

Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México

Guillermina Barrientos Rivera¹
Edgar León Esparza Ibarra³
Héctor Ramón Segura Pacheco⁴
Óscar Talavera Mendoza⁵
María Laura Sampedro Rosas¹
Elías Hernández Castro^{2§}

¹Unidad de Ciencias en Desarrollo Regional-Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro). Los Pinos s/n, Col. El Roble, Acapulco, Guerrero, México. CP. 39640. Tel. 01(733) 5825192. (guimagic.16@gmail.com; laura.1953@live.com.mx). ²Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales-UAGro. Carretera Iguala-Tuxpán km 2.5, Iguala, Guerrero. CP. 40052. Tel. 01(733)1068659. ³Unidad Académica de Ciencias Biológicas-Universidad Autónoma de Zacatecas. Calzada de la Revolución Mexicana s/n, Col. Tierra y Libertad, Guadalupe, Zacatecas, México. CP. 98600. Tel. 01(492) 5448664. (edgarzac@gmail.com). ⁴Unidad de Estudios de Posgrado e Investigación-UAGro. Tel. 01(744) 1234016. (hsegurapa@gmail.com). ⁵Unidad Académica de Ciencias de la Tierra-UAGro. Ex-hacienda San Juan Bautista, Taxco el viejo, Guerrero, México. CP. 40323. Tel. 01(733) 1062837. (otalaver@email.arizona.edu).

§Autor para correspondencia: ehernandezcastro@yahoo.com.mx.

Resumen

El *Agave angustifolia* presenta una amplia variación morfológica, que con frecuencia dificulta su taxonomía. La diferenciación entre las especies de *Agave*, se hace a partir de características morfológicas homólogas e independientes entre sí, cuya variación puede ser ontogenética y genética. El objetivo de esta investigación fue caracterizar la morfología del *A. angustifolia* denominado 'sacatoro' del estado de Guerrero. La investigación se realizó de 2016 a 2017, en seis poblaciones de *A. angustifolia* y dos poblaciones como control, *A. angustifolia* Haw y *A. cupreata*. Se midieron 32 variables del tallo y hojas de plantas madre e hijuelos a cada ejemplar, de acuerdo con la guía técnica para la descripción varietal de *Agave* spp. Los datos se analizaron mediante componentes principales (ACP) y agrupamiento aglomerativo jerárquico (AJA). Las variables que permitieron discernir las poblaciones fueron: forma, borde, color y textura de la hoja, estrías en espinas laterales y longitud de la espina terminal, todas con una correlación positiva. Los resultados obtenidos del ACP y el AJA permitieron observar la relación entre variables y especímenes en función de los atributos morfológicos que comparten las especies estudiadas. A pesar de la variación morfológica entre el maguey sacatoro y el *A. angustifolia* Haw., se muestra una estrecha relación positiva entre ambos. Por lo que se infiere que las características fenotípicas que sub agrupan al maguey sacatoro, pudieran mostrar como resultado una posible variante de *A. angustifolia* Haw que permitiría ubicar taxonómicamente a este grupo para contribuir a la ordenación del género *Agave* y su conservación.

Palabras clave: *Agave angustifolia*, conservación, fenotípico, maguey sacatoro.

Recibido: marzo de 2019

Aceptado: mayo de 2019

Introducción

El agave, comúnmente denominado ‘maguey’, es una planta de la cual se aprovechan sus hojas, tallo, flores y frutos para satisfacer varias necesidades como fuente de alimento, bebida, medicina, ornato, fibra, combustible y fertilizante. Además, el escapo floral y sus fibras se utilizan para la construcción de viviendas, como implemento agrícola y las flores son muy apreciadas en la alimentación humana (García-Mendoza, 2007). En general, ofrece más de 100 formas de uso, entre las cuales 70 sirven de empleo a las personas que le dan algún tipo de aprovechamiento. De estas, destaca la producción de bebidas destiladas como: bacanora, charanda, sotol, tequila y mezcal (Esparza-Ibarra *et al.*, 2015).

