manera positiva y significativa por la forma, borde y color de la hoja, estrías en las espinas laterales, distancia entre espinas laterales y longitud de la espina terminal y de forma negativa influyó el número de espinas laterales, longitud de la hoja y la altura de la planta. El CP2, está determinado de forma positiva y significativa por la glauescencia de la hoja, uniformidad en el tamaño de las espinas, color de las espinas laterales, número de hojas y forma de espinas laterales; en el mismo componente influyeron de forma negativa la textura de la hoja y el número de espinas laterales.

El CP3, está conformado por diámetro de la roseta, altura de la planta y longitud de la hoja; mientras que los CP4, CP5 y CP6 están conformados por una sola variable, relación entre longitud y anchura de la hoja, forma de espinas laterales e intensidad del color de la hoja, respectivamente. Cabe mencionar que solo se presentan los resultados gráficos de los CP 1 y 2, debido a que visualmente es complicado comprender el análisis con los 6 CP.

Mora-López *et al.* (2011), tomaron en cuenta variables cuantitativas, como altura y diámetro de la roseta, longitud de la hoja, número, longitud, y distancia entre las espinas laterales, las cuales les

permitieron separar poblaciones del género *Agave*. Rivera-Lugo *et al.* (2018) en su investigación sobre la variación morfológica y genética del complejo *A. angustifolia*, mostró rasgos útiles para la identificación taxonómica de esta especie y, muestra con una dispersión fenotípica que los taxones se agrupan claramente según el nivel de cultivo y manejo que se le da a la planta. Sin embargo, las variables cualitativas aunque están poco influenciadas por las condiciones ambientales también son determinantes en la identificación de la especie (Franco e Hidalgo, 2003).

A pesar de que el *A. angustifolia* ‘sacatoro’ y el *A. angustifolia* ‘espadín’ muestran una correlación positiva entre sí, es claro que el maguey espadín se distingue por su mayor domesticación. Dicha distinción de esta especie se debe a que muestra hojas más grandes y mayor altura de la planta, a diferencia de los resultados implicaciones taxonómicas de la variación morfológica y genética de las poblaciones del complejo *A. angustifolia* de Rivera-Lugo (2018), en este trabajo no se consideró su etapa reproductiva, pero en los recorridos de campo se pudo corroborar que la inflorescencia y espina terminal en comparación con el maguey sacatoro es más grande. Rodríguez-Garay *et al.* (2009), determinaron con un estudio de ACP la relación entre el *A. tequilana* var. Azul y *A. angustifolia* var. Lineño, obteniendo una variabilidad total de 79% semejante a la obtenida en este estudio empleando la misma técnica pero con *A. angustifolia* ‘sacatoro’ y ‘espadín’.

Figueredo *et al.* (2014) a través de métodos multivariantes, con base en caracteres morfológicos, diferenciaron poblaciones de maguey silvestre y cultivado reflejando la selección artificial; mostrando que *A. hookeri* pudiera ser el extremo de un gradiente de domesticación en un complejo de especies, debido a la similitud que presenta con *A. inaequidens* cultivado. Por el contrario, los magueyes silvestres como *A. macroculmis* son plantas pequeñas y con espinas grandes. Tomando en cuenta que la protección mecánica de las espinas laterales es una característica importante en la planta hacia sus depredadores, debido a las condiciones de manejo incipiente en que se encuentra (Castañón-Nájera *et al.*, 2008).

De la misma manera, el maguey sacatoro, colectado en la localidad Los Amates en su forma silvestre, presenta roseta pequeña (80 cm de altura) y espinas laterales pequeñas y numerosas (más de 150 espinas laterales) en comparación con los ejemplares evaluados en las localidades Atetla, Paso Morelos y Motuapa con un manejo incipiente, que presentan una altura de planta

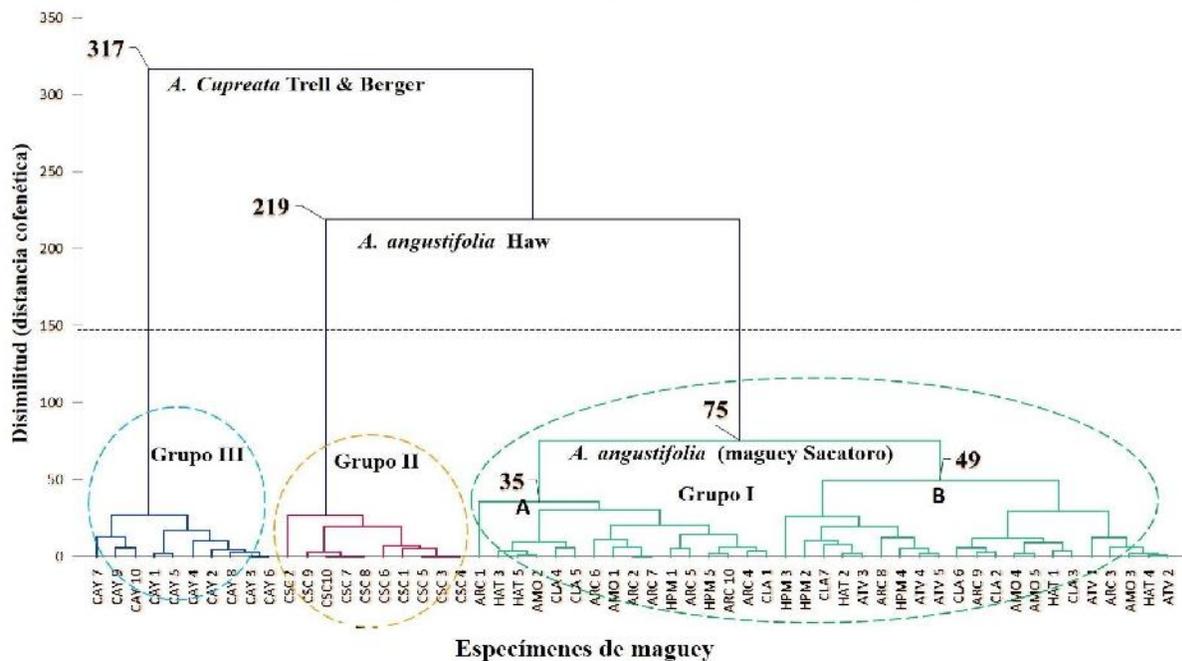
mayor de dos metros, espinas laterales grandes y en menor cantidad (de 60 a 80 espinas laterales en la hoja).

Cuando se caracteriza una población de especímenes de manera morfológica y se trabaja con variables cuantitativas y/o cualitativas es importante la reclasificación de variables basada en la correlación o pruebas de normalidad multivariadas, aplicando el teorema del límite central, se entiende que las muestras comprenden una población 'normal' (Castañón-Nájera *et al.*, 2008). La distribución y agrupamiento de los especímenes fue compleja; por lo tanto, se optó por considerar un análisis multidimensional para formar clases o grupos definidos tanto por similitudes como por disimilitudes morfológicas (Figueredo *et al.*, 2014; Avendaño-Arrazate *et al.*, 2015).

### **6.1.2 Análisis de Agrupamiento Jerárquico Aglomerativo (AJA)**

El análisis de agrupamiento jerárquico aglomerativo (AJA) representa, la manera en la que el algoritmo agrupa a los individuos a partir de la distancia euclidiana y luego los subagrupa, a partir de la distancia cofenética. Finalmente, el algoritmo reagrupa de forma progresiva las observaciones. La línea punteada presenta el truncamiento y muestra la agrupación definida por las distancias euclidiana y cofenética en tres grupos, representados por maguey sacatoro (grupo I), maguey espadín (grupo II) y maguey papalote (grupo III).

El grupo III, lo forma maguey papalote en una reordenación de los subgrupos con una distancia cofenética de 317. El grupo II, está formado por maguey espadín, a una distancia cofenética de 219 y el grupo I, conformado por maguey sacatoro. A pesar de que el grupo I, está bien diferenciado del grupo II y III a una distancia de disimilitud 75% aproximadamente, se divide en al menos dos subgrupos; el subgrupo A, a una distancia cofenética de 35, conformado por 16 especímenes: ARC1, HAT3, HAT5, AMO2, CLA4, CLA5, ARC6, AMO1, ARC2, ARC7, HPM1, ARC5, HPM5, ARC10, ARC4 y CLA1 y el subgrupo B, a una distancia cofenética de 49 conformado por 21 especímenes: HPM3, HPM2, CLA7, HAT2, ATV3, ARC8, HPM4, ATV4, ATV5, CLA6, ARC9, CLA2, AMO4, AMO5, HAT1, CLA3, ATV1, ARC3, AMO3, HAT4 y ATV2, lo cual confirma la agrupación del ACP (Fig. 3).



**Figura 3.** Dendrograma de especímenes de maguey en tres grupos: *A. angustifolia* Haw (maguey espadín), *A. angustifolia* (maguey sacatoro) y *A. cupreata* (maguey papalote)

Los especímenes de *A. angustifolia* sacatoro, aunque se ubiquen en un subgrupo separado, también son parte del grupo II que conforma el *A. angustifolia* ‘espadín’. Dicha subagrupación se debe al tipo de manejo de la planta. Los agaves evaluados en campo y algunas de sus características con las cuales se realizó el análisis ACP y el análisis AJA se observan en las Figuras de la 4 a la 12.

Los análisis de componentes principales y de agrupamiento jerárquico, fueron herramientas de utilidad para agrupar los especímenes de acuerdo a las similitudes o disimilitudes de las variables morfológicas de los agaves estudiados. Además, en otras investigaciones, utilizando caracteres cuantitativos y cualitativos por medio de análisis de ACP se han identificado las relaciones morfológicas y genéticas de dicha especie (Colunga-García et al., 1996; Castro-Castro, 2010). Sin embargo, de acuerdo con Rodríguez-Garay et al. (2009), un análisis genético, arrojaría mayor información acerca de la variación morfológica entre las poblaciones evaluadas.

Los resultados de las variables evaluadas, sirvieron para determinar las características morfológicas del taxón *A. angustifolia* 'sacatoro'. De acuerdo con Narez-Jiménez *et al.* (2014), la demanda de materia prima para poder mantener la producción de mezcal en las plantas cultivadas indica que los magueyes constituyen un recurso genético valioso que amerita ser estudiado para mejorar su uso y su conservación.



**Figura 4.** Población de *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro), Coacán, municipio de Atenango del Río.



**Figura 5.** Población de *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro), Atetetla, municipio de Huitzuco de los Figueroa.



**Figura 6.** Población de *Agave angustifolia* (maguey Sacator), Motuapa, municipio de Ahuacotzingo.



**Figura 7.** Población de *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro), Los Amates, municipio de Chilapa de Álvarez.



**Figura 8.** Población de *Agave angustifolia* (magüey Sacatoro), Paso Morelos, municipio de Huitzucó de los Figueroa.



**Figura 9.** Población de *Agave angustifolia* (maguey Sacatoro), Trapiche Viejo, municipio de Ahuacotzingo.



**Figura 10.** Población de *Agave angustifolia* Haw (maguey Espadín), Santa Cruz, municipio de Chilapa de Álvarez.



**Figura 11.** Población de *Agave cupreata* Trell & Berger (maguey Papalote), Ayahualco, municipio de Chilapa de Álvarez.



**Figura 12.** Población de *Agave cupreata* Trell & Berger (maguey Papalote), Ayahualco, municipio de Chilapa de Álvarez.

## 6.2 CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL Y FISICOQUÍMICA DE TRES *Agaves*

### 6.2.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos

A cada sección del maguey: apical, basal y tallo, se le determinó humedad, materia seca, pH y acidez (cuadro 3). La sección de hoja apical del espécimen papalote de la localidad Ayahualco es el que presenta el mayor porcentaje de humedad con 86.65% mientras que, la sección de la hoja basal con mayor porcentaje (83.94%) de humedad se encontró en el espécimen sacatoro de la localidad Los Amates y en la sección tallo, el espécimen sacatoro de la localidad Atetetla presentó mayor porcentaje de humedad con 77.29%. En promedio el porcentaje de humedad en la sección de hoja apical fue de 73.67%, en la sección basal fue de 76.35% y la sección tallo presentó 63.90%.

Los resultados del estudio mostraron un valor promedio de humedad de 70.57% en el maguey sacatoro, 76.79 en el maguey papalote y 70.13% en maguey espadín.

El porcentaje de humedad reportado por Jiménez-Muñoz *et al.* (2016) en *A. salmiana* fue de 92.3% mientras que Mora-López *et al.* (2011) reportan un valor de 85% en el mismo maguey. Estas variaciones, de acuerdo con esos autores, se relacionan con las condiciones climáticas, es decir, las variaciones en temperatura y precipitación. El maguey que contiene más agua es el papalote debido a que morfológicamente sus hojas son más gruesas y anchas que las de los magueyes sacatoro y espadín, siendo que esta última característica probablemente esté relacionada con una mayor capacidad de *A. cupreata* para conservar agua en sus tejidos.

La materia seca resulta de eliminar el agua contenida en los tejidos de la planta. El valor más alto correspondió a la sección hoja apical del espécimen sacatoro cosechado en la localidad Coacán con 38.19%; en el mismo espécimen pero en la sección de hoja basal presenta 28.37% y en la sección tallo del espécimen sacatoro cosechado en Trapiche 43.98%. En promedio los tres magueyes presentaron un valor similar de materia seca, 29.43% en maguey sacatoro, 29.76% en maguey espadín y 23.21% en maguey papalote. García-Herrera *et al.* (2010) reportaron para el género *Agave* spp. un porcentaje de materia seca de 11.09%, obteniendo un valor inferior estimado en este trabajo, lo que indica que una alta cantidad de materia seca contribuye en el rendimiento y calidad de la piña de la planta de agave (Zuñiga, 2013).

En las secciones apical, basal y tallo el pH de las tres poblaciones de maguey (sacatoro, espadín y papalote) osciló entre 4 y 6. Cabe mencionar que, en las etapas que comprende el proceso de elaboración de mezcal es de suma importancia controlar algunos parámetros como el pH, la temperatura y la concentración de biomasa, de lo contrario, se pueden generar otros compuestos no deseables en el mezcal, como: enoles, furfural e hidroximetilfurfural, entre otros (Téllez, 1998). Desafortunadamente, en Guerrero la mayoría de las fábricas mezcaleras no cuentan con este tipo de controles y por consiguiente, se refleja en las características sensoriales del mezcal.

La presencia de acidez indica la correlación entre la asimilación neta de CO<sub>2</sub> en las plantas y el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) (Nobel, 1990). Nobel y Meyer (1985) señalaron que la estimación de la productividad del agave se basa en los incrementos de acidez nocturna para el caso de *A. salmiana* y la relación de CO<sub>2</sub> que corresponde con aquella derivada de los análisis convencionales en peso seco. En este trabajo, los valores máximos de acidez se obtuvieron en la sección de hoja apical y se presentan en el maguey papalote con 0.19%, en la sección de hoja basal la mayor concentración de acidez fue de 0.28% en el maguey sacatoro y, en la sección tallo del mismo maguey, el porcentaje de acidez fue de 0.09%. Estos valores corroboran que el porcentaje de acidez obtenido en este trabajo es correspondiente a los reportados por Nobel y Meyer (1985) debido a que los muestreos se realizaron en el transcurso del día.

**Cuadro 3.** Parámetros fisicoquímicos de agaves del estado de Guerrero

Parte de la planta	Clave espécimen	Humedad (%)	Materia seca (%)	pH	Acidez (%)
Hoja apical	AT-1	74.12	25.88	4.94	0.18
	PM-1	70.92	29.08	4.99	0.16
	CO-1	61.81	38.19	5.53	0.08
	LA-1	79.09	20.91	5.30	0.06
	MO-1	71.05	28.95	5.22	0.14
	TV-1	70.84	29.16	5.15	0.14
	SC-2	74.85	25.16	5.23	0.11
	AY-3	86.65	13.36	5.09	0.19
Hoja basal	AT-1	81.25	18.75	4.65	0.28
	PM-1	74.27	25.73	5.32	0.11
	CO-1	71.63	28.37	4.19	0.10
	LA-1	83.94	16.06	5.34	0.10
	MO-1	74.69	25.31	5.54	0.06
	TV-1	72.43	27.57	4.95	0.14
	SC-2	74.23	25.77	5.22	0.08
	AY-3	78.36	21.64	5.27	0.09
Tallo	AT-1	77.29	22.71	5.20	0.03
	PM-1	57.95	42.05	5.47	0.02
	CO-1	57.59	42.41	5.55	0.03
	LA-1	72.64	27.36	5.73	0.02
	MO-1	62.74	37.26	5.30	0.03
	TV-1	56.02	43.98	5.37	0.04
	SC-2	61.63	38.38	5.25	0.02
	AY-3	65.36	34.64	5.35	0.03

AT: Atetetla, PM: Paso Morelos, CO: Coacán, LA: Los Amates, MO: Motuapa y TV: Trapiche, localidades donde se evaluó maguey sacatoro. AY: Ayahualco, localidad donde se evaluó maguey Papalote y SC: Santa Cruz, localidad donde se evaluó maguey espadín.

### 6.2.2 Análisis de grados brix (°Bx) en magueyes sacatoro, espadín y papalote

Los valores promedio de grados brix determinados en la hoja de los magueyes sacatoro oscilaron entre 6.4 y 15.1°Bx, que fueron muestreados en los meses de septiembre a noviembre de 2016. En el caso de los magueyes espadín y papalote, la evaluación se determinó sólo en la piña, en los meses de febrero a marzo de 2017. En el maguey espadín se obtuvo un promedio de 18.9 °Bx y en maguey papalote el promedio fue de 17.7 °Bx. Estos resultados permiten verificar que las piñas de maguey tienen mayor contenido de azúcares que las pencas, lo cual se confirma la validez de la practica realizada por los maestros mezcaleros guerrerenses, consistente en “rasurar muy bien la piña”, para obtener un mezcal de mayor calidad a partir de una mayor concentración de azúcares en los jugos extraídos (cuadro 4).

Según Bautista *et al.* (2001), el contenido de azúcares en °Bx para *A. tequilana* Weber durante el período enero-mayo del 2000, varió entre 25 y 30 °Bx. Sin embargo, no se podría hacer una comparación porque en este trabajo la determinación se hizo en penca y piña, en tanto que los autores mencionados la hicieron directamente del jugo de la piña y en diferente período. Además, debido a que los azúcares en el tallo de agave se encuentran en forma de polímeros de fructosa (fructosanos) (Wesche, 2000), su determinación en piña y en hojas presentó un valor bajo ya que se detectó sólo 6 a 15 °Bx, es ahí la respuesta de los mezcaleros guerrerenses que con su experiencia transmitida intergeneracionalmente han llegado a la conclusión de que deben cosechar las piñas maduras (cuando emerge el quiote) y retirar completamente todo residuo de hoja.

Con información de campo (entrevistas semiestructuradas y narración oral), los productores mencionan que “el mezcal cambia de sabor si se le dejan partes de la hoja a las piñas que se usarán para hacer mezcal”. De acuerdo con Bautista-Justo *et al.* (2001), las piñas de *A. tequilana* Weber tienen un mayor contenido de azúcares en época seca (enero a mayo del 2000), esto se debe a que el jugo contiene menos agua, por lo que los azúcares se encuentran concentrados en la piña y en época de lluvia se muestra en menor cantidad debido a que el jugo contiene más agua y por ello los azúcares se encuentran más diluidos.

**Cuadro 4.** Análisis de grados Brix en agaves del estado de Guerrero

<i>A. angustifolia sacatoro</i>						<i>A. angustifolia</i> espadín	<i>A. cupreata</i> papalote
Evaluación en hoja °Bx						Evaluación en tallo °Brix	
AT-1	PM-1	CO-1	LA-1	MO-1	TV-1	SC-2	AY-3
6.27	26.8	8.77	10.77	4.74	8.77	19.79	12.8
2.74	5.77	31.8	12.78	8.27	7.77	20.79	10.77
5.77	7.77	9.77	13.28	5.74	6.77	28.8	23.8
9.77	15.78	7.77	4.74	7.87	11.8	12.78	20.79
6.77	19.79	8.77	5.74	7.87	8.78	12.78	20.79
$\bar{x}$ 6.464	15.182	13.376	9.462	6.898	7.778	18.988	17.790

AT: Atetetla, PM: Paso Morelos, CO: Coacán, LA: Los Amates, AY: Ayahualco, SC: Santa Cruz, MO: Motuapa y TV: Trapiche viejo.

1. *A. angustifolia* (maguey sacatoro), 2. *A. angustifolia* (maguey espadín) y 3. *A. cupreata* Trell & Berger (maguey papalote).

### 6.2.3 Análisis de composición bromatológica de los magueyes estudiados

Los resultados obtenidos en la determinación bromatológica de los magueyes sacatoro, espadín y papalote se observan en los cuadros 5 a 7. Se trabajó con las secciones apical de la hoja (cuadro 5), basal de la hoja (cuadro 6) y con el tallo (cuadro 7).

El contenido de cenizas en la sección apical de la hoja de maguey sacatoro cosechado en las localidades Atetetla y Coacán fue mayor (23%) que en las plantas recolectadas en las localidades Paso Morelos y Los Amates que comparten similitud estadística con el maguey espadín de la localidad Santa Cruz. Sin embargo, el maguey que mostró diferencias altamente significativas entre las localidades fue el maguey sacatoro cosechado en las localidades Motuapa y Trapiche, seguido del maguey papalote (19%) cosechado en la localidad Ayahualco (cuadro 5). En dicho porcentaje de cenizas totales, las diferencias están relacionadas con el tipo de maguey y la sección de la planta que se analizó.

En general, en las hojas del *A. angustifolia*, variedades “sacatoro y espadín” es donde se encuentra mayor concentración de cenizas. Dicho valor de cenizas indica la cantidad de materia

inorgánica presente en el maguey y, de acuerdo con Morillas y Delgado (2012), este parámetro representa el contenido de minerales presentes en los alimentos.

Martinez *et al.* (2013) reportan para *A. angustifolia* un contenido de cenizas de 10.24% en el agave completo. Así mismo, Jiménez-Muñoz *et al.* (2016) reportan 10.09% de cenizas en maguey espadín, porcentaje en ambos casos inferiores a la mayoría de los encontrados en esta investigación. El cual pudiera estar relacionado con una alta capacidad de acumulación de sales minerales disponibles en el suelo.

**Cuadro 5.** Perfil bromatológico de la sección de hoja apical de agaves del estado de Guerrero

Sección de la planta	Localidades	Ceniza (%)	Carbono Orgánico	Fibra cruda	Extracto	Nitrógeno (%)	Proteína	Azúcares
			Total (%)	(%)	Etéreo (%)		Cruda (%)	Reductores Totales (%)
Hoja apical	AT-1	23.83 (±0.22) <sup>e</sup>	86.76 (±0.12) <sup>a</sup>	28.26 (±2.81) <sup>a</sup>	1.92 (±0.63) <sup>a</sup>	0.78 (±0.01) <sup>ab</sup>	4.89 (±0.07) <sup>ab</sup>	2.26 (±0.00) <sup>a</sup>
	PM-1	22.14 (±0.42) <sup>d</sup>	87.70 (±0.23) <sup>b</sup>	50.08 (±2.01) <sup>cd</sup>	1.97 (±1.04) <sup>a</sup>	0.90 (±0.01) <sup>ab</sup>	5.60 (±0.04) <sup>ab</sup>	2.14 (±0.00) <sup>a</sup>
	CO-1	23.21 (±0.56) <sup>e</sup>	87.11 (±0.31) <sup>a</sup>	43.65 (±1.72) <sup>c</sup>	1.78 (±0.49) <sup>a</sup>	0.63 (±0.00) <sup>a</sup>	3.91 (±0.03) <sup>a</sup>	2.97 (±0.00) <sup>c</sup>
	LA-1	21.13 (±0.05) <sup>c</sup>	88.26 (±0.03) <sup>c</sup>	47.99 (±1.18) <sup>cd</sup>	2.30 (±0.26) <sup>a</sup>	0.83 (±0.01) <sup>ab</sup>	5.16 (±0.07) <sup>ab</sup>	2.90 (±0.00) <sup>c</sup>
	MO-1	17.97 (±0.27) <sup>a</sup>	90.01 (±0.15) <sup>e</sup>	41.89 (±7.03) <sup>bc</sup>	2.20 (±0.25) <sup>a</sup>	1.35 (±0.69) <sup>b</sup>	6.11 (±2.17) <sup>b</sup>	5.06 (±0.16) <sup>e</sup>
	TV-1	17.69 (±0.11) <sup>a</sup>	90.17 (±0.06) <sup>e</sup>	52.80 (±2.80) <sup>d</sup>	2.18 (±0.04) <sup>a</sup>	0.76 (±0.01) <sup>ab</sup>	4.74 (±0.04) <sup>ab</sup>	3.95 (±0.00) <sup>d</sup>
	SC-2	21.96 (±0.60) <sup>cd</sup>	87.80 (±0.33) <sup>bc</sup>	53.91 (±0.66) <sup>d</sup>	1.94 (±0.12) <sup>a</sup>	0.94 (±0.03) <sup>ab</sup>	5.86 (±0.18) <sup>ab</sup>	2.72 (±0.00) <sup>b</sup>
	AY-3	19.47 (±0.15) <sup>b</sup>	89.18 (±0.08) <sup>d</sup>	35.57 (±1.38) <sup>ab</sup>	1.73 (±0.37) <sup>a</sup>	0.60 (±0.01) <sup>a</sup>	3.72 (±0.08) <sup>a</sup>	7.75 (±0.00) <sup>f</sup>

AT: Atetetla, PM: Paso Morelos, CO: Coacán, LA: Los Amates, AY: Ayahualco, SC: Santa Cruz, MO: Motuapa y TV: Trapiche viejo.

1. *A. angustifolia* (maguey sacatoro), 2. *A. angustifolia* (maguey espadín) y 3. *A. cupreata* Trell & Berger (maguey papalote).

Las medias con superíndice distinto en la misma columna difieren estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ); valor entre paréntesis = desviación estándar.

**Cuadro 6.** Perfil bromatológico de la sección de hoja basal de *Agaves* del estado de Guerrero

Sección de la planta	Localidades	Ceniza (%)	Carbono Orgánico	Fibra cruda	Extracto	Nitrógeno (%)	Proteína	Azúcares
			Total (%)	(%)	Etéreo (%)		Cruda (%)	Reductores Totales (%)
Hoja basal	AT-1	17.93 (±0.50) <sup>c</sup>	90.04 (±0.28) <sup>a</sup>	57.68 (±2.20) <sup>cd</sup>	0.91 (±0.27) <sup>a</sup>	0.44 (±0.02) <sup>a</sup>	2.77 (±0.10) <sup>a</sup>	3.59 (±0.00) <sup>b</sup>
	PM-1	18.81 (±0.26) <sup>c</sup>	89.55 (±0.15) <sup>a</sup>	55.71 (±0.97) <sup>cd</sup>	1.11 (±0.09) <sup>a</sup>	0.73 (±0.01) <sup>d</sup>	4.55 (±0.07) <sup>d</sup>	3.62 (±0.01) <sup>b</sup>
	CO-1	14.80 (±0.19) <sup>b</sup>	91.78 (±0.10) <sup>b</sup>	47.57 (±1.39) <sup>b</sup>	0.92 (±0.02) <sup>a</sup>	0.46 (±0.01) <sup>a</sup>	2.85 (±0.08) <sup>a</sup>	10.48 (±0.16) <sup>e</sup>
	LA-1	17.38 (±0.08) <sup>c</sup>	90.34 (±0.04) <sup>a</sup>	57.18 (±1.76) <sup>cd</sup>	1.37 (±0.19) <sup>a</sup>	0.63 (±0.01) <sup>c</sup>	3.91 (±0.09) <sup>c</sup>	5.38 (±0.03) <sup>c</sup>
	MO-1	10.90 (±2.22) <sup>a</sup>	93.95 (±1.23) <sup>c</sup>	52.78 (±6.44) <sup>c</sup>	3.81 (±4.82) <sup>a</sup>	0.52 (±0.01) <sup>b</sup>	3.23 (±0.05) <sup>b</sup>	1.26 (±0.06) <sup>a</sup>
	TV-1	12.01 (±0.11) <sup>a</sup>	93.33 (±0.06) <sup>c</sup>	63.86 (±2.07) <sup>d</sup>	1.28 (±0.04) <sup>a</sup>	0.52 (±0.02) <sup>b</sup>	3.24 (±0.11) <sup>b</sup>	9.49 (±0.05) <sup>e</sup>
	SC-2	16.76 (±0.39) <sup>bc</sup>	90.69 (±0.22) <sup>ab</sup>	60.57 (±6.38) <sup>cd</sup>	1.33 (±0.03) <sup>a</sup>	0.54 (±0.01) <sup>b</sup>	3.35 (±0.04) <sup>b</sup>	6.80 (±0.31) <sup>d</sup>
	AY-3	11.73 (±0.12) <sup>a</sup>	93.48 (±0.07) <sup>c</sup>	35.86 (±0.98) <sup>a</sup>	1.05 (±0.01) <sup>a</sup>	0.46 (±0.02) <sup>a</sup>	2.85 (±0.12) <sup>a</sup>	18.68 (±1.17) <sup>f</sup>

AT: Atetetla, PM: Paso Morelos, CO: Coacán, LA: Los Amates, AY: Ayahualco, SC: Santa Cruz, MO: Motuapa y TV: Trapiche viejo.

