



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

**VARIACIÓN MORFOLÓGICA Y ÁREAS POTENCIALES DE
POBLACIONES DEL COMPLEJO *AGAVE ANGUSTIFOLIA* EN EL
ESTADO DE GUERRERO.**

LIC. JORGE HUERTA ZAVALA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

DIRECTOR:

DR. ELÍAS HERNÁNDEZ CASTRO

CO-DIRECTOR:

DR. ABISAÍ JOSUÉ GARCÍA MENDOZA

TUXPAN, IGUALA, GRO. ENERO DE 2018

FIRMA DE TUTORES

La presente tesis titulada “**VARIACIÓN MORFOLÓGICA Y ÁREAS POTENCIALES DE POBLACIONES DEL COMPLEJO AGAVE ANGUSTIFOLIA EN EL ESTADO DE GUERRERO.**”, realizada por el alumno **Jorge Huerta Zavala**, forma parte del proyecto sectorial 263188 SEMARNAT-CONACYT: “**CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL MAGUEY SACATORO (AGAVE ANGUSTIFOLIA HAW) PARA SU APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE EN LA REGIÓN COMPRENDIDA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE CHILAPA Y HUITZUCO, GRO. BALSAS**”, bajo la dirección del Comité Totoral indicado y ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRIA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

CONSEJO PARTICULAR

Director

Dr. Elías Hernández Castro

Codirector

Dr. Abisaí Josué García Mendoza

Tutor

Dr. Héctor Ramón Segura Pacheco

Tutor

Dr. Agustín Damián Nava

Tutor

Dr. Flaviano Godínez Jaimes

AGRADECIMIENTOS

Al Pueblo de México, por la beca de otorgada a mi persona a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, para la realización de mis estudios de postgrado.

A los Profesores de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local de la UAGro quienes contribuyeron en mi formación personal y profesional.

Agradezco a mi Director de tesis, Dr. Elías Hernández Castro, por su asesoría y la invitación a trabajar con la presente investigación. A mi Codirector, Dr. Abisaí Josué García Mendoza, por la orientación, apoyo y consejos en la delimitación y construcción del tema de investigación, así como en la determinación taxonómica de los ejemplares estudiados. Al Dr. Flaviano Godínez Jaimes, por su apoyo con los análisis estadísticos que fueron fundamentales para la realización del presente escrito y que no dudó en desvelarse para apoyarme. Al Dr. Héctor Ramón Segura Pacheco y al Dr. Agustín Damián Nava, miembros de mi comité tutorial por sus comentarios, observaciones y consejos durante la construcción y desarrollo de esta investigación, así como en mi formación personal.

A Rafa, por el apoyo dado en la elaboración de los diferentes mapas y los sistemas de información geográfica, en las palabras de aliento y desaliento, jajaja, así como en la revisión crítica del presente escrito.

A Ari, Oscar, Gabino, Male y a tod@s aquellas personas que compartieron un momento de su vida, para admirar, ver y beber más allá de los magueyes.

A mi familia, por recorrer conmigo nuevos caminos en la búsqueda y entendimiento de los magueyes Guerrerenses.

A las personas de las diferentes comunidades de Pachivia, Mexquitlan, Coatepec, Chichila, (por citar algunas), que me compartieron sus saberes sobre el manejo, usos e historia de los magueyes y mezcales de Guerrero.



RESUMEN

En México dentro de las especies que forman parte de las selvas bajas caducifolias y matorrales xerófilos entre otros tipos de vegetación, se encuentran los agaves comúnmente llamados magueyes. Estas especies tienen diferentes usos, por lo que representan un alto valor cultural y económico (Torres *et al.* 2013). La alta demanda y la sobre explotación de estas especies pone en peligro a las poblaciones de agaves (Perez-Molphe *et al.* 2012).

Agave angustifolia es un maguey que se puede encontrar silvestre o cultivado, es considerado como uno de los de mayor distribución a nivel nacional (Ocaña *et al. in* Colunga-García *et al.* 2007). Dada la plasticidad genética, el manejo humano y la diversidad de los ambientes en los que crece, se han descrito más de 20 especies, muchas de las cuales fueron consideradas por Gentry (1982) dentro del complejo *Agave angustifolia*. Individuos de estos taxones han sido cultivados en diversos sitios del estado de Guerrero, dada su precocidad y capacidad de adaptación, sin tener en cuenta sus necesidades ambientales y agroecológicas, por lo que se tienen diferentes rendimientos productivos.

Debido a las características biológicas y de manejo de estos magueyes, es necesario realizar estudios de caracterización, sistematización y manejo de las poblaciones del complejo *Agave angustifolia*, así como la definición de áreas con potenciales agroecológicos para el establecimiento de plantaciones de maguey, lo que permitirá hacer un manejo sustentable de estas especies, ello garantizará la conservación de la variabilidad genética de sus poblaciones en Guerrero.

En el presente estudio se caracterizaron morfométricamente individuos que integran al complejo *Agave angustifolia* de la Zona Norte de Guerrero, con lo cual se busca contribuir al entendimiento de este grupo tan diverso. Se realizaron 25 salidas de campo en la región Norte de Guerrero y un municipio de la región Centro, en las cuales se colectaron 141 ejemplares de este complejo taxonómico. A cada ejemplar se le tomaron datos de 36 variables para su posterior análisis estadístico por medio de los Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis Discriminante Lineal (ADL) y Análisis de Conglomerados (AC). Se identificaron taxonómicamente 100 ejemplares de *Agave angustifolia* var. *angustifolia* (70.92%), 36 ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens* (25.53%) y solo cinco ejemplares de *A. rhodacantha* (3.55%), esta última especie resultó ser un nuevo registro para el estado de Guerrero. Las variables longitud de la hoja, número de dientes por un lado de la hoja, perímetro del pedúnculo floral, ancho mayor de la hoja, número de

hojas por planta, largo de la espina terminal y promedio de semillas viables, permitieron realizar la delimitación morfológica de los taxones estudiados. *A. angustifolia* var. *rubescens* presentó traslapes de algunos ejemplares con *Agave angustifolia* var. *angustifolia*, lo que refleja la alta variabilidad fenotípica de ambos taxones. El análisis Discriminante Lineal resultó ser una herramienta estadística útil para el entendimiento de las variables fenotípicas del complejo *A. angustifolia*.

La evaluación de las condiciones agroecológicas a través de recorridos de campo y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), permitieron definir las áreas con aptitud para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia* en el Estado de Guerrero. Los resultados indicaron que existen aproximadamente 1,020,998.27 ha con aptitud óptima y 618,015.87 ha con aptitud sub-óptima para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia*. Las áreas con mayor potencial productivo se encuentran en la región Norte, Tierra Caliente y Centro, particularmente en los municipios de Huitzoco, Ajuchitlán y Coyuca de Catalán, siendo el primero el de mayor superficie potencial óptima con 76,666.96 ha. La definición de estas áreas dará la oportunidad para proponer su reconversión productiva y el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia*, generando alternativas productivas para los productores de maguey y mezcal del Estado de Guerrero, buscando privilegiar la diversidad agroecológica de las parcelas, para su sustentabilidad a largo plazo.

ABSTRACT

In Mexico, among the species that are part of the low deciduous forests and xerophilous shrubs, among other types of vegetation, are the popular agaves called Magueyes. These species have different uses, so they represent a high cultural and economic value (Torres et al., 2013). The high demand and overexploitation of these species endangers agave populations (Pérez-Molphe *et al.*, 2012).

Agave angustifolia is a maguey that can be found wild or cultivated, it is considered one of the most widely distributed nationally (Ocaña et al in Colunga-García et al 2007). Given its genetic plasticity, the human management and the diversity of the environments in which it grows, more than 20 species have been described, many of which were considered by Gentry (1982) within the *Agave angustifolia* complex. Individuals of these taxa have been cultivated in different places of the state of Guerrero, due to their capacity of adaptation and precocity, not taking into account its environmental and agroecological needs; therefore, they have different, therefore, have different productive yields.

Due to the biological characteristics and the management of these maguey plants, it is necessary to conduct characterization, systematization and management studies of the populations of the *Agave angustifolia* complex, as well as the definition of areas with possible agroecological potential for the establishment of maguey plantations, which will allow a sustainable management of these species and will guarantee the conservation of the genetic variability of their populations in Guerrero.

In the present study, individuals that integrate the complex *Agave angustifolia* from the Northern region of Guerrero were characterized morphologically, with the aim of contributing to the understanding of this diverse group. Twenty five field trips were conducted in the Northern zone of Guerrero and one municipality in the Central Zone, and 141 specimens of this taxonomic complex were collected. Data of 36 variables for the Main Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA) and Conglomerate Analysis (CA) were taken for each maguey. One hundred specimens of *Agave angustifolia* were taxonomically determined, 36 specimens of *Agave angustifolia* var. *angustifolia* (70.92%), 36 specimens of *A. angustifolia* var. *rubescens* (25.53%) and only five specimens of *A. rhodacantha* (3.55%), this last species turned out to be a new record for the State of Guerrero. The variable length of the leaf, number of teeth on one side of the leaf,

perimeter of the floral peduncle, greater width of the leaf, number of leaves per plant, length of the terminal spine and average of viable seeds, allowed to realize the morphological delimitation of the taxa studied. *A. angustifolia* var. *rubescens* showed overlaps of some specimens with *Agave angustifolia* var. *angustifolia*, which reflects the high phenotypic variability of both taxa. The Linear Discriminant analysis turned out to be a useful statistical tool for understanding the phenotypic variables of the *A. angustifolia* complex.

The evaluation of the agroecological conditions through the field trips and the use of geographic information systems (GIS), allowed the definition of áreas with with aptitude for the establishment of plantations of *A. angustifolia* in the State of Guerrero. The results indicate that there are approximately 1,020,998.27 ha with optimum aptitude and 618,015.87 ha with sub-optimal aptitude for the establishment of plantations of *A. angustifolia*. The areas with the greatest productive potential are found in the Norte region, Tierra Caliente and Centro del Estado de Guerrero, particularly in the municipalities of Huitzucó, Ajuchitlán and Coyuca de Catalán, the first having the largest potential surface area with 76,666.96 ha. The definition of these areas will give the opportunity to propose their productive reconversion and the establishment of plantations of *A. angustifolia*, generating productive alternatives for the producers of maguey and mezcal of the state of Guerrero, seeking to privilege the agroecological diversity of the plots, for their long term sustainability.

CONTENIDO

| | Página |
|--|---------------|
| FIRMA DE TUTORES | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| RESUMEN..... | iii |
| ABSTRACT | v |
| CONTENIDO..... | vii |
| LISTA DE CUADROS | ix |
| LISTA DE FIGURAS | x |
| INTRODUCCIÓN GENERAL..... | 11 |
| Planteamiento del problema | 12 |
| Objetivos | 13 |
| Objetivo general | 13 |
| Objetivos específicos..... | 13 |
| Hipótesis..... | 13 |
| Hipótesis general | 13 |
| Hipótesis específicas | 13 |
| Revisión de literatura | 14 |
| Literatura citada..... | 16 |
| CAPÍTULO I. VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE POBLACIONES DEL COMPLEJO <i>AGAVE</i> <i>ANGUSTIFOLIA</i> EN LA ZONA NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO..... | 19 |
| RESUMEN..... | 19 |
| Palabras clave | 19 |
| SUMMARY | 19 |
| Key Words..... | 20 |
| INTRODUCCIÓN | 20 |
| MÉTODOS..... | 21 |
| Ubicación geográfica..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Revisión bibliográfica | 21 |
| Revisión de herbario..... | 22 |
| Trabajo de campo y gabinete | 22 |
| RESULTADOS..... | 27 |
| Análisis de componentes principales | 27 |
| Análisis Discriminante Lineal..... | 30 |
| Análisis de Conglomerados..... | 34 |
| DISCUSIÓN..... | 36 |
| CONCLUSIONES | 40 |
| LITERATURA CITADA..... | 40 |
| ÁREAS POTENCIALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE <i>Agave angustifolia</i> HAW EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO..... | 43 |
| RESUMEN..... | 43 |
| Palabras clave..... | 43 |
| INTRODUCCIÓN | 43 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 44 |
| Criterios para la selección de áreas potenciales para el establecimiento de <i>A. angustifolia</i> .. | 46 |
| Determinación del potencial productivo y validación de las áreas potenciales para <i>A. Angustifolia</i> | 47 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 49 |
| CONCLUSIONES | 54 |
| AGRADECIMIENTOS | 54 |
| LITERATURA CITADA..... | 54 |
| Frases Reflexivas | 65 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. 1. Sitios de recolecta de ejemplares del complejo <i>Agave angustifolia</i> , en la Zona Norte y Centro de Guerrero..... | 22 |
| Cuadro 1. 2. Caracteres analizados para los estudios morfológicos de los ejemplares del complejo <i>Agave angustifolia</i> , en la Zona Norte y Centro de Guerrero (modificado de Rivera-Lugo, 2014). | 24 |
| Cuadro 1. 3. Comparación de tres Análisis de Componentes Principales, para los estudios morfológicos de ejemplares del complejo <i>Agave angustifolia</i> , en la Zona Norte y Centro de Guerrero. | 27 |
| Cuadro 1. 4. Componentes principales que explican la variación de los datos observados..... | 28 |
| Cuadro 1. 5. Vectores propios de los Componentes principales para los datos de agave..... | 28 |
| Cuadro 1. 6. Comparación de tres análisis discriminantes para los estudios morfológicos de ejemplares del complejo <i>Agave angustifolia</i> , en la Zona Norte y Centro de Guerrero..... | 31 |
| Cuadro 1. 7. Coeficientes de las 15 variables en las dos funciones discriminantes..... | 32 |
| Cuadro 1. 8. Comparación entre la clasificación taxonómica y tres análisis de conglomerados de ejemplares del complejo <i>A. angustifolia</i> | 34 |
| | |
| Cuadro 2. 1. Requerimientos agroecológicos de <i>A. angustifolia</i> en el Estado de Guerrero, México. | 46 |
| Cuadro 2. 2. Superficie (ha) estimada por regiones con potencial agroclimático para el cultivo de <i>A. angustifolia</i> , en el Estado de Guerrero, México. | 50 |
| Cuadro 2. 3. Superficie (ha) estimada con potencial agroecológico para el cultivo de <i>A. angustifolia</i> , en el Estado de Guerrero, México. | 50 |
| | |
| Anexo 1. 1. Sitios de caracterización de <i>A. angustifolia</i> en el estado de Guerrero, México. | 58 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. 1. Ubicación de sitios de recolecta de ejemplares del complejo <i>Agave angustifolia</i> , en la Zona Norte y Centro de Guerrero. | 24 |
| Figura 1. 2. Grafica de los componentes principales 1 y 2 y su relación con el número de hojas por planta (PhojasNum), longitud de los dientes a la mitad de la hoja (HDientesLong), longitud de la hoja (HLongitud), número de dientes por un lado de la hoja (HDientesnum), promedio de porcentaje de semillas viables (FSPViab) y largo espina terminal (ETLargo). | 29 |
| Figura 1. 3. Dispersión de los datos en los dos primeros CP y tendencias fenotípicas de los taxones del complejo <i>Agave angustifolia</i> , en la Zona Norte y Centro de Guerrero. | 30 |
| Figura 1. 4. Dispersión de los datos en las dos primeras funciones discriminantes, de las tendencias fenotípicas de los taxones del complejo <i>Agave angustifolia</i> , en la Zona Norte y Centro de Guerrero. | 33 |
| Figura 1. 5. Dispersión de los datos en las dos primeras funciones de conglomerados, de las tendencias fenotípicas de los taxones del complejo <i>Agave angustifolia</i> , en la Zona Norte y Centro de Guerrero. | 35 |
| | |
| Figura 2. 1. Distribución de <i>Agave angustifolia</i> en el estado de Guerrero, México. | 45 |
| Figura 2. 2. Distribución de áreas con potencial agroclimático para el cultivo de <i>A. angustifolia</i> , en el estado de Guerrero, México. | 48 |
| Figura 2. 3. Distribución de áreas con potencial agroecológico para el cultivo de <i>A. angustifolia</i> , en el estado de Guerrero, México. | 49 |

INTRODUCCIÓN GENERAL

La pérdida de la diversidad genética vegetal tanto de materiales silvestres como domesticados, constituye un problema preocupante a nivel mundial. Uno de los ecosistemas más afectados son las selvas bajas caducifolias las cuales han sido modificadas hasta en un 78% de su área original (Houghton *et al.* 1991). A nivel mundial los ecosistemas forestales tropicales y las tierras secas, se encuentran sometidos a mayor presión ambiental y México cuenta con extensas superficies forestales de este tipo, las cuales están experimentando pérdidas considerables (FAO, 2007).

En México dentro de las especies que forman parte de las selvas bajas caducifolias y matorrales xerófilos entre otros tipos de vegetación, se encuentran los agaves comúnmente llamados magueyes. Estas especies tienen diferentes usos, por lo que representan un alto valor cultural y económico (Torres *et al.* 2013).

La alta demanda y la sobre explotación de estas especies pone en peligro a las poblaciones de agaves (Perez-Molphe *et al.* 2012). La Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 menciona 18 especies del género *Agave* en la lista de plantas sujetas a protección especial, amenazadas o en peligro de extinción. Situación que se agrava si se tiene en cuenta, que los agaves tardan de 7 a 15 años para llegar a estados maduros de floración y reproducirse de forma sexual (Rocha *et al.* 2006).

Torres *et al.* (2015) mencionan que en los bosques de México se extraen 37 especies de maguey para la producción de mezcal, lo que ha ocasionado la degradación o extinción de numerosas poblaciones. Estos autores mencionan que se requiere realizar un manejo sustentable de estas especies para evitar su extinción.

En el Estado de Guerrero, se tiene reportado que los productores de mezcal utilizan solo dos especies de agave las cuales son: *Agave cupreata* Trel. et Berger (maguey papalote o ancho) y *Agave angustifolia* Haw. (Maguey espadín o delgado). La utilización de plantas silvestres de maguey para la producción de mezcal es una actividad principalmente de recolección. Estos magueyes requieren un periodo de crecimiento y maduración para ser aprovechados de aproximadamente 6 a 10 años (Kirchmayr *et al.* 2014). *Agave angustifolia* es un maguey que se puede encontrar silvestre o cultivado, es considerado como uno de los de mayor distribución a nivel nacional (Ocaña *et al. in* Colunga-García *et al.* 2007) e inclusive Gentry (1982) la considero una especie cosmopolita. Dada la plasticidad genética, el manejo humano y la diversidad de los ambientes en los que crece, se han descrito más de 20 especies muchas de las cuales fueron consideradas por Gentry (1982) dentro del complejo *Agave angustifolia*.

A. angustifolia, ha sido cultivada en diversos sitios del Estado de Guerrero, dada su precocidad y capacidad de adaptación, sin tener en cuenta las necesidades ambientales y agroecológicas que requiere, por lo que se tienen diferentes rendimientos productivos. *A. angustifolia* se reproduce a través de hijuelos que emergen en la base de la planta madre a partir de los rizomas, o por bulbilos que se desarrollan en la panícula (Kirchmayr *et al.* 2014) y por la semilla que resulta de la reproducción sexual, sin embargo la viabilidad de estas semillas es baja (Arias-Medellín 2011, Ramírez -Tobías *et al.* 2012 y Ramírez -Tobías *et al.* 2016).

Debido a las características biológicas y de manejo de estos magueyes, es necesario realizar estudios de caracterización, sistematización y manejo de las poblaciones del complejo *Agave angustifolia*, que faciliten la conservación y aprovechamiento de estas poblaciones (Figueredo *et al.* 2015 y Rangel-Landa *et al.* 2015). Por otra parte para el caso específico del estado de Guerrero, es necesario la identificación, caracterización y distribución de los taxones que se encuentran dentro del estado, así como la definición de áreas con potenciales agroecológicos para el establecimiento de plantaciones de maguey, lo que permitirá hacer un manejo sustentable de estas especies y garantizarán la conservación de la variabilidad genética de sus poblaciones en Guerrero.

Planteamiento del problema

En el estado de Guerrero, anualmente se producen cerca de 1.7 millones de litros de mezcal (Kirchmayr *et al.* 2014). Considerando un precio promedio de venta de \$110.00 (noventa pesos 00/100 m.n.) por litro, se tendrían ingresos brutos anuales por \$187,000,000.00 (ciento ochenta y siete millones de pesos 00/100 m.n.), lo que representa una fuente importante de ingresos para las familias guerrerenses, dedicadas o relacionadas con esta actividad. La utilización del maguey para la producción de mezcales en el Estado de Guerrero, es una actividad principalmente de recolección, por la utilización de plantas silvestres (Kirchmayr *et al.* 2014). Sin embargo, a nivel estatal, son escasos los trabajos sobre caracterización de poblaciones, mejoramiento y reproducción de especies mezcaleras, sobre todo de *A. angustifolia*. La carencia de estos trabajos y el mal aprovechamiento de las poblaciones de esta especie pueden comprometer esta actividad en el mediano plazo.

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar la variación morfológica de poblaciones del complejo *Agave angustifolia*, e identificar los taxones, su distribución y proponer áreas con potencial agroecológico para el establecimiento de plantaciones comerciales en el estado de Guerrero.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la variación morfométrica de poblaciones y los taxones del complejo *A. angustifolia* de la región Norte de Guerrero.
2. Definir áreas con potencial agroecológico para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia* en el estado de Guerrero.

Hipótesis

Hipótesis general

Existen variaciones morfo métricas en las poblaciones del complejo *A. angustifolia*, ocasionadas por las condiciones edafoclimáticas, agroecológicas y de selección humana; lo que ha permitido la adaptación de las plantas a condiciones ambientales específicas, por lo que esperamos que estas adaptaciones se reflejen en la morfología de las plantas y con ello poder utilizarlas para separar diferentes entidades taxonómicas, además de identificar áreas adecuadas para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia*.