Los magueyes son plantas que tienen importancia social, económica y ecológica, que prosperan en diversos ecosistemas y altitudes. Su centro de origen es México, aunque también se distribuyen al suroeste de Estados Unidos, Centroamérica, El Caribe y el norte de Sudamérica (Vázquez-García *et al.*, 2007). Se reconocen 211 especies, de las cuales 159 (75%) se ubican en México y de estas 119 (57%) son endémicas (García-Mendoza, 2012). Por tanto, existe una alta diversidad en la familia Agavaceae (García-Mendoza, 2007; Jacinto, 2013).

El alto número de especies endémicas en México sugiere que la diversidad del grupo se debe a la fisiología que le ha permitido una adaptación local en los hábitats heterogéneos y este proceso de diversificación ha sido probablemente aceptado por la domesticación a la que han estado sujetas varias especies de Agavaceae (García-Mendoza, 2007). La amplia tolerancia ecológica, la dispersión y germinación de semilla y la interacción con otros organismos (polinizadores), depende de propiedades intrínsecas del género como la diversidad genética (García-Mendoza, 2002).

Las plantas del género *Agave* son monocotiledóneas, sus hojas se muestran en disposición arrosetada, también denominadas pencas, dependiendo de la especie, el borde de las pencas puede ser lineal, espatulada, lanceolada, deltoide, oblonga u ovada, generalmente son rígidas, en su mayoría con espinas laterales (Gentry, 1982; García-Mendoza, 2007). Su tallo, dependiendo de la especie puede ser acaulescente o caulescente, también se le denomina ‘corazón del maguey o piña de maguey’. Es una planta hermafrodita, que posee inflorescencia en espiga. Sus flores son de color amarillo verdoso. Su fruto es capsular leñoso alargado dehiscente y cada capsula contiene numerosas semillas aplanadas y de testa negra (Esparza-Ibarra *et al.*, 2015).

A. angustifolia Haw., también denominado ‘maguey delgado’ o ‘espadín’, es la fuente de fibra y de bebidas alcohólicas como el bacanora y mezcal (Vázquez-García *et al.*, 2007). Este maguey se distribuye principalmente en México, en los estados de Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas desde el nivel del mar hasta más de 2 000 msnm (Vázquez-García *et al.*, 2007).

Asimismo, García-Mendoza (2011) menciona que su distribución se ubica hasta Panamá. Por ende, es la especie con mayor distribución dentro del género *Agave*, debido a su diversidad morfológica y capacidad de adaptación. Esta especie es parte del complejo *Agave angustifolia*, lo que le ha permitido su reclasificación taxonómica en más de 20 especies diferentes (CONABIO, 2006; García-Mendoza y Franco-Martínez, 2017).

Para el estado de Guerrero no se tiene investigación del maguey sacatoro, por lo que surge la necesidad de caracterizarlo morfológicamente para contar con información que permita saber con mayor certeza si es posible diferenciarlo de otras poblaciones de *A. angustifolia* Haw. Siendo éste el propósito del estudio, ya que esta población de maguey es importante por ser utilizada como materia prima en la producción de mezcal en el estado de Guerrero, ya que se producen cerca de 1.7 millones de litros de mezcal anualmente, lo que representa una fuente importante de ingresos para las familias guerrerenses, relacionadas con esta actividad (Kirchmayr *et al.*, 2014).

El mezcal producto del maguey sacatoro cuenta con denominación de origen; su proceso de producción específicamente en la cocción del maguey, molienda, fermentación y destilación lo agrupa en la categoría ‘mezcal artesanal’ lo cual le ha permitido características organolépticas muy particulares y por ende su demanda a nivel internacional ha incrementado. Conocer la diversidad morfológica será de utilidad para controlar la calidad y a su vez conservar el germoplasma y en general contribuir en la ordenación del género *Agave*, por la importancia económica que tiene esta especie en la elaboración de mezcal.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en las regiones norte y centro del estado de Guerrero; específicamente, en cuatro municipios: 1) Huitzuko de los Figueroa; 2) Atenango del Río; 3) Chilapa de Álvarez; y 4) Ahuacuotzingo; en los cuales se estudiaron ocho localidades: 1) Atetetla; 2) Paso Morelos; 3) Coacán; 4) Los Amates; 5) Ayahualco; 6) Santa Cruz; y 7) Motuapa y Trapiche viejo (Figura 1).