1. *A. angustifolia* (maguey sacatoro), 2. *A. angustifolia* (maguey espadín) y 3. *A. cupreata* Trell & Berger (maguey papalote).

Las medias con superíndice distinto en la misma columna difieren estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ); valor entre paréntesis = desviación estándar.

**Cuadro 7.** Perfil bromatológico de la sección tallo de agaves del estado de Guerrero

Sección de la planta	Localidades	Ceniza (%)	Carbono Orgánico	Fibra cruda	Extracto	Nitrógeno (%)	Proteína	Azúcares
			Total (%)	(%)	Etéreo (%)		Cruda (%)	Reductores Totales (%)
Tallo	AT-1	13.25 (±0.39) <sup>a</sup>	92.64 (±0.22) <sup>a</sup>	55.59 (±0.60) <sup>c</sup>	0.55 (±0.03) <sup>ab</sup>	0.38 (±0.12) <sup>bc</sup>	2.40 (±0.77) <sup>bc</sup>	17.19 (±0.24) <sup>a</sup>
	PM-1	4.20 (±0.05) <sup>a</sup>	97.67 (±0.03) <sup>e</sup>	13.56 (±2.02) <sup>a</sup>	0.31 (±0.02) <sup>a</sup>	0.29 (±0.01) <sup>bc</sup>	1.80 (±0.05) <sup>bc</sup>	18.70 (±0.43) <sup>bc</sup>
	CO-1	5.81 (±0.23) <sup>c</sup>	96.77 (±0.13) <sup>bc</sup>	11.39 (±3.33) <sup>a</sup>	0.34 (±0.05) <sup>ab</sup>	0.39 (±0.02) <sup>c</sup>	2.45 (±0.11) <sup>c</sup>	20.86 (±0.27) <sup>c</sup>
	LA-1	6.28 (±0.19) <sup>d</sup>	96.51 (±0.11) <sup>b</sup>	13.31 (±1.61) <sup>a</sup>	0.33 (±0.01) <sup>ab</sup>	0.22 (±0.00) <sup>a</sup>	1.39 (±0.02) <sup>a</sup>	26.07 (±1.38) <sup>d</sup>
	MO-1	4.99 (±0.30) <sup>b</sup>	97.23 (±0.17) <sup>d</sup>	9.55 (±0.30) <sup>a</sup>	0.94 (±0.62) <sup>b</sup>	0.26 (±0.01) <sup>ab</sup>	1.60 (±0.05) <sup>ab</sup>	22.42 (±0.11) <sup>cb</sup>
	TV-1	4.58 (±0.07) <sup>ab</sup>	97.46 (±0.04) <sup>de</sup>	26.29 (±0.34) <sup>b</sup>	0.44 (±0.06) <sup>ab</sup>	0.28 (±0.02) <sup>bc</sup>	1.77 (±0.11) <sup>bc</sup>	26.59 (±1.17) <sup>d</sup>
	SC-2	4.12 (±0.04) <sup>a</sup>	97.71 (±0.02) <sup>e</sup>	11.14 (±9.63) <sup>a</sup>	0.26 (±0.02) <sup>a</sup>	0.26 (±0.02) <sup>bc</sup>	1.64 (±0.13) <sup>bc</sup>	31.37 (±2.59) <sup>e</sup>
	AY-3	5.60 (±0.05) <sup>c</sup>	96.89 (±0.03) <sup>c</sup>	10.00 (±3.62) <sup>a</sup>	0.73 (±0.03) <sup>ab</sup>	0.29 (±0.02) <sup>bc</sup>	1.79 (±0.13) <sup>bc</sup>	26.15 (±0.41) <sup>d</sup>

AT: Atetetla, PM: Paso Morelos, CO: Coacán, LA: Los Amates, AY: Ayahualco, SC: Santa Cruz, MO: Motuapa y TV: Trapiche viejo.

1. *A. angustifolia* (maguey sacatoro), 2. *A. angustifolia* (maguey espadín) y 3. *A. cupreata* Trell & Berger (maguey papalote).

Las medias con superíndice distinto en la misma columna difieren estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ); valor entre paréntesis = desviación estándar.

Las tres poblaciones de maguey (sacatoro, espadín y papalote), presentaron un contenido de carbono orgánico (COT) similar, en el maguey sacatoro se obtuvo un promedio de 92.07%, en el maguey espadín 92.06% y en el maguey papalote 93.18%.

El maguey sacatoro cosechado en las localidades Motuapa y Trapiche presentó concentraciones de COT estadísticamente más altas en las tres secciones, apical y basal de la hoja y tallo. En general, en los tres magueyes la mayor concentración de COT se registró en el tallo, seguido de la sección de hoja basal y a su vez la sección de hoja apical (cuadro 5 a 7).

La importancia del COT, deriva en la descomposición de las plantas debido a que es usado como un test de pureza del cual dependerá el crecimiento bacteriano y las actividades metabólicas de los organismos vivos, o de compuestos químicos (Hendricks, 2006). Esto indica que los tres magueyes por la concentración de COT que presentan, tienen capacidad de permitir un crecimiento bacteriano y actividades metabólicas óptimas para la integración de estas plantas al suelo.

En la sección de hoja apical, el maguey sacatoro cosechado en las localidades Coacán, Paso Morelos y Los Amates no mostraron diferencias significativas en su contenido de fibra cruda. Así mismo para el maguey sacatoro de la localidad Motuapa, Trapiche y el maguey espadín de la localidad Santa Cruz; el maguey sacatoro de la localidad Atetetla y el maguey papalote de la localidad Ayahualco todos ellos son iguales entre sí pero, diferentes entre las agrupaciones descritas (cuadro 5).

La mayor concentración de fibra cruda (52.78 a 63.86%) se presentó en la sección basal de la hoja del *A. angustifolia* variedades “sacatoro y espadín” muestreados en las localidades Motuapa, Paso Morelos, Los Amates, Atetetla, Santa Cruz y Trapiche (cuadro 6) y, donde se registró menor contenido de fibra cruda (9.55 a 13.56%) fue en el tallo, con excepción del maguey sacatoro cosechado en la localidad Atetetla (55.59%) (cuadro 7).

En general, se obtuvo un mayor porcentaje de fibra en las secciones apical y basal de la hoja (44.26%, 53.90%) y en la sección tallo el porcentaje fue inferior (18.85%). Lo cual muestra diferencias significativas relacionadas con el tipo de maguey y la sección de maguey que se

analizó. Por tanto, la cantidad de nutrimentos digestibles dependerá en gran medida de la cantidad de fibra contenida en las hojas de maguey, ya que entre más fibra menos digestibilidad en los nutrimentos.

En cuanto al contenido de extracto etéreo (EE) determinado en las secciones apical y basal de la hoja y tallo, no mostraron diferencias significativas. Sin embargo, en los tres magueyes *A. angustifolia* variedades “sacatoro y espadín” y *A. cupreata* “papalote” el contenido de EE oscilo entre 1.73 y 2.30% en la sección de hoja apical (cuadro 5), 0.91 y 3.81% en la sección basal de la hoja (cuadro 6) y 0.26 y 0.94% en la sección tallo (cuadro 7); mostrando que existe una alta concentración de EE en las hojas de las dos especies (*A. angustifolia* y *A. cupreata*) a diferencia de lo reportado por Jiménez-Muñoz *et al.* (2016), quienes muestran un contenido de EE de 0.08% en las hojas de *Agave* ‘lechuguilla’. De acuerdo con Peña-Valdivia *et al.* (2006) el EE en *A. tequilana*, *A. salmiana* y *A. angustifolia* corresponde a la presencia de terpenos y ácidos grasos de cadena larga; compuestos propios de los agaves que contribuyen a las características sensoriales del mezcal (León-Rodríguez *et al.*, 2006).

Respecto al nitrógeno, en la sección apical de la hoja de los tres magueyes (sacatoro, espadín y papalote) el nitrógeno no mostró diferencias significativas (cuadro 5). En la sección basal de la hoja se encontró un mayor contenido de nitrógeno en el maguey sacatoro cosechado en la localidad Paso Morelos, seguido del maguey cosechado en Los Amates. Sin embargo, el maguey sacatoro de las localidades Motuapa y Trapiche así como el maguey espadín mostraron diferencias significativas respecto a los anteriores y al maguey sacatoro y papalote de las localidades Atetetla, Coacán y Ayahualco (cuadro 6). En la sección tallo, el contenido de N, osciló entre 0.26 y 0.39% en *A. angustifolia* variedades “sacatoro y espadín” y *A. cupreata* “papalote”, mostrando diferencias significativas en el maguey sacatoro cosechado en las localidades Los Amates y Motuapa (cuadro 7).

Rodríguez *et al.* (2010) y Sims (1987) mencionan que el contenido bajo de N se relaciona con la alta relación C:N, lo que significa que los sustratos de agave son más resistentes y su mineralización es más lenta. Por lo que se puede asumir que el agave es una fuente rica en fibra y minerales pero pobre en nitrógeno y proteína.

Así mismo, el contenido en proteínas resultó ser menor al 5%, a excepción de las muestras de sección apical donde la diferencia significativa entre magueyes y entre localidades es mínima. En el maguey sacatoro cosechado en la localidad Motuapa se muestra el mayor contenido de proteínas (6.11%), significativamente diferente respecto al maguey sacatoro cosechado en Coacán y el maguey papalote de Ayahualco. Sin embargo, muestran similitud en el maguey sacatoro cosechado en Atetetla, Paso Morelos, Los Amates, Trapiche y el maguey espadín de Santa Cruz (cuadro 5).

En la sección basal, los magueyes sacatoro y papalote muestran un contenido de proteína cruda estadísticamente igual en las localidades Atetetla, Coacán y Ayahualco, mismos que son significativamente diferentes del maguey sacatoro cosechado en la localidad Paso Morelos y a su vez de la planta cosechada en Los Amates, también diferentes de las plantas cosechadas en Motuapa, Trapiche y Santa Cruz (cuadro 6).

En la sección tallo, el maguey sacatoro cosechado en las localidades Atetetla, Paso Morelos, Trapiche y los magueyes espadín y papalote son estadísticamente iguales entre sí pero muestran similitud en contenido de proteínas respecto al maguey sacatoro de la localidad Coacán. Sin embargo, el maguey sacatoro muestra diferencia significativa en la planta cosechada en Los Amates con alta similitud con la planta evaluada en la localidad Motuapa (cuadro 7).

Silos-Espino *et al.* (2007) reportan para hojas de *A. salmiana* 5% de proteína cruda, 0.31% de nitrógeno ligado a FDA y lo más sobresaliente es el 3.03% de proteína disponible señalando que el maguey representa un forraje de mejor calidad en comparación con el nopal. Lo que hace que los resultados de esta investigación en la sección hoja apical de los magueyes evaluados de las localidades Paso Morelos, Los Amates y Motuapa sean de mejor calidad forrajera.

En relación a los azúcares reductores totales (ART), las plantas de *A. angustifolia* variedades “sacatoro y espadín” y *A. cupreata* “papalote” tanto en las hojas como en los tallos mostraron en general, gran variación en ART, en las hojas el contenido de ART fue de 1.26 y 18.68% (cuadro 5 - 7). En la sección tallo, se registró un mayor contenido de ART; igual que en la hoja, el tallo mostró alta variación significativa entre los tres magueyes (cuadro 7). Cabe mencionar, que, en general el *A. angustifolia* “sacatoro” mostró un contenido de ART que osciló entre 17.19 y 26.59%, en *A. cupreata* “papalote” se registraron 26.15% donde la mayor concentración de ART

se registró en *A. angustifolia* “espadín” con 31.37%. Las diferencias pudieran relacionarse con el tipo de manejo de la planta, la heterogeneidad del clima y a su vez del suelo.

De acuerdo con Bautista (2001), Téllez (1998) y Granados (1993), el contenido promedio de ART presentes en agave, debe oscilar entre 25 y 30% para considerarse de buena calidad. Por ende, las tres variedades de agave guerrerense se consideran de buena calidad, motivo por el cual, los resultados obtenidos son óptimos para la elaboración de mezcal, pues lo que se utiliza para dicho proceso sólo es la piña. En cuanto a la elaboración de mezcal, es fundamental analizar los azúcares en las piñas de maguey antes de labrar la planta, ya que el alcohol obtenido en la fermentación dependerá de la cantidad de azúcares reductores.

Los azúcares de los agaves son fructooligosacáridos, los cuales son la forma soluble de la inulina. El tracto digestivo humano no está adaptado fisiológicamente para digerir este tipo de azúcares. Sin embargo, es una buena alternativa para el consumo en personas que presentan problemas de diabetes (Godínez-Hernández *et al.*, 2016).

Además, de acuerdo con Wesche (2000), los azúcares de los agaves están constituidos de fructosa y sacarosa. Por tanto, sería interesante el proceso de hidrólisis en los agaves estudiados para evaluar dichos tipos de carbohidratos, de esta manera se le pudiera dar otro uso o alternativa a estos magueyes.

#### **6.2.4 Concentración nutrimental en el tallo (piña) y hoja (penca) de maguey**

El contenido de macro y micro minerales se muestra en los cuadros 8 y 9.

Los minerales son de importancia en la nutrición animal, ya que a partir de ellos se realizan funciones en el organismo que son imprescindibles para un desarrollo óptimo y una producción adecuada. Los resultados obtenidos en minerales de los magueyes sacatoro, espadín y papalote muestran que en penca el contenido de Ca fue de  $7.08\% \pm 2.00$  y en piña  $2.66\% \pm 1.47$ , la mayor concentración de Ca en penca (9.44%) y en piña (6.16%) se presentó en el maguey sacatoro de la localidad Atetetla, comparándolos con los resultados obtenidos en la investigación de Chávez-Guerrero y Hinojosa (2010) en muestras de bagazo de *A. salmiana*. Aunado a ello, Delgadillo *et al.* (2015) y Heredia-Solis *et al.* (2014) reportan que el bagazo de agave representa una fuente natural de Ca, en un estudio del bagazo de *A. salmiana* y *A. weberi* se muestra la presencia de Ca

en las fibras de estos magueyes con 3.46% en *A. salmiana* y 1.95% en *A. weberi*. La fibra es básicamente celulosa; la cual es un polisacárido estructural en las plantas, ya que forma parte de los tejidos de sostén (Chaabouni *et al.*, 2006).

Cabe mencionar que el bagazo de maguey es residuo hidrolizado que se considera también como esquilmo agrícola, debido a que no tiene ningún aprovechamiento en la mayoría de las áreas productoras de mezcal. El estado de Guerrero es el segundo productor de mezcal (COMERCAM, 2018); siendo este el único uso que se le da al agave, por lo que las pencas son desaprovechadas, a diferencia de lo que ocurre en los estados de Yucatán, Zacatecas, Jalisco y otros.

**Cuadro 8.** Contenido de minerales en hoja (penca) de plantas adultas de agaves: maguey sacatoro, espadín y papalote del estado de Guerrero

Especie de maguey	Clave espécimen	Ca (%)	P (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Mo (ppm)
Sacatoro	AT	9.44	0.15	0.33	1.36	0.03	1	18	14	73	-
	PM	9.11	0.11	0.43	1.54	0.03	4	14	13	69	3.2
	CO	6.74	0.05	0.21	1.47	0.01	2	25	10	115	-
	LA	7.4	0.1	0.58	1.46	0.02	1	26	8	85	-
	MO	4.61	0.06	0.43	1.46	0.02	12	37	21	6	-
	TV	5.3	0.07	0.9	1.45	0.02	3	20	10	52	-
Espadín	SC	9.09	0.11	0.43	0.79	0.01	4	20	13	111	2.9
Papalote	AY	4.91	0.06	0.43	1.61	0.02	-	20	14	45	2.1
$\bar{x}$		7.08	0.09	0.47	1.39	0.02	3.38	22.50	12.88	69.50	1.03
$\delta$		2.00	0.03	0.20	0.25	0.01	3.78	6.97	3.94	35.82	1.45
C. V (%)		28.23	38.77	43.58	18.24	37.80	111.92	30.97	30.63	51.55	141.16

AT: Atetetla, PM: Paso Morelos, CO: Coacán, LA: Los Amates, MO: Motuapa y TV: Trapiche viejo SC: Santa Cruz y AY: Ayahualco.  $\bar{x}$ = media;  $\delta$ = Desviación estándar; C. V=Coefficiente de variación. Pe= penca. *Agave angustifolia* (maguey sacatoro), *Agave angustifolia* (maguey espadín) y *Agave cupreata* Trell & Berger (maguey papalote).

También Delgadillo *et al.* (2015), mencionan que el bagazo del agave pudiera ser una alternativa para los requerimientos de Ca y Fe en los rumiantes. En este trabajo el Fe obtenido en las pencas

mostró un promedio de 69.50ppm  $\pm$  35.82 y en piña 47.00ppm  $\pm$  23.62. De estas, se registró mayor contenido de Fe en la sección penca de maguey sacatoro de la localidad Motuapa (115ppm) que en la sección piña 85ppm de maguey sacatoro de la localidad Atetetla. Tomando en cuenta que el hierro es un mineral abundante en el agave, el NCR (2007) reportó que los requerimientos para rumiantes de este mineral son de 40 y 50ppm por lo que, el consumo de magueyes sacatoro, espadín y papalote cubrirían los requerimientos nutricionales.

En comparación con el Fe, las concentraciones de Zn fueron considerablemente más bajas en todos los especímenes estudiados, en la penca se obtuvo un promedio de 22.50ppm  $\pm$  6.97 y en piña 32.00ppm  $\pm$  26.23, excepto en el maguey sacatoro de la localidad Motuapa en penca presenta 37ppm y en el maguey sacatoro de la localidad Los Amates en la sección piña se obtuvieron 91ppm.

Las concentraciones obtenidas de P, Mg, K y Na presentaron porcentajes similares e inferiores al 2% en pencas y piñas de maguey sacatoro, espadín y papalote. Lo cual muestra concentraciones estables en las plantas de maguey para este estudio.

Cruz *et al.* (2013), reportaron en *A. angustifolia* Haw el contenido nutrimental en tallo y hoja, en promedio obtuvieron en tallo (mg g<sup>-1</sup>) 0.3 P, 2.1 Mg, 1.6 K y 331.3 Na y en hoja 0.7 P, 7.8 Mg, 10.5 K y 23.28 Na. Así mismo, Enríquez *et al.* (2009), reportaron para plantas jóvenes de *A. angustifolia* con disponibilidad a diferentes cantidades de nutrimentos en sus hojas (mg g<sup>-1</sup>) 3.2 P, 13.0 Mg, 22.5 K, 21.2 N y 39.4 Ca. Los datos de Cruz, Enríquez y los resultados de este estudio sugieren que las concentraciones nutrimentales en agaves pudieran ser el resultado de la fertilidad del suelo.

Se muestra un mayor contenido de Cu (12ppm) en la penca de maguey sacatoro cosechada en la localidad Motuapa y, en la piña la mayor concentración (4ppm) se obtuvo en el maguey espadín colectado en la localidad Santa Cruz. Sin embargo, el contenido de Mn en penca mostró 21ppm a diferencia de la piña donde se registraron bajas concentraciones, 5ppm fue la mayor concentración registrada en los magueyes sacatoro de las localidades Coacán, Los Amates y Trapiche. A diferencia de los elementos anteriores que mostraron mayor concentración en la penca, el Mo mostró mayores concentraciones en la piña 37.8ppm y, en las pencas la mayor concentración fue de 3.2ppm en el maguey sacatoro evaluado en la localidad Paso Morelos.

**Cuadro 9.** Contenido nutrimental en tallo (piña) de plantas adultas de *Agaves*: maguey sacatoro, espadín y papalote del estado de Guerrero

Especie de maguey	Clave espécimen	Ca (%)	P (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Mo (ppm)
Sacatoro	AT	6.16	0.05	0.05	0.25	-	2	29	3	85	-
	PM	1.83	0.04	0.4	0.2	0.01	1	39	3	66	7.6
	CO	2.85	0.02	0.03	0.2	0.01	1	11	5	32	-
	LA	2.59	0.06	0.12	0.19	-	2	91	5	34	-
	MO	2.12	0.06	0.1	0.2	0.01	1	38	4	7	-
	TV	1.8	0.07	0.18	0.24	0.01	2	16	5	54	37.8
Espadín	SC	1.64	0.03	0.05	0.05	0.01	4	12	4	54	-
Papalote	AY	2.3	0.03	0.09	0.14	0.01	2	20	4	44	10.5
$\bar{x}$		2.66	0.05	0.13	0.18	0.01	1.88	32.00	4.13	47.00	18.63
$\delta$		1.47	0.02	0.12	0.06	0.00	0.99	26.23	0.83	23.62	16.66
C. V (%)		55.3 4	39.4 0	94.09	34.5 3	0.00	52.85	81.97	20.23	50.26	89.42

AT: Atetetla, PM: Paso Morelos, CO: Coacán, LA: Los Amates, MO: Motuapa y TV: Trapiche viejo SC: Santa Cruz y AY: Ayahualco.  $\bar{x}$ = media;  $\delta$ = Desviación estándar; C. V=Coeficiente de variación. Pi= piña.

*A. angustifolia* (maguey sacatoro), *A. angustifolia* (maguey espadín) y *A. cupreata* Trel & Berger (maguey papalote).

En general, las plantas de maguey sacatoro presentaron en sus hojas y tallos altos contenido en casi todos los elementos sometidos a evaluación, específicamente en Ca y Fe a diferencia del maguey espadín y papalote, cuya concentración en hoja y en tallo fue mínima. De los resultados obtenidos, las concentraciones más altas se obtuvieron de las hojas, por lo tanto, se infiere que el mezcal que se obtiene de los magueyes guerrerenses es de calidad ya que la parte de la planta usada para elaborar esta bebida es la piña y es la que mostró menos concentraciones en: Ca, P, Mg, K, Na, Cu, Mn y Fe, excepto en Zn y Mo. Sin embargo, pudiera ser el resultado del tipo de suelo ya que son elementos importantes en el mismo, los cuales contribuyen al crecimiento de las plantas.

## 6.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y NUTRIMENTALES DEL SUELO EN LAS POBLACIONES DE MAGUEY

### 6.3.1 Análisis fisicoquímico del suelo

La evaluación de las características del suelo permitió conocer el estado actual del mismo, ya que de esta manera se reflejan las limitantes del crecimiento y desarrollo de las plantas. Los resultados obtenidos en la determinación de la caracterización fisicoquímica del suelo de las ocho localidades se muestran en el cuadro 10.

Entre las características fisicoquímicas, el pH juega un papel importante en la disponibilidad de los nutrientes en el suelo. Además, se considera como una característica básica en el comportamiento del suelo ya que puede determinar la precipitación de algunos iones del sistema de cambio produciendo desequilibrios (Gallart, 2017). Los valores óptimos de pH en el suelo son de 6.0 a 7.0 (Pacheco, 2007). En esta investigación el pH oscila entre 6.27 a 7.71, lo cual de acuerdo con el departamento de agricultura de los estados unidos (USDA) se caracterizan como suelos neutros a medianamente básico. Por tanto, esta característica no se consideraría como una limitante para la disponibilidad de los nutrientes. Así mismo, Ramos *et al.* (2017), indican que los suelos con estos valores de pH permiten un buen desarrollo y crecimiento del cultivo de maguey. De tal manera, que no se recomienda cultivar maguey en suelos con problemas de acidez o alcalinidad (Valenzuela, 2003) debido a que, aunque se adapten a estas condiciones, la persistencia de plagas y enfermedades se van a reflejar en la fragilidad del sistema de manejo agrícola (Valenzuela, 2007).

Los valores de desviación estándar que se muestran en el pH, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE) y nitratos ( $\text{NO}_3^- \text{N}$ ) reflejan una homogeneidad en las regiones de estudio, es decir, una significancia estadística muy baja: pH 0.015, MO 0.512, CE 0.021 y  $\text{NO}_3^- \text{N}$  0.127; el sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en definitiva no muestra diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los suelos de las diferentes localidades estudiadas (cuadro 10).

**Cuadro 10.** Características fisicoquímicas de los suelos de Atetetla, Paso Morelos, Coacán, Los Amates, Motuapa, Trapiche, Sta. Cruz y Ayahualco

Localidades	pH	MO (%)	CE (mS/cm <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/kg)	Alcalinidad (mg/kg)	CIC Meq/100g
LD	---	---	---	1.00	0.100	---	---
Atetetla(1)	<b>6.78±0.35<sup>ab</sup></b>	2.43±0.34 <sup>ab</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	2.40±0.55 <sup>a</sup>	22.42±11.64 <sup>ab</sup>	26.80±5.40 <sup>bc</sup>	<b>32.569±17.20</b>
Paso Morelos(1)	7.03±0.06 <sup>ab</sup>	<b>3.48±0.92<sup>b</sup></b>	0.23±0.02 <sup>ab</sup>	<b>3.40±1.14<sup>a</sup></b>	<b>33.06±15.51<sup>b</sup></b>	37.20±2.68 <sup>cd</sup>	60.735±5.68
Coacán(1)	7.02±0.07 <sup>ab</sup>	2.34±1.22 <sup>ab</sup>	0.20±0.02 <sup>ab</sup>	1.80±1.30 <sup>a</sup>	24.72±8.29 <sup>ab</sup>	31.20±4.38 <sup>cd</sup>	<b>70.735±3.33</b>
Los Amates(1)	<b>6.27±1.54<sup>a</sup></b>	1.33±0.52 <sup>a</sup>	0.14±0.08 <sup>a</sup>	2.40±1.52 <sup>a</sup>	13.48±4.94 <sup>ab</sup>	<b>19.20±10.64<sup>a</sup></b>	42.028±17.30
Trapiche(1)	7.57±0.28 <sup>b</sup>	0.82±0.42 <sup>a</sup>	0.18±0.02 <sup>a</sup>	2.60±1.34 <sup>a</sup>	18.18±11.04 <sup>ab</sup>	43.67±18.62 <sup>cd</sup>	39.848±6.48
Motuapa(1)	7.71±0.14 <sup>b</sup>	1.06±1.72 <sup>a</sup>	<b>0.13±0.01<sup>a</sup></b>	1.60±0.89 <sup>a</sup>	<b>8.54±4.56<sup>a</sup></b>	<b>46.40±2.19<sup>d</sup></b>	37.195±0.45
Sta. Cruz(2)	6.94±0.22 <sup>ab</sup>	2.56±1.15 <sup>ab</sup>	0.30±0.10 <sup>b</sup>	3.00±1.00 <sup>a</sup>	23.68±8.37 <sup>ab</sup>	24.80±10.35 <sup>ab</sup>	57.570±2.16
Ayahualco(3)	7.19±0.17 <sup>ab</sup>	<b>0.62±0.28<sup>a</sup></b>	<b>0.30±0.06<sup>b</sup></b>	<b>1.40±0.55<sup>a</sup></b>	11.83±8.75 <sup>a</sup>	38.80±6.57 <sup>cd</sup>	52.037±9.49

Notas: *A. angustifolia*-sacatoro (1), *A. angustifolia*-espadín (2) y *A. cupreata*-papalote (3). Las medias con superíndice distinto en la misma columna difieren estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ); valor entre paréntesis = desviación estándar.