Hipótesis específicas

1. Existen variaciones morfo métricas entre las poblaciones y taxones del complejo *Agave angustifolia* de la Zona Norte de Guerrero.
2. *A. angustifolia* tiene determinados requerimientos agroecológicos, por lo que su crecimiento y desarrollo es diferente dependiendo de las condiciones agroclimáticas y agroecológicas de cada lugar.

Revisión de literatura

Barraza-Morales *et al.* (2006), analizaron la variabilidad genética de ejemplares de tres poblaciones de maguey de la especie *Agave angustifolia* originarias de tres municipios de Sonora, México, mediante polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados (AFLP's). Estos autores mencionan que la variabilidad observada sugiere adaptación ante los factores bióticos y abióticos así como por las características agroclimáticas presentes en la Sierra Sonorense.

Con respecto a estudios de tipo etnobotánico se cita el realizado por Colunga-García y Zizumbo-Villarreal (*in* Colunga-García *et al.* 2007), estos autores realizaron una exploración etnobotánica en el estado de Jalisco y mencionan que existe una alta diversidad en el Sur de Jalisco; ya que encontraron 20 variedades cultivadas por agricultores tradicionales; por lo que sugieren que en esta región se realiza un proceso continuo de selección, el cual fue iniciado por la población indígena para producir alimentos y bebidas alcohólicas. Estos autores mencionan que los mecanismos de diversificación y conservación del germoplasma, han sido la selección continua de poblaciones silvestres y el mantenimiento y mejoramiento de variedades locales antiguas y de reciente selección, con criterios propiciadores de diversidad relacionados con la variedad de sabores, duración del ciclo de vida y adaptación a agroecosistemas multiespecíficos y multivarietales.

En relación a estudios de distribución que hacen referencia a taxones del complejo *Agave angustifolia*, el naturalista Lang Lase el 25 de mayo de 1899 realizó la colecta de un ejemplar similar a *Agave angustifolia* en un terrenos rocoso entre Xochipala y Zumpango, en el estado de Guerrero. Este ejemplar fue nombrado por Berger en 1915 como *Agave kirchneriana*, una especie nueva (Berger 1988). Sin embargo García-Mendoza (2011) cita a este ejemplar como sinónimo de *Agave angustifolia*.

Ocaña *et al.* (*in* Colunga-García *et al.* 2007), exponen los resultados de modelación de la distribución espacial de 11 especies de *Agave* mediante algoritmos genéticos y su combinación con los sistemas de información geográfica (SIG's) y la experiencia de los especialistas, encontrando que las especies con la mayor distribución potencial son *A. angustifolia*, *A. rhodacantha* Trel., (estas dos especies pertenecen al complejo *A. angustifolia*) *A. salmiana* subsp. *crassispina* (Trel. ex L.H. Bailey) Gentry, *A. maximiliana* Baker y *A. durangensis* Gentry y que las herramientas utilizadas pueden ser muy útiles en la definición de indicaciones geográficas.

Nava *et al.* en 1998, informan que para el Estado de Guerrero se encuentran presentes cinco especies de Agave, las cuales son: *Agave angustifolia* Haw. var. *angustifolia*, *Agave angustiarum* Trel., *Agave collina* Greenm., *Agave kirchneriana* Berger, *Agave pedunculifera* Trel.

Delgado-Hernández (2001) cita para el municipio de Atenango del Rio, perteneciente al Estado de Guerrero *Agave donnell-smithii* Trel, la cual se considera sinónimo de *A. angustifolia*.

García Mendoza en 2011, menciona que *Agave angustifolia* Haw. var. *rubescens* (Salm-Dyck) Gentry, es endémica de México y se encuentra en los estados de Guerrero, Jalisco y Oaxaca.

González Guinea en 2012 informa sobre la presencia de *Agave kirchneriana* Berger y *Agave cupreata* Trel en la localidad de Xochipala en el Estado de Guerrero.

Otro trabajo realizado por Villaseñor (2016), menciona que para el estado de Guerrero se tiene registradas dieciséis especies del género Agave, las cuales son: *Agave angustiarum* Trel., *Agave angustifolia* Haw., *Agave attenuata* Salm-Dyck, *Agave brachystachys* Cav., *Agave collina* Greenm., *Agave cupreata* Trel. & A. Berger, *Agave ellemeetiana* Jacobi, *Agave ghiesbreghtii* Lem. ex Jacobi, *Agave gypsophila* Gentry, *Agave horrida* Lem. ex Jacobi, *Agave kirchneriana* Berger, *Agave nussaviorum* García-Mend., *Agave pedunculifera* Trel., *Agave petrophila* García-Mend. & E. Martínez, *Agave potatorum* Zucc., *Agave schidigera* Lem. Por otra parte menciona la presencia de *Agave rhodacantha* Trel. En los estados de Chihuahua, Colima, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Sonora y Zacatecas.

En relación a estudios realizados sobre variación morfológica y genética de poblaciones de maguey, se encuentra el estudio hecho por Rivera-Lugo (2014), quien realizó un trabajo sobre la variación morfológica y genética del complejo *Agave angustifolia*, en el Estado de Oaxaca. Este autor concluye que los análisis morfológicos y moleculares son capaces de identificar diferencias entre los ejemplares estudiados.

Vázquez Pérez (2015), realizó un estudio sobre la variación morfológica y genética de *Agave karwinskii*, en los estados de Oaxaca y Puebla. Esta autora menciona que los caracteres de alto y ancho de la roseta, color de las hojas, relación pedúnculo panícula, son los caracteres más útiles en la delimitación de los grupos morfológicos estudiados.

Referente a estudios para la definición de áreas potenciales, actualmente existen diversos sistemas de evaluación para identificar la aptitud de las tierras, uno de estos son los sistemas de información geográfica (SIG), los cuales integran variables biofísicas y climáticas, además de poder incorporar información de expertos en la materia (Malczewski, 2004; Olivas-Gallegos *et al.* 2007; Ledesma-Horta,

2014). Bajo este contexto, se pueden definir áreas potenciales para el establecimiento de cultivos como pueden ser las plantaciones de maguey, bajo un enfoque agroecológico.

Literatura citada

Arias Medellín, L. A. 2011. Ecología poblacional de *Agave angustifolia* en la región de Xochicalco, Morelos: Evaluación de su potencial para la restauración ecológica. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología ambiental). Facultad de ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.

Barraza-Morales, A., Sánchez-Teyer, F. L., Robert, M., Esqueda, M., & Gardea, A. 2006. Variabilidad genética en *Agave angustifolia* de la Sierra Sonorense, México, determinada con marcadores AFLP. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(1), 1-8.

Berger, A. (1988). *Die Agaven. Beitrage zu einer Monographie*. Stuttgart: New York, Gustav Fisher Verlag 295p.,

Colunga-García Marín, P., & Zizumbo-Villarreal, D. 2007. El tequila y otros mezcales del centro-occidente de México: domesticación, diversidad y conservación de germoplasma. En: *En lo Ancestral hay Futuro: del Tequila, los Mezcales y otros Agaves*. P Colunga-GarcíaMarín, L Eguiarte, A Larqué, D Zizumbo-Villarreal (ed). CICY-CONACYT-CONABIO-SEMARNAT-INE. México DF pp, 113-131.

Delgado Hernández, O. 2001. Contribución al conocimiento florístico del Cerro de La Víbora y Cerro La Cruz del municipio de Atenango del Rio, Guerrero. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.

FAO. 2007. *Situación de los Bosques del Mundo 2007*. Rome, Italy. 71 p.

Figueredo, C. J., Casas, A., González-Rodríguez, A., Nassar, J. M., Colunga-García Marín, P., & Rocha-Ramírez, V. 2015. Genetic structure of coexisting wild and managed agave populations: implications for the evolution of plants under domestication. *AoB Plants*, 7, plv114.

García-Mendoza AJ. 2011. Agavaceae. En: *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Medina-Lemos R. (ed). Universidad Nacional Autónoma de México - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Gentry H. S. 1982. *Agaves of Continental North American*. The University of Arizona Press. Tucson. 670 p.

- González Guinea, A. 2012. Etnobotánica: Factores de cambio en el uso tradicional de la flora de Xochipala, Guerrero. Tesis de Maestría en Antropología. Posgrado en Antropología, Instituto de Investigaciones Antropológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Houghton, R. A., D. S. Lefkowitz and D. L. Skole. 1991. Changes in the landscape of Latin America between 1859 and 1985. I. Progressive loss of forest. *Forest Ecology and Management* 38:143-172.
- 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. Kirchmayr, R. M. (ed). Fundación Produce Guerrero A. C. México. 28 – 30 p. 231 p.
- Ledesma-Horta J. C. 2014. Distribución del Agave Mezcalero (*Agave ssp.*) y Áreas con Aptitud Potencial para su desarrollo en San Felipe, Guanajuato. Tesis de licenciatura. División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 115 pp.
- Malczewski J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progr. Planning* 62:3-65.
- Nava, R., Jiménez, C., Sánchez, M., & Jiménez, A. 1998. Listado florístico de la cuenca del río Balsas, México. *Polibotánica*, 9, 1-151.
- Ocaña-Nava, D., García-Mendoza, A., & Larson, J. 2007. Modelación supervisada de la distribución de magueyes mezcaleros en México y sus posibles aplicaciones. En: Colunga-García et al 2007 (ed). *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*, CICY, CONACYT, CONABIO, INE, México.
- Olivas-Gallegos, U. E., J. R. Valdez Lazalde, A. Aldrete, M de J. González-Guillén y G. Vera-Castillo. 2007. Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: Definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30, 411-419.
- Pérez Molphe Balch, Eugenio; Esparza Araiza, Mayra J. y Pérez Reyes, Martha E. 2012. Conservación in vitro de germoplasma de *Agave spp.* bajo condiciones de crecimiento retardado. *Rev. Fitotec. Mex.* vol.35, n.4, pp.279-287.
- Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C. B., Reyes-Agüero, J. A., Sánchez-Urdaneta, A. B., & Valle G, S. (2012). Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Plant Species Biology*, 27(2), 124-137.

https://www.researchgate.net/publication/263721507_Seed_germination_temperatures_of_eight_Mexican_Agave_species_with_economic_importance consultado 03 de septiembre de 2017.

- Ramírez-Tobías, H. M., Vázquez, R. N; Rivera, J.R.A; Flores, J; Vázquez, J.A.D.N. y Gálvez, R.J. 2016. Seed viability and effect of temperature on germination of *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* and *A. mapisaga*; two useful *Agave* species. *Genet Resour Crop Evol* (2016) 63: 881.
- Rangel-Landa, S., Casas, A., & Dávila, P. 2015. Facilitation of *Agave potatorum*: An ecological approach for assisted population recovery. *Forest Ecology and Management*, 347, 57-74.
- Rivera Lugo, M. 2014. Variación morfológica y genética del complejo *Agave angustifolia* en el estado de Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Posgrado en ciencias biológicas, Instituto de Biología sistemática. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Rocha, M.; Good-Ávila, S. V.; Molina-Freaner, F.; A., Hector T.; Castillo, A.; García-Mendoza, A.; Silva-Montellano, A.; Gaut, B. S.; Souza, V.; and Eguiarte, L. E. (2006) Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus *Agave*. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany*, 22(1), 329-344.
- SEMARNAT. 2010. NORMA Oficial Mexicana 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. Diario oficial de la federación.
- Torres, I., Casas, A., Delgado-Lemus, A., y Rangel-Landa, S. 2013. Aprovechamiento, demografía y Establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su Manejo sustentable *Zonas Áridas*, 15 (1), 92-109.
- Torres, I., Casas, A., Vega, E., Martínez-Ramos, M., & 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.
- Vázquez Pérez, N. 2015. Variación morfológica y genética de *Agave karwinskii* (Agavaceae), en los estados de Oaxaca y Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Posgrado en ciencias biológicas, Instituto de Biología Sistemática. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559-902.

CAPÍTULO I. VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE POBLACIONES DEL COMPLEJO *AGAVE ANGUSTIFOLIA* EN LA ZONA NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO

RESUMEN

El género *Agave* comprende aproximadamente 210 especies, de estas uno de los grupos mas importantes desde el punto de vista económico y cultural, es el complejo *A. angustifolia*. De este grupo se han descrito mas de 20 especies. Sin embargo, han sido escasos los estudios que permiten entender las relaciones taxonómicas y filogenéticas del grupo. En el presente estudio se caracterizaron morfo métricamente individuos que integran al complejo *Agave angustifolia* de la Zona Norte de Guerrero, con el objetivo de contribuir al entendimiento de este grupo tan diverso. Se realizaron 25 salidas de campo en la Zona Norte de Guerrero y un municipio de la Zona Centro, en las cuales se colectaron 141 ejemplares de este complejo taxonómico. A cada ejemplar se le tomaron datos de 36 variables para su posterior análisis estadístico por medio de los Análisis de Componentes Principales (ACP), Analisis Discriminante Lineal (ADL) y Analisis de Conglomerados (AC). Se identificaron taxonómicamente 100 ejemplares de *Agave angustifolia* var. *angustifolia* (70.92%), 36 ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens* (25.53%) y solo cinco ejemplares de *A. rhodacantha* (3.55%), esta ultima especie resultó ser un nuevo registro para el Estado de Guerrero. Las variables longitud de la hoja, número de dientes por un lado de la hoja, perímetro del pedúnculo floral, ancho mayor de la hoja, número de hojas por planta, largo de la espina terminal y promedio de semillas viables, permitieron realizar la delimitación morfológica de los taxones estudiados. *A. angustifolia* var. *rubescens* presentó traslapes de algunos ejemplares con *Agave angustifolia* var. *angustifolia*, lo que refleja la alta variabilidad fenotípica de ambos taxones. El análisis Discriminante Lineal resultó ser una herramienta estadística útil para el entendimiento de las variables fenotípicas del complejo *A. angustifolia*.

Palabras clave

Análisis discriminante Lineal, *Agave rhodacantha*, morfometría.

SUMMARY

The genus *Agave* comprises approximately 210 species, of which one of the most important groups from the economic and cultural point of view, is the *Agave angustifolia* complex. Within this group, more than 20 species have been described. However, few studies have been done to understand the taxonomic and phylogenetic relationships of the group. In this research, individuals that integrate the

complex *Agave angustifolia* from the North Zone of Guerrero were characterized morphologically, with the aim of contributing to the understanding of this diverse group. Twenty five field trips were conducted in the Northern Zone of Guerrero and one municipality in the Central Zone, and 141 specimens of this taxonomic complex were collected. The data of 36 variables for the Main Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA) and Conglomerate Analysis (CA) were taken for each maguey. They were identified taxonomically 100 specimens of *Agave angustifolia* var. *angustifolia* (70.92%), 36 specimens of *A. angustifolia* var. *rubescens* (25.53%) and only five specimens of *A. rhodacantha* (3.55%), this last species turned out to be a new record for the State of Guerrero. The variable length of the leaf, number of teeth on one side of the leaf, perimeter of the floral peduncle, greater width of the leaf, number of leaves per plant, length of the terminal spine and average of viable seeds, allowed to realize the morphological delimitation of the taxa studied. *A. angustifolia* var. *rubescens* showed overlaps of some specimens with *Agave angustifolia* var. *angustifolia*, which reflects the high phenotypic variability of both taxa. The Linear Discriminant analysis turned out to be a useful statistical tool for understanding the phenotypic variables of the *A. angustifolia* complex.

Key Words

Linear Discriminant Analysis, *Agave rhodacantha*, morphometry.

INTRODUCCIÓN

La familia Agavaceae es endémica del continente americano, se distribuye desde Canadá hasta Bolivia e islas del Mar Caribe y comprende aproximadamente 330 especies (García-Mendoza, 2004). El área de mayor diversidad de esta familia se encuentra en México, donde se registran alrededor de 251 especies, de las cuales 177 son endémicas (García-Mendoza, 2004). El género mejor representado de esta familia es *Agave*, con 210 especies, 159 de estas existen en México lo que representa el 75% y 119 especies son endémicas de este país (García-Mendoza, 2011). Estudios como el de Flannery (1986) mencionan que este género, tiene una importancia cultural y económica, debido a los múltiples usos que las poblaciones humanas le han dado, citando como ejemplo el de la localidad de Guilá en Oaxaca quienes ya lo usaban como alimento 12,800 A. P. Actualmente las especies de este género, siguen siendo fuente de alimento, de ellas se obtienen fibras y forraje, con sus hojas y quiotes se construyen casas, además de ser empleadas en la medicina tradicional y para la producción de bebidas fermentadas y destiladas. García-Mendoza (2011) menciona que *Agave angustifolia* Haw se distribuye de la parte norte de México hasta Panamá lo que la hace la especie con mayor distribución dentro de este género, la cual

tiene una gran importancia económica a nivel industrial, ya que es ocupada en la destilación de diversas bebidas alcohólicas, entre ellas bacanora y mezcal. Esta especie forma parte del complejo taxonómico conocido como *Agave angustifolia* del cual se han descrito más de 20 especies (Gentry, 1982; García-Mendoza y Franco-Martínez, 2017), Sin embargo, han sido escasos los estudios que permitan entender las relaciones taxonómicas y filogenéticas del grupo.

En la Zona Norte del Estado de Guerrero, individuos afines a este complejo son utilizados para la producción de mezcal (Kirchmayr *et. al.* 2014), sin embargo se observa una gran variabilidad de formas y tamaños, así como diversos nombres locales que les dan los productores de mezcal, lo que da lugar a confusiones. Con el presente estudio se buscó caracterizar morfo métricamente individuos que integran al complejo *Agave angustifolia* en la Zona Norte de Guerrero y con ello contribuir al entendimiento de este grupo tan diverso.

MÉTODOS

Ubicación geográfica

La Región Norte del Estado de Guerrero donde se realizó el presente estudio, se ubica en la porción septentrional del Estado de Guerrero, sus colindancias territoriales son al Norte con los estados de México y Morelos, al Sur con la Región Centro de Guerrero, al poniente con la Región Tierra Caliente de Guerrero y el Estado de México, al Oriente con los estados de Morelos y Puebla y en parte al Sur-oriente con la Región de La Montaña de Guerrero. Las mayores elevaciones en la Región Norte son el Cerro de la Tentación que alcanza los 3.199 m s.n.m. y El Huixteco con 2.504 m s.n.m. mientras que las partes más bajas alcanzan los 467 m s.n.m. en el Municipio de Apaxtla (INEGI. 2005, 2008).

Revisión bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica del complejo *Agave angustifolia*, analizando las publicaciones originales de cada taxón y las revisiones taxonómicas y monográficas que hay sobre este complejo. Primeramente se revisó la descripción de *A. angustifolia* dada por García-Mendoza y Chiang (2003) quienes aclararon la confusión taxonómica de esta especie asignando un neotipo del estado de Oaxaca. Para la definición del complejo *A. angustifolia*, se tomó el criterio tomado por Rivera-Lugo (2014), quien utilizó como delimitación inicial la propuesta de Gentry (1982), donde se reconocen los taxones silvestres *Agave angustifolia* Haw. var. *angustifolia*, *Agave angustifolia* var. *rubescens* (Salm - Dyck) Gentry, *Agave rhodacantha* Trel y ejemplares de cultivares de *A. tequilana* FAC Weber, taxones que Gentry menciona que presentan una cercanía morfológica con este complejo. Por otra parte, se consideró oportuno analizar al taxón *Agave kirchneriana* mencionado por Berger (1988), cuya localidad

tipo se encuentra en la localidad de Xochipala, en el Estado de Guerrero y que es considerado por García-Mendoza (2011) como sinónimo de *A. angustifolia*. Recientemente García-Mendoza y Franco-Martínez (2017), mencionaron que para el noroeste de México, como parte de este complejo taxonómico, fueron descritas *Agave pacifica* Trel., *Agave. yaquiana* Trel., *Agave rhodacantha*, *Agave owenii* I. M. Johnst.

Revisión de herbario

Se revisaron 24 ejemplares de herbario del complejo *A. angustifolia*, con la finalidad de identificar los taxones recolectados en el Estado de Guerrero, los cuales están depositados en el Herbario de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGC), Herbario Nacional de México (MEXU) y el Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB).

Trabajo de campo y gabinete

Se hicieron 25 salidas de campo, en el periodo comprendido de agosto del 2016 a febrero de 2017. Se recolectaron 141 ejemplares procedentes de 10 municipios y 31 localidades de la Zona Norte de Guerrero y un municipio y una localidad de la Zona Centro de Guerrero (Cuadro 1.1 y figura 1.1), se incluyó esta última localidad, porque cerca de la misma se han observado ejemplares afines al taxón *Agave kirchneriana*. Cada uno de los ejemplares fue identificado taxonómicamente, con apoyo del especialista en el grupo, Dr. Abisaí Josué García Mendoza, después de lo cual fueron depositados en los herbarios UAGC, MEXU y ENCB.