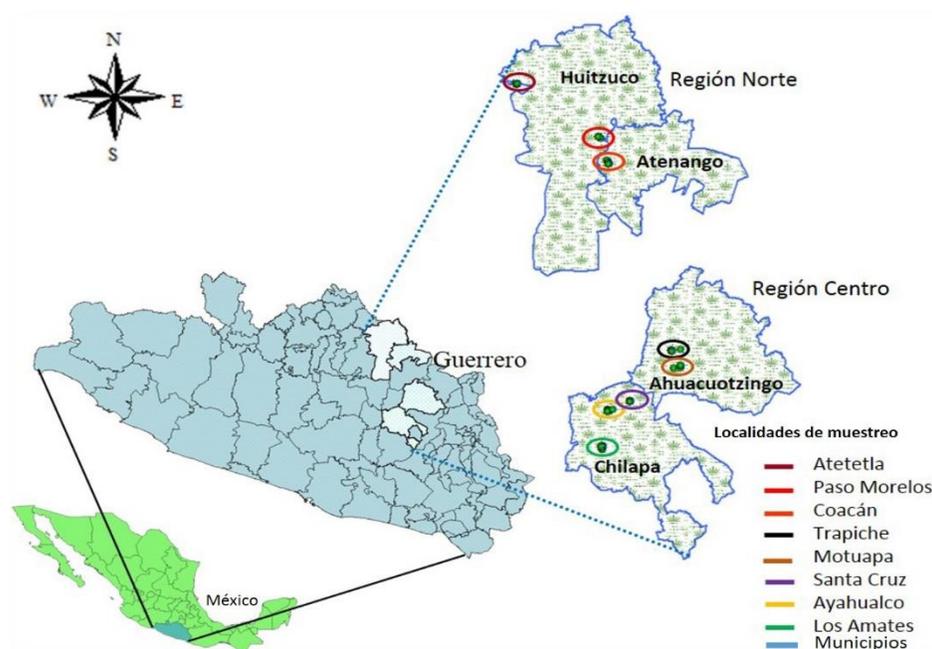


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio, municipios de Huitzuko de los Figueroa, Atenango del Río, Ahuacuotzingo y Chilapa de Álvarez, Guerrero, México.

La selección de las localidades se realizó en función de la existencia de poblaciones de maguey, en su forma silvestre (localidad Los Amates) o cultivada (todas las demás), son localidades productoras de mezcal. Se georreferenciaron respecto a su latitud, longitud y altitud de cada sitio de muestreo, se realizó con un sistema de posicionamiento global (GPS), marca Garmin, modelo eTrex 30. La altitud osciló entre 800 a 1 500 m (Cuadro 1).

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

Agave	Localidad	Clave de especímenes	Municipio	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (m)
<i>A. angustifolia</i> (maguey sacatoro)	Atetetla	HAT	Huitzucó	18°19'43.4''	99°23'57.7''	892
<i>A. angustifolia</i> (maguey sacatoro)	Paso Morelos	HPM	Huitzucó	18°12'50.5''	99°12'26.6''	1 107
<i>A. angustifolia</i> (maguey sacatoro)	Coacán	ARC	Atenango	18°09'44.2''	99°11'24.2''	1 029
<i>A. angustifolia</i> (maguey sacatoro)	Los Amates	CLA	Chilapa	17°32'25.3''	99°11'54.6''	1 476
<i>A. angustifolia</i> (maguey sacatoro)	Motuapa	AMO	Ahuacuotzingo	17°44'57.5''	99°02'15.1''	1 308
<i>A. angustifolia</i> (maguey sacatoro)	Trapiche	ATV	Ahuacuotzingo	17°42'42''	99°00'56.7''	1 295
<i>A. angustifolia</i> Haw (maguey espadín)	Sta. Cruz	CSC	Chilapa	17°37'15.7''	99°11'11''	1 474
<i>A. cupreata</i> Trell & Berger (maguey papalote)	Ayahualco	CAY	Chilapa	17°37'2.6''	99°11'7.4''	1 534