Como se muestra en el cuadro 10, los suelos que presentan un mayor porcentaje de MO se ubican en la región norte, específicamente en las localidades Paso Morelos, Atetetla y Coacán donde el clima es cálido seco 'Aw0' y seco 'BS1 (h') w' debido a que estos tipos de climas por sus características aceleran la descomposición de la MO (Thompson, 2005). La menor concentración de MO (0.62 %) se mostró en la localidad Ayahualco donde el clima es el más húmedo de los cálidos '(A)C(w2)' y templado 'C(w1)', estas concentraciones se pudieran asociar al tipo de suelo y al uso y manejo de las parcelas. Añadiendo además, que son suelos jóvenes con poco desarrollo pedológico (Reeves, 1997). Los suelos de Atetetla, Paso Morelos, Coacán, Sta. Cruz y Ayahualco son considerados como no volcánicos (INEGI, 1989) y los suelos de Motuapa y Trapiche son considerados volcánicos (INEGI, 2005); De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, la MO en los suelos no volcánicos presentan una concentración de media a alta y en los suelos volcánicos un contenido de MO muy bajo.

Así mismo, los suelos de las ocho localidades presentaron valores de conductividad eléctrica (CE) similar, en las localidades Santa Cruz y Ayahualco presentaron mayor CE (0.30 mS.cm-1);

de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, los valores menor a uno se deben a efectos despreciables de salinidad. El valor de CE es influenciado por la concentración y composición de sales disueltas en el suelo (Corwin, 2005). Por lo tanto, que se tengan como resultado valores bajos de CE es un buen indicador por la ausencia de sales. La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas y por lo mismo, un aumento en la CE traería como consecuencia la disminución de rendimiento en la planta de agave. De acuerdo con datos de campo, los productores mencionaron que *las plantas de agave no necesitan fertilizarse* (las sales constituyen a los fertilizantes inorgánicos), además, el muestreo de suelos se realizó en plantas semicultivadas.

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) son altos (32.569 - 70.735 meq/g). Lo cual tiene relación con la presencia de MO, debido a que aumenta la CIC en el suelo por proporcionar mayor capacidad de retención de nutrientes.

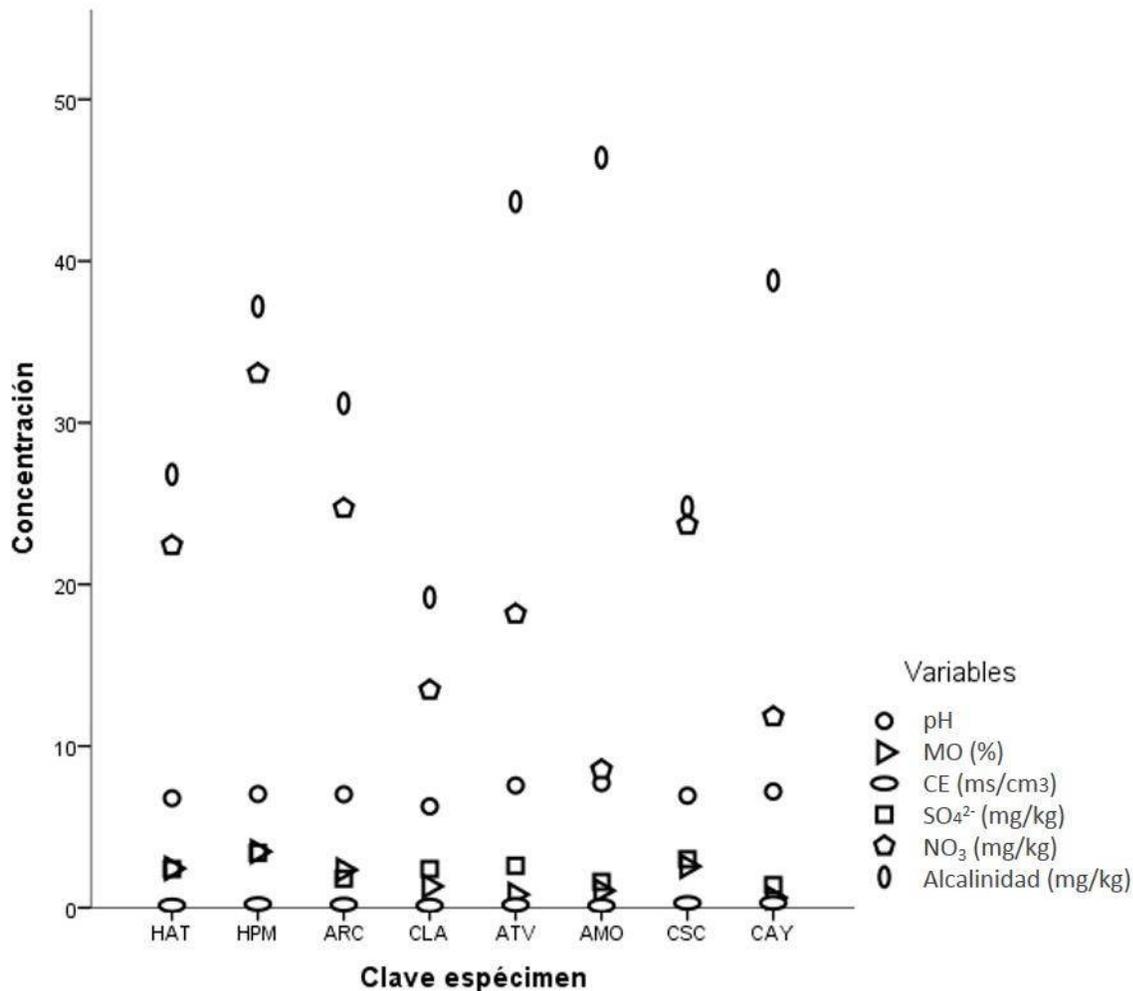
El catión dominante en el complejo de cambio es el alcalino, con predominio de  $\text{Na}^+$  (3.806 - 63.402 meq/g) sobre los alcalinotérreos  $\text{Ca}^{2+}$  (1.649 - 36.028 meq/g) y  $\text{Mg}^{2+}$  (0.214 - 1.428 meq/g) entre estos suponen más del 98% del total de bases. Así como los bajos contenidos en  $\text{K}^+$  (0.159 - 2.771 meq/g) cambiables, los cuales reflejan la naturaleza mineralógica de los suelos.

En el caso del sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) presente en el suelo, deriva del lavado de materiales sedimentarios salinos, la oxidación de sulfuro, descomposición de sustancias orgánicas, entre otras; son minerales que pueden estar enlazados entre sí por cationes de Al, Na, Ca, K, Mg y Fe, los cuales son comunes en la corteza terrestre. Sin embargo, la ausencia de sulfato en los suelos del área de estudio es debido a que es un compuesto de alta solubilidad y baja dureza. En el cuadro 10, se muestran concentraciones relativamente bajas de sulfatos, con una concentración menor (1.40 mg/kg en la localidad Ayahualco y mayor (3.40 mg/kg) en la localidad Paso Morelos. Asociando está última con las condiciones climáticas (cálido seco: Aw0) de dicha localidad ya que son suelos someros (Leptosol y cambisol) (Porta *et al.*, 2003).

El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es la forma estable de las estructuras oxidadas del nitrógeno, y a pesar de la baja reactividad química puede reducirse por acción microbiológica (Foth, 1986). La nitrificación produce N disponible en forma de  $\text{NO}_3^-$ , es decir, si el  $\text{NH}_4^+$  no se absorbe por la raíz de la planta de agave, por microorganismos o no es fijado en las arcillas éste se oxida a  $\text{NO}_3^-$ . En los

resultados de nitrógeno de nitratos la concentración oscila entre 8.54 mg/kg (mínima) de la localidad Motuapa a 33.06 mg/kg (máxima) en la localidad Paso Morelos. Por tanto, tomando en cuenta que en las dos regiones de estudio (norte y centro) la textura del suelo que predomina son limos y arcillas, es decir, son suelos moderadamente aireados por lo que el  $\text{NO}_3^-$  es estable y se mueve con facilidad con el agua del suelo (flujo de masa) a la superficie de las raíces. Sin embargo, es trascendente mencionar que el  $\text{NO}_3^-$  se lixivía con facilidad del suelo (Nobel, 1988), lo cual pudiera tener implicaciones en la contaminación de las aguas subterráneas. Además, considerando que las localidades estudiadas se ubican en cuencas exorreicas sería conveniente hacer un diagnóstico del ión  $\text{NO}_3^-$  en el agua, ya que la NOM-127-SSA1-2000 para el agua de uso y consumo humano establece que el límite permisible para el contenido de  $\text{NO}_3^-$  es de 10.0 mg/L y en el suelo estudiado es tres veces más la concentración.

Respecto a la alcalinidad, las muestras indican una concentración máxima de  $46.40 \pm 2.19$  mg/kg en el suelo de la localidad Motuapa y mínima ( $19.20 \pm 10.64$  mg/kg) en el suelo de la localidad Los Amates. Lo anterior muestra diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) relacionadas con el tipo de suelo y la localidad estudiada. Una alta concentración de alcalinidad en el suelo puede disminuir la disponibilidad en la mineralización de carbono y nitrógeno ya que tiene un efecto adverso sobre la biota del suelo y los procesos biológicos esenciales para el mantenimiento de la calidad del mismo (Pankhurst *et al.*, 2001).



**Figura 13.** Análisis de dispersión del valor promedio de los parámetros fisicoquímicos del suelo en el área de estudio

Nota: Localidades, HAT (Atetetla), HPM (Paso Morelos), ARC (Coacán), CLA (Los Amates), ATV (Trapiche), AMO (Motuapa), CSC (Sta. Cruz) y CAY (Ayahualco).

### 6.3.2 Análisis granulométrico del suelo

La composición mecánica de un suelo, es decir la distribución de los tamaños de las partículas que lo constituyen, es denominada textura (Siebe *et al.*, 2006). Autores como (Harbinson, 1986; Rieuwerts *et al.*, 1998) mencionan que el tamaño de partícula es una variable muy importante en los procesos de retención de metales, cuyos iones se adsorben en la superficie de las arcillas, principalmente por intercambio iónico y adsorción específica. Mostrando en los análisis estadísticos que los contenidos de limos y arcillas se correlacionan positivamente con el Cd, Zn y

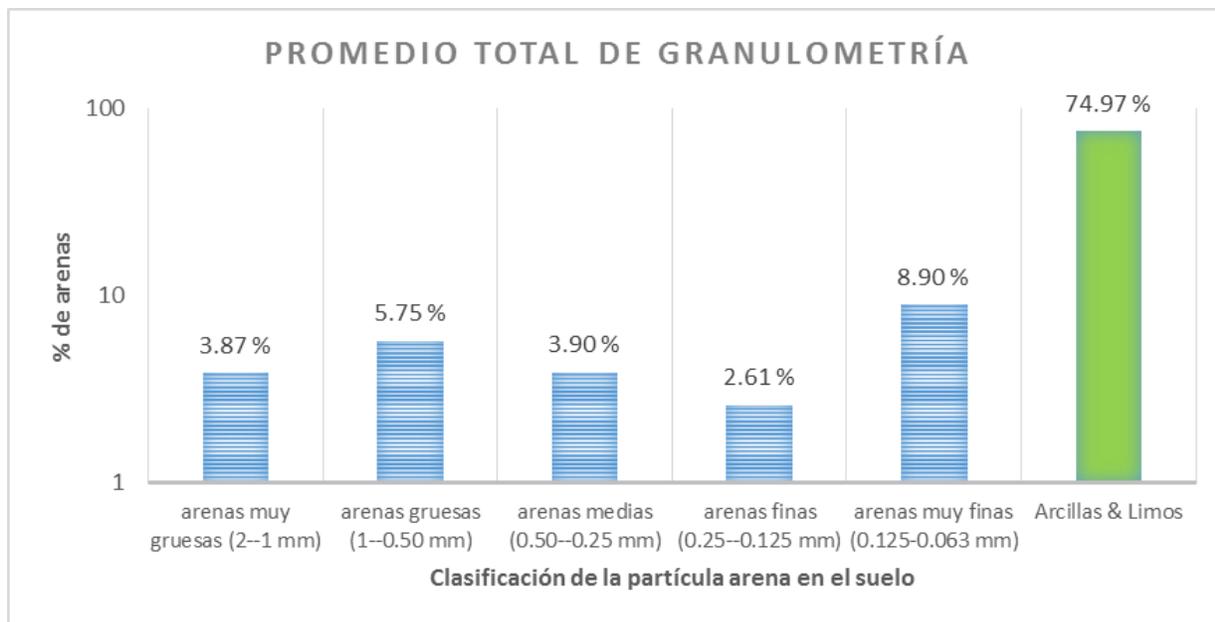
Pb potencialmente biodisponible, esto se debe a la mayor área superficial de los minerales de arcilla que favorecen la retención de metales pesados en formas intercambiables.

En el cuadro 11, se muestran los resultados de análisis granulométrico efectuado a 40 muestras representativas del área de estudio. Las partículas dominantes corresponden a la fracción de limos y arcillas ( $74.9 \pm 16.1$  %). Los contenidos de arenas fueron: muy gruesas ( $3.8 \pm 2.9$  %), gruesas ( $5.7 \pm 5.0$  %), medias ( $3.9 \pm 3.1$  %), finas ( $2.6 \pm 1.7$  %) y muy finas ( $8.9 \pm 4.2$  %), son sustancialmente bajos.

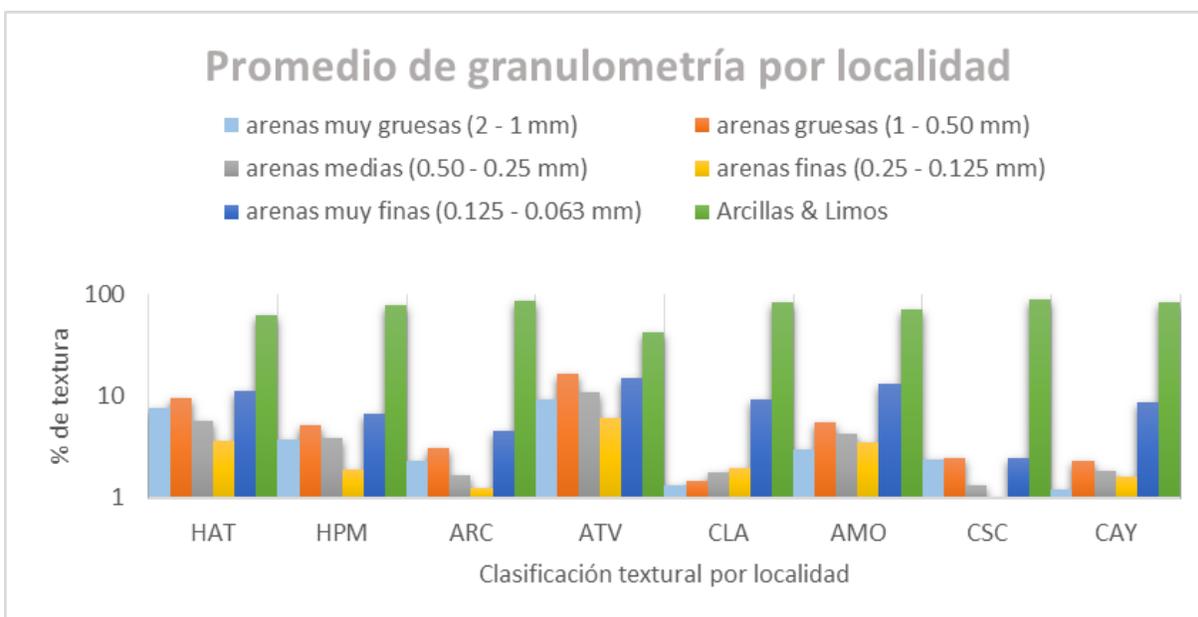
**Cuadro 11.** Datos promedios de la granulometría edáfica en el área de estudio

Clave espécimen	Arenas muy gruesas	Arenas gruesas	Arenas medias	Arenas finas	Arenas muy finas	Arcillas & Limos	Textura
	2-1 mm	1-0.50 mm	0.50-0.25 mm	0.25-0.125 mm	0.125-0.063 mm	<0.063 mm	
HAT	7.722	9.508	5.672	3.626	11.134	62.338	limoso
HPM	3.804	5.198	3.912	1.88	6.668	78.538	limoso
ARC	2.318	3.074	1.65	1.266	4.568	87.124	limoso
ATV	9.226	16.418	10.764	6.13	15.21	42.252	limoso
CLA	1.334	1.476	1.788	1.968	9.286	84.148	limoso
AMO	2.954	5.468	4.282	3.462	13.148	70.686	limoso
CSC	2.348	2.492	1.34	0.948	2.482	90.39	limoso
CAY	1.226	2.34	1.826	1.634	8.728	84.246	limoso
MIN	1.226	1.476	1.34	0.948	2.482	42.252	--
MAX	9.226	16.418	10.764	6.13	15.21	90.39	--
<b>MEDIA</b>	<b>3.867</b>	<b>5.747</b>	<b>3.904</b>	<b>2.614</b>	<b>8.903</b>	<b>74.965</b>	--
STD	2.988	5.014	3.180	1.716	4.276	16.111	--

Con base a los resultados de esta investigación se muestra que el método con el que se determinó la granulometría (Vía húmeda – Folk, 1974) no fue el correcto para este trabajo, por tanto, los resultados se ven afectados ya que el mayor porcentaje granulométrico se concentra en los lodos (Fracción desechada), constituidos de partículas primarias como limos y arcillas, siendo estas predominantes en las ocho localidades (figura 14 y 15). Esto se debe a que los suelos presentan textura limosa, lo que significa que sería conveniente un método más exacto para determinar el porcentaje de estas partículas como lo es el método de pipeta (Barrientos-Rivera, 2013), ya que de esta manera se determinaría el porcentaje específico de limos y arcillas además del porcentaje de arenas. Aunado a esto, también sería conveniente conocer su composición mineralógica, para determinar el tipo de arcilla dominante.



**Figura 14.** Promedio total de la granulometría edáfica en el área de estudio

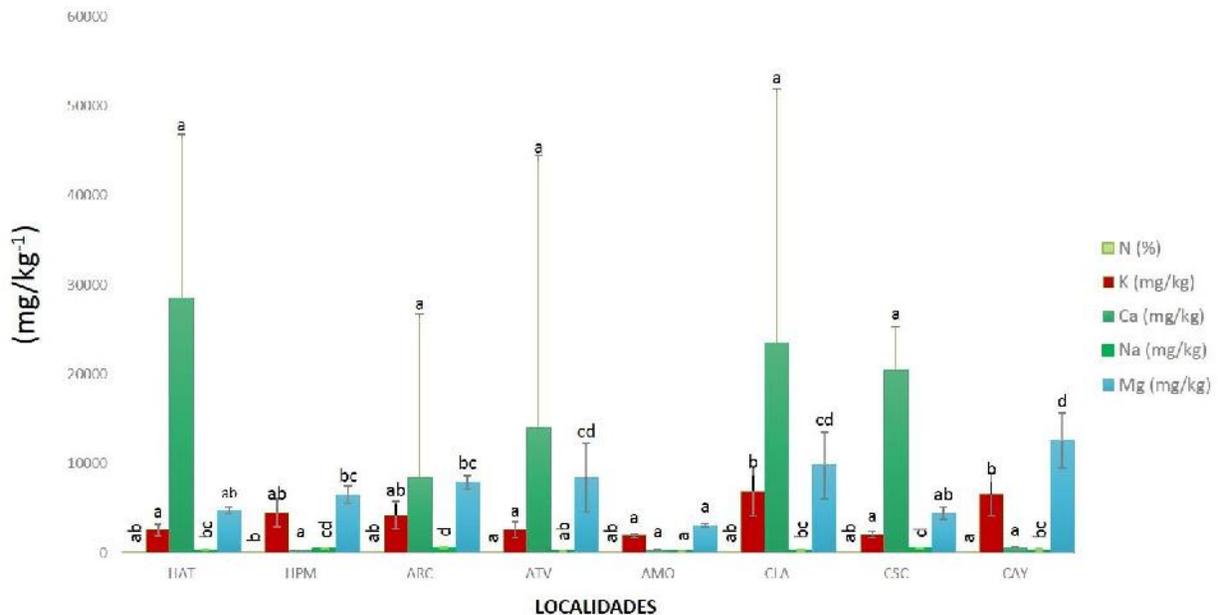


**Figura 15.** Promedios de la granulometría edáfica por cada localidad estudiada: Atetetla (HAT), Paso Morelos (HPM), Coacán (ARC), Trapiche (ATV), Los Amates (CLA), Motuapa (AMO), Sta. Cruz (CSC) y Ayahualco (CAY).

### 6.3.3 Concentración de macronutrientes en plantas de maguey y suelos del área de estudio

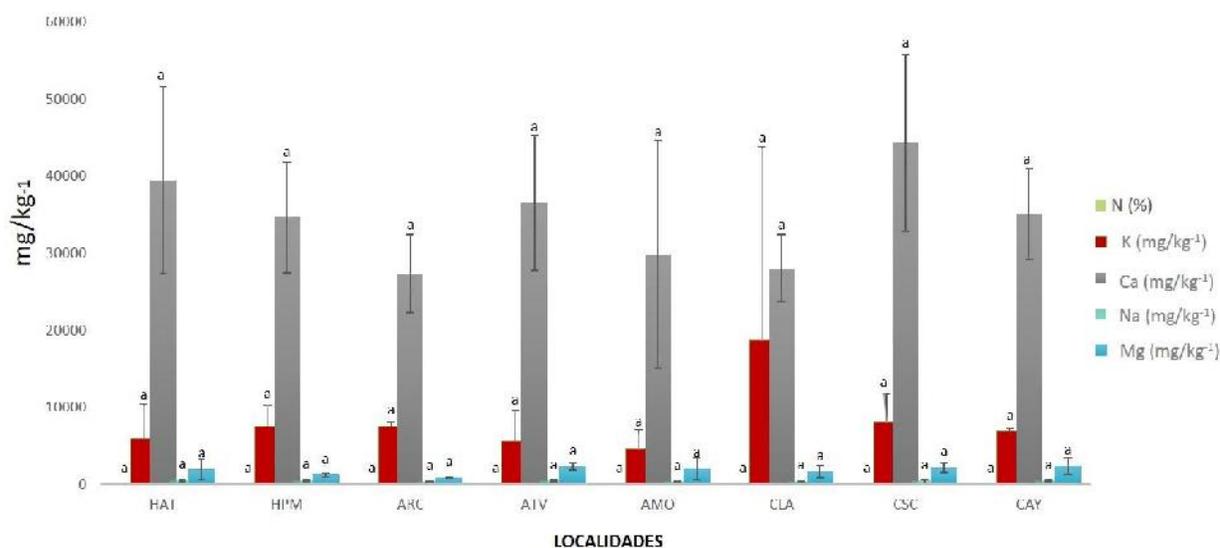
La relación planta-suelo ha sido poco estudiada en el género *Agave* por lo que se desconoce, la capacidad de estas plantas para absorber, transportar y almacenar nutrientes minerales, así como los mecanismos celulares y bioquímicos que utilizan, o si presentan sensibilidad o tolerancia a iones metálicos. Características que pudieran tener alguna relación o efecto por ser plantas con metabolismo CAM (Nobel *et al.*, 1988). A continuación, se presentará un diagnóstico de las concentraciones de macro y micronutrientes en *A. angustifolia* (sacatoro y espadín) y *A. cupreata* (papalote).

La concentración de macronutrientes en los suelos y plantas de agave del área de estudio, expresados en mg/kg, se muestran en las figuras 16 y 17. Los suelos de las ocho localidades fueron significativamente diferentes de las muestras de plantas de agave ( $P \leq 0.05$ ). Sin embargo, el  $Ca^{2+}$  aunque presentó concentraciones altas (valor máximo 28576 mg/kg) respecto a N,  $K^+$ ,  $Na^+$  y  $Mg^{2+}$  no presentan diferencia significativa estadísticamente.



**Figura 16.** Concentración de macronutrientes en los suelos del área de estudio

Nota: Las medias con diferente letra difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Localidades: Atetetla (HAT), Paso Morelos (HPM), Coacán (ATV), Motuapa (AMO), Los Amates (CLA), Sta. Cruz (CSC) y Ayahualco (CAY).



**Figura 17.** Concentración de macronutrientos en los tejidos foliares de maguey

Nota: La media etiquetada con diferente letra difiere estadísticamente según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Localidades: Atetetla (HAT), Paso Morelos (HPM), Coacán (ATV), Motuapa (AMO), Los Amates (CLA), Sta. Cruz (CSC) y Ayahualco (CAY).

El  $N_2$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  y  $Mg^{2+}$  son considerados macronutrientos esenciales en el suelo y, benéficos en el desarrollo de las plantas (Castillo-Godina *et al.*, 2016; Cruz *et al.*, 2013; Barrios *et al.*, 2006; Nobel, 1988).

Los suelos en el área de estudio muestran una concentración de  $Ca^{2+}$  mínima de 272 ( $\pm 152$ ) mg/kg y máxima de 28,576 ( $\pm 18215$ ) mg/kg, en cambio en las plantas la concentración mínima es de 27,319 ( $\pm 5073$ ) mg/kg y máxima de 44,309 ( $\pm 11411$ ) mg/kg. Por lo tanto, la elevada extracción de este mineral de la planta hacia el suelo explica por qué los agaves se desarrollan bien en suelos especialmente calizos y con pH de entre 7.0 a 8.0 (Barrios *et al.*, 2006).

En los planes de fertilización balanceada, el agave también requiere cantidades considerables de  $Mg^{2+}$ , en el suelo se muestra una concentración mínima de 3,112 ( $\pm 199$ ) mg/kg y una máxima de 12,580 ( $\pm 3088$ ) mg/kg, a diferencia de Barrios *et al.* (2006) que encontraron un valor máximo de magnesio de 84 kg/ha<sup>-1</sup>, en este estudio las plantas muestran una concentración mínima de 913 ( $\pm 48$ ) mg/kg y una máxima de 2,387 ( $\pm 1076$ ) mg/kg por lo que, es un nutrimento de importancia en altas concentraciones ya que permite la disponibilidad adecuada de  $N_2$  y  $K^+$ . Además, un adecuado aporte potásico (18,777 mg/kg – planta) constituye una buena alternativa para lograr

plantas sanas, tallos con mayor contenido de azúcares y menor dureza de sus fibras (Barrios *et al.*, 2013).

Sin embargo, Chirinos (2000) estableció los niveles nutrimentales que debe presentar una planta bien nutrida y con un perfil de óptimo rendimiento de *A. tequilana* Weber en Jalisco. En comparación con esta especie, *A. angustifolia* y *A. cupreata* del estado de Guerrero presentan similitud morfológica en tamaño y ciclo vegetativo, por tanto, no se deben considerar diferencias. No obstante, se muestra que de acuerdo a los límites de referencia de *A. tequilana* en las dos especies guerrerenses, los contenidos de N<sub>2</sub>, K<sup>+</sup> (excepto los suelos de la localidad Los Amates), Ca<sup>2+</sup> (excepto los suelos de la localidad Sta. Cruz) y Mg<sup>2+</sup> son relativamente bajos (cuadro 12). Así mismo, Barrios *et al.* (2006) establecieron experimentos de fertilización en los municipios Pilcaya y Mazatlán, Guerrero, donde evaluaron el K<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup> encontrando valores muy por debajo de los datos de referencia de Chirinos y de esta investigación. Para Pilcaya encontraron 150 ppm de K<sup>+</sup>, 2220 ppm de Ca<sup>2+</sup> y 400 ppm de Mg<sup>2+</sup>; para Mazatlán encontraron 93 ppm de K<sup>+</sup>, 5568 ppm de Ca<sup>2+</sup> y 455 ppm de Mg<sup>2+</sup>. De acuerdo con Nobel (1988), la respuesta óptima de desarrollo de *A. deserti*, *A. lechuguilla*, sumados *A. angustifolia* y *A. cupreata* dependen del nivel de N, P y K en el suelo.

Aunque el sodio no es un elemento esencial para las plantas, es utilizado en pequeñas cantidades como auxiliar para el metabolismo y síntesis de clorofila; el valor máximo en *A. angustifolia* es de 567 (±158) y en *A. cupreata* es de 496 (±108) mg/kg, el cual es mucho menor que lo reportado por Cruz *et al.* (2013) en *A. angustifolia* (58800 ppm) y en *A. karwinskii* (66000 ppm).