Cuadro 1. 1. Sitios de recolecta de ejemplares del complejo *Agave angustifolia*, en la Zona Norte y Centro de Guerrero.

| Región | Municipio | Localidades | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | <i>A. rhodacantha</i> | Total Ejemplares por municipio |
|--------|------------------|----------------|--|---|-----------------------|--------------------------------|
| Norte | Atenango del Rio | Apanguito | 11 | | | 21 |
| | | Atenango | 9 | | | |
| | | Coacan | 1 | | | |
| | Buenavista | La Cima | | | 1 | 4 |
| | | Los Pinitos | | | 1 | |
| | | Palmillas | 1 | 1 | | |
| | Copalillo | Mexquitlan | 1 | 17 | | 18 |
| | Cuetzala | Chilacachapa | | | 6 | 8 |
| | | Cuaxilotla | 1 | | | |
| | | Tianquizolco | 1 | | | |
| | Huitzucó | Atetetla | | 8 | | 8 |
| | Iguala | Che Guevara | 5 | 2 | | 7 |
| | Ixcateopan | Pachivia | | 13 | 2 | 15 |
| | Taxco | Acamixtla | | | 1 | 22 |
| | | Agua escondida | | | 2 | |

| Región | Municipio | Localidades | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | <i>A.</i> <i>rhodacantha</i> | Total Ejemplares por municipio |
|----------------|--------------|-----------------------|---|--|---------------------------------|---|
| | | Carretera cuota Taxco | | 5 | | |
| | | Zacapalco | | | | |
| | | Juliantla | | 2 | | |
| | | La cascada | | 2 | | |
| | | Monte Taxco | | 2 | | |
| | | Pedro Martin | | 6 | | |
| | | Zacatecolotla | | 2 | | |
| | Teloloapan | Acatempan | 1 | | | 26 |
| | | Ahuehuepan | 1 | 1 | | |
| | | Chapa | | 9 | | |
| | | Huerta Grande | 2 | | | |
| | | Puente los Sabinos | 1 | 2 | | |
| | | Tehuixtla | | 8 | 1 | |
| | Tetipac | Acueducto | | 1 | | 9 |
| | | Pregones | | 1 | 1 | |
| | | San Gregorio | | 1 | | |
| | | Tepacoya | | 5 | | |
| Centro | Edurado Neri | La Venta | 1* | 2 | | 3 |
| Totales | | | 36 | 100 | 5 | 142 |

* Ejemplar afín a *A. angustifolia* var. *rubescens* y a *A. kirchneriana*?

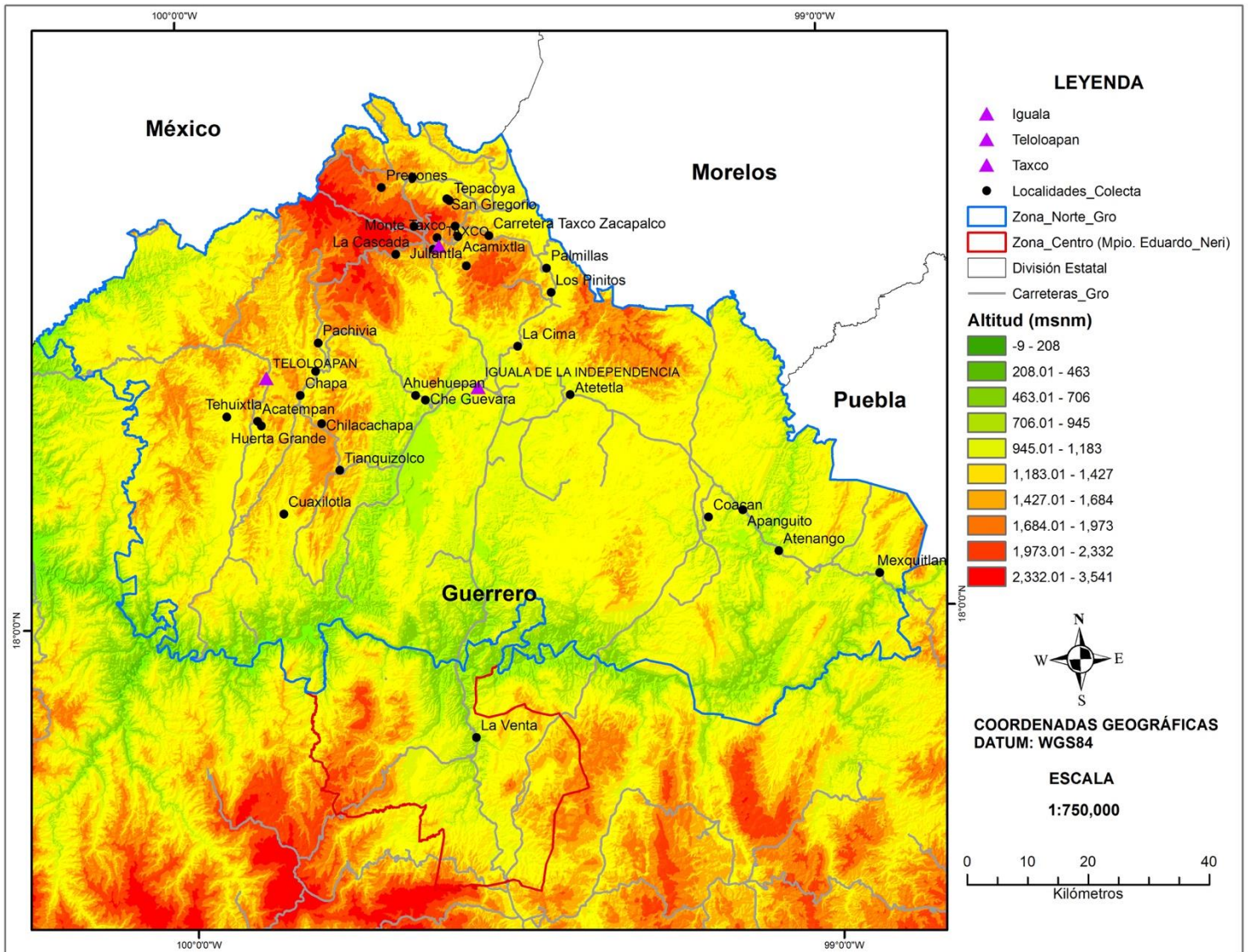


Figura 1. 1. Ubicación de sitios de recolecta de ejemplares del complejo *Agave angustifolia*, en la Zona Norte y Centro de Guerrero.

Para los estudios morfológicos, se analizaron el mayor número de caracteres vegetativos y reproductivos, dependiendo de las condiciones particulares que presentaba cada ejemplar, tomando 36 variables mismas que se describen en el cuadro 1.2.

Cuadro 1. 2. Caracteres analizados para los estudios morfológicos de los ejemplares del complejo *Agave angustifolia*, en la Zona Norte y Centro de Guerrero (modificado de Rivera-Lugo, 2014).

| No. | Carácter | Tipo de carácter | Descripción | Observaciones |
|-----|--------------------------|------------------|--|------------------------------|
| 1 | Altura de la roseta cm | Cuantitativo | De la base del tallo hasta el ápice de las hojas centrales | |
| 2 | Diámetro de la roseta cm | Cuantitativo | En la parte media de la roseta | |
| 3 | Longitud de la hoja cm | Cuantitativo | Desde la base del tallo al ápice de la espina | Promedio de tres hojas de la |

| No. | Carácter | Tipo de carácter | Descripción | Observaciones |
|-----|--|------------------|---|-------------------------------------|
| 4 | Ancho en la base de la hoja cm | Cuantitativo | En la base de la hoja | parte media por planta |
| 5 | Ancho mayor de la hoja cm | Cuantitativo | En la parte más ancha de la hoja | |
| 6 | Relación largo/ancho mayor de la hoja | Cuantitativo | Cociente de la división de largo de la hoja y ancho mayor de la hoja | |
| 7 | Distancia de la base a la parte más ancha de la hoja cm | Cuantitativo | | |
| 8 | Proporción largo/ancho mayor de la hoja | Cuantitativo | (1 / longitud de la hoja)* distancia de la base a la parte más ancha de la hoja | |
| 9 | Forma de la hoja | Cualitativo | Linear, lanceolada y linear-lanceolada | |
| 10 | Número de dientes por un lado de la hoja | Cuantitativo | | |
| 11 | Longitud de los dientes a la mitad de la hoja cm | Cuantitativo | | |
| 12 | Ancho de los dientes a la mitad de la hoja cm | Cuantitativo | Cinco dientes centrales por hoja | |
| 13 | Distancia entre dientes cm | Cuantitativo | | |
| 14 | Largo espina terminal cm | Cuantitativo | | |
| 15 | Ancho de la espina terminal cm | Cuantitativo | | |
| 16 | Distancia de la espina terminal al diente más cercano cm | Cuantitativo | | |
| 17 | Longitud total de la inflorescencia cm (altura quiote) | Cuantitativo | De la base del tallo hasta el ápice de la inflorescencia | |
| 18 | Perímetro del pedúnculo floral cm | Cuantitativo | Tomado a la altura del ápice de las hojas centrales | |
| 19 | No. de hojas planta | Cuantitativo | | |
| 20 | Longitud de la rama más larga de la inflorescencia cm | Cuantitativo | tomado de la base del pedúnculo floral a la primer ramificación de la rama | |
| 21 | Numero de ramas de la inflorescencia | Cuantitativo | | |
| 22 | No. de hijuelos por planta madre | Cuantitativo | Hijuelos alrededor de la planta madre | |
| 23 | Largo bráctea del pedúnculo floral cm | Cuantitativo | Tomada de las brácteas a la altura del ápice de las hojas centrales | |
| 24 | Ancho bráctea del pedúnculo floral cm | Cuantitativo | Tomada de las brácteas a la altura del ápice de las hojas centrales | Promedio de tres brácteas |
| 25 | Relación Largo/ancho de la bráctea | Cuantitativo | Cociente de la división de largo y ancho de las brácteas | |
| 26 | Largo del fruto cm | Cuantitativo | | |
| 27 | Ancho del fruto cm | Cuantitativo | | |
| 28 | Relación Largo/ancho de la capsula | Cuantitativo | Cociente de la división de largo y ancho de las capsulas | |
| 29 | Promedio de Semillas estériles por fruto | Cuantitativo | | Promedio de cinco frutos por planta |
| 30 | Promedio de Semillas viables por fruto | Cuantitativo | | |
| 31 | Promedio de Semillas totales por fruto | Cuantitativo | | |
| 32 | Promedio de Porcentaje de semillas viables | Cuantitativo | | |
| 33 | Promedio del largo cm de semillas viables | Cuantitativo | | |
| 34 | Promedio del ancho cm de semillas viables | Cuantitativo | Tomado del promedio quince semillas por capsula | |
| 35 | Relación Largo/ancho de las semillas viables | Cuantitativo | | |

| No. | Carácter | Tipo de carácter | Descripción | Observaciones |
|-----|----------|------------------|---------------------------|---------------|
| 36 | Especie | Cualitativa | Identificación taxonómica | |

Con la información obtenida de las medidas y características de los ejemplares, se creó una base digital en el software Microsoft Excel®, con 141 ejemplares y 36 caracteres analizados, dependiendo de las variables particulares que presentaba cada ejemplar.

Con esta base de datos se realizaron tres análisis estadísticos, por medio del programa estadístico R (Core Team, 2016) los cuales son: Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis Discriminante Lineal (ADL) y Análisis de Conglomerados (AC), los cuales han sido usados por diferentes autores en estudios morfológicos de esta familia (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 1996, Rivera-Lugo 2014, Vázquez-Pérez, 2015).

La base de datos con 141 observaciones, tuvo 67 observaciones perdidas (ya que estos ejemplares carecían de información de al menos una variable), para un total de 74 observaciones completas. El número de variables, 35, es grande comparado con el número de observaciones completas, 74. Una forma de incrementar la razón número de observaciones al número de variables es eliminar cuatro variables que son el cociente de otras dos variables que ya están en la base de datos. Las variables eliminadas fueron: relación largo/ancho mayor de la hoja, relación largo/ancho de la bráctea, relación largo/ancho de la capsula, relación largo/ancho de las semillas viables. Además se eliminó la variable forma de la hoja por ser de tipo cualitativo. Esto redujo a 30 las variables que miden las características de los ejemplares que incluye a la variable especie. Solo se usan 29 variables en el ACP y AC; en ADL se necesitó la variable especie por lo que se usaron las 30 variables.

Los tres análisis estadísticos se basan en la matriz de correlaciones, dado que hay variables como longitud de la inflorescencia que tienen una varianza muy grande comparada con el resto de las variables. De esta manera se elimina una influencia indebida de alguna de las 29 variables.

Cabe señalar que son pocos los ejemplares de *A. rhodacantha* (cinco) dada la escasez de los mismos.

Como ocurre siempre al realizar análisis estadísticos que involucran muchas variables, no todas son importantes. Un paso necesario en el análisis estadístico, es seleccionar las variables más importantes. La selección de las variables más importantes en el ACP y ADL se realizó con el paquete *subselect* de R (Orestes-Cerdeira *et al.*, 2017) y para el AC se usó el paquete *vsc* (Selección de Variables

para Conglomerados y Clasificación por sus siglas en ingles), propuesto por Andrews y McNicholas (2013).

RESULTADOS

Para el área de estudio, se identificaron taxonómicamente 100 ejemplares de *Agave angustifolia* var. *angustifolia* (70.92%), 36 ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens* (25.53%) y solo cinco ejemplares de *A. rhodacantha* (3.55%), por otra parte se realizó el análisis de un ejemplar (No. 140) con características afines a *A. angustifolia* var. *rubescens* y a *A. kirchneriana*, el cual en función de los resultados de los análisis estadísticos se incluyó con el grupo de *A. angustifolia* var. *rubescens*.

Las variables analizadas mostraron diferencias entre individuos y entre poblaciones, e inclusive se presentaron valores atípicos de varias variables en una misma población.

Análisis de componentes principales

Se realizaron tres análisis de componentes principales, con 29, 16 y 6 variables, se observó que con 29 variables en el ACP son necesarios 11 CP para alcanzar aproximadamente un 82% de la variación explicada en los datos. Esto se debe a que las variables no están altamente correlacionadas y que algunas no son importantes en el ACP. Para identificar las variables más importantes se hizo la selección de variables con el paquete *subselect* de R, de lo que resultaron 16 variables. Posteriormente de estas 16 se seleccionaron seis variables que han sido usadas por otros investigadores (Rivera-Lugo 2014, Vázquez-Pérez, 2015). Con la elección de seis variables y cuatro componentes principales, se puede explicar un 82.81% de la variación total de las observaciones realizadas (Cuadro 1.3).

Cuadro 1. 3. Comparación de tres Análisis de Componentes Principales, para los estudios morfológicos de ejemplares del complejo *Agave angustifolia*, en la Zona Norte y Centro de Guerrero.

| | 29 variables | 16 variables | 6 variables |
|---|--------------|--------------|-------------|
| Numero de CP que explican más del 80% de la variación | 11 | 9 | 4 |
| % de la variación explicada | 81.75 | 82.55 | 82.81 |

Al realizar el ACP con seis variables, el número de observaciones aumentó a 101. Las seis variables usadas en el ACP fueron: longitud de la hoja, número de dientes por un lado de la hoja, longitud de los dientes a la mitad de la hoja, largo espina terminal, número de hojas por planta y el promedio de porcentaje de semillas viables. La importancia de cada uno de los seis CP, la desviación estándar y proporción acumulada se muestra en el Cuadro 1.4.

Cuadro 1. 4. Componentes principales que explican la variación de los datos observados.

| Componente | Desviación estándar | Proporción de la varianza | Valor Eigen | Proporción acumulada |
|------------|---------------------|---------------------------|-------------|----------------------|
| PC1 | 1.465 | 0.357 | 2.1470391 | 0.357 |
| PC2 | 1.039 | 0.179 | 1.0794908 | 0.537 |
| PC3 | 0.945 | 0.148 | 0.8926737 | 0.686 |
| PC4 | 0.922 | 0.141 | 0.8494613 | 0.828 |
| PC5 | 0.780 | 0.101 | 0.6078941 | 0.929 |
| PC6 | 0.651 | 0.070 | 0.423441 | 1.000 |

El primer componente aporta el 35.7% de toda la varianza (Figura 1.2), está correlacionado positivamente con: el número de hojas por planta, la longitud de los dientes a la mitad de la hoja, la longitud de la hoja y el número de dientes por un lado de la hoja; y negativamente con el promedio de porcentaje de semillas viables (Cuadro 1.5). El segundo componente representa el 17.9% de toda la varianza (Figura 1.2) está correlacionado positivamente con: el promedio de porcentaje de semillas viables y negativamente con el número de dientes por un lado de la hoja (Cuadro 1.5). El tercer componente representa el 14.8% de toda la varianza, se correlaciona positivamente con el número de hojas por planta y negativamente con la longitud de la hoja (Cuadro 1.5). El cuarto componente representa el 14.1% de toda la varianza, se relaciona positivamente con el largo de la espina terminal (Cuadro 1.5).

Cuadro 1. 5. Vectores propios de los Componentes principales para los datos de agave.

| Variable | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Largo espina terminal | 0.309 | 0.343 | -0.307 | 0.824 | 0.070 | -0.088 |
| Número de dientes por un lado de la hoja | 0.441 | -0.421 | -0.355 | -0.117 | -0.569 | -0.405 |
| Promedio de porcentaje de semillas viables | -0.270 | 0.724 | -0.246 | -0.248 | -0.529 | -0.016 |
| Número de hojas por planta | 0.479 | 0.091 | 0.545 | 0.078 | -0.427 | 0.526 |
| Longitud de la hoja | 0.447 | 0.111 | -0.540 | -0.394 | 0.345 | 0.472 |
| Longitud de los dientes a la mitad de la hoja | 0.456 | 0.400 | 0.362 | -0.289 | 0.300 | -0.573 |

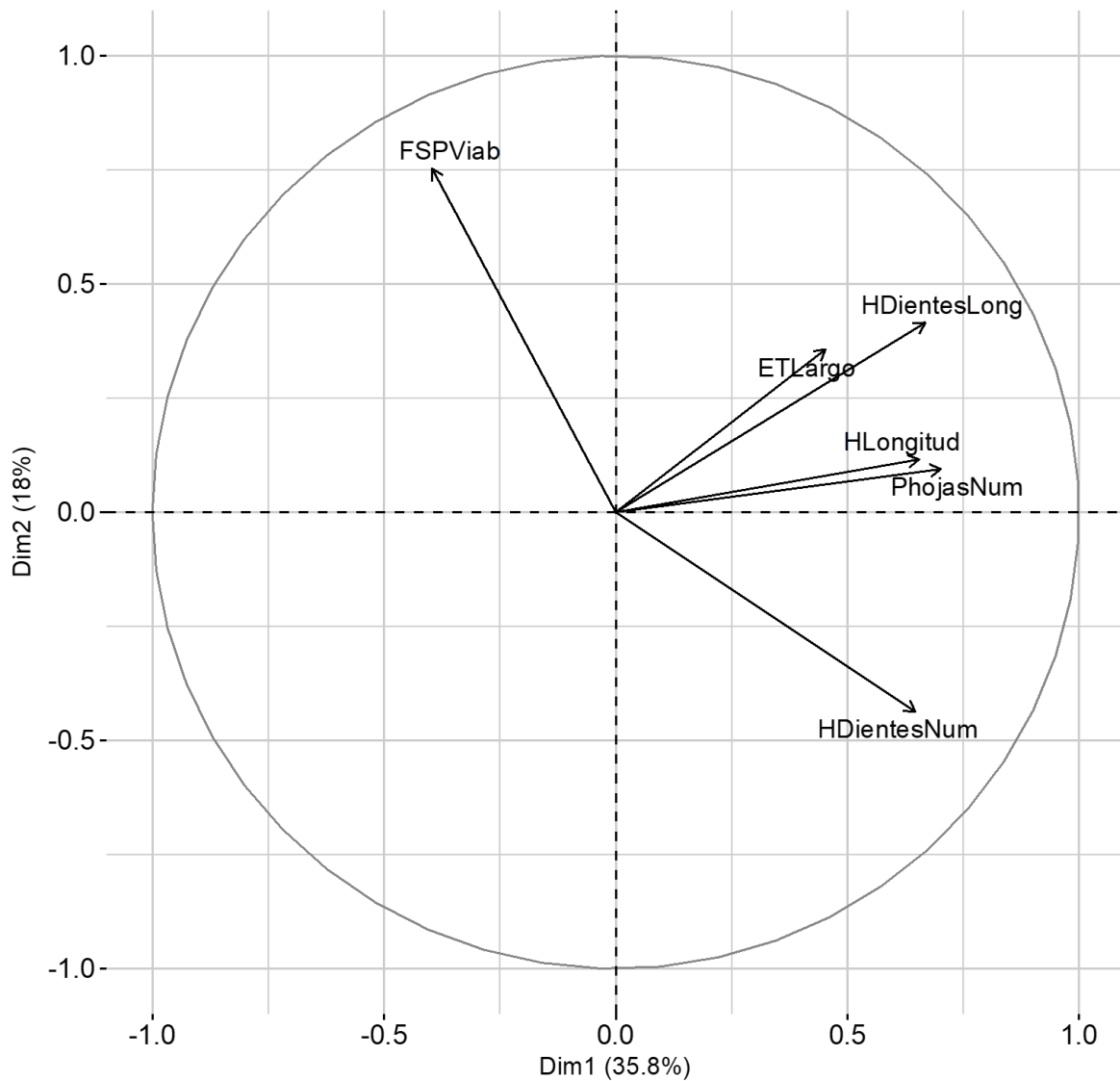


Figura 1. 2. Grafica de los componentes principales 1 y 2 y su relación con el número de hojas por planta (PhojasNum), longitud de los dientes a la mitad de la hoja (HDientesLong), longitud de la hoja (HLongitud), número de dientes por un lado de la hoja (HDientesnum), promedio de porcentaje de semillas viables (FSPViab) y largo espina terminal (ETLargo).

Tomando en cuenta los dos primeros componentes principales, que acumulan el 53.77% de toda la varianza, podemos observar la dispersión y las tendencias fenotípicas de los taxones examinados en el sistema de coordenadas definido por los dos CP (Figura 1.3). En el diagrama se observa que *A. angustifolia* var. *angustifolia* es un grupo muy disperso y presenta sobreposiciones con ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens*, mientras que *A. rhodacantha* se agrupa con *A. angustifolia* var. *angustifolia*, sin embargo tiende a ubicarse en los extremos de la delimitación del grupo. Por otra parte, el ejemplar 140 afín a *A. kirchneriana* fue agrupado dentro del grupo en el que predominan los ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens*.

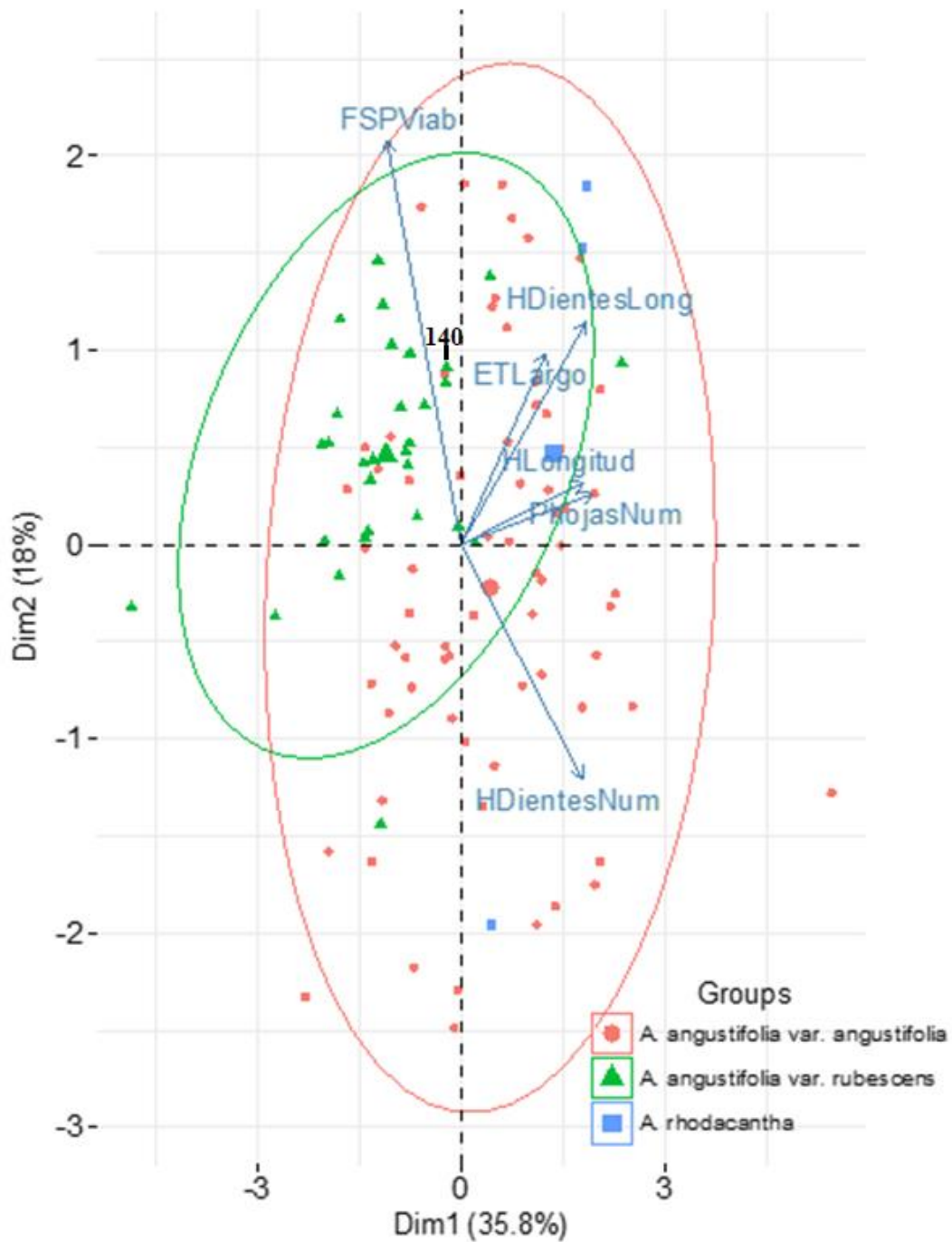


Figura 1. 3. Dispersión de los datos en los dos primeros CP y tendencias fenotípicas de los taxones del complejo *Agave angustifolia*, en la Zona Norte y Centro de Guerrero.

Análisis Discriminante Lineal

Se realizaron tres análisis discriminantes, con 29, 20 y 15 variables (Cuadro 1.6). La selección de las variables más importantes para el ADL se hizo con la función *eleaps* del paquete *subselect*. El ADL

con 29 variables, permitió explicar un 100% de la variación de los datos, además de asignar correctamente los ejemplares a cada taxón (Cuadro 1.6).

Las 20 variables utilizadas en el segundo ADL fueron: altura de la roseta, diámetro de la roseta, longitud de la hoja, ancho en la base de la hoja, ancho mayor de la hoja, distancia de la base a la parte más ancha de la hoja, número de dientes por un lado de la hoja, longitud de los dientes a la mitad de la hoja, ancho de los dientes a la mitad de la hoja, distancia entre dientes, distancia de la espina terminal al diente más cercano, perímetro del pedúnculo floral, número de hojas por planta, longitud de la rama más larga de la inflorescencia, número de ramas de la inflorescencia, largo del fruto, promedio de semillas viables por fruto, promedio de semillas totales por fruto, promedio del largo de semillas viables y promedio del ancho de semillas viables. El ADL con 20 variables, permitió clasificar correctamente un 97.36% de los datos. En el aspecto discriminante se clasificó adecuadamente un 95.6% de *A. angustifolia* var. *angustifolia* solo y el 100.0% de *A. rubescens* y *A. rhodacanta* (Cuadro 1.6).

Las 15 variables utilizadas en el segundo estudio fueron: altura de la roseta, longitud de la hoja, ancho mayor de la hoja, distancia de la base a la parte más ancha de la hoja, número de dientes por un lado de la hoja, distancia entre dientes, perímetro del pedúnculo floral, número de hojas por planta, longitud de la rama más larga de la inflorescencia, número de ramas de la inflorescencia, largo del fruto, promedio de semillas viables por fruto, promedio de semillas totales por fruto, promedio del largo de semillas viables y promedio del ancho cm de semillas viables. El ADL con 15 variables, permitió clasificar correctamente un 97.36% de los datos (similar al encontrado con la utilización de 20 variables), ya que en el caso de los ejemplares *A. angustifolia* var. *rubescens* solo se pudo clasificar adecuadamente un 93.33% en los grupos definidos previamente (Cuadro 1.6).

Como hay tres taxones solo se necesitan dos funciones discriminantes para discriminar las observaciones en el grupo correspondiente.

En los ADL con 20 y 15 variables, se observó que *A. angustifolia* var. *rubescens* presenta problemas de clasificación en los grupos definidos a priori.

Cuadro 1. 6. Comparación de tres análisis discriminantes para los estudios morfológicos de ejemplares del complejo *Agave angustifolia*, en la Zona Norte y Centro de Guerrero.

| % de variación explicados en los análisis discriminantes | 27 variables | 20 variables | 15 variables |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| % de la variación explicada por la primer función | 79.3 | 78.9 | 80.2 |
| % de la variación explicada por la segunda función | 20.7 | 21.1 | 19.8 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Porcentaje de asignación correcta total | 100.0 | 97.4 | 97.4 |
| Porcentaje de asignación correcta de <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 97.8 | 95.6 | 95.6 |
| Porcentaje de asignación correcta de <i>A. rhodacantha</i> | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| Porcentaje de asignación correcta de <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 100.0 | 93.33 | 93.33 |

La selección de las 15 variables (Cuadro 1.7) en el análisis final se obtuvo de seleccionar las variables más importantes en el ADL por medio del paquete estadístico *subselect*. La primer función discriminante acumula el 80.21% de la varianza total de los datos (Cuadro 1.6). En esta función discriminante lineal las variables más importantes son tres: Está relacionada positivamente con la longitud de la hoja y de manera negativa, con ancho mayor de la hoja y el número de dientes por un lado de la hoja (Cuadro 1.7). La segunda función discriminante aporta el 19.79% de la varianza total de los datos (Cuadro 1.6). Está relacionada positivamente con el número de ramas de la inflorescencia y negativamente con Perímetro del pedúnculo floral (Cuadro 1.7).

Cuadro 1. 7. Coeficientes de las 15 variables en las dos funciones discriminantes

| Variable | LD1 | LD2 |
|--|-------------|-------------|
| Altura de la roseta | 0.39865866 | 0.23796079 |
| Longitud de la hoja | 1.33101196 | 0.03721246 |
| Ancho mayor de la hoja | -0.90679272 | 0.58639787 |
| Distancia de la base a la parte más ancha de la hoja | -0.63092523 | -0.43675471 |
| Número de dientes por un lado de la hoja | -0.70597196 | -0.20109759 |
| Distancia entre dientes | -0.03821884 | 0.6464225 |
| Perímetro del pedúnculo floral | -0.5523418 | -0.68129111 |
| Número de hojas por planta | -0.56936277 | 0.20884768 |
| Longitud de la rama más larga de la inflorescencia | 0.42687405 | 0.11683443 |
| Numero de ramas de la inflorescencia | -0.29011443 | 0.72580902 |
| Largo del fruto | 0.2875746 | 0.40758047 |
| Promedio de Semillas viables por fruto | 0.4145725 | 0.245209 |
| Promedio de Semillas totales por fruto | -0.57905991 | 0.41107266 |
| Promedio del largo de semillas viables | 0.21407381 | 0.47749009 |
| Promedio del ancho de semillas viables | -0.55002519 | -0.09529541 |

Cuando se evalúa los valores de cada individuo, con respecto a las dos funciones discriminantes, se obtiene una gráfica de dispersión fenotípica donde se observa el agrupamiento de los ejemplares en los tres taxones analizados (Figura 1.4).

La primer función discriminante (eje X) separa parcialmente *A. angustifolia* var. *rubescens* de *A. rhodacantha* y de *A. angustifolia* var. *angustifolia*. La segunda función discriminante (eje Y) separa perfectamente *A. rhodacantha* de *A. angustifolia* var. *angustifolia* y *A. angustifolia* var. *rubescens*, pero hay un ligero traslape entre estos dos taxones. De manera conjunta las dos funciones discriminantes separan con un 97.36% de certeza a los ejemplares de los tres taxones definidos previamente. utilizando una distribución de probabilidades previas de 60.52% para *A. angustifolia* var. *angustifolia*, 2.63% para *A. rhodacantha* y de 36.84% para *A. angustifolia* var. *rubescens* (Cuadro 1.7).

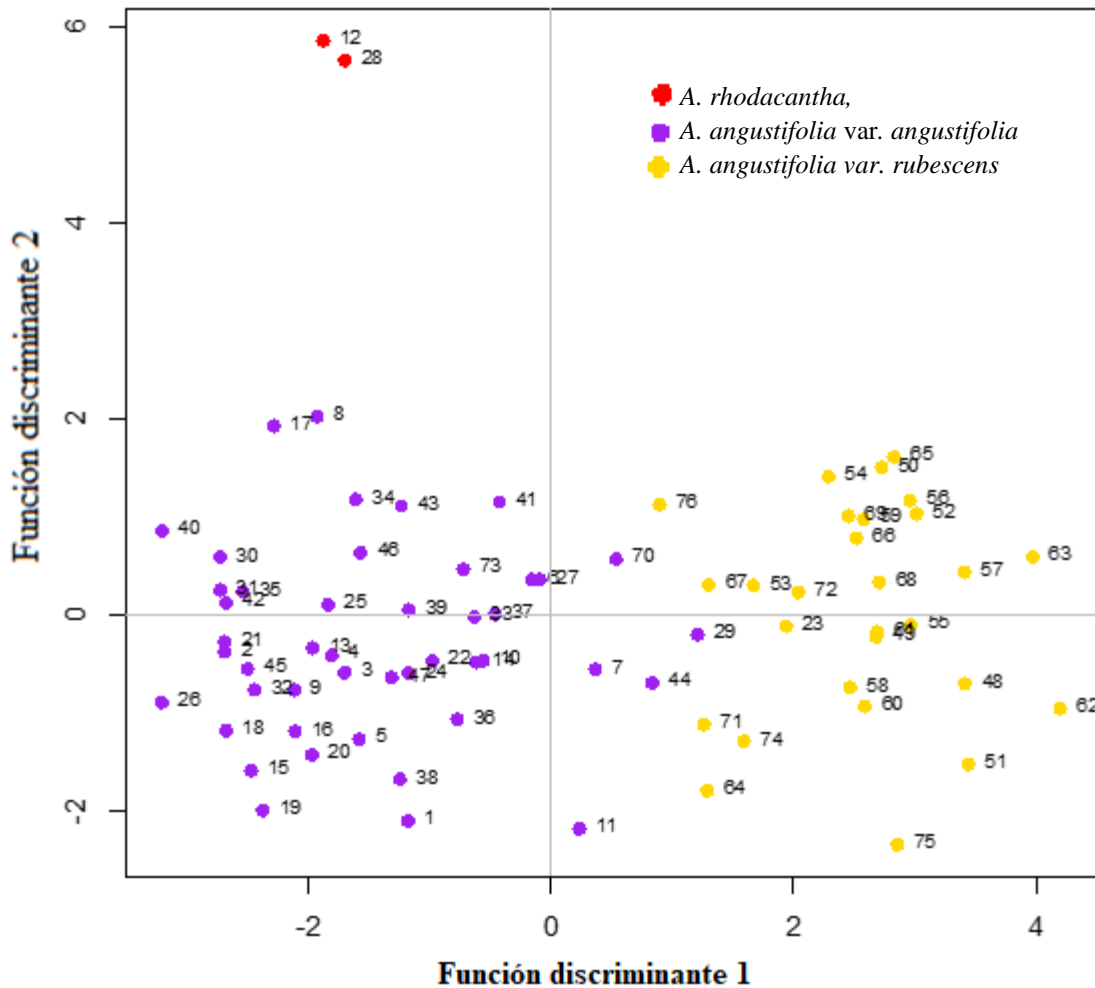


Figura 1. 4. Dispersión de los datos en las dos primeras funciones discriminantes, de las tendencias fenotípicas de los taxones del complejo *Agave angustifolia*, en la Zona Norte y Centro de Guerrero.

Análisis de Conglomerados

Se realizaron tres análisis de conglomerados, el primero de ellos con 29 variables y los dos restantes con 13 variables (Cuadro 1.8). Primero se realizó la selección de variables para el análisis de conglomerados basado en modelos con la función *vscc* (Selección de Variables para Conglomerados y Clasificación, *vscc* por sus siglas en inglés) propuesto por Andrews y McNicholas (2013). La función *vscc* usa la función *Mclust* con el cual se obtiene un modelo óptimo de acuerdo al criterio BIC para EM inicializado con cluster jerárquico para modelos de mezclas gaussianas. Las variables más importantes fueron: perímetro del pedúnculo floral, ancho mayor de la hoja, número de ramas de la inflorescencia, longitud de los dientes a la mitad de la hoja, longitud total de la inflorescencia (altura quíote), ancho de los dientes a la mitad de la hoja, promedio de semillas viables por fruto, número de hojas por planta, promedio de porcentaje de semillas viables, número de hijuelos por planta madre, distancia de la base a la parte más ancha de la hoja, largo bráctea del pedúnculo floral y promedio de semillas totales por fruto. Para incrementar el número de observaciones, que pasó de 74 a 78, se realizó nuevamente el análisis de conglomerados solamente con estas 13 variables seleccionadas usando nuevamente la función *Mclust*.

Cuadro 1. 8. Comparación entre la clasificación taxonómica y tres análisis de conglomerados de ejemplares del complejo *A. angustifolia*

| Especie / Grupos | Clasificación Taxonómica realizada por el especialista | | 29 variables | | | 13 variables | | | 13 variables | | |
|---|--|---------------|--------------|----|----|--------------|----|----|--------------|----|----|
| | 74 ejemplares | 78 ejemplares | | | | | | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 45 | 48 | 6 | 8 | 31 | 1 | 7 | 37 | 10 | 1 | 37 |
| <i>A. rhodacantha</i> | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 28 | 29 | 0 | 26 | 2 | 18 | 9 | 1 | 10 | 19 | 0 |
| Subtotal ejemplares | 74 | 78 | 6 | 34 | 34 | 19 | 16 | 39 | 20 | 20 | 38 |
| Total ejemplares | 74 | 78 | 74 | | | 74 | | | 78 | | |

Con el conjunto inicial de 29 variables y 74 observaciones, la mejor agrupación al usar *Mclust* está formada por tres grupos con 6, 34 y 34 observaciones; al seleccionar las 13 mejores variables en el análisis de conglomerados los grupos se forman con 19, 16 y 39. Aunque no es un objetivo del análisis de conglomerados pero ya que se cuenta con una clasificación, se puede determinar la capacidad predictiva de la técnica. El análisis de conglomerados con las 13 variables seleccionadas asigna 37 de 45 observaciones de *A. angustifolia* en un grupo diferente, pero solo 18 de 28 observaciones de *A. rubescens* son asignadas a un grupo diferente.

Al repetir el AC con las 13 variables seleccionadas pero con 78 observaciones, la mejor agrupación al usar *Mclust* está formada por tres grupos con 20, 20 y 38 observaciones. La capacidad predictiva en este caso, asigna 37 de 48 observaciones de *A. angustifolia* en un grupo diferente, pero solo 19 de 29 observaciones de *A. rubescens* son asignadas a un grupo diferente. Los tres grupos se presentan en Figura 1.5, la cual se aproxima más a la clasificación taxonómica realizada por el especialista. El grupo uno está formado por 20 ejemplares, de los cuales 10 pertenecen a *A. angustifolia* var. *angustifolia* y 10 a *A. angustifolia* var. *rubescens*; el grupo dos está integrado por 20 ejemplares de los cuales uno pertenecen a *A. angustifolia* var. *angustifolia* y 19 a *A. angustifolia* var. *rubescens*; por último el grupo tres está integrado por 38 ejemplares, 37 de ellos pertenecen a *A. angustifolia* var. *angustifolia* y uno a *A. rhodacantha*, este último ejemplar (74), se encuentra alejado del resto de las observaciones, lo que nos indica que presenta características diferentes al resto de los demás ejemplares. Por otra parte, el ejemplar 140 afin a *A. kirchneriana* fue agrupado dentro del grupo en el que predominan los ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens*.

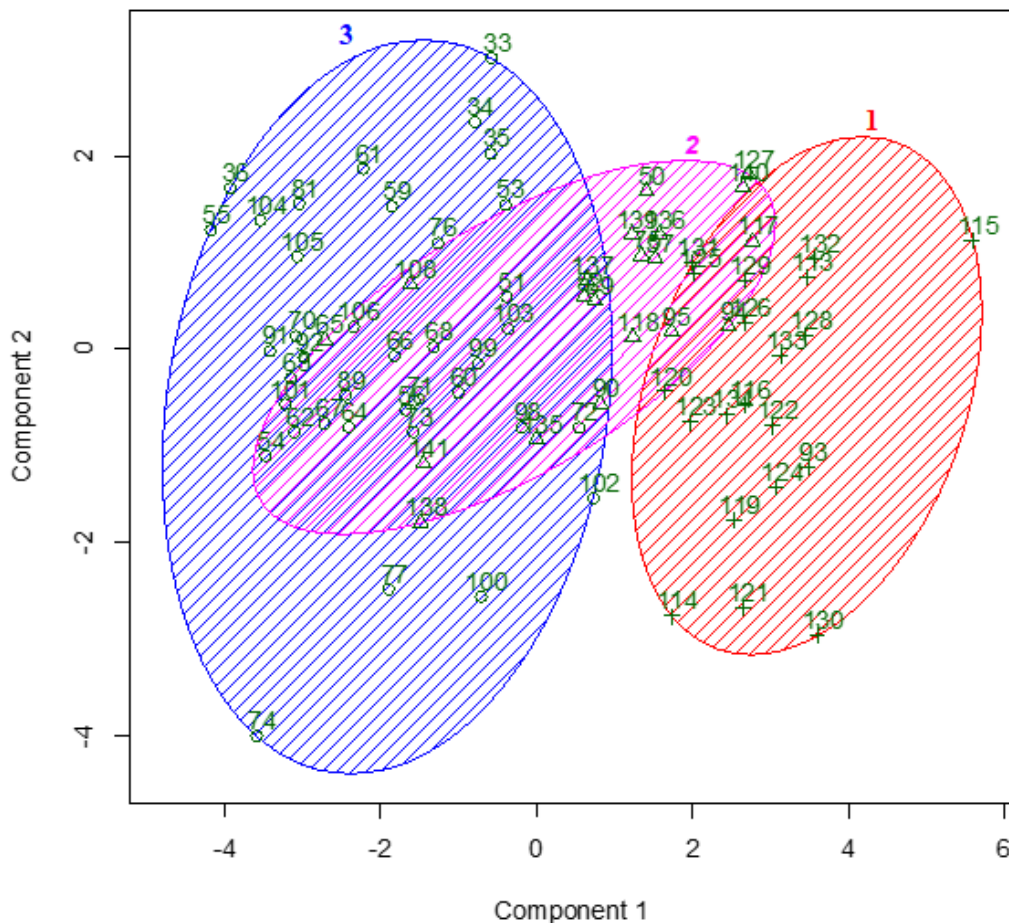


Figura 1. 5. Dispersión de los datos en las dos primeras funciones de conglomerados, de las tendencias fenotípicas de los taxones del complejo *Agave angustifolia*, en la Zona Norte y Centro de Guerrero.

DISCUSIÓN

Como parte de los taxones informados por otros autores (Berger, 1988; Nava *et al.*, 1998; Delgado-Hernández, 2001; García Mendoza, 2011; González Guinea, 2012 y Villaseñor, 2016), que forman parte del complejo *A. angustifolia* y que se encuentran en el Estado de Guerrero se citan: *A. angustifolia*, *A. angustifolia* var. *angustifolia*, *A. angustifolia* var. *rubescens*, *A. kirchneriana* y *A. donnell-smithii*, los dos últimos considerados como sinonimia de *A. angustifolia* (García Mendoza, 2011).