Al comparar el contenido macronutricional entre el suelo y los tejidos foliares de las plantas de *A. angustifolia* y *A. cupreata*, se encontró que, en general, las plantas de ambas especies no mostraron diferencias significativas (Tukey,  $\alpha=0.05$ ) en los contenidos de N<sub>2</sub>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup> (cuadro 12).

**Cuadro 12.** Concentración de macronutrientos tejidos foliares de maguey

CLAVE ESPÉCIMEN	N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Chirinos (2000)	1.50-3.50	18000-30000	30000-40000	---	5000-10000
<b>LD</b>	<b>0.050</b>	<b>0.050</b>	<b>0.050</b>	<b>0.050</b>	<b>0.050</b>
HAT(1)	0.619 ± 0.435 <sup>a</sup>	5982 ± 4437 <sup>a</sup>	39413 ± 12109 <sup>a</sup>	567 (±158) <sup>a</sup>	1942 (±1309) <sup>a</sup>
HPM(1)	0.430 ± 0.248 <sup>a</sup>	7533 ± 2769 <sup>a</sup>	34660 ± 7200 <sup>a</sup>	532 (±154) <sup>a</sup>	1272 (±216) <sup>a</sup>
ARC(1)	0.209 ± 0.128 <sup>a</sup>	7542 ± 573 <sup>a</sup>	27319 ± 5073 <sup>a</sup>	403 (±143) <sup>a</sup>	913 (±48) <sup>a</sup>
ATV(1)	0.343 ± 0.183 <sup>a</sup>	5644 ± 3861 <sup>a</sup>	36489 ± 8746 <sup>a</sup>	521 (±84) <sup>a</sup>	2301 (±438) <sup>a</sup>
CLA(1)	0.553 ± 0.306 <sup>a</sup>	<b>18777 ± 25007<sup>a</sup></b>	28028 ± 4393 <sup>a</sup>	441 (±101) <sup>a</sup>	1657 (±730) <sup>a</sup>
AMO(1)	0.258 ± 0.099 <sup>a</sup>	4622 ± 2457 <sup>a</sup>	29814 (±14791) <sup>a</sup>	382 (±71) <sup>a</sup>	2068 (±1475) <sup>a</sup>
CSC(2)	0.200 ± 0.092 <sup>a</sup>	8083 ± 3735 <sup>a</sup>	<b>44309 (±11411)<sup>a</sup></b>	465 (±254) <sup>a</sup>	2203 (±612) <sup>a</sup>
CAY(3)	0.228 ± 0.098 <sup>a</sup>	6885 ± 390 <sup>a</sup>	35102 (±5862) <sup>a</sup>	496 (±108) <sup>a</sup>	2387 (±1076) <sup>a</sup>

Notas: *A. angustifolia-sacatoro* (1), *A. angustifolia-espadín* (2) y *A. cupreata-papalote* (3). Las medias con superíndice distinto en la misma columna difieren estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ); valor entre paréntesis = desviación estándar. LD (límite de detección).

### 6.3.4 Concentración de micronutrientos en plantas de maguey y suelos del área de estudio

Los micronutrientos, también se denominan elementos traza, debido a que se encuentran en el agroecosistema en concentraciones relativamente bajas. Algunos oligoelementos, como el Cu (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe), Molibdeno (Mo) y boro (B) son esenciales para el crecimiento de las plantas (He *et al.*, 2005); participan por ejemplo como constituyentes de metaloproteínas o cofactores de enzimas metabólicas en los procesos de respiración y fotosíntesis (Yruela, 2013). A excepción de B, estos elementos también son metales pesados y tóxicos para las plantas en altas concentraciones (Nobel, 1988). Otros como el Co (Co), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), arsénico (As), bario (Ba), vanadio (V) y aluminio (Al) no son esenciales en la fisiología de las plantas, pero los animales los requieren en bajas concentraciones. De lo contrario, al interferir con la absorción de minerales esenciales para las plantas o acumularse en los tejidos producen efectos tóxicos, afectando la nutrición de los minerales de las plantas (Cen-Cen *et al.*, 2015).

Los oligoelementos en el agroecosistema son el producto de la intemperización de las rocas que dan origen al suelo o de actividades antropogénicas. Mismos, que son absorbidos por las plantas en su estado soluble iónico. Para los agaves, aunque son plantas con capacidad de sobrevivir en suelos poco profundos y nutricionalmente “pobres”, es necesario el estudio de sus características edáficas para conocer sus efectos en estos cultivos y planear mejor su productividad. La concentración de Fe, Sr, Zn, Mn, As, Al, Ba, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, V, Si y Cr expresados en mg/kg, se muestran en los cuadros 13 (suelo) y 14 (tejido foliar de *A. angustifolia* y *A. cupreata*).

En los tejidos foliares de *A. angustifolia* cosechada en la localidad de Coacán tuvieron contenidos significativamente (Tukey,  $p = 0.05$ ) mayores de Cd, Zn y V, a diferencia de las hojas cosechadas en las otras localidades. Las hojas de la misma especie, pero cosechadas en las localidades Atetetla, Paso Morelos, Trapiche, Los Amates y Motuapa, mostraron comparativamente mayor contenido de Cu, Fe, Cr, Al, Ba, Ni, Pb, Sr, Mn, As, Co y Si (Cuadro 14). En *A. cupreata*, las hojas no mostraron diferencias significativas en los contenidos de Fe, Sr, Zn, Mn, As, Ba, Cu, Ni, Pb, Si y Cr. Sólo se mostró diferencia estadística en los oligoelementos de Al, Cd, Co y V (cuadro 14).

En contraste con los resultados de plantas, en los suelos, la concentración de Zn reportado en la literatura tiende a mostrar una concentración total promedio de 55 mg/kg (Alloway, 2008). De acuerdo con los niveles de referencia en sedimentos de agua dulce de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos de América, el límite permisible para Zn es de 7 a 38 mg/kg y los suelos de la localidad Atetetla tienen dos veces más de concentración ( $78 \pm 16.5$  mg/kg); lo cual está influenciado por el pH y podría generar desventajas en los agaves ya que el Zinc antagoniza al Fe.

Se determinó que los suelos de la localidad Atetetla son los que presentan mayor concentración de Mn ( $1,521 \pm 218$  mg/kg), es una situación que se debe corregir para evitar que antagonice al Fe y provoque deficiencia (Álvarez-Sánchez *et al.*, 2010); aunque también el Fe se encuentra en altas concentraciones ( $22,012 \pm 2176$  mg/kg), lo cual es favorable debido a que existe un balance iónico entre ambos elementos (Álvarez-Sánchez, 2010). En general, los suelos colectados en dicha localidad son los que presentaron mayor concentración no sólo de Mn y Fe sino además, Zn, As, Al, Ba, Cd, Co, Cu, Ni y Pb, respecto a las otras localidades (cuadro 13). Las concentraciones altas de estos elementos en la localidad Atetetla, quizá se deban al metabolismo

fisiológico CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) en las plantas de maguey, lo que les permite resistir y proliferar en zonas semiáridas (Niechayev, 2018), como es el caso del municipio de Huitzucó, algunos productores como *Don Ruben* ya se han dado cuenta que la nutrición del maguey dependiente de las condiciones naturales no es suficiente. Por lo tanto, de acuerdo con información de campo, a los suelos “poco fértiles” se les complementa con residuos orgánicos, mezclando estiércol de bovino con tierra de campo (materia orgánica en proceso de humificación) y bagazo de maguey para los almácigos del vivero y solo en esta localidad llevan a cabo la práctica de aportar nutrimentos desde el vivero hasta la parcela (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019).

El Fe suele estar presente en el suelo en grandes cantidades, pero su disponibilidad para las plantas suele ser muy baja, en las dos especies estudiadas se encontró un valor máximo de  $47.2 \pm 19.1$  mg/kg, por lo tanto la deficiencia de Fe es un problema común que causa reducción de la actividad fotosintética (Yruela, 2013).

Los hallazgos de Cd presentan concentración baja ( $0.188 \pm 0.109$  mg/kg) en comparación con los resultados de Méndez-Hurtado *et al.* (2013) que hicieron una evaluación en semilla de *A. lechuguilla* ubicada en un sitio contaminado encontrando una concentración de 2.982 mg/kg de Cd. Sin embargo, Cen-Cen *et al.* (2015), realizaron un estudio en *A. tequilana* respecto a la tolerancia de cationes como el Co, Cu y Cd y reportan que esta especie tiene la capacidad de acumular en sus hojas hasta 350 ppm de Cd, sin presentar síntomas de toxicidad. En este caso, sería interesante conocer los mecanismos básicos que controlan el movimiento del Cd y su acumulación en las plantas (Hasan *et al.*, 2009), lo cual podría llevar a una respuesta óptima para los agaves como propuesta de biorremediación en suelos contaminados con dicho catión.

En el caso del Zn en *A. angustifolia* ( $24.9 \pm 24.8$  mg/kg) y *A. cupreata* ( $10.55 \pm 1.76$  mg/kg) excepto las plantas cosechadas de Trapiche y Los Amates superan los límites encontrados (10.533 mg/kg) por Méndez-Hurtado *et al.* (2013). El zinc es esencial en las funciones fisiológicas de todos los seres vivos, desempeña un papel clave como constituyente estructural o cofactor de una amplia gama de enzimas proteicas y expresión génica (Alloway, 2008).

Barrios *et al.* (2006), reportaron evaluaciones de Fe (47.80 – 65.95 ppm), Mn (13.60 – 20.58 ppm), Zn (17.64 – 26.06 ppm) y Cu (1.0 – 11.72 ppm) en cultivos de agave mezcalero (no

especifica la especie) de los municipios Pilcaya y Mazatlán del estado de Guerrero, mostrando concentraciones superiores a estos resultados. Quizá se deba a que los suelos presentan pH's fuertemente ácido (5.30) a moderadamente alcalino (7.66) y un porcentaje alto de materia orgánica (2.35 a 7.60 %). De tal manera, que la evaluación de Cu en esta investigación en conjunto con la de Barrios *et al.* (2006), muestra que los agaves guerrerenses tienen concentraciones muy bajas de dicho catión, en comparación con Cen-Cen *et al.* (2015) en *A. tequilana* (116 ppm).

Para el caso del manganeso, en *A. cupreata* se determinó una concentración de  $6.57 \pm 4.10$  mg/kg y en *A. angustifolia* de  $4.38 \pm 0.878$ mg/kg a  $12.6 \pm 10.87$  mg/kg, inferior a lo reportado por Cruz *et al.* (2013) en *A. karwinskii* (16.4 mg/kg). Se considera al Mn como un micronutriente esencial para el proceso metabólico en las plantas, ya que participa en el sistema de división del agua del fotosistema II (PSII), que proporciona electrones necesarios para el transporte fotosintéticos (Millaleo, 2010). Por lo tanto, la deficiencia de Mn en las plantas de *A. angustifolia* y *A. cupreata* puede alterar estos procesos. Por ejemplo, un suelo ácido permite que las cantidades excesivas de Mn sean tóxicas para las plantas (Gherardi y Rengel, 2003).

Las concentraciones de Ni, Zn, Cu y Cr en los suelos, resultaron inferior al LMP (límite máximo permisible) establecido por la norma mexicana (NOM-147-SEMARNAT, 2004), pero superior al LMP de la norma estadounidense (NOAA). En los suelos colectados de la localidad Atetetla, se encontraron las concentraciones más elevadas de dichos elementos menores. En todos los suelos del área estudiada, las concentraciones de As, Ba, Cd, Pb y V resultaron inferiores a los LMP de la norma mexicana, canadiense y estadounidense (ver LMP en el cuadro 15). La presencia de los primeros tres elementos se limita a la localidad Atetetla, municipio de Huitzuco lo cual podría inferirse que el resultado sea la consecuencia de una mina que se estableció en la región de Huitzuco para extraer Sb y Hg, o bien sea el resultado del aporte de fertilizantes inorgánicos por parte de los productores de agave en dicha localidad.

**Cuadro 13.** Contenido de micronutrientos (mg/kg) en muestras de suelo del área de estudio

CLAVE ESPÉCIMEN	Fe	Sr	Zn	Mn	As	Al	Ba	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	V	Cr	Si
LD	0.025	0.025	0.025	0.025	0.010	0.025	0.025	0.005	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
HAT (1)	22012 (±2176) <sup>d</sup>	17.2 (±1.47) <sup>ab</sup>	78 ± 16.5 <sup>c</sup>	1521 (±218) <sup>c</sup>	0.415 (±0.103) <sup>c</sup>	54546 (±8780) <sup>d</sup>	246 (±32.4) <sup>c</sup>	0.261 (±0.126) <sup>c</sup>	16.0 (±2.12) <sup>d</sup>	23.8 (±7.15) <sup>c</sup>	16.8 (±1.99) <sup>a</sup>	9.35 (±2.04) <sup>d</sup>	50.2 (±6.23) <sup>cd</sup>	28.1 (±3.46) <sup>a</sup>	370 (±103) <sup>a</sup>
HPM (1)	11093 (±1593) <sup>b</sup>	31.9 (±12.4) <sup>ab</sup>	30.0 (±3.50) <sup>ab</sup>	244 (±82) <sup>a</sup>	0.132 (±0.090) <sup>ab</sup>	24518 (±5634) <sup>bc</sup>	56 (±14.8) <sup>a</sup>	0.037 (±0.061) <sup>a</sup>	4.96 (±0.806) <sup>ab</sup>	6.09 (±2.82) <sup>ab</sup>	11.2 (±1.52) <sup>a</sup>	2.16 (±0.889) <sup>bc</sup>	24.4 (±9.56) <sup>ab</sup>	16.9 (±3.20) <sup>a</sup>	1649 (±2812) <sup>a</sup>
ARC (1)	13780 (±1672) <sup>bc</sup>	25.5 (±13.3) <sup>ab</sup>	31.9 (±3.86) <sup>ab</sup>	328 (±62) <sup>a</sup>	0.188 (±0.042) <sup>ab</sup>	33563 (±7248) <sup>c</sup>	115 (±30.5) <sup>ab</sup>	0.074 (±0.084) <sup>ab</sup>	6.82 (±0.955) <sup>bc</sup>	9.23 (±1.72) <sup>ab</sup>	14.4 (±4.02) <sup>a</sup>	2.28 (±0.825) <sup>bc</sup>	24.5 (±3.79) <sup>ab</sup>	22.6 (±6.50) <sup>a</sup>	398 (±173) <sup>a</sup>
ATV (1)	8640 (±4601) <sup>ab</sup>	56 (±17.4) <sup>b</sup>	31.6 (±13.9) <sup>ab</sup>	191 (±89) <sup>a</sup>	0.071 (±0.058) <sup>a</sup>	17000 (±8256) <sup>ab</sup>	96 (±15.4) <sup>a</sup>	0.050 (±0.035) <sup>ab</sup>	4.85 (±2.59) <sup>ab</sup>	8.82 (±9.76) <sup>ab</sup>	15.3 (±11.1) <sup>a</sup>	0.958 (±0.174) <sup>bc</sup>	23.9 (±18) <sup>ab</sup>	27.2 (±22.0) <sup>a</sup>	242 (±87) <sup>a</sup>
CLA (1)	17844 (±1735) <sup>cd</sup>	107 (±53) <sup>c</sup>	46.7 (±7.58) <sup>b</sup>	319 (±47.0) <sup>a</sup>	0.269 (±0.173) <sup>bc</sup>	29125 (±2334) <sup>bc</sup>	211 (±74) <sup>c</sup>	0.186 (±0.135) <sup>bc</sup>	9.04 (±1.27) <sup>c</sup>	15.3 (±2.04) <sup>bc</sup>	13.2 (±3.06) <sup>a</sup>	2.65 (±1.26) <sup>bc</sup>	55 (±6.50) <sup>d</sup>	31.3 (±12.2) <sup>a</sup>	505 (±142) <sup>a</sup>
AMO (1)	5911 (±1097) <sup>a</sup>	35.5 (±2.86) <sup>ab</sup>	21.5 (±2.29) <sup>a</sup>	206 (±41.1) <sup>a</sup>	0.277 (±0.100) <sup>bc</sup>	13134 (±2574) <sup>a</sup>	113 (±11.1) <sup>ab</sup>	0.223 (±0.111) <sup>bc</sup>	2.86 (±0.456) <sup>a</sup>	3.21 (±2.91) <sup>a</sup>	15.4 (±15.8) <sup>a</sup>	0.362 (±0.388) <sup>a</sup>	10.31 (±2.96) <sup>a</sup>	27.9 (±30.6) <sup>a</sup>	328 (±155) <sup>a</sup>
CSC (2)	17162 (±2186) <sup>cd</sup>	10.22 (±2.34) <sup>a</sup>	35.9 (±5.13) <sup>ab</sup>	586 (±131) <sup>b</sup>	0.304 (±0.040) <sup>bc</sup>	53337 (±5698) <sup>d</sup>	44.1 (±5.69) <sup>a</sup>	0.020 (±0.044) <sup>a</sup>	6.04 (±0.833) <sup>b</sup>	10.6 (±3.54) <sup>ab</sup>	12.6 (±1.64) <sup>a</sup>	2.88 (±0.944) <sup>c</sup>	39.3 (±3.07) <sup>cd</sup>	27.6 (±4.44) <sup>a</sup>	506 (±314) <sup>a</sup>
CAY (3)	11009 (±3212) <sup>ab</sup>	55.2 (±9.03) <sup>b</sup>	28.1 (±9.48) <sup>ab</sup>	234 (±62) <sup>a</sup>	0.039 (±0.063) <sup>a</sup>	22224 (±5833) <sup>bc</sup>	178 (±50.9) <sup>bc</sup>	0.010 (±0.021) <sup>a</sup>	5.76 (±1.36) <sup>ab</sup>	10.1 (±4.50) <sup>ab</sup>	9.94 (±2.05) <sup>a</sup>	0.652 (±0.264) <sup>ab</sup>	33.2 (±11.3) <sup>bc</sup>	16.1 (±4.13) <sup>a</sup>	256 (±59) <sup>a</sup>

NOTAS: Limite de detección (LD); Localidades de estudio: Atetetla (HAT), Paso Morelos (HPM), Coacán (ARC), Trapiche (ATV), Los Amates (CLA), Motuapa (AMO), Sta. Cruz (CSC) y Ayahualco (CAY); (promedio ± STD), los superíndices con diferentes letras en la misma columna significan diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) entre los suelos de las diferentes localidades. Especies *A. angustifolia* – maguey sacatoro (1), *A. angustifolia* – maguey espadín (2) y *A. cupreata* - maguey papalote (3)

**Cuadro 14.** Contenido de micronutrientos (mg/kg) en hoja de dos variedades de *Agave angustifolia* y *Agave cupreata*

CLAVE ESPÉCIMEN	Fe	Sr	Zn	Mn	As	Al	Ba	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	V	Cr	Si
LD	0.025	0.025	0.025	0.025	0.010	0.025	0.025	0.005	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
HAT (1)	43.6 (±9.32) <sup>a</sup>	43.6 (±34.7) <sup>a</sup>	10.06 (±3.45) <sup>a</sup>	7.36 (±5.19) <sup>a</sup>	0.059 (±0.088) <sup>a</sup>	39.8 (±11.1) <sup>ab</sup>	86 (±72) <sup>a</sup>	0.118 (±0.109) <sup>ab</sup>	0.019 (±0.043) <sup>a</sup>	3.12 (±0.936) <sup>c</sup>	1.42 (±0.733) <sup>a</sup>	0.232 (±0.323) <sup>a</sup>	0.078 (±0.175) <sup>a</sup>	2.99 (±2.88) <sup>a</sup>	36.9 (±16.3) <sup>a</sup>
HPM (1)	47.2 (±19.1) <sup>a</sup>	22.4 (±7.96) <sup>a</sup>	10.64 (±1.57) <sup>a</sup>	5.00 (±1.19) <sup>a</sup>	0.104 (±0.075) <sup>a</sup>	35.3 (±6.58) <sup>ab</sup>	17.9 (±12.3) <sup>a</sup>	0.126 (±0.091) <sup>ab</sup>	0.144 (±0.059) <sup>ab</sup>	0.523 (±0.610) <sup>a</sup>	1.37 (±0.271) <sup>a</sup>	0.079 (±0.109) <sup>a</sup>	0.615 (±0.379) <sup>b</sup>	4.40 (±2.75) <sup>a</sup>	39.7 (±4.62) <sup>a</sup>
ARC (1)	36.0 (±19.2) <sup>a</sup>	25.3 (±8.40) <sup>a</sup>	24.9 (±24.8) <sup>a</sup>	4.38 (±0.878) <sup>a</sup>	0.168 (±0.059) <sup>a</sup>	31.7 (±6.19) <sup>ab</sup>	33.3 (±12.2) <sup>a</sup>	0.188 (±0.046) <sup>b</sup>	0.188 (±0.046) <sup>ab</sup>	0.789 (±0.660) <sup>ab</sup>	1.99 (±0.903) <sup>a</sup>	0.333 (±0.219) <sup>a</sup>	0.774 (±0.129) <sup>c</sup>	3.45 (±3.67) <sup>a</sup>	40.4 (±8.39) <sup>a</sup>
ATV (1)	35.8 (±15.7) <sup>a</sup>	56 (±46.6) <sup>a</sup>	9.96 (±2.70) <sup>a</sup>	9.67 (±4.41) <sup>a</sup>	ND	42.2 (±19.3) <sup>b</sup>	149 (±180) <sup>a</sup>	0.080 (±0.045) <sup>ab</sup>	0.099 (±0.140) <sup>ab</sup>	2.05 (±0.525) <sup>bc</sup>	2.48 (±2.20) <sup>a</sup>	0.079 (±0.129) <sup>a</sup>	<LD	3.98 (±4.45) <sup>a</sup>	31.6 (±7.83) <sup>a</sup>
CLA (1)	35.2 (±14.9) <sup>a</sup>	206 (±167) <sup>b</sup>	9.98 (±2.96) <sup>a</sup>	12.6 (±10.87) <sup>a</sup>	0.172 (±0.226) <sup>a</sup>	32.6 (±8.24) <sup>ab</sup>	107 (±63) <sup>a</sup>	0.169 (±0.149) <sup>ab</sup>	0.268 (±0.091) <sup>b</sup>	0.698 (±0.716) <sup>a</sup>	1.25 (±0.404) <sup>a</sup>	0.138 (±0.215) <sup>a</sup>	0.595 (±0.118) <sup>bc</sup>	1.36 (±0.451) <sup>a</sup>	44.9 (±9.93) <sup>a</sup>
AMO (1)	26.3 (±12.1) <sup>a</sup>	59 (±46.9) <sup>a</sup>	11.7 (±7.18) <sup>a</sup>	5.93 (±3.11) <sup>a</sup>	0.059 (±0.054) <sup>a</sup>	20.3 (±6.49) <sup>a</sup>	55 (±56) <sup>a</sup>	0.020 (±0.044) <sup>a</sup>	0.059 (±0.054) <sup>a</sup>	1.57 (±0.512) <sup>ab</sup>	1.01 (±1.11) <sup>a</sup>	0.879 (±1.09) <sup>a</sup>	<LD	2.50 (±3.56) <sup>a</sup>	27.7 (±6.13) <sup>a</sup>
CSC (2)	26.4 (±2.70) <sup>a</sup>	37.7 (±33.9) <sup>a</sup>	11.5 (±5.33) <sup>a</sup>	6.60 (±2.06) <sup>a</sup>	0.058 (±0.053) <sup>a</sup>	34.5 (±13.7) <sup>ab</sup>	118 (±183) <sup>a</sup>	0.020 (±0.044) <sup>a</sup>	0.156 (±0.085) <sup>ab</sup>	0.667 (±0.600) <sup>a</sup>	1.08 (±0.654) <sup>a</sup>	0.409 (±0.336) <sup>a</sup>	<LD	1.82 (±0.628) <sup>a</sup>	32.7 (±4.04) <sup>a</sup>
CAY (3)	23.3 (±3.84) <sup>a</sup>	57 (±60) <sup>a</sup>	10.55 (±1.76) <sup>a</sup>	6.57 (±4.10) <sup>a</sup>	0.085 (±0.084) <sup>a</sup>	27.1 (±2.79) <sup>ab</sup>	102 (±108) <sup>a</sup>	0.041 (±0.057) <sup>ab</sup>	0.091 (±0.125) <sup>ab</sup>	0.430 (±0.244) <sup>a</sup>	1.05 (±0.506) <sup>a</sup>	0.429 (±0.338) <sup>a</sup>	0.245 (±0.292) <sup>ab</sup>	1.65 (±1.41) <sup>a</sup>	38.9 (±4.91) <sup>a</sup>

NOTAS: Limite de detección (LD); <LD (Inferior al límite de detección); valor no detectado (ND); Localidades de estudio: Atetetla (HAT), Paso Morelos (HPM), Coacán (ARC), Trápiche (ATV), Los Amates (CLA), Motuapa (AMO), Sta. Cruz (CSC) y Ayahualco (CAY); Especies *A. angustifolia* – maguey sacatoro (1), *A. angustifolia* – maguey espadín (2) y *A. cupreata* - maguey papalote (3); (promedio ± STD), los superíndices con diferentes letras en la misma columna significan diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) entre los suelos de las diferentes localidades.

**Cuadro 15.** Comparación de los valores de concentración promedio (mg/kg) en los suelos estudiados respecto a los límites permisibles en sedimentos establecidos por la norma mexicana (NOM), Canadiense (CEQG) y niveles de fondo de referencia para Estados Unidos (NOAA, 1999).

CLAVE ESPÉCIMEN	As	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb	V	Zn	Cu	
NOM-147	<b>22</b>	<b>5400</b>	<b>37</b>	<b>280</b>	<b>1600</b>	<b>400</b>	<b>78</b>	---	---	
CEQG	ISQG	<b>5.9</b>	---	<b>0.6</b>	<b>37.3</b>	---	---	<b>123</b>	<b>35</b>	<b>35.7</b>
	PEL	<b>17</b>	---	<b>3.5</b>	<b>90</b>	---	---	<b>315</b>	<b>91.3</b>	<b>197</b>
NOAA	<b>1.1</b>	---	<b>0.1-0.3</b>	<b>7-13</b>	<b>9.9</b>	<b>4-17</b>	---	<b>7-38</b>	<b>10-24</b>	
HAT	0.415	246	0.261	28.1	<b>16.8</b>	9.35	50.2	<b>78</b>	<b>23.8</b>	
HPM	0.132	56	0.037	16.9	11.2	2.16	24.4	30.0	6.09	
ARC	0.188	115	0.074	22.6	14.4	2.28	24.5	31.9	9.23	
ATV	0.071	96	0.050	27.2	15.3	0.958	23.9	31.6	8.82	
AMO	0.277	113	0.223	27.9	15.4	0.362	10.31	21.5	3.21	
CLA	0.269	211	0.186	<b>31.3</b>	13.2	2.65	55	46.7	15.3	
CSC	0.304	44.1	0.020	27.6	12.6	2.88	39.3	35.9	10.6	
CAY	0.039	178	0.010	16.1	9.94	0.652	33.2	28.1	10.1	

NOM: NOM-147-SEMARNAT (2004); Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG): Interim Sediment Quality Guideline (ISQG) y Probable effect level (PEL); National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (1999).

Es importante que dentro de las prácticas de manejo, e incluya la adición de abonos orgánicos a fin de mejorar la materia orgánica en el suelo de los sitios estudiados. Incluso, en el área de estudio se limitan a la aplicación de fertilizantes inorgánicos (excepto Atetetla); pero quizá sea necesario precisar con base en los resultados una óptima nutrición específica a los cultivos de agave en las localidades estudiadas, para recomendar a los productores la dosis de fertilización necesaria y requerida para cada elemento con base en los resultados encontrados; a fin de mejorar la disponibilidad y el balance nutrimental en el cultivo de agave.