El presente trabajo permitió identificar tres taxones que forman parte del complejo *Agave angustifolia*, que están presentes en la Zona Norte de Guerrero, los cuales son: *A. angustifolia* var. *angustifolia*, *A. angustifolia* var. *rubescens* y *A. rhodacantha*, siendo esta especie un nuevo registro para el Estado de Guerrero. El ejemplar 140 afin a *A. kirchneriana* fue agrupado en AC y en ACP dentro de los grupos en el que predominan los ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens*, sin embargo para poder tener una mayor certeza de si *A. kirchneriana* es sinónimo de *A. angustifolia* var. *rubescens*, se requiere de mayores colectas de ejemplares que permitan caracterizar la diversidad morfológica de este taxón.

En los dos análisis multivariados ACP y ADL se descartaron nueve variables las cuales fueron: ancho en la base de la hoja, relación largo ancho mayor de la hoja, proporción largo/ancho mayor de la hoja, forma de la hoja, ancho de los dientes a la mitad de la hoja, relación largo/ancho de la bráctea, relación largo/ancho de la capsula, promedio de semillas viables por fruto y relación largo/ancho de las semillas viables. Para el caso de ACP se descartaron de manera adicional otra 10 variables y para el caso de ADL se descartaron adicionalmente 5 variables. Los resultados anteriores coinciden con lo informado por Rivera-Lugo (2014), quien realizó un análisis de la variación morfológica del complejo *A. angustifolia* del Estado de Oaxaca. Este autor descarto 26 variables, 12 de las cuales también se descartaron en el presente trabajo. Por otra parte Vázquez-Pérez (2015), en un estudio sobre la variación morfológica de *A. karwinskii*, descartó 14 variables, cuatro de las cuales también se descartaron en el presente estudio, y que también descartó Rivera Lugo (*op. cit.*, p. 22), que fueron: forma de la hoja, distancia entre el ancho y la base de la hoja, distancia entre la base de la espina y el primer diente, proporción de semillas maduras.

Cabe señalar que los dos autores antes citados, también eliminaron variables relacionadas a las partes florales como son largo del ovario, largo del tubo del perianto, largo del tépalo externo e interno, inserción de los filamentos, largo del filamento, longitud del estilo, ancho de la antera, ancho del estigma, las cuales no se pudieron analizar en el presente estudio, dada la escases de material floral en los

ejemplares recolectados. En relación a este punto, Vázquez Pérez (*op. cit.*, p. 55), menciona que *La mayor cantidad de caracteres correlacionados fueron florales, lo que puede indicar valores muy similares entre las once poblaciones analizadas y su relación entre ellas*. Lo que nos sugiere que los caracteres florales nos pueden ayudar en la delimitación de taxones, no tanto así en la delimitación de las poblaciones, por lo que no se deben de descartar estas variables, en estudios futuros, dependiendo de los alcances de los mismos.

Al comparar los resultados de los dos análisis multivariados (ACP y ADL), se observó que el ADL separa de manera clara (97.36% de discriminación) los tres taxones estudiados, utilizando solo dos funciones discriminantes, e inclusive la primer función acumula un 80.21% de la varianza total de los datos, sin embargo requiere de la utilización de 15 variables. Dentro de las variables que mayor información aportaron a la discriminación de los grupos fueron: longitud de la hoja, que en el caso de *A. angustifolia* var. *angustifolia* tiende a tener hojas pequeñas; número de dientes por un lado de la hoja y que *A. angustifolia* var. *rubescens* tiende a tener menor número de dientes; perímetro del pedúnculo floral, donde los ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens* tiende a tener menor perímetro y promedio de semillas estériles por fruto donde *A. rhodacantha* tiene una gran cantidad de semillas estériles. Estos resultados coinciden con lo informado por Rivera-Lugo (2014), quien mencionó que el AD *demostró ser más útil para el complejo [A. angustifolia]*, además de que señaló que las variables largo de la hoja y número de dientes de la hoja, tienen un alto peso en la discriminación de los grupos, situación que coincide con este estudio. Vázquez-Pérez (2015), mencionó en su estudio, que los análisis de funciones discriminantes mostraron mayor claridad en los grupos morfológicos discretos formados para las poblaciones de la especie *A. karwinskii*. Ambos estudios coinciden con los encontrados en el presente estudio, por lo que se demuestra que la utilización de los ADL, son herramientas estadísticas adecuadas para la comprensión del complejo *A. angustifolia*.

Por otra parte para el ACP del presente estudio, se requirió al menos cuatro componentes para explicar el 82.81% de toda la varianza y el primer componente solo aporta el 35% del total de la varianza. Sin embargo, solo se requirieron seis variables para su análisis. Mora-López *et al.* (2011), mencionaron que para explicar el 76.9% de la variación de los grupos que comprenden la sección Salmianae del género *Agave*, requirieron de tres componentes principales y el primer componente solo explicó el 0.475% de la variación, e identificaron que las variables: longitud de la hoja, número de dientes por hoja y longitud de los dientes, aportaban información significativa, para la definición de los componentes principales uno y dos, mismas variables que se identificaron en la presente investigación. Rivera-Lugo (2014) requirió de la utilización de ocho componentes principales para explicar un 79.5% de la variación entre los grupos y

el primer componente solo explicó el 21% de la variación, además de que seis de las 21 variables que utilizó, fueron las mismas que se utilizaron en el presente trabajo. Por último, Vázquez-Pérez (2015), utilizando dos componentes principales explicó un 31% de la varianza y el componente uno solo reunió un 21% del total de la varianza. Esta autora encontró que tres de las variables utilizadas en el presente estudio (longitud de la hoja, número de dientes y longitud de los dientes) tuvieron un alto peso en la definición de los componentes principales. Con base a la información dada por estos autores, se observa que los valores obtenidos en el presente estudio, presentan valores intermedios tanto en el número de componentes principales que explicar la mayor varianza, así como en la varianza explicada con la primera función. Sin embargo hay que tener en cuenta que solo el estudio de Rivera Lugo (2014) utilizó ejemplares y taxones pertenecientes al complejo *A. angustifolia*.

Un factor limitante que afecta la correcta definición de los grupos, tiene que ver con la escasez de ejemplares de *A. rhodacantha* (solo se recolectaron cinco ejemplares y para los estudios estadísticos solo se utilizaron dos), situación en la que también se encontró Rivera Lugo (2014), lo cual se debe a la escasez de ejemplares y poblaciones, así como a lo fragmentado de su distribución. Hasta antes de este estudio, *A. rhodacantha* solo se conocía de Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Durango y Oaxaca (Gentry, 1982; Vargas-Ponce, *et. al.* 2007; González *et. al.*, 2009; Rivera Lugo, 2014), sin embargo al realizar una revisión de los ejemplares del herbario MEXU, se encontraron dos ejemplares (160226 y 105971) de *A. rhodacantha*, de los estados de México y Zacatecas respectivamente, además de que es la primera vez que se tienen recolectados ejemplares de *A. rhodacantha* del Estado de Guerrero, por lo cual es muy probable que también se encuentren poblaciones de este taxón en los estados de Colima y Michoacán, abarcando la parte costera del pacífico mexicano. Dicha especie en Guerrero es apreciada por los productores de mezcal, por el tamaño de la piña, los rendimientos obtenidos en mezcal, así como por su sabor particular; por lo que se hace necesario seguir estudiando las poblaciones de esta especie, que permitan garantizar su conservación y manejo adecuado en el corto plazo. Tomando en cuenta lo antes expuesto, es necesario continuar con estudios que permitan analizar más ejemplares dentro del área de distribución antes mencionada, con el objetivo de que se pueda tener representada la mayor variabilidad fenotípica y genética de estas poblaciones y poder definir si se trata de uno o de más taxones.

Con respecto a los ejemplares de *A. angustifolia* var. *angustifolia*, los tres estudios realizados en este trabajo, confirmaron que se trata de un taxón con alta variabilidad fenotípica, dado que en la distribución de los grupos se observan ejemplares de tallas grandes muy similares a *A. rhodacantha sensu lato* que se encontraron principalmente en las plantaciones mezcaleras de Huitzucó, Ixcateopan y Tehuixtla; donde se puede inferir un proceso de selección de características específicas por parte de los

productores mezcaleros, similar a lo mencionado por Vargas-Ponce, *et al.* 2009 para el caso de las plantaciones de *A. angustifolia* del estado de Jalisco. Por otra parte, también se observaron ejemplares de tallas pequeñas de *A. angustifolia* var. *angustifolia*, que principalmente se localizaban en sitios aislados donde prosperaban poblaciones silvestres de este taxón (localidades del municipio de Teloloapan y Tetipac), por lo que están poco sometidas a procesos de selección humana debido a que en estos sitios son poco utilizados o bien se encuentran alejados de las comunidades.

A. angustifolia var. *rubescens*, también presenta una alta variabilidad fenotípica, lo cual puede explicarse, si se tiene en cuenta que debe adaptarse a diferentes tipos de climas, dada su distribución tanto en climas cálidos (como en los municipios de Iguala y Atenango), como en templados (Teloloapan e Ixcateopan), esta variabilidad en los individuos y en las poblaciones ha ocasionado que se lleguen a proponer como taxones distintos, adoptando nombres diferentes, como ocurre con *A. kirchneriana* (Berger, 1988), sin embargo son escasos los estudios al respecto, así como también son escasos los ejemplares que permitan hacer un estudio más profundo, por lo que se hace necesario realizar estos estudios en toda el área de distribución del taxón la cual va desde los Estados Unidos Americanos, Canadá y México, en los estados de Sonora, Sinaloa, Jalisco, Zacatecas, Aguascalientes, Guerrero, Puebla y Oaxaca (Vázquez-García *et al.* 2007 y García-Mendoza, 2011).

Otros factores clave en la definición de los grupos y las poblaciones de este taxón, así como de la variabilidad fenotípica que llegan a presentar, tienen que ver con su hábitat y su fenología. García-Mendoza (2011), menciona que este taxón se encuentra creciendo en el bosque tropical caducifolio, en elevaciones de 900-1500 m, la floración se da de junio a agosto y la fructificación de agosto a noviembre. En los ejemplares analizados en este estudio, se observó que estos crecen desde los 650-1700 m y que la floración comienza en septiembre hasta diciembre y la fructificación se da a partir de diciembre a febrero, información que amplía su rango de tolerancia de la especie y posiblemente alargando sus periodos de floración y fructificación. Por lo que para estudios futuros, se sugiere el análisis de todas estas variables, así como de los estudios genéticos, los cuales permitirán definir si se trata de uno o más taxones.

Dada la importancia económica, ambiental y cultural que el complejo *A. angustifolia* tiene en el estado de Guerrero, se hace fundamental complementar estos estudios taxonómicos, con trabajos relacionados con la agroecología de las poblaciones, con la finalidad de proponer sistemas productivos que privilegien la diversidad genética y biológica de esta especie, evitando con ello caer en problemáticas similares a las ocurridas con el tequila en Jalisco, o con el mezcal en Oaxaca.

CONCLUSIONES

Los taxones silvestres que integran el complejo *A. angustifolia* en la Zona Norte de Guerrero son: *A. angustifolia* var. *angustifolia*, *A. angustifolia* var. *rubescens* y *A. rhodacantha*, siendo *A. angustifolia* var. *angustifolia*, el taxón más frecuente y *A. rhodacantha* el más escaso.

Las variables longitud de la hoja, número de dientes por un lado de la hoja, perímetro del pedúnculo floral, ancho mayor de la hoja, número de hojas por planta, largo de la espina terminal y promedio de semillas viables, permiten realizar la delimitación morfológica de los taxones estudiados.

El análisis Discriminante Lineal es una herramienta útil en el análisis del complejo *A. angustifolia*. Sin embargo este tipo de análisis deben de ser complementados con análisis genéticos y el conocimiento de los especialistas taxonómicos en el grupo.

Dada la escasez de ejemplares de *A. rhodacantha*, así como por la importancia económica y cultural por parte de los productores de mezcal, es necesario realizar estudios que permitan garantizar la conservación y manejo de las poblaciones de esta especie.

LITERATURA CITADA

- Andrews, J. L. & McNicholas, P. D. 2013. *VSCC: Variable selection for clustering and classification*. R package version 1.
- Berger, A. (1988). *Die Agaven. Beitrage zu einer Monographie*. Stuttgart: New York, Gustav Fisher Verlag 295p.,
- Colunga-GarcíaMarín, 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.
- Delgado Hernández, O. 2001. *Contribución al conocimiento florístico del Cerro de La Víbora y Cerro La Cruz del municipio de Atenango del Rio, Guerrero*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Flannery, K. 1986. *Guilá Naquitz, archaic foraging and early agriculture in Oaxaca, México*. Academic Press, Inc. Orlando. Florida.

- García-Mendoza A. J., Franco-Martínez S. 2017. El Complejo *Agave angustifolia*: Avances en su delimitación taxonómica (Capítulo de libro inédito). En *Agave angustifolia Haw: Herramientas biotecnológicas aplicadas en la recuperación de poblaciones silvestres*. México.
- García-Mendoza AJ. 2011. Agavaceae. En: *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Medina-Lemos R. (ed). Universidad Nacional Autónoma de México - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fascículo 88 Agavaceae Instituto de Biología. México. pp:1– 95.
- García-Mendoza, A. J. 2004. Agaváceas. En: A.J. García, M. J. Ordoñez y M. Briones-Salas, *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología. UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, México. PP. 159-169.
- García-Mendoza, A., & Chiang, F. 2003. The confusion of *Agave vivipara* L. and *A. angustifolia* Haw., two distinct taxa. *Brittonia*, 55(1), 82-87.
- Gentry H. S. 1982. *Agaves of Continental North American*. The University of Arizona Press. Tucson. 670 p.
- González Guinea, A. 2012. *Etnobotánica: Factores de cambio en el uso tradicional de la flora de Xochipala, Guerrero*. Tesis de Maestría en Antropología. Posgrado en Antropología, Instituto de Investigaciones Antropológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- González-Elizondo, M., R. G. Villanueva. I. L. Enríquez. L. R. Rojas y M. González-Elizondo. 2009. *Agaves - magueyes, lechuguillas y noas - del Estado de Durango y sus alrededores*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango del Instituto Politécnico Nacional-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Durango.
- [INEGI. 2005. Marco geostatístico nacional 2005. Consultado el 08 de enero de 2016. http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/relieve/grorel_col_n.pdf.](http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/relieve/grorel_col_n.pdf)
- [INEGI. 2008. Referencias geográficas y extensión territorial de México. Consultado el 08 de enero de 2016. http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/1-GeografiaDeMexico/MAN_REFGEOG_EXTTERR_VS_ENERO_30_2088.pdf.](http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/1-GeografiaDeMexico/MAN_REFGEOG_EXTTERR_VS_ENERO_30_2088.pdf)
- 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*. Kirchmayr, R. M. (ed). Fundación Produce Guerrero A. C. México. 28 – 30 p. 231 p.

- Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J. L., Peña-Valdivia, C. B., & Aguirre-Rivera, J. R. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección *Salmianae* del género *Agave*. *Agrociencia*, 45(4), 465-477.
- Nava, R., Jiménez, C., Sánchez, M., & Jiménez, A. 1998. Listado florístico de la cuenca del río Balsas, México. *Polibotánica*, 9, 1-151.
- [Orestes Cerdeira J., Duarte Silva P., Cadima J. & Minhoto M. 2017. subselect: Selecting Variable Subsets. R package version 0.13. https://CRAN.R-project.org/package=subselect.](https://CRAN.R-project.org/package=subselect)
- [R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.](https://www.R-project.org/)
- Rivera Lugo, M. 2014. Variación morfológica y genética del complejo *Agave angustifolia* en el estado de Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Posgrado en ciencias biológicas, Instituto de Biología sistemática. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Vargas-Ponce. O. D. Zizumbo-Villarreal, C.J. Martínez. C.J. Coello y P. Colunga-GarcíaMarín. 2009. Diversity and structure of landraces of *Agave* grown for spirits under traditional agriculture: A comparison with wild populations of *A. angustifolia* (Agavaceae) and *A. tequilana* commercial plantations. *American Journal of Botany* 96: 448—457.
- Vázquez Pérez, N. 2015. Variación morfológica y genética de *Agave karwinskii* (Agavaceae), en los estados de Oaxaca y Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Posgrado en ciencias biológicas, Instituto de Biología Sistemática. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Vázquez-García, J. A., Miguel de J. Cházaro B., & Vera, G. H. 2007. Agaves del occidente de México (No. 584 V397a). Instituto de Botánica, departamento de Botánica y Zoología Universidad de Guadalajara.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559-902.

ÁREAS POTENCIALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE *Agave angustifolia* HAW EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO.

RESUMEN

Una de las especies utilizadas para la producción de mezcal en el Estado de Guerrero es el *Agave angustifolia* Haw, el cual proviene de ejemplares silvestres, siendo escasas las plantaciones comerciales. En los últimos cinco años, el incremento en la demanda del mezcal ha puesto en riesgo a las poblaciones naturales de esta especie. La evaluación de las condiciones agroecológicas a través de recorridos de campo y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), permitieron definir las áreas con aptitud para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia* en el Estado de Guerrero. Los resultados indican que existen aproximadamente 1,020,998.27 ha con aptitud óptima y 618,015.87 ha con aptitud sub-óptima para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia*. Las áreas con mayor potencial productivo se encuentran en la región Norte, Tierra Caliente y Centro del Estado de Guerrero, particularmente en los municipios de Huitzucó, Ajuchitlán y Coyuca de Catalán, siendo el primero el de mayor superficie potencial óptima con 76,666.96 ha. La definición de estas áreas dará la oportunidad para proponer su reconversión productiva y el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia*, generando alternativas productivas para los productores de maguey y mezcal del Estado de Guerrero.

Palabras clave

Maguey delgado, potencial productivo, Guerrero, mezcal

INTRODUCCIÓN

México es considerado el centro de domesticación y diversificación de los magueyes, ya que fueron y siguen siendo usados para la obtención de fibras, la producción de aguamiel y diversas bebidas alcohólicas (García-Mendoza, 2007). A nivel nacional, se estima alrededor de 20,000 hectáreas (ha) para la producción de agave utilizado para la obtención de pulque y unas 30,000 ha para la producción de mezcal (Nobel, 2011). De acuerdo con datos publicados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2016), en México son 25 las entidades federativas en donde se cultiva agave para la producción de tequila y mezcal, informando 108,119 ha de agave para el año 2015, lo que significó un crecimiento en el volumen de producción del 40.0% del año 2010 al 2015, con 204, 000 Mg de agave mezcalero y 1,642, 000 Mg para agave tequilero.

En el Estado de Guerrero, anualmente se producen 1.7 millones de L de mezcal, lo que representan ingresos anuales de 153 millones de pesos, generados por aproximadamente 900 productores (Kirchmayr *et al.*, 2014). La materia prima se extrae principalmente de ejemplares silvestres de *Agave angustifolia* Haw y *Agave cupreata* Trel. et Berger, este último es considerado como una especie endémica de la cuenca del río Balsas (Martínez-Palacios *et al.*, 2011). En los últimos cinco años se incrementó la demanda de mezcal (Hernández-Carranza 2017), lo que ha provocado una mayor presión sobre las poblaciones silvestres. *Agave angustifolia* es conocida en el Estado de Guerrero con los nombres comunes de maguey delgado, maguey espadín y maguey sacatoro. Los mezcales producidos a partir de este último son muy apreciados, alcanzando un precio por L de 1,500.00 pesos. Por lo cual, en los últimos años los productores de mezcal han buscado alternativas para establecer plantaciones de este maguey. Por ello, es necesario la identificación de áreas con mayor aptitud potencial para el establecimiento de plantaciones, tomando en cuenta los requerimientos agroecológicos de esta especie, que a futuro permitan garantizar la demanda y la conservación de la variabilidad genética de la misma.

Actualmente existen diversos sistemas de evaluación para identificar la aptitud de las tierras, uno de estos son los sistemas de información geográfica (SIG), los cuales integran variables biofísicas y climáticas, y permite incorporar información de expertos en la materia (Malczewski, 2004; Olivas-Gallegos *et al.*, 2007; Ledesma-Horta, 2014). Bajo este contexto, el objetivo de esta investigación fue; identificar las áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia* para la producción de mezcal en el Estado de Guerrero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Estado de Guerrero, el cual se localiza a 16°18' y 18°48' de latitud norte y los 98°03' y 102°12' de longitud oeste, con una extensión territorial de 63,564.97 km². Tiene alturas que oscilan entre 3,550 metros sobre el nivel del mar (Cerro Teotepac), hasta cero metros en la parte costera del estado (INEGI 2005, 2008a).

Se realizaron 20 salidas a campo, en el periodo comprendido de agosto de 2016 a febrero de 2017, durante estas salidas se recolectaron 139 ejemplares, se identificaron taxonómicamente como *A. angustifolia* y se depositaron en los herbarios UAGC, MEXU y ENCB.

Adicionalmente se consultó la información de 30 ejemplares de *A. angustifolia* del Estado de Guerrero, los cuales se encuentran depositados en los herbarios MEXU, ENCB, ARIZ, NMNH-SI.

Para la identificación de las áreas excluidas en los trabajos de revisión de campo o herbario, se realizaron cinco entrevistas personales a los representantes del consejo Estatal del Mezcal en Guerrero y a los integrantes de la mesa directiva de la empresa regional Sanzekan Tinemi S. de S. S.

Con la información generada de las recolectas de campo, las revisiones de herbarios y las entrevistas, se generó una base de datos (Anexo 1), en donde se indicó el nombre científico de cada ejemplar, la fuente de consulta, el número de ejemplar, la información de la localidad, la fecha de colecta y las coordenadas geográficas. A partir de dicha base de datos, se geo-posicionaron los puntos y fueron integrados al Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcGIS Versión: 10.3.1 Copyright ©1999-2015 Esri Inc. Posteriormente, se elaboró un mapa de distribución conocida de *A. angustifolia*. (Figura 2.1).