## **6.4 CONOCIMIENTO TRADICIONAL Y ACADEMIA: UNA EXPERIENCIA DE INVESTIGACIÓN CON PRODUCTORES DE MAGUEY Y MEZCAL DE PEQUEÑA ESCALA EN LAS REGIONES NORTE Y CENTRO DEL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO**

### **6.4.1 Importancia regional y local del agave y el mezcal**

El agave ha tenido una gran importancia económica y cultural para numerosos pueblos indígenas y mestizos de Mesoamérica, pues se trata de plantas que se han utilizado durante siglos por los distintos beneficios y productos que otorgan a la sociedad y al ecosistema (García-Mendoza, 2007). Más que una fuente de sustento, los agaves son utilizados en la construcción de viviendas, cordelería, como fuente de alimento, utensilios, textiles, producción de papel, combustible, ornato y en la medicina (Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013; Pérez *et al.*, 2016 y Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007a).

Los agaves sirven también como hábitat de fauna y, desde muchos años antes de la conquista española, los pobladores mesoamericanos plantaban agave para delimitar sus terrenos, disminuir la velocidad de la escorrentía y evitar la erosión aluvial (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2013). La noción que tienen los productores de que “Los magueyes detienen el suelo” es un factor importante que determina la productividad y sostenibilidad agrícola de las áreas de ladera (Pérez *et al.*, 2017). *“Las plantas de agave, además, funcionan como cercas y también en ambas regiones se usan como barreras vivas para evitar la entrada de ganado a los cultivos”*.

A pesar de la diversidad de usos, en Guerrero, el principal es la producción de mezcal. Es una bebida alcohólica que se obtiene de la fermentación y destilación de los azúcares reductores (agavinas) de aproximadamente 17 especies diferentes de maguey; entre estas, para el estado de Guerrero, se encuentran registradas *Agave angustifolia* y *Agave cupreata*, cuyo proceso de elaboración ha adquirido Denominación de Origen Mezcal (DOM), la cual reconoce la identidad y calidad de dicho producto frente al mercado nacional e internacional. En las regiones de estudio (Norte y Centro) se registró la mención de los productores al proceso productivo:

*“El maguey se siembra, cosecha, cuece, muele y se destila a medias (es decir, que comparten el trabajo entre los mezcaleros de la comunidad y finalmente lo que se obtiene se distribuye en partes iguales); por dos razones: 1) casi no hay maguey y 2) es una forma de ayudarnos entre todos en la comunidad”*

Las enseñanzas de la elaboración de mezcal se deben conservar. Para asegurar la continuidad de la reproducción social y material de las condiciones de vida, es necesaria la reproducción de los valores y las creencias compartidas de manera colectiva. El maguey es el eje rector de la cohesión social a nivel local, es decir, es un recurso natural que permite conservar las alianzas y sociabilidades basadas en la ayuda mutua entre los maestros mezcaleros, los productores de maguey y los pobladores en general, apoyándose en lo que llaman *trabajo a medias*. Además, al ser el maguey y el mezcal un recurso de importancia para toda la comunidad que socioculturalmente está presente en el nacimiento, muerte, religión, etc., permite que se establezcan normatividades de importancia no sólo para el maguey sino de otras problemáticas que tengan que afrontar en comunidad y que les beneficie a todos. Desafortunadamente, para las nuevas generaciones, esta práctica “*es mucho trabajo*”, si bien hay una insistencia por parte de sus padres para que aprendan y no se erosione el conocimiento que implican los procesos de elaboración de mezcal. Los mayores sostienen que

*“el maíz es para comer y el mezcal es para sostener a la familia”, por lo que la preocupación central se refiere a que “los hombres jóvenes salen a trabajar fuera, pero las mujeres no... (por lo que) a los jóvenes les conviene trabajar en el maguey para estar con su familia”.*

El maguey tiene relación con el maíz y con una serie de actividades combinadas. Por lo general, el cultivo de maíz es *obligatorio* para el autoabasto, hacer las tortillas y otras especialidades que complementan la comida de todos los días en los hogares campesinos. Durante el período de estiaje se colectan materias primas como maguey y, tal como recuerda Don Faustino lo dicho por su abuelo: “*Hay trabajo suficiente para no migrar*”. Sin duda, es con la venta de mezcal y las remesas producto de la migración, que los habitantes de las localidades en el área de estudio se articulan a una economía de mercado; aunado a la compra de agroquímicos para cultivar milpa e incluso maguey, y la venta de planta a los tequileros. Es decir, estas localidades rurales tienen vínculos con la economía de mercado, y tal vez eso ha degradado también la organización comunitaria y sus formas precapitalistas o de economía moral.

La emigración representa una sangría para las localidades de origen, pues en ellas ya no se produce de la misma manera el reemplazo de los adultos mayores o enfermos que dejan de trabajar en las actividades del campo. Además, no todos los que regresan se incorporan a actividades agrícolas (Solís, 2018), por lo que surge la preocupación de los maestros mezcaleros

por conservar los magueyes pues, como menciona Don Sixto, *Es una oportunidad a partir de un recurso natural que tenemos en nuestras tierras*. Por la existencia de ese recurso, los entrevistados señalaron que ha disminuido la emigración, gracias a los ingresos que se obtienen a partir de la producción de mezcal.

Algunos productores dijeron estar conscientes de la importancia y los beneficios obtenidos por la elaboración de mezcal, por lo que están fomentando su actividad productiva en sus hijos y esposa, integrándolos a la dinámica de la producción: desde la siembra y los cuidados del maguey, hasta el destilado, envasado y comercialización del mezcal. Otros productores no involucran a sus familias en estos quehaceres debido a que prefieren que las mujeres les apoyen con proporcionar alimentos a los trabajadores que emplean en el labrado (jimar la planta de maguey para obtener el tallo), molienda (cortar en fragmentos pequeños el tallo ya cocido para elaborar mezcal) y cocción (hidrolizar los tallos del maguey) de mezcal.

En todas las comunidades estudiadas, a los hijos varones sí se les involucra en la actividad. La mayoría de la población económicamente activa en la zona de estudio son campesinos temporaleros, si bien algunos productores que han emigrado temporalmente explican que, antes de hacerlo, su actividad principal era la producción de maíz, calabaza, frijol, chile, jitomate y cacahuete para los mercados locales; y a su regreso, lo principal es la producción de mezcal, actividad que califican de ser *mucho trabajo y complicado*, sin embargo, la obtención de ingresos con ello lo compensa, lo cual no hace la producción de maíz, frijol, etc., por sí sola. Pero la combinación de maguey y cultivos básicos sí vale la pena. Este cambio se podría deber a que, durante su estancia en los Estados Unidos (destino de la mayoría de los que dijeron haber emigrado), los entrevistados señalaron haber tenido empleos que los pusieron en contacto con mejores niveles salariales y haberse acostumbrado a trabajos y actividades dinámicas, donde el trabajo y el pago de salarios tenían un ciclo más corto que el establecido en la actividad mezcalera tradicional. De acuerdo con Ríos y Kumar (2012), en algunas ocasiones, la migración puede generar cambios socioculturales y productivos que detonan en el desarrollo local de su comunidad; sin embargo, resulta indispensable vincular los nuevos conocimientos, habilidades y cambios de visión, con oportunidades relacionadas al desarrollo comunitario productivo; esto para gestar una estrategia de desarrollo comunitario sustentable.

#### 6.4.2 Prácticas agronómicas y ecológicas

Durante mucho tiempo, las poblaciones mesoamericanas han producido sus alimentos en un sistema de cultivo múltiple llamado milpa (derivado de la lengua náhuatl), basado principalmente en maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y diversas calabazas (*Cucurbita* spp.). Actualmente, en las dos regiones de estudio, además de los cultivos anteriores, también se siembra chile, jitomate y maguey; pero la milpa es una práctica que se ve cada vez menos, “*pues si siembra otro cultivo entre el maguey, no se pueden limpiar las hierbas y le quitan fuerza*”. En este caso, son cultivos que se hacen alternativamente: “*sembraba maíz, pero ahora sembramos maguey porque el fertilizante y el gasto para los peones sale más caro y al maguey no se le aplica nada; por eso conviene*”.

La producción de agaves en monocultivo también ha ocasionado erosión del suelo (Zizumbo-Villareal *et al.*, 2013). Si bien el caso de *A. angustifolia*, puede asociarse favorablemente con maíz y frijol, también puede establecerse en monocultivo. Sin embargo, esta no es la mejor alternativa que señalaron los entrevistados, ya que reducen las prácticas tradicionales de conservación del suelo y de preservación de los recursos naturales (Bautista y Smit, 2012). Para cultivar maguey en el piedemonte se utilizan técnicas de ‘roza, tumba y quema’. En ambas regiones de estudio se lleva a cabo esta práctica:

*“Es necesario preparar el terreno para cultivar maguey, consiste en desmontar el terreno para que el maguey tenga espacio para producirse. Lo cual implica cortar la cubatera (es una porción de terreno, donde la especie vegetal predominante es *Acacia cochliacantha*) para sembrar maguey, pues es una planta que no se da bien en la sombra y tampoco sale dulce”.*

El cultivo en milpa, sin embargo, permitía que el ecosistema conservara su aspecto forestal gracias al periodo de regeneración. Los problemas se acentúan cuando los ecosistemas tienen una baja resiliencia; esta es la capacidad de un ecosistema para mantener sus funciones y procesos ante las adversidades naturales o antrópicas (Guerra-Martínez y García-Romero, 2017). En ambas regiones los entrevistados mencionaron que muchos de los pobladores migran por varias razones “*los suelos no tienen nutrientes porque no producen y no hay dinero para el fertilizante*”. Por este motivo, los productores prefieren producir maguey.

Algunos entrevistados mencionaron que hay parcelas que han sido abandonadas, pues sería más costoso mantenerlas en buen estado:

*“El trabajo del maguey es muy importante, incluso más importante que el maíz porque no le tienes que aplicar químicos; y producir maíz, frijol o calabaza necesita muchos químicos y dinero para producir”*

Sería de interés establecer en las zonas de estudio parcelas de comparación maguey en monocultivo frente a milpa tradicional asociada con maguey, en las que se evalúen aspectos como el rendimiento, fitosanidad y biodiversidad asociada, entre otros. Las plantas de maguey son apropiadas para las zonas rurales de Guerrero donde imperan la pobreza y marginación de la gran mayoría de los productores de agave. Además, se trata de plantas CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas), lo que les permite resistir y proliferar en zonas áridas y semiáridas (Niechayev *et al.*, 2018). Son plantas resilientes que no requieren la ejecución de prácticas tales como introducir maquinaria agrícola, yunta e implementos para roturar la tierra, o agua de riego (Rodríguez *et al.*, 2007). La inversión que los productores deben realizar es muy baja, reduciéndose prácticamente al uso de herramientas manuales para la eliminación de arvenses.

*“Entre menos agua tenga mejor, dan más azúcares y para cultivar maguey no tienes que barbechar, con la barretilla es suficiente. El único quehacer es mantener el terreno limpio (libre de arvenses); así, el maguey florea más rápido y la piña crece más, por tanto, se aprovecha más materia prima para el mezcal”.*

Tales condiciones, la tumba-quema y el cultivo extensivo de maguey, son dos facetas de un mismo proceso, la degradación de los ecosistemas. Esta práctica se observa más claramente en la región Norte. Si bien también se lleva a cabo en la región Centro, algunos productores mencionaron que el reglamento de la Asociación de Magueyeros y Mezcaleros (AMMCHI), agrupados en la marca Sanzekan a la que están afiliados, indica que

*“No deben tumbarse árboles para sembrar maguey, sólo deben aprovechar las parcelas infértiles o abandonadas; así como cuidar la producción de la materia prima, lo cual implica el cuidado no sólo del maguey sino también del agua y de la leña”*

Sanzekan Tinemi, anteriormente denominado organización campesina de Sociedad de Solidaridad Social (SSS), surge con el proyecto integral del maguey y mezcal del Chilapan (mezcaleros y magueyeros de 30 comunidades que forman los municipios Ahuacutzingo, Chilapa, Zitlala y Mártir de Cuilapán, integrada por representantes de la cadena maguey mezcal: viveristas, reforestadores, dueños de maguey, labradores, maestros mezcaleros, envasadores y comercializadores) impulsado en conjunto con el Grupo de Estudios Ambientales (GEA). Dicho proyecto planteó un modelo alternativo del manejo campesino del *A. cupreata* con el cual se buscó conservar este maguey de la alta demanda como materia prima para la elaboración de mezcal (Illsley *et al.*, 2005). Para ello fue necesario colaborar en conjunto con instituciones académicas y de investigación a nivel local, nacional e internacional, donde se conforma la AMMCHI y se fortalece la marca Sanzekan que promueve la producción y venta de maguey y mezcal, a través del diálogo de saberes técnico-campesino que permite establecer prácticas de manejo y planeación sustentable del territorio.

La conformación de Sanzekan es un claro ejemplo de la interacción entre la academia, las comunidades y las ONG's para encaminar a las comunidades a planear y ordenar sus territorios por medio de sus formas internas de gobernabilidad y comunalidad; enfocados a la importancia de desarrollar capital humano (capacidades de las personas), capital social (relaciones y redes, entre otros, que permitan facilitar la gobernabilidad y amplíen el acceso a servicios básicos) y mantener y valorar el acervo del capital natural (recursos naturales), fortaleciendo la cultura y la economía en el territorio (Bernal-Mendoza *et al.*, 2010).

Así mismo, el establecimiento de ranchos ganaderos en los valles fértiles propicia el desplazamiento de las poblaciones humanas, ya que el ganado empezó a ocasionar daños a la producción agrícola e inician el cultivo de agave como cercas vivas para evitar que el ganado camine entre las milpas. La usurpación de derecho de pastoreo se ha convertido en motivo de discordia para muchos productores, pues no se aplican regulaciones al respecto. En el caso de la localidad Trapiche, los entrevistados señalaron esta problemática.

A los suelos poco fértiles se les suplementa con la “*basura* (residuos orgánicos) *que sale de la casa, los residuos de las cosechas como la cañuela (tallo seco) de maíz y de sorgo u algún otro cultivo*”. Además de los residuos del procesamiento en la elaboración del mezcal (el bagazo del maguey), estos se utilizan como fertilizantes orgánicos para revertir la disminución de la

fertilidad del suelo (Gobeille *et al.*, 2006). En Atetetla, se mezcla estiércol de bovino “*con tierra de campo*” (materia orgánica en proceso de humificación) y bagazo de maguey para los almácigos del vivero y sólo en esta localidad llevan a cabo la práctica de aportar nutrientes; también, plantan los magueyes a ‘tresbolillo’ lo cual es mejor, para minimizar las pérdidas de suelo y aprovechar la precipitación pluvial al máximo (Cotler, 2007).

Desafortunadamente, la producción es afectada por la extracción excesiva de ejemplares silvestres y la falta de conocimiento que se detectó entre varios de los entrevistados sobre prácticas de conservación de las especies presentes. Es preocupante que existan aún hoy en día, comunidades que cultivan y colectan de poblaciones silvestres y de especies nativas de maguey para elaborar mezcal artesanal (Ángeles, 2010); ante tal circunstancia, se hace presente la necesidad de la participación de la academia para planear las estrategias de aprovechamiento y conservación de las poblaciones de agave.

En ambas regiones hubo entrevistados que señalaron que “*cuando se empezó a trabajar con el cultivo de maguey, las plantas y las semillas se trajeron del monte, era agave silvestre*”. Es decir, actualmente se sigue promoviendo la extracción desmedida de especies silvestres. Excepto en Los Amates, se dejan florecer algunas plantas para que produzcan semilla y “*mismo en las faldas del cerro (piedemonte) se riega (se esparce) la semilla para que germine al natural, como antes*”. En otras regiones, el agave cambió de ‘agave silvestre’ a una domesticación no intensiva y a la intensificación por monocultivo (Plascencia y Peralta, 2018). Sumado a esto, entre la mayoría de los productores en el área de estudio:

*“Sólo se cultiva con hijuelos porque así se tiene maguey más rápido. Las plantas silvestres tardan más tiempo en madurar (8-10 años): en cambio, si siembras los hijos que van saliendo de la parcela, le pones agua y se mantiene el terreno limpio, acortas su maduración a 5-8 años. Además, el hijuelo se aprovecha porque está más a la mano y es menos trabajo”.*

Una de las razones por las que *A. angustifolia*, variedad local ‘espadín’, es preferido para reproducir por hijuelo en toda el área de estudio, es que tiene un ciclo más corto de maduración y, a la vez, genera hijuelos; a diferencia de *A. cupreata*, que sólo se reproduce sexualmente (por semilla). Sin embargo, de acuerdo con Aguirre-Dugua y Eguiarte (2013), esta especie no está erosionada genéticamente. Consecuentemente, del agave espadín se obtienen plántulas en menor

tiempo, a diferencia del *A. angustifolia* variedad local ‘sacatoro’, que *es un maguey silvestre, con piña pequeña pero más dulce*. Empero a ello, durante las últimas décadas, el *boom* del mezcal (Torres *et al.*, 2015) ha generado una alta demanda de materia prima que conduce a un uso desmedido de hijuelos para los cultivos en parcela y a consumir insumos más caros.

En Guerrero, hace aproximadamente dos décadas que se acrecentó la demanda de materia prima y los cambios en la producción agavera para satisfacerla. Se prevé que, en cinco u ocho años, esta práctica ocasionará una sobreproducción y una baja en los precios; por lo que, en un futuro, los costos de mano de obra serán más altos que el precio del agave, lo cual generará un próximo evento de escasez (Bowen, 2015). Lo que se busca entonces, es reducir el espacio y acelerar el tiempo de producción para acentuar los ciclos de sobreproducción y escasez de la materia prima para la producción de mezcal. Hoy en día, hay una mejor respuesta a las condiciones del mercado y se tiene claro que

“Cuando falla la oferta y la demanda es grande, los productores se motivan a sembrar, *pues hubo un tiempo que el maguey se puso de moda, los jóvenes se dedicaron a cortar y nadie tuvo la noción de sembrar*”.

Don Fernando (maestro mezcalero) señala que “*Hace años, había otro tipo de magueyes, pero se van perdiendo, a lo mejor porque no se cuida la semilla*”. Surge la necesidad de evaluar si los cambios de uso de suelo que generan microclimas con condiciones específicas, dan lugar a estas consecuencias. Por ejemplo, los productores de Atenango del Río mencionan que “*en la localidad Coacán había mucho maguey ancho (A. cupreata) pero ya se perdió porque a este agave ya no le gusta el clima*”.

Debido al crecimiento acelerado de la demanda y del consumo de mezcal, se están afectando especies que anteriormente no se utilizaban para este fin. Tal es el caso de *Agave megalodonta* García-Mend. & D. Sandoval, una especie nueva para la ciencia, endémica de la cuenca alta del río Balsas (Guerrero, Oaxaca y Puebla). Presenta una distribución restringida a la subcuenca del río Tlapaneco y que a pesar de que se acaba de añadir a la ciencia, ya está catalogada como especie Amenazada (A) (SEMARNAT, 2010) (García-Mendoza *et al.*, 2019).

En la región Norte se describen situaciones interesantes respecto a lo anterior. Un entrevistado señaló: *“Empezaré (2018) a poner almácigos de maguey para sembrar porque ya no hay maguey en el monte”*. Otro mencionó que:

*“Además, los de Jalisco llegan a comprar maguey porque no tienen suficiente y compran los hijuelos, se pagan a tres pesos y la piña a ocho o diez pesos por kilo. Conviene porque se llevan las piñas como estén, maduras o verdes, las maduras las usan para mezcal y las verdes para hacer mieles”*.

Esta práctica solo se mencionó en la región Norte, donde prevalecen condiciones semiáridas con precipitación pluvial de aproximadamente 500 mm anuales. Ahí, el agua es escasa y la población rural vive en situación de pobreza extrema, obligando a los jóvenes a emigrar a las ciudades más cercanas o a Estados Unidos. La crisis ambiental afecta por igual a productores grandes y productores de pequeña escala. Sin embargo, la gran industria tiene más recursos políticos, tecnológicos y económicos; quizá con mayores posibilidades para adaptarse a los cambios que ocurren y para soportar situaciones desfavorables, como la escasez de materia prima.

Los productores artesanales siguen un sistema tradicional para cada etapa en el proceso de elaboración de mezcal. Cada etapa es importante, pero labrar y fermentar son la clave. Por ejemplo, *“no todos los mezcaleros saben labrar, es importante sólo labrar el maguey de velilla cerrada, de lo contrario, están tiernas y es una planta que se pierde”*. Para ambas regiones es una práctica primordial, ya que *“se echa a perder mucho maguey”*.

De acuerdo con Barrientos-Rivera *et al.* (2019), un análisis de la concentración de carbohidratos (azúcares) previo al labrado de la planta permitirá eliminar pérdidas económicas, trabajo (mano de obra) y tiempo de fabricación, pero sobre todo asegurar la calidad del producto mezcal. La concentración de azúcares se puede determinar en campo con un refractómetro portátil (°Bx) equivalente a un análisis de azúcares reductores totales. El empleo de esta prueba de campo, a pesar de su complejidad tecnológica o el alto costo del equipo para la mayoría de los productores, podría ser una contribución del sector académico al fortalecimiento de las prácticas productivas en busca de una mayor calidad organoléptica de la bebida.

Cuando una planta de agave comienza a florecer, atrae diferentes animales que se comen la mielecilla: hormigas, murciélagos, colibrí, palomillas, mariposas y abejorros. Se define el posible

papel de estos visitantes en el proceso de polinización, ya sea como ladrones de polen o néctar, o como polinizadores primarios o secundarios (Trejo-Salazar *et al.*, 2015). Los principales polinizadores en el género *Agave* son los murciélagos nectarívoros (quiropterofilia) (Eguiarte *et al.*, 2013). Sin embargo, como mencionaron los productores, los visitantes florales asociados a los agaves son diversos y no siempre incluyen a los murciélagos.

*“Sólo se dejan algunos semilleros, pero estas plantas ya no sirven para el mezcal porque cuando se termina la flor, da la semilla y la planta se seca. Por ser el agave una planta monocárpica, es necesario capar el agave (cortar el pedúnculo floral); esto consiste en cortar el escapo floral cuando la planta ya está madura (cuando el cogollo está cerrado y mide aproximadamente un metro), el corte se hace con machete o hacha. En algunas localidades de Chilapa aún se corta el escapo floral con una piedra o con un pedazo de madera, porque estas tienen más ley... es decir, es respeto hacia la planta por las mieles que da para hacer el mezcal. Así la planta resiste más a las plagas o a las condiciones del terreno”*

Después de eliminar el pedúnculo se deja la planta en reposo durante 6 a 12 meses antes de su cosecha. El corte de dicha parte se lleva a cabo para preservar la acumulación de carbohidratos en el tallo de la planta, también denominado piña o corazón del maguey; este es un método tradicional de preparación del agave para su cosecha (Bahre y Bradbury, 1980).

Sin embargo, el sistema productivo artesanal en casi todo el estado de Guerrero está en desventaja estructural, porque sus recursos políticos, institucionales, tecnológicos y socioeconómicos son menores respecto a las grandes industrias y capitales transnacionales (Plascencia y Peralta, 2018).

Tal como mencionó Don Faustino: *“es necesario aplicar un manejo a los magueyes, desde dejar unas plantas como semilleros en las parcelas, coleccionar la semilla, germinar en vivero para asegurar su sobrevivencia, y que siempre haya materia prima para hacer mezcal”*. Enríquez (2007) menciona, que las plantas de *A. angustifolia* que crecen en vivero incrementan su crecimiento en altura, diámetro de tallo (piña), número de hojas, área foliar y acumulación de materia seca, en respuesta a un mayor abastecimiento de nutrimentos y cuando estas plantas llegan a su etapa de maduración presentan tallos grandes y con alto contenido de azúcares. Aquí hay un tema de investigación para el estado de Guerrero, que además, está ligado a otros como: la

seguridad alimentaria, la respuesta en la asociación maguey-cultivos básicos (maíz, frijol y calabaza), entre otros.

### **6.4.3 Plagas y enfermedades de agave**

Los cultivos de agave pueden ser afectados por organismos capaces de ocasionarles daños considerables. Destacan la escama armada (*Acutaspis agavis*), el piojo harinoso (*Pseudococcus agavis*) y el picudo de agave (*Scyphophorus acupunctatus*), así como hongos la mancha zonal o marginal y la punta seca (*Fusarium* sp. y *Alternaria* sp.), las cuales dañan las hojas y provocan retraso en el crecimiento y desarrollo de la planta (CESAVEG, 2011). Los cambios de temperatura y el aumento en la cantidad de lluvia han resultado devastadores para algunos agaves en los cuales se alojan bacterias (*Erwinia* sp. ‘podredumbre del cogollo’) y hongos (*Fusarium oxysporum*, *Cercospora agavicola* conocido como ‘tizón foliar’) (Daltón, 2005).

En el estado de Guerrero, Cabrera-Huerta *et al.* (2019) identificaron a *Dickeya chrysanthemi* como una de las responsables de la podredumbre blanda en la raíz de *A. cupreata*. Este descubrimiento es de utilidad para el área de estudio, dado que este agave presenta una reproducción exclusivamente sexual, por tanto, su incidencia aumenta los costos de producción de esta planta; por lo que es necesario, implementar medidas efectivas para manejar esta enfermedad en viveros. Los mismos autores recomiendan algunas: destrucción de restos de planta, desinfestación del suelo y limitar la incidencia de bacterias y hongos en el vivero, pero principalmente evitar propagarlos al momento de llevar a cabo las plantaciones en las parcelas.

Otra problemática mencionada por los productores de maguey es *Fusarium oxysporum*; Trinidad-Cruz *et al.* (2017) realizaron un estudio en Michoacán en cultivos de *A. cupreata*, encontrando que los consorcios de hongos micorrícicos arbusculares nativos denominados Paso Ancho y un inóculo comercial micorriza INIFAP, se consideran como potenciales biofertilizantes y agentes de biocontrol de este hongo en el cultivo de agave. Habría que evaluar en el área de estudio el efecto de la inoculación micorrícica de plantas de *A. cupreata* y *A. angustifolia*.

La práctica agronómica conocida como ‘capado’, con la que se evita que los agaves alcancen la floración y con ello la reproducción sexual, representa riesgos para la diversidad genética y ecológica de estas plantas y disminución de la diversidad en los agaves, lo cual reduce procesos

de adaptación a cambios ambientales y afecta su supervivencia a largo plazo, incrementando el riesgo de extinción (Lara-Ávila y Alpuche-Solís, 2016).

Cabe mencionar que la diversidad genética se mantiene y se promueve a través de las prácticas de manejo tradicionales por los productores de maguey; consiste en la introducción de plantas de otras áreas, la reproducción sexual, etc., para enriquecer y mantener dicha diversidad genética en sus sistemas productivos (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020). Por lo que se debe tener cuidado con el ‘capado’, pues es una práctica que al cortar el pedúnculo deja una lesión a la planta. Por lo tanto, se recomienda que al realizar esta práctica se selle la herida con pasta bordelesa (cicatrizante para plantas), su aplicación minimizará el ingreso de plagas o enfermedades. En Michoacán se realizó la identificación y medidas de control de las principales enfermedades que afectan al *A. cupreata* y uno de los problemas encontrados fue las ‘pencas rojas’ o ‘pudrición del cogollo’ (meristemo apical del tallo dónde se realizó el corte del escapo floral), situación similar en las regiones estudiadas de Guerrero. Cabe señalar que el hongo *Fusarium* sp., produce una gran cantidad de conidios que se dispersan fácilmente con el viento y una vez causando la infección tiene la capacidad de traslocarse vía xilema y así crear más zonas de infección (Martínez-Palacios *et al.*, 2015).

En cuanto a la disminución de la diversidad genética, esta se origina al evitar la reproducción sexual en los agaves. Un ejemplo es la propagación de *A. tequilana*, maguey utilizado para elaborar tequila que, soportada por una intensiva reproducción clonal a través de monocultivos (Rivera-Lugo *et al.*, 2018) ha conducido a reducir drásticamente su variabilidad genética. De esta manera, se favorece una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades (Gil *et al.*, 2001). Además, los monocultivos pueden dar lugar a plagas y enfermedades que antes no existían como tales, y que los entrevistados identifican deficientemente y por ende, no saben cómo combatirlos (Valero *et al.*, 2011). Este aspecto muestra que el conocimiento tradicional no se adapta rápidamente a las nuevas circunstancias.