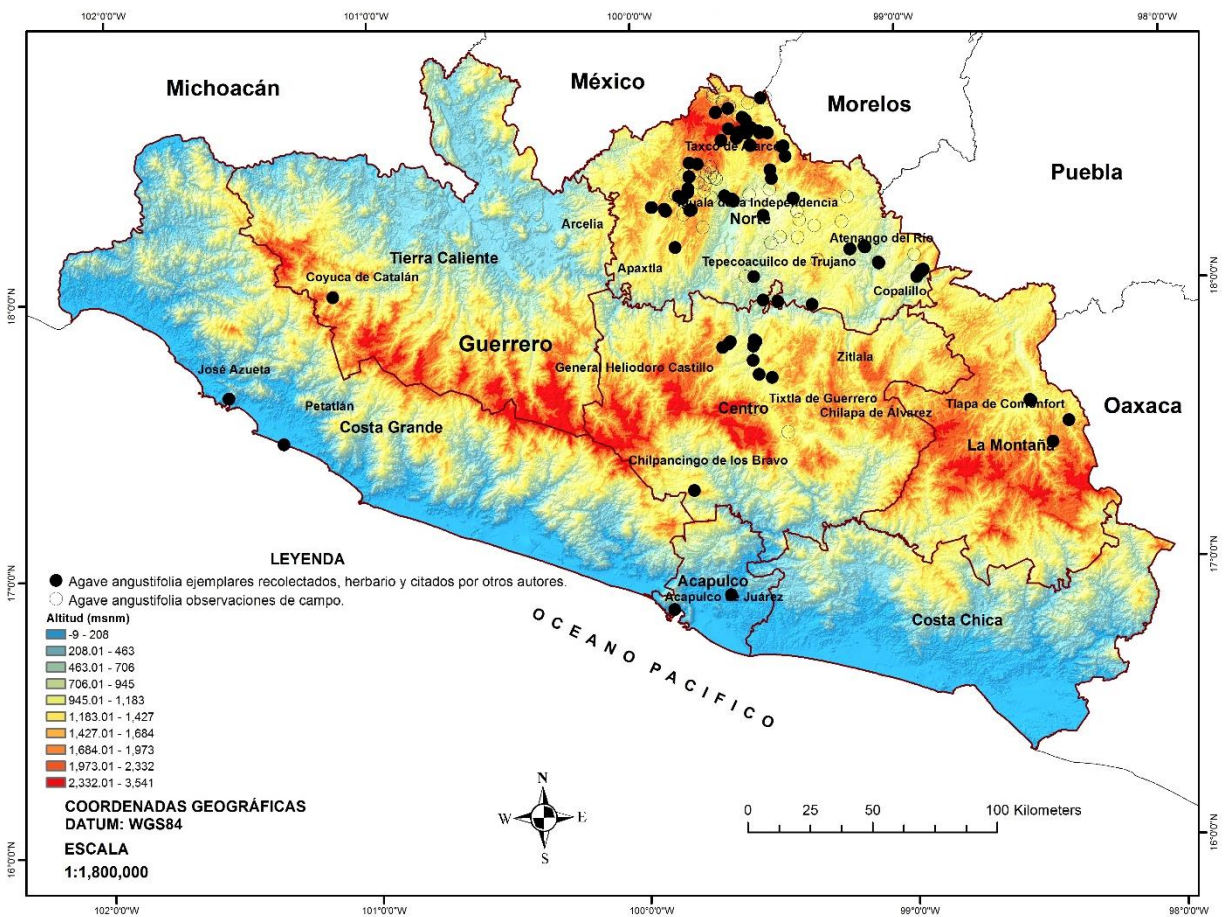


Figura 2. 1. Distribución de *Agave angustifolia* en el estado de Guerrero, México.

Criterios para la selección de áreas potenciales para el establecimiento de *A. angustifolia*

Para la selección de las áreas potenciales se consideraron los factores climáticos, el suelo y la topografía, los cuales fueron obtenidos a través de recorridos de campo en las áreas de distribución de la especie. En los sitios donde las poblaciones de *A. angustifolia* presentaron características idóneas para su producción agronómica, se determinaron los factores topográficos (altitud sobre el nivel del mar, pendiente y exposición), con apoyo de GPS Garmin Gpsmap 62s, Clisímetro marca Site Pro modelo 642 y Brújula marca Coleman modelo 2000002813. La información obtenida en campo se complementó con los datos informados por Gentry (1985), Illsley *et al.* (2007), Ruiz-Corral (2007), Kirchmayr *et al.* (2014), Castillo-Quiroz (2014) y Mariles-Flores (2014). La estimación de los factores agroecológicos (Cuadro 2.1) y climáticos para *A. Angustifolia*, como el tipo de vegetación, la textura y el pH de suelos, la pendiente, la precipitación y la temperatura media anual, así como la delimitación de regiones geopolíticas, fueron obtenidos de la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2008b, 2010, 2013a, 2013b, 2013c y 2016) y del inventario estatal forestal y de suelos del Estado de Guerrero (CONAFOR, 2013). La información fue integrada y analizada mediante el SIG.

Cuadro 2. 1. Requerimientos agroecológicos de *A. angustifolia* en el Estado de Guerrero, México.

| Variable | Óptimo | Sub-óptimo | Marginal |
|-----------------------------|--|--|---|
| Temperatura(°C) | 18-30 | 11-<18 y >30-45 | <11 y>45 |
| Probabilidad de Heladas | <0.10 | >0.10-0.15 | >0.15 |
| Altitud (m) | 700-1800 | 500-<7000 y >2000-2200 | <600 y>2200 |
| Pendiente del terreno (%) | 2-15 | 1-<2 y >15-45 | <1 y >45 |
| Precipitación anual (mm) | 600-1300 | 1300-1800 | <600 y >1800 |
| Grupos de suelo | Leptosol, Phaeozem y Regosol | Lubisol, Calcisol, Cambisol y vertizol | Fluvisol |
| Textura de suelo | francos, franco-arenosos o franco-arcillosos | arcillosos | limo-arcillosos |
| pH | 6.5-7.5 | 6.0-<6.5 y >7.5-8.0 | <6 y >8 |
| Tipo de Clima | Cálido subhúmedo y Semicálido subhúmedo | Semiseco muy cálido y Templado subhúmedo | Semicálido húmedo |
| Tipo de vegetación contigua | Selva baja caducifolia | Ecotono entre selva baja caducifolia y bosque encino | Vegetación costera, Bosque de coníferas |

| Variable | Óptimo | Sub-óptimo | Marginal |
|------------------------|--------|----------------------|------------|
| Días con lluvia al año | 80-95 | 50 - <80 y >95 - 105 | <50 y >105 |

Determinación del potencial productivo y validación de las áreas potenciales para *A. Angustifolia*

Para la determinación del potencial productivo se utilizó la metodología propuesta por Medina *et al.* (1997), para ello se realizó la comparación de las condiciones ambientales, contra los requerimientos de clima y suelo de *A. angustifolia*, en el estado de Guerrero. Se generaron imágenes y cartografía temáticas de los requerimientos de la especie, las cuales se transformaron a vectores en formato “Shapefile” con el ArcGIS Versión: 10.3.1 Copyright ©1999-2015 Esri Inc., para obtener los mapas temáticos. Con esta información se generó la cartografía de las áreas con potencial agroclimático (Figura 2.2). Posteriormente, se excluyeron las áreas ocupadas con zonas urbanas, uso forestal, asentamientos humanos y cuerpos de agua. Finalmente, se obtuvo la cartografía de las áreas con potencial agroecológico, donde se delimitaron las áreas óptimas, sub-óptimas y marginales, para el establecimiento de *A. angustifolia* (Figura 2.3). Para la validación de la información generada, se realizaron visitas de campo a sitios específicos para verificar las condiciones agroecológicas de las áreas potenciales obtenidas en el presente trabajo y corroborar que estuvieran acorde con los requerimientos de *A. angustifolia* para su buen desarrollo.

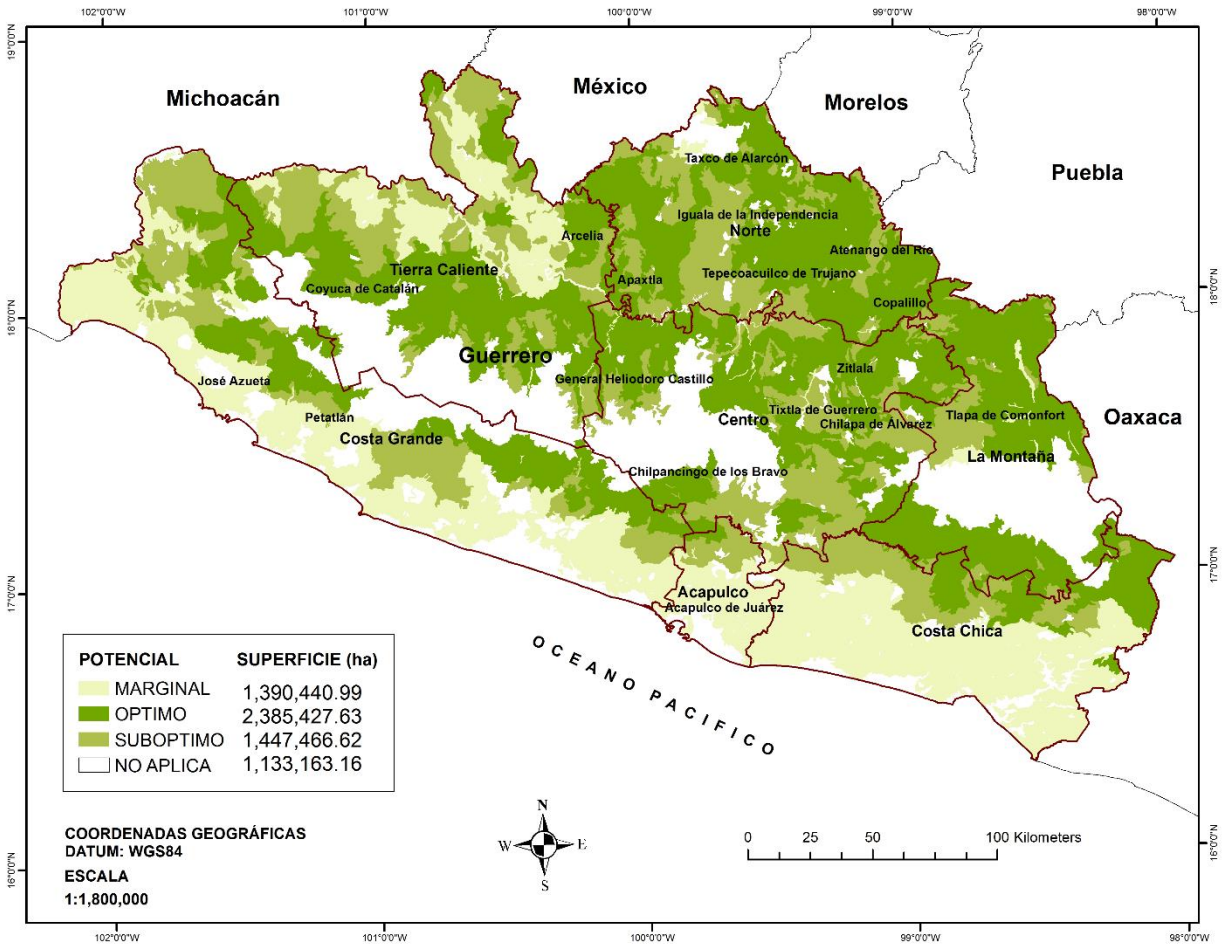


Figura 2. 2. Distribución de áreas con potencial agroclimático para el cultivo de *A. angustifolia*, en el estado de Guerrero, México.

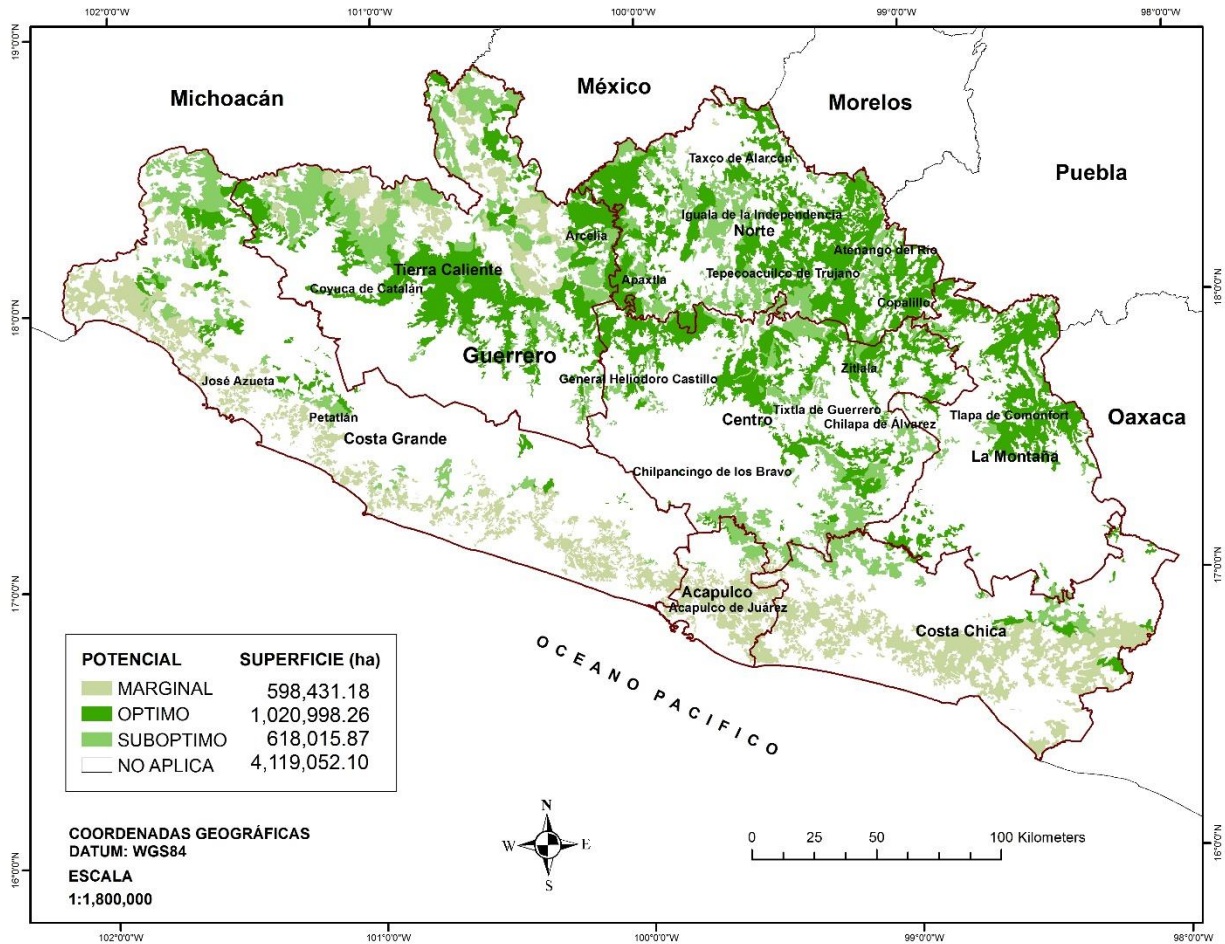


Figura 2. 3. Distribución de áreas con potencial agroecológico para el cultivo de *A. angustifolia*, en el estado de Guerrero, México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dadas las características agroclimáticas del Estado de Guerrero, se encontró que existen extensas regiones para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia* (Figura 2.2 y Cuadro 2.2) con aproximadamente el 37.63% de potencial óptimo (2,391,666.33 ha) y un 23.31% de potencial sub-óptimo (1,481,401.78 ha). Dentro de las regiones del Estado con mayor superficie con potencial óptimo, sobresalen la región Norte con 553,964.05 ha, la región Centro con 528,580.11 ha y la región de Tierra Caliente con 462,676.99 ha. Por otra parte, al agrupar las áreas con potencial óptimo y sub-óptimo en función de las características agroclimáticas se observó que la región Centro es la de mayor superficie con 855,339.26 ha, lo que representa un 79.91% de su superficie, seguida de la región Norte con 816,926.81 ha, lo que representa el 95.26% de su superficie y la región Tierra Caliente con 796,060.78 ha que representa un 62.13% de su superficie.

Cuadro 2. 2. Superficie (ha) estimada por regiones con potencial agroclimático para el cultivo de *A. angustifolia*, en el Estado de Guerrero, México.

| REGIÓN | OPTIMO | SUB-OPTIMO | MARGINAL | TOTAL REGIONAL |
|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Acapulco de Juárez | 6,238.84 | 33,935.33 | 100,956.96 | 141,131.13 |
| Centro | 528,580.11 | 326,759.15 | 117,140.89 | 972,480.15 |
| Costa Chica | 143,349.98 | 142,025.85 | 489,193.51 | 774,569.34 |
| Costa Grande | 308,071.61 | 293,236.19 | 523,196.62 | 1,124,504.42 |
| La Montaña | 388,784.75 | 89,098.71 | 14,861.53 | 492,744.99 |
| Norte | 553,964.05 | 262,962.76 | 20,590.73 | 837,517.55 |
| Tierra Caliente | 462,676.99 | 333,383.79 | 225,457.40 | 1,021,518.18 |
| Total Estatal | 2,391,666.33 | 1,481,401.78 | 1,491,397.64 | 5,364,465.76 |

Al realizar el análisis agroecológico de las áreas agroclimáticas (en las cuales se descartaron las áreas con asentamientos humanos, infraestructura y vegetación natural), se obtuvo que la superficie con potencial óptimo para el establecimiento de *A. angustifolia* se redujo a 1,020,998.27 ha, lo que representa una superficie del 16.06 % del total estatal y 618,015.86 ha con con aptitud sub-óptima (Figura 2.3 y Cuadro 2.3). Las regiones con mayores superficies óptimas y sub-óptimas fueron la región Norte, Tierra Caliente y la región Centro, siendo estas regiones las de mayor tradición en la producción de mezcal. La región Norte posee 330,548.57 ha óptimas y 138,893.77 ha sub-óptimas. La región Tierra Caliente posee 265,097.67 ha óptimas y 201,690.42 ha sub-óptimas, y la región Centro posee 214,625.96 ha óptimas y 115,724.28 ha sub-óptimas.

Los municipios con mayor superficie óptima son Huitzuc de los Figueroa con 76,666.96 ha, Ajuchitlán del Progreso con 50,396.49 ha y Coyuca de Catalán con 70,594.45 ha. Por otra parte si se hace el análisis sumando las áreas óptimas y sub-óptimas a nivel municipal, observamos que Coyuca de Catalán posee 104,158.40 ha, Zirándaro posee 94,345.90 ha y Huitzuc de los Figueroa posee 85,687.06 ha. Por lo cual estos cuatro municipios son estratégicos para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia*.

Cuadro 2. 3. Superficie (ha) estimada con potencial agroecológico para el cultivo de *A. angustifolia*, en el Estado de Guerrero, México.

| REGIÓN | MUNICIPIO | OPTIMO | SUBOPTIMO | MARGINAL | TOTAL MUNICIPAL |
|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Acapulco | Acapulco de Juárez | 595.94 | 12,601.66 | 59,735.14 | 72,932.75 |
| | Total región Acapulco | 595.94 | 12,601.66 | 59,735.14 | 72,932.75 |
| Centro | Ahuacuotzingo | 26,439.69 | 5,223.32 | | 31,663.01 |
| | Chilapa de Álvarez | 7,505.30 | 6,644.94 | 0.21 | 14,150.44 |
| | Chilpancingo de los Bravo | 8,273.51 | 13,457.18 | 204.54 | 21,935.23 |
| | Eduardo Neri | 50,342.09 | 15,185.28 | 1,739.78 | 67,267.14 |
| | General Heliodoro Castillo | 44,078.79 | 8,462.75 | 196.25 | 52,737.78 |
| | José Joaquín de Herrera | 1,636.39 | 2,824.09 | | 4,460.48 |
| | Juan R. Escudero | 454.52 | 10,375.87 | 2,844.48 | 13,674.86 |
| | Leonardo Bravo | 5,976.63 | 253.06 | 7.29 | 6,236.98 |
| | Mártir de Cuilapan | 19,008.45 | 13,078.11 | 518.77 | 32,605.33 |
| | Mochitlán | 7,356.84 | 7,508.24 | 50.69 | 14,915.78 |
| | Quechultenango | 22,451.17 | 24,306.98 | | 46,758.15 |
| | Tixtla de Guerrero | 6,391.50 | 5,802.93 | 62.83 | 12,257.26 |
| | Zitlala | 14,711.09 | 2,601.54 | | 17,312.63 |
| | Total región Centro | 214,625.96 | 115,724.28 | 5,624.83 | 335,975.07 |
| | Costa Chica | Ayutla de los Libres | 1,690.08 | 14,606.86 | 6,224.43 |
| Azoyú | | | | 17,446.72 | 17,446.72 |
| Copala | | | | 6,986.30 | 6,986.30 |
| Cuajinicuilapa | | | | 10,362.96 | 10,362.96 |
| Cuautepec | | | | 19,542.74 | 19,542.74 |
| Florencio Villarreal | | | | 5,087.77 | 5,087.77 |
| Igualapa | | 3,271.61 | 4,292.06 | 3,525.39 | 11,089.06 |
| Juchitán | | | | 8,874.24 | 8,874.24 |
| Marquelia | | | | 10,060.92 | 10,060.92 |
| Ometepec | | 4,829.99 | 725.61 | 32,446.26 | 38,001.86 |
| San Luis Acatlán | | 3,763.95 | 784.03 | 18,188.97 | 22,736.95 |
| San Marcos | | | 943.59 | 44,848.44 | 45,792.03 |
| Tecoanapa | | | 11,850.20 | 12,625.69 | 24,475.89 |
| Tlacoachistlahuaca | | 3,412.20 | 6,869.31 | 4,266.59 | 14,548.10 |
| Xochistlahuaca | | 1,164.10 | | 11,862.89 | 13,026.99 |
| Total región Costa Chica | 18,131.92 | 40,071.66 | 212,350.32 | 270,553.90 | |
| Costa Grande | Atoyac de Álvarez | 3,830.23 | 2,497.77 | 16,372.00 | 22,700.00 |
| | Benito Juárez | | | 360.96 | 360.96 |
| | Coahuayutla de José María Izazaga | 27,251.95 | 56,562.75 | 19,518.65 | 103,333.36 |
| | Coyuca de Benítez | 521.58 | 767.15 | 39,323.04 | 40,611.77 |

| REGIÓN | MUNICIPIO | OPTIMO | SUBOPTIMO | MARGINAL | TOTAL MUNICIPAL |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | José Azueta | 1,323.42 | 1,514.15 | 16,219.09 | 19,056.67 |
| | La Unión de Isidoro Montes de Oca | 8,093.66 | 9,091.80 | 63,688.03 | 80,873.50 |
| | Petatlán | 7,465.54 | 9,137.59 | 24,403.24 | 41,006.37 |
| | Técpán de Galeana | 95.93 | 9,193.82 | 30,822.58 | 40,112.33 |
| | Total región Costa Grande | 48,582.32 | 88,765.03 | 210,707.59 | 348,054.94 |
| | Acatepec | 13,078.98 | 84.62 | | 13,163.60 |
| | Alcozauca de Guerrero | 8,369.29 | 1,279.59 | 91.94 | 9,740.81 |
| | Alpoyeca | 6,133.99 | 608.84 | 105.2 | 6,848.03 |
| | Atlixnac | 3,009.74 | 3,214.40 | 4 | 6,228.14 |
| | Copanatoyac | 3,868.42 | 2,107.55 | 44.67 | 6,020.64 |
| | Cualác | 9,223.70 | 242.33 | | 9,466.02 |
| | Huamuxtitlán | 15,676.71 | 874.96 | 98.43 | 16,650.10 |
| | Iliatenco | 52.39 | | | 52.39 |
| | Malinaltepec | 126.79 | | | 126.79 |
| La Montaña | Metlatónoc | 1,182.05 | 2,827.96 | | 4,010.01 |
| | Olinalá | 21,674.82 | 5,748.08 | | 27,422.90 |
| | Tlacoapa | 1,223.62 | | | 1,223.62 |
| | Tlaxiataquilla de Maldonado | 7,688.74 | | | 7,688.74 |
| | Tlapa de Comonfort | 29,513.88 | 1,147.03 | 928.03 | 31,588.94 |
| | Xalpatláhuac | 9,829.68 | | 112.33 | 9,942.01 |
| | Xochihuehuetlán | 12,528.35 | 2,133.67 | 40.17 | 14,702.19 |
| | Zapotitlán Tablas | 234.75 | | | 234.75 |
| | Total región La Montaña | 143,415.88 | 20,269.04 | 1,424.77 | 165,109.69 |
| | Apaxtla | 22,084.42 | 13,195.25 | 360.98 | 35,640.65 |
| | Atenango del Río | 24,538.43 | 9,770.68 | | 34,309.11 |
| | Buenavista de Cuéllar | 8,470.39 | 1,456.36 | 1,140.63 | 11,067.38 |
| | Cocula | 4,843.73 | 16,286.42 | | 21,130.14 |
| | Copalillo | 39,421.31 | 4,532.46 | 31.1 | 43,984.87 |
| | Cuetzala del Progreso | 15,567.29 | 4,133.30 | | 19,700.59 |
| Norte | General Canuto A. Neri | 21,774.68 | 1,901.96 | | 23,676.64 |
| | Huitzuc de los Figueroa | 76,666.96 | 9,020.10 | 0 | 85,687.06 |
| | Iguala de la Independencia | 16,017.15 | 13,653.79 | | 29,670.94 |
| | Ixcateopan de Cuauhtémoc | 3,173.04 | 4,372.63 | | 7,545.68 |
| | Pedro Ascencio Alquisiras | 2,812.24 | 7,947.63 | 353.09 | 11,112.97 |
| | Pilcaya | 6,934.50 | 1,588.60 | 33.86 | 8,556.96 |

| REGIÓN | MUNICIPIO | OPTIMO | SUBOPTIMO | MARGINAL | TOTAL MUNICIPAL |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| | Taxco de Alarcón | 18,049.89 | 6,740.93 | 435.9 | 25,226.71 |
| | Teloloapan | 37,450.20 | 23,355.84 | | 60,806.04 |
| | Tepecoacuilco de Trujano | 32,148.56 | 20,926.39 | 302.58 | 53,377.53 |
| | Tetipac | 595.78 | 11.41 | 376.62 | 983.81 |
| | Total región Norte | 330,548.57 | 138,893.77 | 3,034.75 | 472,477.09 |
| | Ajuchitlán del Progreso | 50,396.49 | 7,638.00 | 7,720.45 | 65,754.94 |
| | Arcelia | 34,653.08 | 14,772.57 | 3,321.06 | 52,746.71 |
| | Coyuca de Catalán | 70,594.45 | 33,563.95 | 17,375.65 | 121,534.05 |
| | Cutzamala de Pinzón | 19,113.67 | 43,132.13 | 16,348.31 | 78,594.11 |
| | Pungarabato | 372.89 | 2,617.62 | 1,269.96 | 4,260.46 |
| Tierra Caliente | San Miguel Totolapan | 48,783.92 | 22,193.48 | 13,290.28 | 84,267.68 |
| | Tlalchapa | 4,621.94 | 8,524.44 | 11,191.95 | 24,338.32 |
| | Tlapehuala | 3,731.22 | 7,732.37 | 5,866.15 | 17,329.74 |
| | Zirándaro | 32,830.03 | 61,515.87 | 29,169.98 | 123,515.88 |
| | Total región Tierra Caliente | 265,097.67 | 201,690.42 | 105,553.79 | 572,341.89 |
| | Total Estatal | 1,020,998.26 | 618,015.86 | 598,431.19 | 2,237,445.33 |

El uso actual del suelo en las superficies identificadas como optimas y sub-optimas, de acuerdo con la información agroecológica analizada, corresponden a áreas destinadas a la agricultura, pastizal inducido y vegetación inducida y áreas degradadas (CONAFOR, 2013; INEGI, 2013a). Lo que refleja la viabilidad de estas áreas para el establecimiento de las plantaciones de *A. angustifolia*.

Reynoso-Santos *et al.* (2016), proponen que las áreas sub-óptimas para el cultivo de *A. americana* L. pueden ser consideradas para la siembra de otras especies de agave, sin embargo, estas áreas requieren de la implementación de tecnologías, que permitan a las plantaciones adaptarse a algunas de las limitantes ambientales, como la precipitación y la fertilidad del suelo. Los criterios expuestos por estos autores también son válidos para *A. angustifolia*, por lo que al momento de proponer el establecimiento de plantaciones en las áreas sub-optimas es necesario considerar las limitantes de cada sitio y adecuarlas a través de tecnologías que permitan el desarrollo óptimo de las plantaciones.

De acuerdo con trabajos realizados por Sáenz-Romero *et al.*, (2012), sobre la estimación de la disociación de *A. cupreata* a su hábitat idóneo por efecto del cambio climático para el año 2030, proponen realizar una migración asistida de las poblaciones de *A. cupreata* al clima en el cual están adaptadas y que se presentará en localidades distintas de las actuales; para ello sugieren un desplazamiento a

elevaciones superiores entre los 175 y 225 m de las que crecen actualmente. Esto debido a que se estima que para el 2030 se presente un incremento en la temperatura de 1.4 °C y un decremento en la precipitación de 13.3 %. Bajo este enfoque de cambio climático, las áreas sub-óptimas y marginales que actualmente presentan temperaturas bajas y precipitaciones altas tendrán mayor relevancia, ya que estas áreas a futuro podrían ser las nuevas áreas óptimas y sub-óptimas para *A. angustifolia*; sin embargo, para darle mayor soporte a estas aseveraciones se requieren realizar estudios sobre la estimación del clima futuro en el estado de Guerrero y su interrelación con los requerimientos agroecológicos de esta especie.

CONCLUSIONES

De acuerdo con las condiciones agroecológicas estimadas para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia*, el estado de Guerrero posee 1,020,998.27 ha con potencial óptimo y 618,015.87 ha con potencial sub-óptimo, las cuales están ubicadas principalmente en las regiones Norte, Tierra Caliente y Centro, donde además se presenta la mayor producción de mezcal en el Estado.

Los municipios con mayor potencial óptimo y sub-óptimo para el establecimiento de plantaciones de *A. angustifolia* son: Coyuca de Catalán con 104,158.40 ha, Zirándaro con 94,345.90 ha y Huitzuc de los Figueroa con 85,687.06 ha.

El uso de los sistemas de información geográfica permitió estimar las áreas que presentan degradación de suelos. A este tipo de análisis, se sugiere incorporar información referente a la fisiología, productividad y diversidad genética de las poblaciones nativas de *A. angustifolia* del estado de Guerrero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo, agradecen el apoyo parcial económico, otorgado por el CONACyT, a través del proyecto 263188 de SEMARNAT- CONACYT.

LITERATURA CITADA

Castillo-Quiroz D., Martínez-Burciaga O. U., Ríos-González, L. J., Rodríguez-de la Garza, J. A., Morales-Martínez, T. K., Castillo-Reyes, F., & Avila-Flores, D. Y. 2014. Determinación de áreas potenciales para plantaciones de *Agave lechuguilla* Torr., para la producción de etanol. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila 6(12): 5-12.

- CONAFOR. 2013. Inventario Estatal Forestal y de Suelos - Guerrero. Conjunto de Datos vectoriales Guerrero de la Carta de Recursos Forestales Estatal Guerrero.
- García-Mendoza, A. 2007. Los Agaves de México. *Ciencias* 00: 14-23
- Gentry H S. 1985. *Agaves of Continental North American*. The University of Arizona Press. Tucson. 670 p.
- Hernández-Carranza E. 2017. La producción y mercado del mezcal en el Estado de Oaxaca, México. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Socioeconómicas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 75 p.
- Illsley C., E. Veg, I. Pisanty, A. Tlacotempa, P. García, P. Morales, G. Rivera, J. García, V. Jiménez, F. Castro y M. Calsada. 2007. Maguey papalote: Hacia el manejo campesino de un recurso colectivo en el trópico seco de Guerrero, México., *In*: P. Colunga García-Marín, A. Laarque Saavedra, L. E. Eguiarte, D. Zizumbo-Virreale (eds.). *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICY-CONACYT-CONABIO-SEMARNAT-INE. México. pp: 85-106.
- INEGI. 2005. Marco geoestadístico nacional 2005. Consultado el 08 de enero de 2016. http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/relieve/grorel_col_n.pdf.
- INEGI. 2008a. Referencias geográficas y extensión territorial de México. Consultado el 08 de enero de 2016. http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/1-GeografiaDeMexico/MAN_REFGEOG_EXTTERR_VS_ENERO_30_2088.pdf
- INEGI. 2008b. Cartografía digital de climas escala 1:1 000 000.
- INEGI. 2010. Cartografía estados y municipios, escala 1:1 000 000.
- INEGI. 2013a. Cartografía Uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 Serie V.
- INEGI. 2013b. Sistema de descarga del continuo de elevaciones mexicano, 3.0 (CEM 3.0).
- INEGI. 2013c. Conjunto de Datos de Perfiles de Suelos, Escala 1:250 000 Serie II (Continuo Nacional).
- INEGI. 2016. Cartografía conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 Serie III.
- Kirchmayr, R. M., M. Arellano-Plaza, M. Estarrón-Espinosa, J. Gallardo-Valdez, A. Ch. Gschaedler Mathis, J. E. López-Ramírez, A. Navarro-Hurtado, R. Prado-Ramírez y E. Ramírez-Romo 2014. Manual para la estandarización de los procesos de producción de mezcal guerrerense. Fundación Produce Guerrero A. C. México. pp: 28-30.

- Ledesma-Horta J. C. 2014. Distribución del agave mezcalero (*Agave ssp.*) y áreas con aptitud potencial para su desarrollo en San Felipe, Guanajuato. Tesis de licenciatura. División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 115 p.
- Malczewski J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning* 62: 3-65.
- Mariles-Flores V. 2014. Relación entre las clases de tierra y la calidad de *Agave angustifolia* Haw. en La Soledad Salinas, Quiquitani, Oaxaca, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Postgrado de Edafología. Colegio de Postgraduados. México. 141 p.
- Martínez-Palacios A., J. M. Gómez-Sierra, C. Sáenz-Romero, N. Pérez-Nasser, y N. Sánchez-Vargas. 2011. Genetic diversity of *Agave cupreata* Trel. & Berger. Considerations for its conservation. *Revista fitotecnia mexicana* 34(3): 159-165.
- Medina-García G., J. A. Ruiz Corral, R. A. Martínez-Parra y M. Ortiz-Valdez. 1997. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. *Agricultura técnica en México* 23: 69-90.
- Olivas-Gallegos, U. E., J. R. Valdez Lazalde, A. Aldrete, M de J. González-Guillén y G. Vera-Castillo. 2007. Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: Definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 411-419.
- P. S. Nobel. 2011. Sabiduría del desierto, agaves y cactus: CO₂, agua, cambio climático. 2a. ed. Colegio de Postgraduados. México. 160 p.
- Reynoso-Santos, R., López-Báez W.; López-Luna A., Ruíz-Corral J.A., Castro-Mendoza I., Cadena-Iñiguez P., Valenzuela-Núñez L.M. y Camas-Gómez R. 2016. Áreas potenciales para el cultivo del agave (*Agave americana* L.) en la Meseta Comiteca, Chiapas. *Agroproductividad* 9(2): 56-61.
- Ruiz-Corral, J. A. 2007. Requerimientos agroecológicos y potencial productivo del *Agave tequilana* Weber en México. *In: Pérez-Domínguez, J. F. y Del Real-Laborde, J. I. (eds.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de Agave tequilana Weber en la zona de denominación de origen del tequila.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Tepatlán de Morelos, Jalisco, México. pp. 11-36.

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.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Atlas Agroalimentario. 2016. México. 231 p.

Anexo 1. 1. Sitios de caracterización de *A. angustifolia* en el estado de Guerrero, México.

| No | Municipio | Localidad | Latitud (N) | Longitud (O) | Altitud (m s.n.m.) | Fuente consulta | No. Colecta | Siglas Herbario | Colectores informantes | o |
|----|------------|----------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------------|---------------------------|---|
| 1 | Copalillo | Mexquitlan | 18°2'58.23" | 98°55'37.75" | 762 | R. c. | 1 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 2 | Copalillo | Mexquitlan | 18°2'59.19" | 98°55'33.86" | 762 | R. c. | 2 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 3 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'4.27" | 98°55'30.9" | 779 | R. c. | 3 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 4 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'7.76" | 98°55'30.68" | 787 | R. c. | 4 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 5 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'8.55" | 98°55'25.99" | 794 | R. c. | 5 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 6 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'13.42" | 98°55'29.82" | 798 | R. c. | 6 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 7 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'12.7" | 98°55'26.46" | 802 | R. c. | 7 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 8 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'15.49" | 98°55'23.99" | 812 | R. c. | 8 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 9 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'18.36" | 98°55'20.93" | 821 | R. c. | 9 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 10 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'20.98" | 98°55'19.12" | 827 | R. c. | 10 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 11 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'24.36" | 98°55'14.7" | 840 | R. c. | 11 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 12 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'17.43" | 98°55'9.07" | 830 | R. c. | 12 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 13 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'20.38" | 98°55'7.38" | 844 | R. c. | 13 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 14 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'29.31" | 98°55'0.05" | 872 | R. c. | 14 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 15 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'32.74" | 98°55'7.29" | 865 | R. c. | 15 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 16 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'21.64" | 98°55'29.19" | 801 | R. c. | 16 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 17 | Copalillo | Mexquitlan | 18°3'17.61" | 98°55'29.61" | 805 | R. c. | 17 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 18 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'0.84" | 99°47'22.31" | 1386 | R. c. | 18 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 19 | Ixcateopan | Pachivia | 18°24'59.63" | 99°47'22.64" | 1385 | R. c. | 19 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 20 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'1.37" | 99°47'23.34" | 1389 | R. c. | 20 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 21 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'2.3" | 99°47'21.32" | 1386 | R. c. | 21 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 22 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'1.25" | 99°47'21.01" | 1386 | R. c. | 22 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 23 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'2.14" | 99°47'22.73" | 1389 | R. c. | 23 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 24 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'0.38" | 99°47'21.4" | 1384 | R. c. | 24 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 25 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'2.71" | 99°47'22.92" | 1390 | R. c. | 25 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 26 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'1.46" | 99°47'21.61" | 1386 | R. c. | 26 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 27 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'0.8" | 99°47'23.15" | 1388 | R. c. | 27 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 28 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'0.59" | 99°47'22.08" | 1385 | R. c. | 28 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 29 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'0.46" | 99°47'23.27" | 1388 | R. c. | 29 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 30 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'2.57" | 99°47'22.05" | 1387 | R. c. | 30 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 31 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'1.84" | 99°47'23.4" | 1390 | R. c. | 31 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 32 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'1.72" | 99°47'22.51" | 1387 | R. c. | 32 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 33 | Tetipac | San Gregorio | 18°37'32.69" | 99°34'56.48" | 1732 | R. c. | 33 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 34 | Tetipac | Tepacoya | 18°37'22.75" | 99°34'42.69" | 1795 | R. c. | 34 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 35 | Tetipac | Tepacoya | 18°37'13.56" | 99°34'39.35" | 1802 | R. c. | 35 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 36 | Tetipac | Tepacoya | 18°36'55.52" | 99°34'10.16" | 1789 | R. c. | 36 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 37 | Teloloapan | Puente Sabinos | 18°22'30.02" | 99°47'41.23" | 1260 | R. c. | 37 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 38 | Teloloapan | Chapa | 18°20'21.27" | 99°49'11" | 1542 | R. c. | 38 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 39 | Teloloapan | Chapa | 18°20'22.1" | 99°49'9.91" | 1538 | R. c. | 39 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |

| No | Municipio | Localidad | Latitud (N) | Longitud (O) | Altitud (m s.n.m.) | Fuente consulta | No. Colecta | Siglas Herbario | Colectores informantes |
|----|---------------|---------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 40 | Teloloapan | Puente Sabinos | 18°21'38.1" | 99°47'49.37" | 1330 | R. c. | 40 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 41 | Teloloapan | Puente Sabinos | 18°21'38.59" | 99°47'51.97" | 1341 | R. c. | 41 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 42 | Teloloapan | Chapa | 18°20'26.06" | 99°49'7.2" | 1535 | R. c. | 42 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 43 | Teloloapan | Chapa | 18°20'28.02" | 99°49'5.67" | 1539 | R. c. | 43 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 44 | Teloloapan | Chapa | 18°20'30.05" | 99°49'4.43" | 1536 | R. c. | 44 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 45 | Teloloapan | Chapa | 18°20'32.09" | 99°49'3.09" | 1522 | R. c. | 45 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 46 | Teloloapan | Chapa | 18°20'34.49" | 99°49'3.81" | 1536 | R. c. | 46 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 47 | Teloloapan | Chapa | 18°20'36.72" | 99°49'2.42" | 1520 | R. c. | 47 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 48 | Teloloapan | Chapa | 18°20'39.36" | 99°49'1.78" | 1529 | R. c. | 48 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 49 | Taxco | Zacatecolotla | 18°35'5.1" | 99°34'13.58" | 1766 | R. c. | 49 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 50 | Taxco | Zacatecolotla | 18°35'5.44" | 99°34'13.96" | 1772 | R. c. | 50 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 51 | Taxco | Carretera cuota Taxco Zacapalco | 18°34'32.19" | 99°31'21.26" | 1723 | R. c. | 51 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 52 | Taxco | Carretera cuota Taxco Zacapalco | 18°34'8.46" | 99°31'6.27" | 1732 | R. c. | 52 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 53 | Taxco | Juliantla | 18°31'31.25" | 99°33'18.29" | 1736 | R. c. | 53 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 54 | Taxco | Juliantla | 18°31'23.92" | 99°33'16.94" | 1753 | R. c. | 54 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 55 | Taxco | Carretera cuota Taxco Zacapalco | 18°34'1.97" | 99°29'17.25" | 1573 | R. c. | 55 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 56 | Taxco | Carretera cuota Taxco Zacapalco | 18°34'6.64" | 99°29'23.8" | 1595 | R. c. | 56 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 57 | Taxco | Carretera cuota Taxco Zacapalco | 18°35'16.36" | 99°32'58.75" | 1690 | R. c. | 57 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 58 | Taxco | Acamixtla | 18°34'9.14" | 99°33'59.57" | 1673 | R. c. | 58 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 59 | Tepecoacuilco | Atetetla | 18°19'43.61" | 99°23'57.91" | 892 | R. c. | 59 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 60 | Tepecoacuilco | Atetetla | 18°19'43.98" | 99°23'56.72" | 892 | R. c. | 60 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 61 | Tepecoacuilco | Atetetla | 18°19'47.49" | 99°23'57.14" | 898 | R. c. | 61 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 62 | Tepecoacuilco | Atetetla | 18°19'46.06" | 99°23'52.98" | 890 | R. c. | 62 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 63 | Tepecoacuilco | Atetetla | 18°19'46.52" | 99°23'56.26" | 895 | R. c. | 63 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 64 | Tepecoacuilco | Atetetla | 18°19'44.47" | 99°23'54.81" | 891 | R. c. | 64 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 65 | Tepecoacuilco | Atetetla | 18°19'46.62" | 99°23'57.77" | 898 | R. c. | 65 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 66 | Tepecoacuilco | Atetetla | 18°19'44.72" | 99°23'51.88" | 888 | R. c. | 66 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 67 | Buenavista | Los Pinitos | 18°28'52.9" | 99°25'28.7" | 1224 | R. c. | 67 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 68 | Buenavista | Palmillas | 18°31'5.9" | 99°25'49.6" | 1149 | R. c. | 68 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 69 | Buenavista | Palmillas | 18°30'57.14" | 99°26'7.51" | 1176 | R. c. | 69 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 70 | Buenavista | La Cima | 18°24'11.61" | 99°28'43.85" | 1143 | R. c. | 70 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 71 | Taxco | Monte Taxco | 18°34'6.51" | 99°35'58.01" | 1883 | R. c. | 71 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 72 | Taxco | Monte Taxco | 18°34'20.96" | 99°35'54.6" | 1918 | R. c. | 72 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 73 | Tetipac | Pregones | 18°38'51.06" | 99°40'56.39" | 1702 | R. c. | 73 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |
| 74 | Tetipac | Pregones | 18°38'43.11" | 99°41'1.7" | 1717 | R. c. | 74 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. |