Cabe señalar que el hecho de que los agaves tengan una amplia diversidad genética, les permite responder a los cambios ambientales, los cambios en el mercado de los productos comercializados actualmente y que, de esta manera, los agaves pueden manejarse en sistemas de cultivo múltiple, asociarse con otras especies, como las que integran el sistema tradicional mesoamericano de milpa y también en sistemas agrícolas innovadores para así satisfacer diversos

usos al mismo tiempo (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007b). Sin embargo, existe una ventaja fisiológica asociada con el incremento en el contenido de azúcar en el tallo como materia prima para la producción de mezcal:

“Cuando se capa la planta hay problemas de enfermedades, ya que se deja reposar la planta antes de su cosecha. En este tiempo, muchas plantas se contaminan y se enferman, son más frágiles a la entrada del picudo o simplemente se secan y ya no hay el mismo rendimiento”.

También se han encontrado ‘escarabajos rinocerontes’ (*Strategus aloeus*) que en estado adulto se alimentan de raíces y tallo del agave. En los agaves también hay insectos con potencial benéfico, como un coleóptero (*Hololepta* sp.) que depreda sobre pre-larvas y larvas del picudo (CESAVEG, 2011). Los productores en ambas regiones estudiadas identificaron como plaga al gusano del maguey, que crece dentro de raíces y pencas (hojas) de la planta. Es la larva de *Agathymus* y *Megathymus* (la palomilla parda). Así mismo, el ‘capado’ del maguey ocasiona hinchazón y ruptura de la piña, lo cual es aprovechado por *Alienoclypeus insolitus* (avispita parasitoide), de tal manera que sus larvas se alimentan dentro del picudo, causándoles la muerte y de ahí, ejerciendo un control biológico natural de esta plaga (Figuroa-Castro *et al.*, 2017).

El daño ocasionado en el maguey espadín se manifiesta en plantaciones recién establecidas. Los gusanos de maguey perforan las pencas hasta llegar a la piña, sin matar a la planta; pero se reduce la calidad de esta y los orificios son puntos de entrada de patógenos (CESAVEG, 2011). Sin embargo, estos gusanos son parte de la gastronomía prehispánica, característicos de Oaxaca (el ‘mezcal de gusano’), que es un mezcal joven abocado (mezcal al que se le incorpora directamente algún ingrediente para adicionar sabores: gusano, naranja, mango, entre otros, así como lo es el mezcal de Guerrero abocado con la planta ‘Damiana’ (*Turnera difusa* Willd.) (NOM-070-SCFI-2016).

Es importante que los productores adopten una actitud preventiva en el manejo de las plagas. Por ejemplo, en las dos regiones hubo entrevistados que mencionaron que es recomendable mantener el cultivo libre de malezas para evitar o reducir el establecimiento de plagas y enfermedades. Aunado a esto, se podría emplear control biológico, ya identificado el problema. Debido a que en el área de estudio “no se utiliza ningún tipo de control para evitar las plagas porque no hay dinero”, los productores caen en el conformismo: “sólo se aprovecha lo que se puede y lo que

*queda de las plagas*” e intentan producir por semilla, porque en este caso “*la planta resiste las inclemencias del campo*” y cuando se produce por hijuelo “*la planta es más débil*”.

Solo en Atetetla luchan contra plagas y enfermedades empleando insecticidas, fungicidas y fertilizantes, desde que se pone la semilla en el vivero hasta la parcela: “*se le aplica al maguey lo que se requiera para detener los problemas de plagas*”. El conocimiento científico aportado por los investigadores y el conocimiento tradicional que poseen los productores de agave pueden sumarse en forma sinérgica para encontrar respuesta a los distintos problemas fitosanitarios, buscando en conjunto la mejor alternativa que asegure el bienestar de los agricultores y el desarrollo rural (Williamson, 2002).

#### **6.4.4 Usos, costumbres, problemática y alternativas**

Los magueyes están íntimamente relacionados con la cultura, tradiciones y costumbres del México rural. Su aprovechamiento se observa en la fabricación de canastas, sacos y cordeles, entre otros, a partir de las fibras de especies como *A. fourcroydes*, *A. sisalana* y *A. angustifolia* (Espinoza, 2015). En Guerrero también se hacían *cuaxtles* (tapete artesanal que se elaboraba a base de bagazo de maguey para proteger el dorso de los animales de carga), *morrales* y *sombreros* de las fibras de maguey ‘pitero’. Hoy en día, las poblaciones de este maguey “*ya se ven muy poco, antes había tantos en los cerros que hasta se vendía el ixtle (fibra), pero como es un agave que no se puede utilizar para hacer mezcal (porque le deja un sabor picosito) a nadie le interesa cuidarlo*”. Cabe resaltar que hay magueyes en el área de estudio, de los cuales aún hace falta estudiar su taxonomía. Desafortunadamente, los entrevistados manifestaron que solo están interesados en conservar las plantas y rescatar el conocimiento en torno a la elaboración de mezcal. No identificaron la importancia de explorar otros usos. Es decir, existe una preocupante desmemoria biocultural, ya que en el estado de Guerrero el único uso actualmente es producción de mezcal.

En el campo de la medicina tradicional y moderna, los agaves tienen una gran importancia. *A. fourcroydes* produce sapogeninas esteroidales con propiedades antiinflamatorias y antiparasitarias; *A. tequilana* y *A. salmiana* son una fuente potencial de prebióticos y fructanos que están constituidos en la ‘miel de agave’ (López *et al.*, 2003; Vargas-Ponce *et al.*, 2009); así mismo *A. celsii*, *A. lechuguilla*, *A. mapisaga*, *A. striata* y *A. americana*, entre otros, poseen

propiedades farmacéuticas (Ayón, 2007). Además, el bagazo de *A. salmiana* y *A. weberi* se utiliza como sustrato para producir hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* (Heredia-Solís *et al.*, 2014). En el área de estudio, el bagazo se utiliza en el vivero como sustrato para sembrar maguey y como abono en los cultivos. Un entrevistado sintetizó lo que se observó en todas las localidades donde se realizó el presente estudio: “*No se ha investigado otra aplicación*”. Alguno más señaló que:

*“Los abuelos se comían el corazón del maguey (tallo cocido), también lo molían y se lo agregaban a la masa para hacer tortillas. Pienso... que se tienen que hacer estudios al corazón y al escapo floral del maguey para saber cuánto nos nutre al comerlo o si realmente nos sirve para curar alguna enfermedad. Por ejemplo, cuando se labra el maguey le da sarna (prurito) a la persona que labró, pero hemos visto que eso es bueno para curar la fiebre porque refresca”.*

En este contexto, si se elaborara un listado de los usos y aplicaciones de las especies de agave endémicas de México (Huerta-Alcocer *et al.*, 2014), probablemente sería bastante extenso. A pesar del conocimiento tradicional que se tiene de las diferentes especies de agave y los distintos productos que se obtienen de ellos, no parece ser suficiente para sostener los sistemas agrícolas deseables para satisfacer la demanda de mezcal. Por lo que es importante preservar los agaves, ya que esto aseguraría su aprovechamiento sustentable y permitiría que la planta de maguey no sólo sea la materia prima para producir mezcal. La investigación científica puede aportar en ese objetivo.

El uso principal de los magueyes guerrerenses es como materia prima para elaborar mezcal. El maguey ‘criollo o sacatoro’, variedad local de *A. angustifolia*:

*“tiene muy buenos azúcares por ser agave silvestre. Es muy bueno para el mezcal, pero es una planta pequeña, puede llegar a tener cien o más hojas, de una longitud máxima de 70 cm, el ancho de la hoja es de 7 a 10 cm, sus espinas son pequeñas y muchas a lo largo de la hoja, el color de las hojas es verde limón.*

Sin embargo, el que más se utiliza en la región Centro es el maguey ‘papalote’ (*A. cupreata*). Este es un maguey “*que crece a los lados, sus hojas son anchas y de ahí el nombre papalote, sus espinas son grandes y guarda mucha agua.* El maguey ‘espada o espadín’ (*A. angustifolia*) *llega a tener 80 hojas en la roseta, la longitud de sus hojas puede ser de 1 a 2 m, el ancho de su hoja*

de 10 a 15 cm y el color es verde cenizo. La diferencia principal entre los *A. angustifolia* variedades locales ‘espadín’ y ‘sacatoro’ es que el espadín rinde en kilos, pero el sacatoro rinde en azúcar”. Es decir, la planta de maguey espadín es más grande; por lo tanto, se requiere una menor cantidad de estas para llenar las tinas. En cambio, el maguey sacatoro es una planta pequeña, por lo que incrementa la demanda de mano de obra y de plantas. Sería recomendable reforzar este conocimiento local con investigación científica regional.

En Guerrero, el mezcal se produce en ‘fábricas’ familiares que conservan la tradición de sus antecesores, para lo cual la cocción del agave se hace en hornos cónicos en el subsuelo, las tinas de fermentación en su mayoría son de madera y los alambiques de cobre se usan para destilar. Para cocer el maguey se utilizan piedras calentadas con leña, igual que con los hornos prehispánicos (Salas y Hernández, 2015). Sin embargo, se debe considerar el impacto ambiental que esto genera en el ecosistema, ya que la leña *principalmente es leña verde y una parte seca para que arda bien la flama* que se utiliza en la cocción y destilado. Esa leña se obtiene de distintos árboles: predominando el encino amarillo y blanco (*Quercus magnoliifolia* y *Quercus* sp.), capire (*Sideroxylon capiri*) mesquite (*Prosopis* sp.), tepehuaje (*Lysiloma acapulcensis*), tepezcohuite (*Mimosa tenuiflora*) alcanfor (*Eucalyptus* sp.), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), cazahuate (*Ipomoea murocoides*), palo dulce (*Eysenhardtia* sp.), cubata (*Acacia cochliacantha*), copal (*Bursera* sp.), cuajote (*Pseudosmodium perniciosum*), tepemezquite (*Lysiloma divaricata*), cascalote (*Caesalpinia* sp.), palo brasil (*Caesalpinia* sp.), palma (*Brahea dulcis*), nanche (*Byrsonima crassifolia*), quina (*Hintonia latiflora*), guaje (*Leucaena esculenta*) y otros.

Es probable que alguna de las especies que están siendo usadas con ese propósito, esté incluida en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Al respecto, es conveniente que se realicen estudios florísticos, de abundancia y distribución; la presente investigación no tuvo ese objetivo. Esto es importante también debido a que en el área de estudio ningún productor mencionó contar con un permiso de aprovechamiento forestal: *no hay ley para el manejo del maguey ni para la leña*; la extracción de leña es una necesidad que difícilmente se va a sustituir por algún otro tipo de combustible debido al alto costo que eso implica, además de que el mezcal perdería su sabor característico y su valor simbólico como producto artesanal. Una alternativa es fomentar la plantación de especies forestales de rápido crecimiento y alto poder calorífico, que a su vez se podría convertir en una fuente de empleo para las localidades.

Otro problema es *el desmonte para sembrar maguey*. No es recomendable cambiar la forma campesina ancestral de manejar varios recursos a la vez, sin tener que depender de uno solo y sin convertir todas las tierras en cultivos de maguey o cualquier otro producto, por muy atractivo que esto pueda parecer (Illsley *et al.*, 2005). Por ejemplo, se puede optar por una alternativa silvopastoril que integre el maguey con la producción animal, optando por un manejo del ganado sin que se convierta en un problema para el cultivo de agave. De esta manera, se mantiene la relación sociocultural en torno a la planta y a sus procesos de producción.

En la región Centro, los entrevistados forman parte de la organización Sanzekan, que actúa como intermediario en la comercialización de sus mezcales. A los productores asociados se les indican ciertas reglas para proteger el ambiente y para asegurar la calidad del mezcal. Entre estas, se pueden mencionar: el manejo sostenible del maguey silvestre, reforestación en el monte y sistemas agroforestales, cosechar sólo magueyes maduros, elaborar mezcal de manera tradicional y 100% de maguey, entre otros.

Así mismo, en el año 2003 surgió la Sociedad de Productores de Mezcal “Mexcalli Papalotl del Chilapan”, sociedad que se encarga de cuidar el envasado, maduración y comercialización del mezcal en la región centro. Reglamentar ciertas pautas podría ser una alternativa para la región Norte, donde no se han adoptado ese tipo de normas. Por último, se pudo apreciar que existe interés entre todos los entrevistados por buscar alianzas con instituciones académicas para encontrar soluciones a los diversos problemas identificados. Esto debería hacerse conservando siempre el respeto a la identidad y tradiciones de las comunidades involucradas.

**VII. PROUESTA DE MANEJO  
SUSTENTABLE PARA *Agave  
angustifolia* Y *Agave cupreata***

---



## 7.1 MÉTODO

Para llevar a cabo un manejo óptimo de agave se debe contar con el mejor conocimiento del paisaje, tener noción del aspecto económico y claridad de lo que implica el maguey en el tejido social de cada cuenca. Es por eso que se trabajó la caracterización fenotípica del maguey sacatoro y espadín, determinación bioquímica y nutrimental de los magueyes sacatoro, espadín y papalote, las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales del suelo y de los magueyes así como el conocer la percepción y conocimiento tradicional de los productores sobre el uso y manejo del maguey guerrerense, para analizar de manera integrada el manejo óptimo de cada especie de maguey en un sitio con características específicas. Con ello, a partir del estado actual del suelo que se encontró en cada localidad estudiada, se propuso un manejo adecuado para cada especie de acuerdo con todas las especificaciones mencionadas anteriormente. Tomando en cuenta las características específicas ambientales y socialmente descritas en los capítulos anteriores complementando con estudios realizados en torno a estos magueyes en el estado de Guerrero.

## 7.2 DESCRIPCIÓN BIOLÓGICA DE *Agave angustifolia* y *Agave cupreata*

El maguey, nombre genérico aplicado a las plantas de la familia Agavaceae, integrada entre 173 y 200 especies, de las cuales 163 de ellas son endémicas del territorio nacional mexicano, constituyen la materia prima para la elaboración del mezcal.

### *Agave angustifolia*

Esta especie de maguey forma parte del complejo *angustifolia* debido a su amplia distribución, por lo que también es denominado comúnmente de diferentes formas: doba-yej (zapoteco: maguey de flor), daá-yave (mixteco), chelem (maya: mezcal del monte), hamoc (seri), amole, espadín, espadilla, espada (por lo angosto y forma de su hoja), hubuk, tepemete, bacanora y zapupe (CONABIO, 2006).

### *Descripción botánica*

Es una planta que muestra una roseta cespitosa con sus hojas abiertas en ocasiones no tanto, con 80 a 220 cm de altura y de 90 a 349 cm de diámetro; sus hojas presentan una forma lineal o lanceolada, generalmente de 43 a 226 cm de largo por 4 a 16 cm de ancho, rígidas y, fibrosas, ascendentes a horizontales, de coloración verde claro a verde grisáceo, la forma del corte transversal puede ser plana o cóncava hacia el ápice y convexas hacia la base, estrechas

angostándose hacia la base; margen recto a ondulado, algunas veces cartilaginoso; sus espinas laterales son pequeñas de 2 a 5 mm de largo, poco espaciadas entre sí de 7 a 24 mm, de color marrón rojizo a marrón oscuro de bases estrechas y puntas rectas o ligeramente curvas; la espina terminal de 1 a 3.5 cm de largo, cónica o subulada, de color marrón oscuro, grisácea, plana o acanalada hacia arriba. Presenta una inflorescencia paniculada de 3 a 5 m de largo, abierta y en ocasiones bulbífera, el pedúnculo más largo que la panícula, con brácteas triangulares estrechas entre 10 a 20 ramas. Las flores son de color amarillento de 50 a 65 mm de largo; el ovario es pequeño (20 a 30 mm), angulado, cilíndrico, a veces estriado, adelgazándose hacia la base; el pistilo tiene un estilo corto y un tubo en forma de embudo a urceolado de 8 a 16 mm; sus tépalos son desiguales de 18 a 24 mm de largo por 3 a 4 mm de ancho, filamentos de 35 a 45 mm de largo, delgados, planos e insertados en la parte media del tubo, sus anteras son de color amarillo de 20 a 30 mm de largo. Presenta capsulas ovoides de 3 a 5 cm de largo, de color marrón oscuro, leñosas, cortamente estipitadas, con semillas color marrón de 9 a 12 mm de largo por 7 a 8 mm de ancho, con un hilio claramente hendido (Vázquez-García *et al.*, 2007).

Así mismo, en Guerrero existe una especie denominada ‘sacatoro’, ubicada principalmente en la región centro del estado de Guerrero. La complejación de la especie *A. angustifolia* nos llevó a estudiar sus características fenotípicas, encontrando que en efecto los taxones *A. angustifolia* ‘sacatoro’ y *A. angustifolia* ‘espadín’, son finalmente la misma especie (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019). Sin embargo, los productores la clasifican por separado debido a que este maguey se encuentra en su forma silvestre mostrando una roseta pequeña (< 1m), espinas laterales pequeñas y numerosas (más de 150) y por ende, sus características morfológicas y bioquímicas parecieran diferenciarse, pero no es más que el producto de una planta que en algún momento de sus procesos fisiológicos tolera estrés hídrico, nutricional, incluso la diferenciación se podría atribuir a la propagación vegetativa del germoplasma debido al excesivo uso como materia prima para la producción de mezcal. Es claro que el maguey espadín se distingue por su mayor domesticación.

*Clasificación taxonómica:*

⤵ Reino: Plantae

⤵ Clase: Equisetopsida C. Agardh

⤵ Subclase: Magnolilidae Novak ex Takht

⤵ Superorden: Liliales Takht.

⤵ Orden: Enlace de Asparagales

⤵ Familia: Asparagaceae Juss

⤵ Género: *Agave* L.

⤵ Especie: *angustifolia* (Figuras 19)

Especie: *angustifolia* (Figura 20)



**Figura 18.** *A. angustifolia*  
'maguey espadín'



**Figura 19.** *A. angustifolia*  
'maguey sacatoro'

### *Agave cupreata*

Es un maguey que en su forma silvestre crece en las montañas y cañadas que forman la cuenca del río Balsas, reglamentado a través de AMCHI en el estado de Guerrero, para conservar sus poblaciones silvestres. Comúnmente se le denomina, papalometl (náhuatl: maguey mariposa), yaabenisi (mixteco), ancho, magueypapalote, cimarrón y/o tuchi (Colunga, 2006; CONABIO, 2006).

#### *Descripción botánica*

Este maguey muestra una roseta acaulescente, con sus hojas ampliamente abiertas, llega a medir de 90 a 180 cm de altura y de 115 a 260 cm de diámetro. Sus hojas presentan una forma ampliamente lanceolada, generalmente de 55 a 122 cm de largo por 19 a 30 cm de ancho, carnosas, y muy fibrosas, ascendentes a horizontales, de coloración verde claro brillante a verde limón, la forma del corte transversal puede ser en forma de U o en forma de V, angostándose hacia la base; el margen de la hoja es ondulado, algunas veces cartilaginoso; sus espinas laterales son grandes de 1 a 3 cm de largo, la distancia entre las espinas laterales es de 1.7 a 6 cm, de color marrón rojizo a marrón oscuro de base muy estrecha y angosta hacia la punta recta y/o curvas; la espina terminal de 5 a 8 cm de largo, cónica de color marrón oscuro, rojizo, grisácea, acanalada hacia arriba. Presenta un escapo floral de 3 a 6 m de largo, con una inflorescencia paniculada, abierta y en ocasiones bulbífera. Las flores son de color amarillo, la panícula de flores empieza a aparecer de enero a abril y van madurando de izquierda a derecha, primero maduran las de abajo y al final las de la punta. En cada panícula tiene aproximadamente 120 flores, de éstas sólo se alcanzan a formar entre 20 y 40 frutos en forma de cápsulas ovoides, de color marrón oscuro, con aproximadamente 300 semillas cada uno (Ilsley *et al.*, 2005).



**Figura 20.** *A. cupreata* – maguey ‘papalote’ y su inflorescencia en panícula

### *Agave megalodonta*

Es un maguey estrechamente relacionado con *A. xylonacantha*. En Oaxaca se conoce como maguey espumoso y en Guerrero se conoce como maguey de cañada. Es una especie endémica de la cuenca alta del río Balsas, en los estados de Guerrero, Oaxaca y Puebla. Se usa ocasionalmente para producir mezcal, el principal factor de riesgo para la especie, por lo que se considera como Amenazada (NOM-059-SEMARNAT-2010) y Casi Amenazada de acuerdo con los criterios de la IUCN (2017).

### *Descripción botánica*

Es una planta perenne, solitaria y acaule; roseta laxa, hojas 6-10 veces más largas que anchas, ensiformes a oblongo-lanceoladas, fibrosas, erectas a recurvadas, laminas aplanadas, lisas al tacto, color verde-amarillento o verde oscuro, con tistes purpúreos en ambas superficies, haz con una banda longitudinal central, base delgada, ápice largamente acuminado, margen recto, córneo de color blanco o grisáceo, dientes variables, ganchudos de color grisáceo; inflorescencia espiciformes, erecta, pedúnculo glauco o purpúreo, ceroso, brácteas del pedúnculo 25-30 x 1.5-3.5 cm, triangulares, cartáceas, margen entero, espina terminal 2-3.5 x 0.3-0.5 cm, brácteas florales 3-6 x 0.3 cm, filiformes, flores 3.5 -4.5 cm de largo, color amarillo pálido o verde-amarillento con máculas en el margen y en el lado adaxial de los tépalos; estambres con filamentos 3.5-4 x 4.7; cápsulas 1.5-2 x 1 cm; semillas 3 x 2.5 mm, semicirculares, sin ala, color negro.



**Figura 21.** *Agave megalodonta* García-Mend. & D. Sandoval. P. Planta en floración, Q. roseta, R. margen de la hoja, S. flores y T. inflorescencia (García-Mendoza *et al.*, 2019).

### **7.3 REPRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN DE LOS MAGUEYES PAPALOTE, ESPADÍN Y SACATORO EN GUERRERO**

El *A. cupreata* sólo se reproduce sexualmente, es decir, por semilla. En cambio el *A. angustifolia* se reproduce de forma sexual y/o asexual, es decir, por semilla, hijuelo (rizoma) o bulbilo (yemas en el escapo floral, que actúan como un órgano de multiplicación vegetativa). En la región norte principalmente se cuenta con maguey espadín y muy poco maguey sacatoro; en la región centro predomina el maguey papalote y sacatoro, región donde se reconoce y valora el maguey sacatoro, por sus azúcares abundantes, debido a que es un maguey aprovechado exclusivamente en su forma silvestre.

Ya se consideró la iniciativa de la reproducción de *A. cupreata* en vivero. Sin embargo, el desquile ‘capado de la planta’ se suma como una de las principales desventajas para esta especie en particular, ya que conlleva a disminuir la densidad poblacional debido a la escasez de la semilla. El efecto de la cosecha en la demografía de las poblaciones se agrava porque las plantas necesitan entre siete y 15 años para alcanzar su madurez sexual (Sáenz *et al.*, 2014). Aunado a esto, el agave es una planta semélpara (se reproduce una sola vez en su ciclo de vida); por tanto, sólo florece una vez y muere.

En su forma silvestre las poblaciones de maguey se propagan de forma natural e intervenida por los campesinos con un manejo incipiente. En su forma natural, se presenta cuando los magueyes se ubican alejados de las poblaciones humanas; en estas condiciones, el maguey llega a su etapa reproductiva, desarrolla el escapo floral, florea y finalmente fructifica. Al madurar el fruto, se abre y las semillas se dispersan con ayuda del viento, el agua o incluso algunos animales. Cuando las semillas son depositadas al suelo, germinan y se establece una nueva plantación. De esta forma, emergen plantas en una mínima cantidad, ya que, si llega a florecer un maguey que se ubica en las laderas del monte, es porque se ‘escapó’ del capado de los productores.

También se renuevan las poblaciones de maguey a través de los cultivos, lo cual implica que los productores recolectan la semilla, bulbilo y/o hijuelos de magueyes silvestres o magueyes que ya están establecidos en parcela, para su propagación. En el caso del *A. angustifolia*, la forma común de propagación es asexual, técnica que consiste en separar los vástagos (hijuelos), que emergen del rizoma, ya que se producen de 10 a 20 plantas de cada planta madre. La desventaja principal

en esta forma de propagación para *A. angustifolia* (maguey sacatoro y maguey espadín), es que es de forma asexual, lo cual disminuye la variabilidad genética y trae consecuencias como susceptibilidad a plagas y enfermedades.

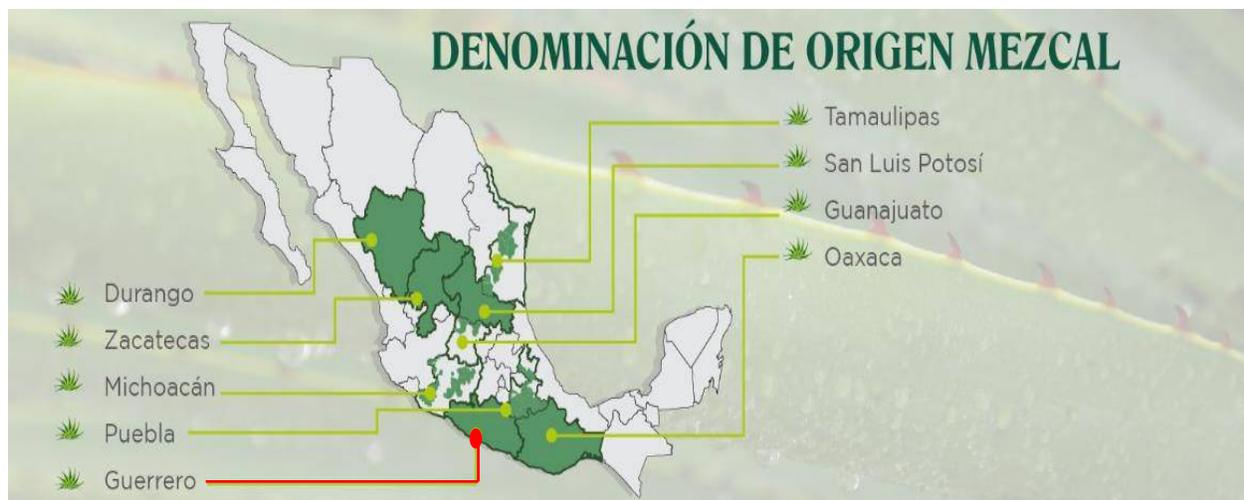
Por lo anterior, es de suma importancia considerar en el manejo de cada especie las desventajas mencionadas. Es decir, mantener un equilibrio entre el desquite de ambas especies y la producción de semilla para asegurar la conservación de *A. cupreata* y *A. angustifolia* en sus respectivos ecosistemas.

## 7.4 USOS ENTORNO A LOS MAGUEYES GUERRERENSES

El maguey representa un recurso natural de importancia desde el punto de vista económico, social y agroecológico debido a la interacción de la cultura con los agaves, lo cual ha permitido el desarrollo de un vasto conocimiento tradicional sobre sus usos, técnicas de manejo y aprovechamiento, que se han transmitido por generaciones. El aspecto económico es el más estudiado, ya que el maguey es un eje potencial de desarrollo en las regiones productoras de mezcal. Esto se debe a que los tallos de agave, también denominados piñas o corazón de maguey son la materia prima para la producción de mezcal.

En Guerrero se destinan 1,732 ha para cultivar *Agave* spp. y en el ciclo agrícola 2017 el valor de la producción fue de 34, 175.02 miles de pesos (1.711,94 USD), además que se comercializan en promedio 1,527,700 litros de mezcal tanto en el mercado nacional como en el extranjero (SIAP, 2018).

El auge internacional que ha logrado la exportación de mezcal a mercados gourmet de aproximadamente 42 países le ha permitido convertirse en un importante factor de desarrollo de comunidades rurales mexicanas. Así, el *Agave* se ha convertido en un importante recurso para potenciar el desarrollo económico de las localidades productoras. Considerando además, que el mezcal guerrerense cuenta con Denominación de Origen (DOM) (COMERCAM, 2018).



**Figura 22.** Denominación de Origen Mezcal (COMERCAM, 2020).

Además, de acuerdo con Barrientos-Rivera *et al.* (2019b), el mezcal que se produce en el estado de Guerrero es de alta calidad, ya que las concentraciones de Ca, P, Mg, Na, Cu, Mn y Fe en el tallo (órgano de la planta que se utiliza para elaborar el mezcal) son muy bajas.

Por lo anterior, en Guerrero, el único uso de los agaves es la producción de mezcal. Por lo tanto, de esta investigación se deriva una serie de alternativas potenciales que podrían aprovecharse para mejorar la economía de los pobladores y el desarrollo de las localidades rurales, aunado a la conservación sustentable de los agaves.

Sin embargo, los magueyes espadín, sacatoro y papalote pueden contribuir en el valor agregado del producto y no sólo ser la materia prima para producir mezcal. El alto contenido de carbono orgánico total es un indicador de la capacidad que tienen estos magueyes para un óptimo desarrollo bacteriológico y actividad metabólica, por lo que el bagazo que se obtiene en la etapa de destilación puede ser una alternativa para la producción de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019b).

Así mismo, las hojas del maguey son un esquilmo agrícola en todas las regiones productoras de mezcal, sólo se aprovecha el tallo y las hojas tienen una alta cantidad de fibra, los productores dejan la hoja en la parcela como abono orgánico. Sin embargo, no es una opción ya que el cultivo principal en las regiones el maíz (*Zea mays*), el cual demanda nitrógeno y las hojas del maguey son deficientes de este elemento y de proteína. A pesar de esto, podrían ser una alternativa como alimento para rumiantes (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019b), siempre y cuando se le complemente con un sustituto de proteínas como cuaulote (*Guazuma ulmifolia*), frijolillo (*Centrocema plumiere*), entre otras.

Existe una diversidad de usos que se podrían agregar a estos magueyes, sin embargo, la carencia de estudios científicos aplicados a estas plantas, no permite optimizar al agave a través de un valor agregado a las especies *cupreata* y *angustifolia*.

## **7.5 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE *A. angustifolia*, *A. cupreata* y *A. megalodonta***

A continuación se sugiere una combinación de prácticas de manejo para asegurar la conservación sostenible de los magueyes guerrerenses.

- ↓ Se deben considerar las condiciones ambientales y sociales necesarias: régimen climático, altitud (msnm), pendiente, características fisicoquímicas del suelo: materia orgánica, pH, granulometría del suelo así como la geofoma del terreno, rasgos de erosión del suelo y los requerimientos sociales: organización social necesaria, intensidad de mano de obra, necesidad de conocimiento previo para la elaboración de mezcal, grado de aceptación de todo lo anterior por los productores, tecnologías de apoyo y planeación del uso del suelo.
- ↓ Dar prioridad a las prácticas de manejo tradicional por sus características y funciones.
- ↓ En terrenos con pendiente pronunciada deben implementarse franjas vegetativas de maguey para promover la conservación del suelo, estabilizar la pendiente y permitir el desarrollo pedológico *in situ*. Existe una serie de prácticas agroecológicas para conservación de suelos que son de bajo costo, requieren poca mano de obra, replicables con facilidad y que son necesarias en áreas que tengan algún indicador de pérdida de suelos (Ver Barrientos-Rivera, 2013).
- ↓ En los sitios donde haya acumulación de materia orgánica (aunque ésta sea ligera), no se deben proponer prácticas agronómicas que remuevan el suelo.
- ↓ Dejar al menos cinco calehuales por hectárea, uno en cada esquina de la parcela y otro en medio de ésta. Lo ideal, es dejar un calehual florecer por cada 20 piñas o cabezas (tallos) que se extraigan (Illsley *et al.*, 2005).
- ↓ No es suficiente un manejo de maguey silvestre, dejando calehuales año con año. Es importante implementar la reproducción de plántulas de maguey en vivero. Para esto, se debe considerar una planeación desde la siembra hasta la cosecha.

- ↓ Resembrar maguey sólo de hijuelos porque estén más a la mano, implique menos trabajo o porque crecen más rápido es una opción pero, se debe considerar sembrar 50% de la parcela con hijuelo o bulbilo y el otro 50% con maguey sembrado en vivero por semilla. De esta manera, se estaría evitando reducir la variabilidad genética y favoreciendo la resistencia de estas plantas a plagas y enfermedades.
- ↓ También es necesario implementar medidas profilácticas para bacterias, hongos y larvas de insectos, como: destruir e incinerar los restos de plantas plagadas, desinfestación del suelo utilizado en los almácigos, limitar la incidencia de bacterias y hongos en el vivero; pero principalmente evitar propagarlos al momento de llevar a cabo la plantación en la parcela.
- ↓ El suelo que se utilizará en las camas, se debe esterilizar previamente con agua caliente. También se sugiere dejar un espacio suficiente entre planta y planta para que al momento de extraer la planta de la cama, se extraiga con todo y tierra que tiene en su base; así se evitaría que la planta al extraerla con pura raíz entre en letargo y tarde más tiempo en madurar.
- ↓ Aunque implique un poco más de tiempo y trabajo, es necesario determinar los grados brix (concentración de azúcares) con un refractómetro de campo a cada planta que se va a cosechar para evitar cortar maguey tierno. El maguey tierno no sólo da mal sabor al mezcal, también es una planta que se pudiera aprovechar en un futuro con más concentración de azúcar para que rinda más mezcal. Evitando a su vez, pérdida de la planta, pérdidas económicas, mano de obra, tiempo de fabricación, pero sobre todo asegurar la calidad organoléptica del producto mezcal.
- ↓ El maguey es polinizado principalmente por murciélagos (*Leptonycteres nivalis*) e insectos. Estos animales tienen una función importante en el ecosistema y llevan a cabo la fecundación de las flores; por lo tanto, es fundamental cuidarlos, no destruyendo sus hábitats, no matarlos, ni ahuyentarlos.
- ↓ Cuando se siembre maguey de preferencia que sea a curva de nivel y a tresbolillo; de esta manera se aprovecha el agua al máximo y se retiene el suelo.

- ↓ Es importante establecer cercos vivos con árboles de crecimiento rápido; podrían ser el colorín (*Erythrina* sp.), guaje (*Leucaena* sp.), tepeguaje (*Lysiloma acapulcensis*), cuaulote (*Guazuma ulmifolia*), guamúchil (*Pithecellobium* sp.), copal (*Bursera bipinnata*), palo mulato (*Bursera simaruba*), azulillo o palo brasil (*Haematoxylum brasiletto*), entre otros. Esto, además de proteger el suelo de la erosión física y química en las parcelas, servirían para producir leña, alimento para el ganado, alimento humano, medicina herbolaria, usos rituales, entre otros. En el caso de las leguminosas, aportan nitrógeno al suelo debido a la formación de nódulos de bacterias (*Rhizobium* sp.) en sus raíces.
  
- ↓ Con la práctica anterior, se estaría excluyendo el ganado bovino de áreas con problemas de compactación en el suelo: encostramiento, disminución en la infiltración del agua, etc. y además, se protegen las parcelas donde el maguey es recién sembrado (por lo menos durante el primer año). De esta manera se evitarán pérdidas de plantas por pisoteo, evitar que se las coman o simplemente las arranquen.
  
- ↓ Es fundamental que cada productor lleve a cabo una planeación y control de la producción de maguey, desde cuánto siembra hasta el destilado. Así contará siempre con materia prima para la elaboración de mezcal, evitando gastos en comprar y trasladar maguey de otras localidades o de otros municipios.
  
- ↓ Producir maguey en monocultivo ocasiona erosión física y química al suelo. Por tanto, ambas especies de agave se pueden asociar e intercalar sin problema con cultivos anuales: maíz, frijol, garbanzo, cacahuate, calabaza, etc.; también es necesario incentivar la rotación de los cultivos anuales que se establezcan. De esta manera, se reducirían plagas y enfermedades e incrementaría el aporte de nutrimentos al suelo. Además, es una forma de asegurar el alimento en las familias ya que se tendrá cosecha para el tiempo de estiaje y de lluvias, lo cual a su vez permitiría mitigar la migración.
  
- ↓ Es fundamental fomentar la actividad productiva entre los miembros de la familia, integrándolas a la dinámica de la producción del maguey y la preservación de los recursos naturales en torno a éste, aportando y preservando conocimientos y valores creados en familia y en comunidad.

- ↓ La extracción de leña es una necesidad tanto para elaborar el mezcal como para el uso doméstico. Sin leña no hay mezcal artesanal; por lo tanto, se debe fomentar la plantación de especies forestales de rápido crecimiento y alto poder calorífico. Por ejemplo, tepehuaje (*Lysiloma* sp.), guamúchil (*Pithecellobium* sp.), cazahuate (*Ipomoea* sp.), palo dulce (*Eysenhardtia* sp.), cubata (*Acacia* sp.), copal (*Bursera* sp.), entre otros, lo importante es promover la siembra de los árboles de la región.
- ↓ Es necesario impulsar en las comunidades productoras el establecimiento, difusión y adopción de un conjunto de normas y lineamientos de conducta en ciertas pautas en la región norte en torno al maguey, la leña, los animales, reforestación de las zonas de recarga de las cuencas, conservar el suelo, etc.; en la región centro se necesita complementar el reglamento ya establecido a través de AMMCHI que hasta el día de hoy les ha funcionado aceptablemente.
- ↓ Debido al crecimiento acelerado de la demanda y del consumo de mezcal, se están afectando especies que anteriormente no se utilizaban para este fin. Tal es el caso de *Agave megalodonta* García-Mend. & D. Sandoval, una especie nueva para la ciencia, endémica de la cuenca alta del río Balsas (Guerrero, Oaxaca y Puebla). Presenta una distribución restringida a la subcuenca del río Tlapaneco y que a pesar de que se acaba de añadir a la ciencia, ya está catalogada como especie Amenazada (A) (SEMARNAT, 2010) (García-Mendoza *et al.*, 2019). Los productores de maguey mencionaron “Empezaré (2018) a poner almácigos de maguey para sembrar porque ya no hay maguey en el monte” situación que se presentó principalmente en la región Norte. Sin embargo a este maguey se le observó (en los recorridos de campo) en ambas regiones de estudio.
- ↓ Otra especie que juega un rol interesante además del maguey, en la región centro principalmente, es la palma (*Brahea dulcis*) ya que sus hojas son los hilos del acervo tradicional y artesanal que caracteriza al municipio de Chilapa de Álvarez, donde se elaboran artesanías como bolsas, cuaxtles, sombreros, canastas, etc., todos ellos tejidos en forma manual empleando la palma como insumo. Por lo que sería una interesante asociación palma-maguey, cuidando la que hay a través de la limpia y promoviendo su siembra.

- ↓ La planta de maguey ofrece una diversidad de aplicaciones que puede mejorar y sustentar los ingresos que obtienen para las familias. Además, el maguey es el eje rector para la organización entre productores y pobladores.
- ↓ La planta de maguey se ha convertido en el eje rector de las comunidades rurales, la economía de las familias y el tejido social, debido a que es un sistema producto de importancia económica. A todo productor de mezcal le interesa que se realice un manejo adecuado de estas plantas; por lo tanto, deben promover estrategias reglamentarias para cuidar que los acuerdos comunitarios se lleven a cabo. Esta preocupación surge debido al aprovechamiento exhaustivo de plantas de maguey, ya que está disminuyendo la densidad poblacional por lo que es necesario conservar los magueyes silvestres.
- ↓ Cada microcuenca requiere un ordenamiento y planeación para poder hacer de ello un uso adecuado, acorde a lo que tiene en recursos naturales y sociales de tal forma que permita que sus propios recursos sirvan también para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.
- ↓ *Especificaciones generales en la elaboración de mezcal:* Tratar de adecuar las condiciones necesarias para el buen funcionamiento de la fábrica de mezcal. En el proceso de fermentación, se debe evitar la entrada de oxígeno, sellar las tinas herméticamente, llevar un control de la temperatura (lo óptimo son 30 °C), el pH puede ser una limitante en el proceso elaboración del mezcal, por lo que se recomienda que se regule a un pH de 3 a 4, homogeneizar cada etapa comprendida en la elaboración de mezcal, entre otros.
- ↓ Una pauta fundamental que se debe considerar, son las actividades que llevan a cabo las mujeres, los niños y los jóvenes en cada proceso de elaboración del mezcal y del manejo del maguey. Así, cada miembro de la familia comprenderá la importancia y conservará su valor de estas plantas, no sólo monetario sino cultural y biológico. Por ejemplo, los niños pueden apoyar en la siembra y los cuidados de la planta, los jóvenes y las mujeres en el labrado o cosecha, fermentación, destilación, el mercadeo, etc.; en el caso de Sta. Cruz, la familia (esposa e hijos) de Don Faustino conoce todo el proceso de elaboración del mezcal, y no es problema si él tiene que salir a trabajar (Sanzekan Tinemi) a Chilapa.

Lo anterior es un caso de éxito y, podría considerarse como un modelo a seguir para que las demás localidades del área de estudio lo retomen; esto surge debido a que podría presentarse alguna problemática en un futuro, como: emigración del esposo, fallecimiento, enfermedad, etc. lo cual ocasionaría pérdida de conocimiento en los procesos que conlleva el maguey y la importancia cultural que este ejerce en cada familia para futuras generaciones.

## **VIII. CONCLUSIONES GENERALES**

---



## CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo refuerzan las consideraciones generales para la conservación de los agaves estudiados; añadiendo que en la zona de estudio, la importancia de los magueyes evaluados principalmente se enfoca en la producción de mezcal.

Este estudio aportó una aclaración del conocimiento biológico de los taxones *A.angustifolia* ‘sacatoro’ y *A. angustifolia* ‘espadín’, y será de utilidad para los productores de mezcal del estado de Guerrero ya que con esta información se confirma que ambos taxones son finalmente la misma especie. Aunque ambas se puedan distinguir morfológicamente, los resultados confirman una estrecha relación entre ellos. Por ende, las diferencias morfológicas pudieran atribuirse a la selección y propagación vegetativa del germoplasma con características deseables debido al excesivo uso como materia prima para la producción de mezcal, uso principal en el área de estudio.

Los tres magueyes, podrían contribuir en el valor agregado del producto, y no sólo ser la materia prima para la producción de mezcal. El alto contenido de COT indica la capacidad que tienen estos magueyes para un buen desarrollo bacteriológico y actividad metabólica, por tanto el bagazo pudiera aprovecharse como sustrato en la producción de hongos comestibles, sumado a la alta cantidad de fibra obtenida en las hojas de los tres magueyes sacatoro (40.50%), espadín (41.87%) y papalote (27.14%). Por lo que se puede asumir que las hojas de estos magueyes son una fuente rica en fibra pero pobre en nitrógeno (<2%) y proteína (<5%). Sin embargo, pudieran ser una alternativa como alimento de rumiantes, siempre y cuando se le complemente la alimentación con un sustituto de proteínas (leguminosas). Con ello, se estaría aprovechando la hoja ya que en el estado de Guerrero las hojas y el bagazo de maguey son esquilmo agrícola.

La concentración de carbohidratos (azúcares) en el tallo fue mayor que en la penca, por lo que no es recomendable dejar residuos de hoja en las piñas usadas para elaborar mezcal, ya que se refleja en las características sensoriales del mezcal. Conocer los azúcares (ART y/o °Bx) que constituyen los agaves mezcaleros nos permitirá eliminar pérdidas económicas, trabajo (mano de obra), tiempo de fabricación pero sobre todo asegurar la calidad del producto (mezcal).

El mezcal que se produce de los magueyes guerrerenses es de alta calidad, ya que la parte utilizada para elaborar esta bebida es el tallo y fue el que mostró menor concentración en Ca, P, Mg, K, Na, Cu, Mn y Fe, excepto en Zn y Mo. Lo cual pudiera ser el resultado del tipo de suelo, por ser elementos importantes en los mismos, los cuales contribuyen al crecimiento de las plantas.

Por consiguiente, dar tratamiento a los desechos del bagazo también contribuiría en la mitigación de la contaminación ambiental respecto a las mezcaleras y podría convertirse en una fuente adicional de ingresos para las familias relacionadas con esta actividad. Además, cuando a *A. angustifolia* y *A. cupreata* se les abastece de nutrimentos en su etapa de maduración, desarrollan tallos grandes y con mayor contenido de azúcares.

Es importante promover la siembra de los tres agaves mezcaleros guerrerenses como cultivo alternativo, ya que según la caracterización nutrimental y fisicoquímica de los agaves estudiados, se consideran de buena calidad para contribuir en la conservación del maguey y de las cuencas donde se desarrollan estas plantas, siendo un factor importante para el desarrollo socioeconómico de la población.

Hacer un diagnóstico de las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales de los suelos que sostienen los cultivos de agave en Guerrero ha sido de suma importancia, ya que nos permitió conocer las limitaciones de los suelos estudiados para el manejo de la interacción suelo-planta, especialmente en relación con la ausencia y excesos de algunos elementos. Por lo tanto, conocer los mecanismos de absorción, translocación, acumulación y resistencia de algún elemento en las plantas de agave bajo exceso y toxicidad es fundamental para mejorar el cultivo de *A. angustifolia* y *A. cupreata*.

Por lo anterior, es recomendable llevar a cabo la labranza de conservación en el área de estudio, para sostener o aumentar el contenido de carbono orgánico al combinarse con sistemas de cultivo extensivo; y la necesidad de prácticas de rotación de cultivo para mantener la productividad agronómica y la sostenibilidad económica.

Sin embargo se debe considerar que ningún programa de manejo será exitoso sino se toma en cuenta el conocimiento tradicional que tienen los campesinos productores de agave y mezcal en el área de estudio, el cual les ha permitido la persistencia de esta actividad durante varios siglos.

La interacción de dicho conocimiento con el que aportan los avances de la investigación científica en las distintas áreas analizadas puede contribuir a fortalecer y asegurar dicha permanencia. El maguey podría ser una alternativa para evitar la emigración de los productores, porque tiene relación con una serie de actividades combinadas que les permiten tener empleo remunerado. De ahí la importancia y preocupación de los maestros mezcaleros por conservar los magueyes, ya que son una oportunidad económica basada en un recurso natural. Por lo tanto, el maguey es el eje rector de la cohesión social a nivel local, pues contribuye a conservar las alianzas y relaciones de ayuda mutua entre productores. No obstante, es fundamental fomentar su actividad productiva en sus familias, integrándolas a la dinámica de la producción no sólo del maguey, sino de los conocimientos y valores creados en familia y en comunidad alrededor del maguey y el mezcal.

Combinar el conocimiento local y la investigación ecológica es una amalgama de utilidad para desarrollar acciones efectivas que aseguren una perspectiva sostenible de los magueyes. También es importante promover el intercambio de conocimiento entre comunidades y regiones para mejorar y/o reforzar el conocimiento tradicional de manejo del agave en conjunto con la biodiversidad y servicios ambientales en torno a esta planta. Además, la interacción entre los productores de mezcal, maestros mezcaleros, acopiadores, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales y, el sector académico construye en conjunto un sistema de manejo sostenible para el agave y los productos forestales maderables y no maderables.

De acuerdo con los problemas mencionados y la información aportada, parece que el conocimiento tradicional de los productores de maguey y mezcal no es suficiente para crear y sostener los nuevos sistemas agrícolas que se desean para satisfacer la creciente demanda de mezcal. Esto es debido a la translocación y globalización que se viven actualmente. Por lo que es fundamental recuperar el conocimiento tradicional y los aprendizajes tenidos por las generaciones que les precedieron. Igualmente, es importante, realizar estudios botánicos en la zona de estudio donde se llevó a cabo la investigación y entorno al agave, para conocer y preservar las especies forestales que se utilizan como fuente de leña para la producción de mezcal. Sin duda, la problemática se atenuará en el constante intercambio del conocimiento tradicional con el conocimiento científico.

# LITERATURA CITADA

---



## LITERATURA CITADA

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. and Barberis, R. (2002). Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution*, 119: 177.
- Álvarez-Ríos, G; Pacheco-Torres, F; Figueredo-Urbina, C. and Casas, A. (2020). Management, morphological and genetic diversity of domesticated agaves in Michoacán, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16(3): 2-17.
- Álvarez-Sánchez, M. E., Velázquez-Mendoza, J., Maldonado-Torres, R., Almaguer-Vargas, G., y Solano-Agama, A. L. (2010). Diagnóstico de la fertilidad y requerimiento de cal de suelos cultivados con agave azul (*Agave tequilana* Weber). *Terra Latinoamericana*, 28(3), 287-293.
- Angelova V., Ivanova, R., Delibaltova, V. and Ivanov, K. (2004). Bioaccumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*, 19: 197–205.
- Anxiang, L., Shuzhen, Z., Xiangyang, Q., Wenyong, W., Honglu, L. (2009). Aging effect on the mobility and bioavailability of Cooper in Soil. *Journal of Environmental Sciences*, 21: 173-178.
- AOAC: Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis (1995). Arlington, VA. USA: Association of Analytical Chemists.
- Avendaño-Arrazate, C. H., Iracheta-Donjuan, L., Gódinez-Aguilar, J. C., López-Gómez, P. y Barrios-Ayala, A. (2015). Caracterización morfológica de *Agave cupreata*, especie endémica de México. *Phyton. Buenos Aires*, 84(1), 148-162.
- Aguirre-Dugua, X. and Eguiarte, L. (2013). Genetic diversity, conservation and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mezcal production in Mexico. *Journal of Arid Environments*, 90: 36-44.
- Ángeles, G. (2010). “De la biodiversidad al monocultivo: efectos del monocultivo de *Agave angustifolia* en el estado de Oaxaca”. En: León Enrique Ávila y Giovanni Pardini,

(coords.), Patrimonio natural y territorio. Chiapas, México: Biblioteca virtual de Derecho, Economía y Ciencias Sociales, pp. 95-116.

Ayón, Yanet (2007). “Estudio etnofarmacológico de las diferentes especies endémicas de agave en la medicina tradicional del estado de Hidalgo” (Tesis de Licenciatura). México: Universidad Autónoma de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo, 85 pp.

Banco de México (Banxico) (2019). Recuperado en: <https://www.banxico.org.mx>

Bernal-Mendoza, Héctor; Ramírez-Juárez, Javier; Estrella-Chulím, Néstor; Pérez-Avilés, Ricardo y Morett-Sánchez, Jorge (2010). Importancia de los territorios rurales en el proceso de reestructuración territorial: el caso de la región metropolitana de la ciudad de Puebla. *Economía, sociedad y territorio*, 10(34): 625-660.

Bahre, C. J. and Bradbury, D. E. (1980). Manufacture of mescal in Sonora, Mexico. *Economic Botany*, 34(4): 391-400.

Barrientos-Rivera, (2013). Propuesta de prácticas de conservación de suelos en ambientes semiáridos: caso microcuenca La Joya (Querétaro-Guanajuato). Tesis de Maestría para la obtención del título de Maestro en Gestión Integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México.

Barrientos-Rivera, G., Esparza, I. E. L., Segura, P. H. R., Talavera, M. O., Sampedro, R. M. L. y Hernández, C. E. (2019). Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3): 655-668.

Barrientos-Rivera, G., Esparza, I. E. L., Segura, P. H. R., Talavera, M. O., Sampedro, R. M. L. y Hernández, C. E. (2019b). Caracterización nutrimental y fisicoquímica de tres *Agaves* mezcaleros del estado de Guerrero, México. *Revista Agro Productividad* (en prensa).

Bautista, Juan y Smit, Mascha (2012). Sustentabilidad y agricultura en la ‘región del mezcal’ de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1): 5-20.

Bautista-Justo, M., L. García-Oropeza, R. Salcedo-Hernández, y L.A. Parra-Negrete. (2001). Azúcares en agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11(001), 33-38.

Bazán Tapia, R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego.

- Bidwell, R. G. S. (1993). Fisiología vegetal (No. 968-463-015-8. 02-A4 LU. FT-FSG. 3.). AGT.
- Bowen, S. (2015). Divided spirits: Tequila, mezcal, and the politics of production, (Vol. 56). University of California Press, Oakland, California. 259 p.
- Blum, W. E. H. (1988). Problems of soil conservation, in *Nature and Environment Series*, Vol. 39. Strasbourg: Council of Europe, Steering Committee for the Conservation and Management of the Environment and Natural Habitats (CDPE).
- Brady, N. C. y Weil, R. R. (1999). The nature and properties of soils. Prentice Hall, EE.UU. 345 pp.
- Cabrera-Huerta, E.; Aranda-Ocampo, S.; Hernández-Castro, E.; Nava-Díaz, C. and Mora-Aguilera, A. (2019). First report of bacterial wilt caused by *Dickeya chrysanthemi* on agave-mezcal (*Agave cupreata*) in México. *Plant Disease*, 103(6): 1-3.
- Canales, M. (Ed) (2006). Metodologías de la investigación social. Introducción a los oficios. Santiago de Chile, Chile: LOM (sol), 406 pp.
- Carrillo, L. (2007). Los destilados de agave en México y su denominación de origen. *Ciencias*, 87(1): 40-49.
- Castañón-Nájera, G. L. M., Latournerie-Moreno, Mendoza-Elos, A., Vargas-López y Cárdenas-Morales H. (2008). Colección y caracterización de chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Phyton (Botánica Experimental)*, 77: 189-202.
- Castro-Díaz, A. y Guerrero-Beltrán, J. (2013). El agave y sus productos. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos*, 7(2): 53-61.
- Castro-Castro A., Rodríguez, A., Vargas-Amado, G. y Ramírez-Delgadillo, R. (2010). Variación morfológica del género *Prochnyanthes* (Agavaceae). *Acta Botánica Mexicana*, 92: 29-49.
- Chaabouni, Y., Dreaan J. Y., Msahli S., and Sakli, F. (2006). Morphological characterization of individual fiber of *Agave americana* L. *Textile research journal*, 76(5), 367-374.

- Chávez-Guerrero, L. and Hinojosa, M. (2010). Bagasse from the mezcal industry as an alternative renewable energy produced in arid lands. *Fuel*, 89(12), 4049-4052.
- Carrillo, T. L. A. (2007). Los destilados de agave en México y su denominación de origen. *Ciencias*, 87: 40-49.
- Castro-Díaz, A. S. y Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). El agave y sus productos. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos*, 7(2): 53-61.
- Cen-Cen, E. R., Gómez-Merino, F., y Martínez-Hernández, A. (2015). Tolerancia de *Agave tequilana* a altas concentraciones de cationes metálicos divalentes. *Polibotánica*, 40(11), 163-182.
- CESAVEG, (2011). Manual de Plagas y enfermedades del *Agave*. Comité Estatal De Sanidad Vegetal De Guanajuato (CESAVEG), AC, México. 28 p.
- Chambers, Robert (1983). *Rural development: putting the last first*. New York, Estados Unidos de América: Longman, 246 pp.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (2006). Mezcales y diversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. En: Colunga-García, S. A. M. P., Larqué, E. L., Eguiarte, D., Zizumbo-Villareal. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros *Agaves* (anexo: xxxviii). Mérida, Yucatán, México: IEPSA. pp 402.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO), (2010). Índice de marginación por localidad. CONAPO, México.
- Colunga-García, M. P. and Zizumbo-Villareal, D. (2007). Tequila and other *Agave* spirits from west-central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin. *Biodiversity and Conservation*, 16: 1653–1667.
- Colunga García M., (2006). Base de datos de nombres técnicos o de uso común en el aprovechamiento de los *Agaves* en México, Informe Final proyecto SNIB-CONABIO CS007, CONABIO, México.
- Colunga-García, M. P., Estrada-Loera E., y May-Pat F. (1996). Patterns of morphological variation diversity and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatan, Mexico. *American Journal of Botany*, 83: 1069-1082.

- COMERCAM, (2018). Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal, A.C. (CRM). Oaxaca, México. Disponible en: <http://www.crm.org.mx/> (consultado en agosto de 2018).
- Corwin, D. L., y Lesch, S. M. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 46(1-3), 11-43.
- Crossa, J., DeLacy, I. H. y Taba, S. (1995). The use of multivariate methods in developing a core collection. Core Collections of plant genetic resources. John Wiley and sons, New York. pp. 77-89.
- Cruz, G. H., Enríquez-del Valle J. R., Velasco V. V. A., Ruiz L. J., Campos A. G. V. y Aquino G. D. E. (2013). Nutrientes y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6: 1161-1173.
- Cotler H., Garrido A., Bunge V. y Cuevas M.L. (2010). Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones. En: Cotler H. (Coord.). Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. México: Instituto Nacional de Ecología/Fundación Gonzalo Río Arronte I. A. P, 231 pp.
- Cotler H. (2007). El Manejo Integral de Cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Instituto Nacional de Ecología. México. 267.
- Curtis, H., Barnes, S. N., Schenk, A. y Massarini, A. (2008). *Curtis Biología*. Panamericana. Buenos Aires, Argentina. Pág. 1009.
- Daltón, R. (2005). Alcohol and science: saving the agave. *Nature*, 438(1): 22-29.
- Delgadillo, R. L., Bañuelos V. R., Esparza I. E. L., Gutiérrez B. H., Cabral A. F. J. y Muro R. A. (2015). Evaluación del perfil de nutrientes de bagazo de agave como alternativa de alimento para rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (11): 2099-2103.
- Dótor, A., (2002). Validación de métodos analíticos para la determinación de metales pesados en muestras ambientales por ICP-AES y su aplicación en el estudio de la disponibilidad de metales en jales mineros. Tesis de Licenciatura, UAGro, México.