| No | Municipio | Localidad | Latitud (N) | Longitud (O) | Altitud (m s.n.m.) | Fuente consulta | No. Colecta | Siglas Herbario | Colectores informantes | o |
|-----|--------------|----------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------------|--|---|
| 75 | Tetipac | Acueducto | 18°39'32.64" | 99°38'5.38" | 1533 | R. c. | 75 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 76 | Tetipac | Tepacoya | 18°37'1.75" | 99°34'21.91" | 1772 | R. c. | 76 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 77 | Tetipac | Tepacoya | 18°37'1.67" | 99°34'21.89" | 1772 | R. c. | 77 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 78 | Eduardo Neri | La Venta | 17°48'46.04" | 99°33'38.16" | 680 | R. c. | 78 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z., Elías H.C. y Yanet L. | |
| 79 | Eduardo Neri | La Venta | 17°48'45.63" | 99°33'38.42" | 681 | R. c. | 79 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z., Elías H.C. y Yanet L. | |
| 80 | Teloloapan | Tehuixtla | 18°18'37.83" | 99°56'5.28" | 1140 | R. c. | 80 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 81 | Teloloapan | Tehuixtla | 18°18'38.21" | 99°56'4.96" | 1140 | R. c. | 81 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 82 | Teloloapan | Tehuixtla | 18°18'37.25" | 99°56'5.18" | 1140 | R. c. | 82 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 83 | Teloloapan | Tehuixtla | 18°18'38.14" | 99°56'4.33" | 1140 | R. c. | 83 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 84 | Teloloapan | Tehuixtla | 18°18'37.47" | 99°56'4.75" | 1141 | R. c. | 84 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 85 | Teloloapan | Tehuixtla | 18°18'37.93" | 99°56'4.39" | 1141 | R. c. | 85 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 86 | Teloloapan | Tehuixtla | 18°18'37.05" | 99°56'4.92" | 1141 | R. c. | 86 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 87 | Teloloapan | Tehuixtla | 18°18'36.71" | 99°56'4.65" | 1142 | R. c. | 87 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 88 | Teloloapan | Tehuixtla | 18°18'37.96" | 99°56'3.79" | 1140 | R. c. | 88 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 89 | Taxco | La cascada | 18°32'43.51" | 99°39'52.14" | 1856 | R. c. | 89 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 90 | Taxco | Pedro Martin | 18°33'3.65" | 99°36'20.91" | 1721 | R. c. | 90 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 91 | Taxco | Pedro Martin | 18°33'3.69" | 99°36'20.84" | 1721 | R. c. | 91 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 92 | Taxco | Pedro Martin | 18°33'3.71" | 99°36'21.12" | 1722 | R. c. | 92 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 93 | Taxco | Pedro Martin | 18°33'3.67" | 99°36'20.96" | 1721 | R. c. | 93 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 94 | Taxco | Pedro Martin | 18°33'3.76" | 99°36'21.24" | 1722 | R. c. | 94 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 95 | Taxco | Pedro Martin | 18°33'3.62" | 99°36'21.06" | 1721 | R. c. | 95 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 96 | Iguala | Ahuehuepan | 18°20'4.95" | 99°38'24.49" | 806 | R. c. | 96 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 97 | Iguala | Ahuehuepan | 18°19'58.97" | 99°37'48.66" | 925 | R. c. | 97 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 98 | Cuetzala | Chilacachapa | 18°17'44.74" | 99°47'26.61" | 1715 | R. c. | 98 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 99 | Cuetzala | Chilacachapa | 18°17'53.8" | 99°47'17.87" | 1711 | R. c. | 99 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 100 | Cuetzala | Chilacachapa | 18°17'53.78" | 99°47'7.73" | 1730 | R. c. | 100 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 101 | Cuetzala | Chilacachapa | 18°17'52.68" | 99°47'5.98" | 1738 | R. c. | 101 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 102 | Cuetzala | Chilacachapa | 18°17'51.11" | 99°47'7.15" | 1738 | R. c. | 102 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 103 | Cuetzala | Chilacachapa | 18°17'47.95" | 99°47'15.92" | 1720 | R. c. | 103 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 104 | Taxco | Agua escondida | 18°35'10.63" | 99°38'6.17" | 2358 | R. c. | 105 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 105 | Taxco | La cascada | 18°32'44.15" | 99°39'51.7" | 1858 | R. c. | 106 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 106 | Atenango | Coacan | 18°8'25.05" | 99°11'25.35" | 946 | R. c. | 107 | UAGC y MEXU | Elías H. C. y Y. | |
| 107 | Atenango | Coacan | 18°8'27.07" | 99°11'24.36" | 954 | R. c. | 108 | UAGC y MEXU | Elías H. C. y Y. | |
| 108 | Teloloapan | Acatempan | 18°18'9.51" | 99°53'13.66" | 1497 | R. c. | 109 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 109 | Teloloapan | Huerta Grande | 18°17'45.44" | 99°52'53.21" | 1467 | R. c. | 110 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 110 | Teloloapan | Huerta Grande | 18°17'45.28" | 99°52'52.97" | 1467 | R. c. | 111 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 111 | Atenango | Apanguito | 18°8'58.06" | 99°8'12.58" | 734 | R. c. | 112 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 112 | Copalillo | Mexquitlan | 18°2'2.37" | 98°56'31.5" | 660 | R. c. | 113 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 113 | Copalillo | Atenango | 18°5'12.52" | 99°4'58.7" | 698 | R. c. | 115 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 114 | Copalillo | Atenango | 18°5'13.1" | 99°4'59.25" | 699 | R. c. | 116 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |

| No | Municipio | Localidad | Latitud (N) | Longitud (O) | Altitud (m s.n.m.) | Fuente consulta | No. Colecta | Siglas Herbario | Colectores informantes | o |
|-----|---------------|----------------------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------------|--|---|
| 115 | Copalillo | Atenango | 18°5'14.11" | 99°4'59.85" | 699 | R. c. | 117 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 116 | Copalillo | Atenango | 18°5'14.25" | 99°4'59.53" | 695 | R. c. | 118 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 117 | Cuetzala | Cuaxilotla | 18°9'48.9" | 99°51'1.19" | 1162 | R. c. | 119 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 118 | Copalillo | Atenango | 18°5'14.63" | 99°4'59.67" | 695 | R. c. | 120 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 119 | Copalillo | Atenango | 18°5'14.43" | 99°5'0.09" | 700 | R. c. | 121 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 120 | Copalillo | Atenango | 18°5'20.71" | 99°5'6.09" | 678 | R. c. | 122 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 121 | Copalillo | Atenango | 18°5'22.07" | 99°5'7.57" | 686 | R. c. | 123 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 122 | Atenango | Apanguito | 18°8'44.86" | 99°8'0.87" | 733 | R. c. | 124 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 123 | Atenango | Apanguito | 18°8'45.57" | 99°8'1.41" | 734 | R. c. | 125 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 124 | Atenango | Apanguito | 18°8'46.22" | 99°8'2.11" | 737 | R. c. | 126 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 125 | Atenango | Apanguito | 18°8'47.19" | 99°8'2.53" | 734 | R. c. | 127 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 126 | Atenango | Apanguito | 18°8'48.13" | 99°8'2.91" | 730 | R. c. | 128 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 127 | Atenango | Apanguito | 18°8'49.59" | 99°8'4.23" | 739 | R. c. | 129 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 128 | Atenango | Apanguito | 18°8'50.04" | 99°8'4.7" | 742 | R. c. | 130 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 129 | Atenango | Apanguito | 18°8'49.6" | 99°8'4.74" | 745 | R. c. | 131 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 130 | Atenango | Apanguito | 18°8'50.55" | 99°8'5.31" | 745 | R. c. | 132 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 131 | Atenango | Apanguito | 18°8'51.73" | 99°8'5.66" | 740 | R. c. | 133 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 132 | Teloloapan | Che Guevara | 18°19'38.72" | 99°37'29.41" | 935 | R. c. | 134 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 133 | Teloloapan | Che Guevara | 18°19'38.29" | 99°37'29.25" | 935 | R. c. | 135 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 134 | Teloloapan | Che Guevara | 18°19'37.66" | 99°37'28.74" | 931 | R. c. | 136 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 135 | Teloloapan | Che Guevara | 18°19'37.03" | 99°37'28.32" | 930 | R. c. | 137 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 136 | Teloloapan | Che Guevara | 18°19'35.58" | 99°37'27.38" | 930 | R. c. | 138 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 137 | Teloloapan | Che Guevara | 18°19'34.58" | 99°37'26.64" | 926 | R. c. | 139 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 138 | Teloloapan | Che Guevara | 18°19'33.4" | 99°37'25.74" | 922 | R. c. | 140 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z. | |
| 139 | Eduardo Neri | La Venta | 17°49'21.95" | 99°33'40.77" | 660 | R. c. | 141 | UAGC y MEXU | Jorge H. Z., Elías H.C. y Yanet L. | |
| 140 | Eduardo Neri | N. i. | 17°48'4.66" | 99°33'53.84" | 816 | C. h. | 6069 | MEXU | Abisai García Mendoza | |
| 141 | José Azueta | N. i. | 17°39'17.7" | 101°32'48" | 95 | C. h. | 522 | MEXU | Susana Peralta G. | |
| 142 | Teloloapan | N. i. | 18°20'42.95" | 99°39'29.4" | 787 | C. h. | 5519 | MEXU | H.E. Moore Jr. | |
| 143 | Chilpancingo | Carrizal de Bravo | 17°17'11.44" | 99°48'7.54" | 1942 | C. h. | 22 | MEXU | Celia Franco Gaona | |
| 144 | Tepecoacuilco | San Agustín Oapan | 17°57'31.88" | 99°28'3.81" | 557 | C. h. | 514 | MEXU | E. León, R Santiago, R. M. Salazar | |
| 145 | Huitzuc | San Francisco Ozomatlan | 17°56'43.15" | 99°20'19.63" | 627 | C. h. | 78 | MEXU | Andira Vargas Pérez | |
| 146 | Pilcaya | Cacahuamilpa | 18°41'38.09" | 99°30'38.55" | 1711 | C. h. | 6082 | MEXU | Abisai García Mendoza | |
| 147 | Tepecoacuilco | N. i. | 18°3'4.13" | 99°33'21.9" | 637 | C. h. | 5118 | MEXU | E. C. Ogden | |
| 148 | Taxco | N. i | 18°34'1.14" | 99°35'21.53" | 1678 | C. h. | 5865 | MEXU | Howard Scott Gentry | |
| 149 | Alcozauca | San José Lagunas | 17°25'29.18" | 98°27'1.48" | 1566 | C. h. | 263 | MEXU | Viveros & Casas | |

| No | Municipio | Localidad | Latitud (N) | Longitud (O) | Altitud (m s.n.m.) | Fuente consulta | No. Colecta | Siglas Herbario | Colectores o informantes |
|-----|-------------------|---------------------------|-----------------|--------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------------|--|
| 150 | Coyuca Catalán | de Palo Nuevo | 18°0'45.21" | 101°8'50.27" | 1031 | C. h. | 5005 | MEXU | Jose C Soto nuñez y Esteban Martínez S. |
| 151 | Alcozauca | Amapilca | 17°29'57.76" | 98°23'17.29" | 1319 | C. h. | 306 | MEXU | Viveros & Casas |
| 152 | Eduardo Neri | Xochipala | 17°48'38.38" | 99°39'34.61" | 1123 | C. h. | 20 | MEXU | Celia Franco Gaona |
| 153 | Eduardo Neri | 0 | 17°41'10.15" | 99°29'51.02" | 1186 | C. h. | 5114 | MEXU | E. C. Ogden |
| 154 | Tlapa | Los Otates | 17°34'37.7" | 98°31'55.26" | 1124 | C. h. | 6869 | MEXU | Abisaí García Mendoza con E. Martínez y C. Ramos |
| 155 | Eduardo Neri | Xochipala | 17°49'7.09" | 99°39'5.16" | 1138 | C. h. | 4096 | MEXU | Abisaí García Mendoza con Sonia Franco y Alejandro Castañeda |
| 156 | Eduardo Neri | Palmillas (Milpillas?) | 17°45'0.84" | 99°34'2.42" | 856 | C. h. | 1930 | MEXU | Irma Trejo |
| 157 | Tlapa | Los Otates | 17°34'29" | 98°31'40" | 1030 | C. h. | 133 | MEXU | A. Castañeda Rojas, Abisaí García Mendoza y S. Franco |
| 158 | Petatlán | Laguna Colorada | La 17°29'9.14" | 101°20'34.7" | 7 | C. h. | 5189 | MEXU | N. Diego |
| 159 | Tepecoacuilco | Zacacoyuca | 18°16'16.17" | 99°30'48.85" | 858 | C. h. | 8819 | MEXU | José C Soto Núñez con Silvano Aureoles C. |
| 160 | Acapulco | Arroyo Verde | 16°54'28.86" | 99°40'25.11" | 169 | C. h. | 2506 | MEXU | L. Lozada |
| 161 | Eduardo Neri | Xochipala | 17°47'55.32" | 99°40'50.05" | 1404 | C. h. | 700 | MEXU | E. Martínez S. |
| 162 | Eduardo Neri | Puerto Rancho | del 17°57'57.1" | 99°31'23.79" | 1026 | C. h. | N. i. | MEXU | E. Martínez S. |
| 163 | Eduardo Neri | Xochipala | 17°41'56.33" | 99°32'47.22" | 967 | C. h. | 1038 | MEXU | Lang Lasse |
| 164 | Buenavista | El Naranjo | 18°25'60" | 99°28'60" | 1231 | C. h. | N. i. | ENCB | F. Terán C.; S. Vázquez V. |
| 165 | Ixcateopan | El Potrero | 18°27'44.77" | 99°45'24.77" | 2018 | C. h. | N. i. | ARIZ | Howard Scott Gentry; William Fox |
| 166 | Teloloapan | Rancho viejo | 18°20'52.85" | 99°49'56.83" | 1616 | C. h. | N. i. | ARIZ | Hugh H. Iltis; Theodore Cochrane |
| 167 | Ixcateopan | Pachivia | 18°28'0.34" | 99°47'17.52" | 1647 | C. h. | N. i. | ARIZ | Howard Scott Gentry; William Fox |
| 168 | Eduardo Neri | La Venta Vieja | 17°49'1.52" | 99°33'17.41" | 679 | C. h. | N. i. | NMNH-SI | Harold Emery Moore |
| 169 | Acapulco | Acapulco | 16°51'36.17" | 99°53'16.05" | 7 | C. h. | N. i. | NMNH-SI | Edward Palmer |
| 170 | Teloloapan | Coatepec costales | 18°23'22.59" | 99°43'42.82" | 1481 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. |
| 171 | Atenango | Temalac | 18°6'48.64" | 98°56'53.77" | 959 | O. c. | N. a. | N. a. | Sanzekan Tinemi S. de S.S. |
| 172 | Teloloapan | El Calvario | 18°16'54.71" | 99°48'53.19" | 1653 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. |

| No | Municipio | Localidad | Latitud (N) | Longitud (O) | Altitud (m s.n.m.) | Fuente consulta | No. Colecta | Siglas Herbario | Colectores informantes | o |
|-----|---------------|-----------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|---|
| 173 | Teloloapan | Chapa | 18°19'56.07" | 99°49'9.48" | 1441 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 174 | Teloloapan | Teloloapan | 18°21'10.99" | 99°50'34.32" | 1604 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 175 | Huitzucó | Paso Morelos | 18°14'24.48" | 99°13'7.69" | 1116 | O. c. | N. a. | N. a. | Sanzekan Tinemi S. de S.S. | |
| 176 | Tetipac | Santa María | 18°40'54.25" | 99°39'15.69" | 1881 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 177 | Pilcaya | El Bosque | 18°42'16.25" | 99°41'25.14" | 1478 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 178 | Pilcaya | Platanar | 18°43'0.4" | 99°41'18.46" | 1439 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 179 | Pilcaya | Santa Teresa | 18°41'34.89" | 99°29'32.06" | 1294 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 180 | Pilcaya | El Mogote | 18°40'34.87" | 99°33'34.69" | 1460 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 181 | Pilcaya | La Concepción | 18°44'52.92" | 99°40'53.82" | 1605 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 182 | Iguala | Tuxpan | 18°21'48.61" | 99°29'13.44" | 777 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 183 | Iguala | Iguala | 18°20'47.65" | 99°33'51.02" | 720 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 184 | Huitzucó | Quetzalapa | 18°19'41.4" | 99°11'44.24" | 1118 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 185 | Huitzucó | Tecoacuilco | 18°6'16.37" | 99°18'54.62" | 1590 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 186 | Huitzucó | Tlapala | 18°13'40.38" | 99°19'21.89" | 1097 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 187 | Tepecoacuilco | Las Tunas | 18°10'14.15" | 99°29'16.59" | 767 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 188 | Tepecoacuilco | Xochimilco | 18°15'0.8" | 99°22'44.5" | 1167 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 189 | Huitzucó | Pololcingo | 18°16'50.9" | 99°23'7.05" | 1025 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 190 | Tepecoacuilco | Rincon Chiquito | 18°11'14.83" | 99°23'9.15" | 1133 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 191 | Tepecoacuilco | Maxela | 18°3'5.26" | 99°35'13.52" | 836 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 192 | Taxco | La Hacienda | 18°24'39.98" | 99°41'34.49" | 1209 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 193 | Ixcateopan | Teucizapan | 18°26'58.94" | 99°42'29.99" | 1629 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 194 | Ixcateopan | Tecociapan | 18°25'30.35" | 99°48'25.23" | 1374 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 195 | Chilpancingo | Amojileca | 17°34'30.71" | 99°34'8.07" | 1610 | O. c. | N. a. | N. a. | Sanzekan Tinemi S. de S.S. | |
| 196 | Chilpancingo | Petaquillas | 17°29'15.33" | 99°26'38.55" | 1378 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 197 | Teloloapan | Tlacuitlapa | 18°20'25.68" | 99°42'30.41" | 1197 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 198 | Ixcateopan | Xalostoc | 18°24'46.71" | 99°42'34.25" | 1325 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 199 | Taxco | Teucizapan | 18°25'47.01" | 99°42'10.38" | 1342 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 200 | Ixcateopan | Xalostoc | 18°25'51.64" | 99°43'48.65" | 1562 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 201 | Ixcateopan | Pachivia | 18°25'49.81" | 99°46'10.24" | 1637 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 202 | Ixcateopan | Pachivia | 18°23'43.48" | 99°45'26.37" | 1620 | O. c. | N. a. | N. a. | C. E. M. G. | |
| 203 | Teloloapan | Los Sabinos | 18°21'43.82" | 99°44'1.11" | 1418 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 204 | Tetipac | San Gregorio | 18°37'38.47" | 99°35'52.77" | 1532 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 205 | Tetipac | Tetipac | 18°39'3.68" | 99°39'12.36" | 1663 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 206 | Tetipac | Totonacintla | 18°39'58.65" | 99°37'46.88" | 1533 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 207 | Teloloapan | La Hacienda | 18°24'22.91" | 99°41'14.22" | 1179 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 208 | Tepecoacuilco | Mayalanan | 18°11'28.28" | 99°27'11.28" | 840 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |
| 209 | Cuetzala | Tianquizolco | 18°13'59.29" | 99°44'37.43" | 1557 | O. c. | N. a. | N. a. | Jorge H. Z. | |

N. a. = No aplica, N. i. = No identificado, R. c. = Recolecta en campo, C. h. = Consulta Herbario O. c.= Observación en campo, C. E. M. G.= Consejo Estatal del Mezcal en Guerrero.

Frases Reflexivas

No quise parar de escribir, hasta rescatar parte del conocimiento tradicional que enaltece a nuestros mezcales, dándonos identidad, valor y tristesa, y al termino del dia, el aliento que necesitamos para seguir viviendo.

A veces solo necesitas a alguien que te mire a los ojos y te diga “No te preocupes, aquí tengo mezcal”

“¡No sé cual es la receta de la felicidad, pero de que lleva mezcal, lleva mezcal!”

El día en que el amor se convierta en mezcal me lo tomo en serio.

Mis dos razones para tomar mezcal: Porque Sí, y ¿Por qué no?

Hay amores que embriagan y mezcales que enamoran.

Entre mas viejo el Maguey, mas historias cuenta el mezcal.



Como toda buena historia, esta comienza y termina con un buen mezcal