- Eguiarte, L.; Aguirre-Planter, E.; Aguirre, X.; Colín, R.; González, A.; Rocha, M.; Sheinvar, E.; Tejo, L. and Souza, V. (2013). From Isozymes to Genomics: Population genetics and conservation of *Agave* in Mexico. *The Botanical Review*, 79(4), pp. 483–506.
- Enríquez, J. (2007). La micropropagación de agaves y su fertilización en vivero. *Agroproduce*, 01(16): 16-17.
- Enríquez, V. J. R., Velasco V. V. A, Campos A. G. V., Hernández G. E. and Rodríguez, M. M. N. (2009). *Agave angustifolia* plants grown with different fertigation doses and organic substrates. *Acta Horticulturae*, 843:49- 55.
- Esparza-Ibarra, E. L., Violante-González, S. J., Monks, J. C., Iñiguez, C., Araujo-Andrade y Rossel-Kipping, E. D. (2015). Los agaves mezcaleros del Altiplano Potosino y Zacatecano. Estudios en Biodiversidad. *University of Nebraska-Lincoln*, 227-245.
- Espinoza, B. L. A. (2015). Generalidades e importancia de los agaves en México. CICY. Disponible en: [http://www.cicy.mx/sitios/desde\\_herbario/](http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/) (consultado en abril de 2019).
- Fahmy, T. (1993). XLSTAT-Software, Version 10. Addinsoft, Paris, France.
- Figueredo, C. J., Casas, A. P., Colunga-García M., Nassar, J. M. and González-Rodríguez, A. (2014). Morphological variation, management and domestication of ‘maguey alto’ (*Agave inaequidens*) and ‘maguey manso’ (*A. hookeri*) in Michoacán, Mexico. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 10(1): 66.
- Figuroa-Castro, P., López-Martínez, J., Sánchez-García, J. A. and Martínez-Martínez, L. (2017). First record of *Alienoclypeus insolitus* Shenefelt, 1978 (*Hymenoptera: Braconidae*) from Guerrero and distributional data from Jalisco and Oaxaca, México. *The pan-pacific entomologist*, 93(4): 234-238.
- Foth, D. H. (1986). Fundamentals of soil science. Trans-Editions, Inc. a Division of John Wiley & Sons, Inc. Michigan State University. 432p.
- Franco, F. L. y Hidalgo, R. (2003). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. Boletín técnico N. 8: 89.

- García-Mendoza, A.; Franco, M., y Sandoval, G. (2019). Cuatro especies nuevas de *Agave* (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta botánica mexicana*, 126: e1461. DOI: 10.21829/abm126.2019.1461.
- García-Mendoza, A. (2007). Los *Agaves* de México. *Revista Ciencias: Universidad Nacional Autónoma de México*. Núm. 87: 14-23.
- García-Mendoza, A., (2002). "Distribution of *Agave* (Agavaceae) in Mexico". *Cact. Succ. J.*, 74: 177-187.
- García-Mendoza, A. J. (2011). Tres especies nuevas de *Manfreda* (Agavaceae) del sur de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(3): 747-757.
- Gallart, M. F. (2018). La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia. (Doctoral dissertation).
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona. pp 670.
- Gallegos-Vázquez, C. R. D., Valdez-Cepeda, M., Barrón-Macías, A. F., Barrientos-Priego, Andrés-Agustín J. y Nieto-Ángel, R. (2006). Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso como hortaliza del Banco de Germoplasma del CRUCEN-UACH. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12 (1): 41-49.
- García-Herrera, E. J., Méndez-Gallegos S. D. J. y Talavera-Magaña, D. (2010). El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Edición especial. 5: 109-129.
- García-Mendoza, A. (2002). Distribution of *Agave* (Agavaceae) in México. *Cact. Succ. J. (USA)*. 74(4): 177-187.
- García-Mendoza, A. and Chiang, F. (2003). The confusion of *Agave vivipara* L. and *Agave angustifolia* Haw, two distinct taxa. *Brittonia*, 55(1): 82-87.

- Gherardi MJ, Rengel Z. (2003). Genotypes of lucerne (*Medicago sativa* L.) show differential tolerance to manganese deficiency and toxicity when grown in bauxite residue sand. *Plant and Soil*, 249: 287–296.
- Gil, V. K., González, C. M., Martínez de la V. O., Simpson, J. and Vandemark, G. (2001). Analysis of genetic diversity in *Agave tequilana* var. Azul using RAPD markers. *Euphytica*, 119(3): 335-341.
- Gobeille, A., Yavitt, J., Stalcup, P. and Valenzuela, A. (2006). Effects of soil management practices on soil fertility measurements on *Agave tequilana* plantations in Western Central Mexico. *Soil Tillage Res*, 87 (1): 80–88.
- Godínez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera J. R., Juárez-Flores B. I., Ortiz-Pérez M. D. and Becerra-Jiménez, J. (2016). Extraction and characterization of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck fructans. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(1), 59-72.
- Gschaedler, M.A.C., Villarreal H. S., Gutiérrez M. A., Ortiz B. R. I., Moreno T. C. R., Lappe O. P. E., Larralde C. C. P., Contreras R. S. M., Dávila V. G. y Gallardo V. J. (2017). Panorama del aprovechamiento de los *Agaves* en México. Guadalajara, Jal. México. CONACyT, CIATEJ, AGARED. p 302.
- Gurung, A. B. (2003). Insects a mistake in God's creation Tharu farmers perception and knowledge of insects: A case study of Gobardiha Village Development Committee, Dang-Deukhuri, Nepal. *Agriculture and Human Values*, 20(1): 337–370.
- Harvey, D. (2014). Diecisiete contradicciones y el fin del capitalismo. Quito: IAEN.
- He, Z. L., Yang, X. E., y Stoffella, P. J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*, 19(2-3): 125-140.
- Hendricks, D. W. (2006). Water treatment unit processes: Physical and Chemical. Boca Raton, FL: CRC Press. pp 44–62.
- Heredia-Solis, A., Esparza-Ibarra, E. L. Romero-Bautista, F., Cabral-Arellano y Bañuelos-Valenzuela R. (2014). Bagazos de *Agave salmiana* y *Agave weberi* utilizados como sustrato para producir *Pleurotus ostreatus*. 5: 103-110.

- Hernández, G. R., Domínguez, F. M., Campos, R. G., Espinosa, S. A. y Molphe-Balch, E. P. (2007). Generación de raíces transformadas de *Agave salmiana* Otto y su colonización por *Glomus intraradices*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3): 215-222.
- Hernández, S.R., Lugo C. E., Díaz J. L. y Villanueva, S. (2005). Extracción y cuantificación indirecta de las saponinas de *Agave lechuguilla* Torrey. *e-Gnosis*, 3: 1-9.
- Huerta-Alcocer, S. A., Larralde-Corona, C. P. and Narváez-Zapata, J. A. (2014). Application of agave subproducts for production of microbial inulinases. *Bio Ciencias*, 3(1):4-16.
- Ibáñez, C. I., Mateo, A. C., Núñez, G. R. (2011). Estructura y densidad poblacional de maguey papalote (*Agave cupreata* Trel & Berger) en el ejido de Acateyahualco, mpio. de Ahuacuotzingo, Guerrero. Tesis de licenciatura para la obtención del título de Biólogo, Universidad Autónoma de Guerrero, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2000). Censo General de Población y Vivienda. Recuperado en: <https://www.inegi.org.mx/>
- Illsley, G. C., Giovannucci, D. y Bautista, C. (2009). La dinámica territorial de la zona mezcalera de Oaxaca entre la cultura y el comercio. México, DF. 37 P.
- Illsley, Catarina; Gómez, T.; Rivera, G.; Morales, M.; García, J.; Ojeda, A.; Calzada, M. y Mancilla, S. (2005). *Conservación in situ y manejo campesino de magueyes mezcaleros*. Grupo de Estudios Ambientales, AC. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. V028. México.
- Illsley Granich, C. (2004). Manejo campesino sustentable del maguey papalote de Chilapa. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. BS002. Grupo de Estudios Ambientales. A.C. México D. F.
- ISO/DIS 17402, (2006). Soil quality: Guidance for the selection and application of methods for the assessment of bioavailability in soil and soil Materials. Genova, International Organization for Standardization. 37p.
- Jacinto, L. A. (2013). Aspectos de la fenología, visitantes florales y polinización de *Agave inaequidens* Koch spp. *inaequidens* (Agavaceae) en el estado de Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. pp 100.

- Jiménez-Muñoz, E., Prieto-García F., Prieto-Méndez J., Acevedo-Sandoval O. A. y Rodríguez-Laguna, R. (2016). Caracterización fisicoquímica de cuatro especies de agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel. *DYNA*, 83(197), 232-242.
- Jurca, T., E. Marian, Vicas L. and Gatea D. (2011). Simultaneous determination of metals in *Hypericum perforatum* L. by ICP-OES. *Chimie*, 62(12), 1154-1156.
- Kabata-Pendias, (2001). Trace elements in soils and plants (3ra. Edition). New York, Washington, D. C.
- Keiser, H. F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement* 20:141-151.
- Kirchmayr, R. M., Arellano P. M., Estarrón, E. M., Gallardo V. J., Gschaedler, M. A. Ch., López, R. J. E., Navarro, H. A., Prado, R. R., Ramírez, R. E. 2014. Proceso de producción del mezcal. En: Manual para la estandarización de los procesos de producción de mezcal guerrerense. Fundación Produce Guerrero. 231 p.
- Lara-Ávila, J. y Alpuche-Solís, Á. (2016). Análisis de la diversidad genética de agaves mezcaleros del centro de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3): 323-330.
- León-Rodríguez, A., González-Hernández L., Barba A. P., Escalante-Minakata P. and López G. M. (2006). Characterization of Volatile Compounds of Mezcal, an Ethnic Alcoholic Beverage Obtained from *Agave salmiana*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 54, 1337-1341.
- Liebig, T.; Jassogne, L.; Rahn, E.; Läderach, P.; Phoeling, H.; Kucel, P.; Asten, P. and Avelino, J. (2016). Towards a collaborative research: a case study on linking science to farmers' perceptions and knowledge on Arabica coffee pests and diseases and its management. Recuperado de [10.1371/journal.pone.0159392](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159392)
- Liang, S. Y., Lehmann, A., Wu, K. N. y Stahr, K. (2014). Perspectives of function-based soil evaluation in land-use planning in China. *Journal of soils and sediments*, 14(1): 10-22
- López, G. M., Mancilla-Margalli, N. A. and Mendoza-Díaz, G. (2003). Molecular structures of fructans from *Agave tequilana* Weber var. azul. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(27): 7835-7840.

- Lucho, C. A., Prieto, F., Del Razo, L.M., Rodríguez, R. and Poggi, H. (2005). Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 108: 57–71.
- Martínez-Palacios, A.; Morales-García, J. y Rodríguez, S. (2015). Aspectos sobre el manejo y la conservación de agaves mezcaleros en Michoacán. CECTI, Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán, México. 177 p.
- Martínez, G. G. A., Iñiguez C. G., Ortiz-Hernández Y. D., López-Cruzy J. Y. y Bautista C. M. A. (2013). Tiempos de apilado de bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 209-216.
- Mayan, M. (2001). Una introducción a los métodos cualitativos. Módulo de entrenamiento para estudiantes y profesionales. Trad. por C.A. Cisneros. Qual Institute Press. Alberta, Canada. 44 pp.
- Monico, M. P y Sánchez, C. S. (2019). Diagnóstico de paisaje por cambio en el uso del suelo en la subcuenca Zopilote-Mezcala, municipio de Eduardo Neri, Guerrero, México. Tesis de licenciatura para la obtención de título en Biología, Universidad Autónoma de Guerrero, México.
- McLaughlin, S.P. and S.M. Schuck. 1991. Fiber properties of several species of Agavaceae from the southwestern United States and northern Mexico. *Economic botany*, 45(4), 480-486.
- Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J. L., Peña-Valdivia, C. B. y Aguirre-Rivera, J. R. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección Salmianae del género *Agave*. *Agrociencia*, 45(4): 465-477.
- Morillas-Ruiz, J. M. y Delgado-Alarcón J. M. (2012). Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutrición clínica y dietética hospitalaria*, 32(2), 8-20.
- Narez-Jiménez, C. A., De La Cruz-Lázaro E., Gómez-Vázquez, A., Castañón-Nájera, G., Cruz-Hernández, A. y Márquez-Quiroz, C. (2014). La diversidad morfológica in situ de chiles silvestres (*Capsicum* spp.) de Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3): 209-215.

- Niechayev, A. N., Jones, M. A., Rosenthal, M. D. and Davis, C. S. (2018). A model of environmental limitations on production of *Agave americana* L. grown as a biofuel crop in semiarid regions. *Journal of Experimental Botany*, Ed. especial: 2-11.
- NOM: NOM-070-SCFI-2016. Norma Oficial Mexicana, Bebidas alcohólicas - Mezcal - Especificaciones. Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación, febrero de 2017. México, D.F., México.
- NOM: NOM-059-SEMARNAT-2010. Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, diciembre de 2010. México.
- NOM: NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario oficial de la Federación, diciembre 2002.
- Nobel, P.S. (1990). Environmental Influences on CO<sub>2</sub> Uptake By *Agaves*, CAM Plants With High Productivities. *Economic Botany*, 44(4), 488-502.
- Nobel, P.S. and S.E. Meyer. (1985). Field productivity of a CAM plant, *Agave salmiana*, estimated using daily acidity changes under various environmental conditions. *Physiologia Plantarum*, 65(4), 397-404.
- NCR (National Research Council). (2007). Committee on Nutrient Requirements of Small Ruminants, National Research Council, Committee on the Nutrient Requirements of Small Ruminants, Board on Agriculture, Division on Earth & Life Studies. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids.
- Plascencia, T. M. F. y Peralta, G. L. M. (2018). Análisis histórico de los mezcales y su situación actual desde una perspectiva ecomarxista. *Eutopía: Revista de Desarrollo Económico Territorial*, 14(1): 23-42.
- Pankhurst, C. E., Yu, S., Hawke, B. G., and Harch, B. D. (2001). Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patterns to describe differences in soil microbial communities associated with increased salinity or alkalinity at three locations in South Australia. *Biology and Fertility of Soils*, 33(3), 204-217.
- Peña-Valdivia, C.B., Sánchez-Urdaneta A. B., Aguirre R., Trejo C., Cárdenas E. and Villegas M. (2006). Temperature and mechanical scarification on seed germination of ‘maguey’ (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science and Technology*, 34(1), 47-56.

- Pomeranz, R.Y. and C.E. Meloan. (1994). *Food Analysis: Theory and Practice*. Chapman & Hall. New York, NY 10119. Pp, 625-630.
- Pérez, R. A., Rodríguez, O. A., Nieto, A. J., Callejas, H. J. y Portillo, M. L. (2017). Comparación de dos sistemas de siembra de maguey (*Agave salmiana*). Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, 1ra. Ed. México. 71 p.
- Pérez, H. E., Chávez, P. Ma. y González, H. J. 2016. Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1): 148-164.
- Porta, J; López-Acevedo, M y Roquero, C. “Edafología para la agricultura y el Medio Ambiente” Ediciones Mundiprensa. 3ª edición 2003.
- Quecedo, Rosario y Castaño, Carlos (2002). “Introducción a la metodología de investigación cualitativa”. *Revista de Psicodidáctica*, (14), 5-39.
- Ríos, M. y Kumar A. A. (2012). Reorientación productiva de los migrantes: el caso de Santiago Matatlán, Oaxaca. *Migración y desarrollo*, 10(19): 92-116.
- Rivera-Lugo, M., García-Mendoza, A., Simpson, J., Solano, E., y Gil-Vega, K. (2018). Taxonomic implications of the morphological and genetic variation of cultivated and domesticated populations of the *Agave angustifolia* complex (Agavoideae, Asparagaceae) in Oaxaca, Mexico. *Plant Systematics and Evolution*, 1-11.
- Rodríguez, M. R., Alcantar G. E. G., Iñiguez C. G., Zamora N. F., García L. P. M., Ruíz L. M. A. y Salcedo P. E. (2010). Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de *Agave tequilero*. *Interciencia*, 35 (7), 515-520.
- Rodríguez-Garay, B., Lomelí-Sención, J. A., Tapia-Campos, E., Gutiérrez-Mora, A., García-Galindo, J., Rodríguez-Domínguez, J. M., López-Urbina D. y Vicente Ramírez, I. (2009). Morphological and molecular diversity of *Agave tequilana* Weber. *Cultivos y Productos industriales*, 29: 220-228.
- Rodríguez, H. G., Morales, D. F., Gutiérrez, C. R., Aguilar, E. S. y Molphe-Balch, E. P. (2007). Generación de raíces transformadas de *Agave salmiana* Otto y su colonización por *Glomus intraradices*. *Fitotecnia Mexicana*, 30(3): 215–222.
- Rodríguez, C. V. y Diego, Q. R. (2002). Paradojas conceptuales del género en procesos de cambio de mujeres indígenas y campesinas en el México rural. *Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*, (13): 143-152.

- Rulfo, V. F. O., Pérez, L. J. I. y Byerly, M. J. F. (2007). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de Denominación de Origen del tequila. INIFAP, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.
- Sampieri, R.; Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación (6ta. Edición), Mcgraw-hill. México. 634 p.
- Sáenz-Romero, C., Martínez-Palacios, A., Gómez-Sierra, J. M., Pérez-Nasser, N. y Sánchez-Vargas, N. M. (2012). Estimación de la disociación de *Agave cupreata* a su hábitat idóneo debido al cambio climático. *Revista Chapingo - Serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(3): 291-301.
- Salas, T. J. y Hernández, S. L. Y. (2015). Mezcal *cupreata*, fuente de admiración. *Ciencia*, 66(3): 41-47.
- San Martín, Daniel (2014). “Teoría fundamentada y Atlas. ti: recursos metodológicos para la investigación educativa”. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 16(1), pp. 104-122.
- Sánchez, B. G. (2018). Elaboración de mezcal con *Agave angustifolia* Haw y alternativas para mejorar su eficiencia en Pachivia, Axaxacualco y Santa Cruz, Guerrero, México. Tesis de licenciatura para la obtención de título en Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Guerrero, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2003) Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México.
- Segovia, C. M. E. (2014). Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de elementos traza en suelos contaminados y plantas. Tesis de licenciatura para la obtención del grado de Magister en Química, Universidad de Chile, Santiago-Chile.
- Segura, H. R., Barrera, J. F., Morales, H. and Nazar, A. (2004). Farmers' perceptions, knowledge, and management of coffee pests and diseases and their natural enemies in Chiapas, Mexico. *Journal of Economic Entomology*, 97(5): 1491-1499.
- SEMARNAT. 2010. NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría del Medio Ambiente

y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México.  
<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>

Semple, T., Doick, K., Jones, K., Buranel, P., Craven, A. y Harms, H. (2004). Defining bioavailability and bioaccessibility of contaminated soil and sediment is complicated. *Environmental Science & Technology*, 38: 228A-231A.

SIAP. (2018). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Ciudad de México, México. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (consultado en agosto de 2018).

Sinsabaugh R. L., Klug M. J., Collins H. P., Yeager P. E., Petersen, S. O. (1999). Characterizing soil microbial communities. In: Robertson GP, Coleman DC, Bledsoe CS, Sollins P (eds) Standard soil methods for long-term ecological research. Oxford University Press, New York, pp 318–3.

SNICS. (2014). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Guía Técnica TG/Agave UPOV. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/snics/> (consultado febrero de 2017).

Silos-Espino, G., González-Cortés, N., Carrillo-López, A., Guevaralara, F., Valverde-González M. E and Paredes-López, O. (2007). Chemical composition and in vitro propagation of *Agave salmiana* ‘Gentry’. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(3), 355-359.

Solano, A. A. (2011). Potencial osmótico y absorción nutrimental en el cultivo *in vitro* de *Agave potatorum* Zucc. Tesis de Maestría para obtener el grado de Maestra en Ciencias, Instituto de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas, Campus Montecillo, Estado de México.

Solís, L. M. (2018). Labor Reintegration of Return Migrants in Two Rural Communities of Yucatán, Mexico. *Migraciones Internacionales*, 9(4): 185-212.

Sposito, G. (2008). *The Chemistry of Soils*. 2ª ed. Nueva York, Oxford University Press Inc. 344p.

Strauss, A., y Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la Teoría Fundamentada*. Medellín: Universidad de Antioquia, 354 pp.

- Talavera-Mendoza, O., Ruiz J, Díaz-Villaseñor, E., Ramírez-Guzmán, A., Cortés A., Salgado-Souto, S.A., Dótor-Almazán, A., Rivera-Bustos. R., (2016). Water-rock-tailings interactions and sources of sulfur and metals in the subtropical mining region of Taxco, Guerrero (southern Mexico): A multi-isotopic approach: *Applied Geochemistry*, 66: 73-81.
- Trejo-Salazar, R.; Scheinvar, E. y Eguiarte, L. (2015). ¿Quién poliniza realmente los agaves? Diversidad de visitantes florales en 3 especies de Agave (Agavoideae: Asparagaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(2): 358-369.
- Trinidad-Cruz, J.; Quiñones-Aguilar, E.; Rincón-Enríquez, G.; López-Pérez, L. and Hernández-Cuevas, L. (2017). Mycorrhization of *Agave cupreata*: Biocontrol of *Fusarium oxysporum* and plant growth promotion. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(2): 151-169.
- Téllez, M. P. (1998). El Cocimiento, una etapa importante en la producción del tequila. *Bebidas Mexicanas*, 7(1) 19-20.
- Tessier, A., Campbell, P. G. C., Bisson, M. (1979). Sequential Extraction Procedure for the speciation of particulate trace Metals. *Analytical Chemistry*, 51(7), 845-851.
- Torres, I., Casas, A., Vega, E., Martínez-Ramos, M. and Delgado-Lemus, A. (2015). Population dynamics and sustainable management of mescal agaves in central Mexico: *Agave potatorum* in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. *Economic Botany*. 69(1): 26-41.
- Valenzuela Z., A. G. (2007). Diagnóstico del sistema de producción ejidal de *Agave tequilana* W. var. Azul, en la región de origen: 20 años de expansión tequilera. Primer Seminario Internacional del Tequila: ambiente, cultura y sociedad, 1-32. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Valero, J.; Cortina, H. y Vela, M. (2011). El proyecto de biocombustibles en Chiapas: experiencias de los productores de piñón (*Jatropha curcas*) en el marco de la crisis rural. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 19(38): 119-144.
- Valenzuela Z., A. G. (2003). El agave tequilero: cultivo e industria de México. Mundi-Prensa. México, D. F.

- Vargas-Ponce, O., Zizumbo-Villarreal, D., Martínez-Castillo, J., Coello-Coello, J. and Colunga-GarcíaMarín, 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.
- Vázquez-García, J. A., Cházaro, B. M. de J., Hernández, V. G., Vargas-Rodríguez, Y. L. y Zamora, T. Ma. del P. (2007). Taxonomía del género *Agave* en el Occidente de México: una panorámica preliminar. Pp. 38-82.
- Wesche, E. P. (2000). Química de alimentos de origen vegetal. Universidad de las Américas – Puebla, México. Disponible en: <http://webserver.pue.udlap.mx/pwesche/3.4.html> (consultado en diciembre de 2017).
- Wilken, G. (1987). Good farmers. Traditional agricultural resource management in Mexico and Central America. Berkeley, University of California Press. 303 pp.
- Williamson, S. (2002). Challenges for farmer participation in integrated and organic production of agricultural tree crops. *Biocontrol News and Information*, 23(1): 25-36.
- Zizumbo-Villarreal, D., Vargas-Ponce, O., Rosales-Adame, J. and Colunga-GarcíaMarín, P. (2013). Sustainability of the traditional management of *Agave* genetic resources in the elaboration of mezcal and tequila spirits in western Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60(1): 33-47.
- Zuñiga, E. L. (2013). Nutrición de *Agave tequilana* y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo). Campo Experimental Las Huastecas – CIRNE-INIFAP-SAGARPA, Tamaulipas. 58 pág.

# ANEXOS



## A1. GUION DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

***Fecha:***

***Nombre del productor:***

***Localidad:***

***Municipio:***

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? ¿Las mujeres también ayudan en esos quehaceres?
5. ¿Qué tipos 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?, ¿porque decidió sembrar maguey?
9. ¿quién tiene derecho 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 (mezcal, otros)? ¿Cómo lo aprendió?
13. ¿Aproximadamente a los cuantos años florea cada tipo de maguey que usted conoce?
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, cómo se hace? ¿Por qué se lleva a cabo dicha práctica?

18. ¿En qué época del año se debe llevar a cabo la siembra de un maguey en el campo?
19. ¿En su parcela, deja que algunas plantas de maguey 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 disminuye la producción de la piña?
23. ¿Qué animalitos ha visto que son los que se comen la miel de las flores? ¿Con que frecuencia los ha visto?
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?
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 (más de 1 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?

## A2. FORMATO DE CAMPO PARA EVALUAR LA CARACTERIZACIÓN FISONÓMICA DE *A. angustifolia*

<b>Autora:</b>				<b>Municipio:</b>				<b>Localidad:</b>					
<b>UTM:</b>		<b>Altitud (msnm):</b>	<b>Uso de la tierra:</b>	<b>°Brix:</b>	<b>Tipo de vegetación:</b>	<b>Edad de la planta:</b>	<b>Material parental:</b>	<b>Pendiente:</b>		<b>Fecha:</b>			
								<b>Exposición:</b>					
<b>Evaluación de Ejemplares</b>													
	<b>N°</b>	<b>Características</b>	<b>Nivel y Nota</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		<b>5</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Planta</b>	<b>1* b</b>	Hábito de crecimiento	1.acaulescente										
			2.caulescente										
	<b>2 b</b>	Altura	3.baja										
			5.media										
			7.alta										
	<b>3 b</b>	Diámetro de roseta	3. pequeño										
			5.medio										
			7. grande										
	<b>4 b</b>	Número de hojas	3. bajo										
			5. medio										
7.alto													
<b>5 b</b>	Número de hojas por filotaxia	3. bajo											
		5. medio											
		7.alto											
<b>Tallo</b>	<b>6* b</b>	Visibilidad	1.ausente										
			9.presente										
<b>Hoja</b>	<b>7 b</b>	Longitud	3. corta										
			5. media										
			7. larga										
	<b>8</b>	Anchura	3. estrecha										
			5.media										
			7.ancha										

...32

### A3. MEMORIA FOTOGRÁFICA



Toma de datos de campo para la evaluación fenotípica



Parte del equipo de trabajo de campo



Documentando las diferentes prácticas tradicionales de manejo del maguey



Colecta de muestras de piña y penca para su evaluación en laboratorio



Trabajando la propuesta de programa de manejo de *A. angustifolia* y *A. cupreata* en conjunto con los productores de maguey.





Observación participante de la cultura y procesos de elaboración de mezcal



El bagazo de maguey como alimento para rumiantes en la región norte



La planta de agave promueve la conservación del suelo y tiene la capacidad de crear microclimas



Promoviendo la importancia de la participación de mujeres, hombres, jóvenes y niños en el manejo del maguey



Taller de capacitación a los productores de maguey respecto a los resultados encontrados



Determinación de nitrógeno en el Laboratorio de Veterinaria, Cuajinicuilapa, UAGro



Determinación de análisis físicos y químicos del maguey en el Laboratorio de Biotecnología, Zacatecas



Determinación de análisis físicos y químicos de maguey y de suelo en el Laboratorio de Geoquímica, Taxco el Viejo, UAGro