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

- Hábito de crecimiento de la planta: 1) acaulescente, 2) caulescente
- Altura de la planta: 3) baja, 5) media, 7) alta
- Diámetro de la roseta: 3) pequeño, 5) medio, 7) grande
- Número de hojas de la planta: 3) bajo, 5) medio, 7) alto
- Número de hojas por filotaxia: 3) bajo, 5) medio, 7) alto
- Visibilidad del tallo: 1) ausente, 2) presente
- Longitud de la hoja: 3) corta, 5) media, 7) larga
- Anchura de la hoja: 3) estrecha, 5) media, 7) ancha
- Relación entre longitud y anchura de la hoja: 3) pequeña, 5) media, 7) grande
- Forma de la hoja: 1) lineal, 2) espatulada, 3) deltoide, 4) lanceolada, 5) oblonga, 6) ovada
- Forma del corte transversal de la hoja: 1) plano, 2) en forma de V, 3) en forma de U, 4) cóncavo, 5) quillado, 6) obdeltado, 7) oblato, 8) hemioblato, 9) circular

- Curvatura de la hoja: 1) ausente, 2) recurvado, 3) incurvado, 4) ondulado
- Borde de la hoja: 1) liso, 2) ondulado, 3) dentado, 4) crenado
- Textura de la hoja: 1) lisa, 2) rugosa
- Glauescencia de la hoja: 1) ausente, 2) presente
- Color de la hoja: 1) verde, 2) verde amarillo, 3) azul
- Intensidad del color de la hoja: 1) débil, 5) medio, 7) fuerte
- Color secundario de la hoja: 1) ausente, 9) presente
- Tonalidad del segundo color de la hoja: 1) amarillo, 2) blanco
- Distribución del segundo color: 1) marginal, 2) central, 3) reticulado
- Espinas laterales de la hoja: 1) presente, 9) ausente
- Forma de las espinas laterales: 1) recta, 2) curva, 3) ganchuda, 4) filifera
- Perfil de la espina lateral: 1) monofurcada, 2) bifurcada, 3) trifurcada, 4) polifurcada
- Color de las espinas laterales: 1) blanco, 2) marrón, 3) rojizo, 4) negro
- Uniformidad en el tamaño de las espinas: 1) homogénea, 9) heterogénea
- Número de espinas laterales de la hoja: 3) pocas, 5) medias, 7) muchas
- Distancia entre las espinas laterales de la hoja: 3) corta, 5) media, 7) larga
- Estrías en las espinas laterales de la hoja: 1) ausente, 9) presente
- Forma de la espina terminal de la hoja: 1) recta, 2) curvada, 3) filiforme, 4) polifurcada
- Longitud de la espina terminal: 3) corta, 5) media, 7) larga
- Prolificidad de hijuelos: 1) ausente, 2) baja, 3) media, 4) alta
- Ciclo a inicio de floración de la planta: 3) precoz, 5) intermedio, 7) tardío

De los 57 especímenes determinados se obtuvieron 1 824 datos, con los cuales se realizó una homogeneización de las 32 variables evaluadas con base en la guía técnica (SNICS, 2014). Los datos se sometieron a análisis de correlación de Pearson con nivel de significancia de $p= 0.05$, como medida para identificar la relación o asociación entre variables seleccionadas de manera aleatoria. De acuerdo con Castañón-Nájera *et al.* (2008), se eliminaron las variables que aportan poco o nada a la explicación del plano bidimensional.

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

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

Resultados y discusión

La especie *A. angustifolia* crece en varios tipos de vegetación, desde dunas costeras hasta bosques de pino encino, con variación fenotípica en función del ambiente que ocupa, dando como resultado que la taxonomía intraespecífica de *A. angustifolia* sea complicada (García-Mendoza y Chiang, 2003). Sin embargo, el maguey sacatoro aunque pertenece al complejo *A. angustifolia*, la población tiene características fenotípicas que la diferencia de *A. angustifolia* Haw. Para caracterizar morfológicamente el *A. angustifolia*, se evaluaron 57 especímenes de agave, de los cuales 47 fueron de *A. angustifolia* sacatoro, 10 de *A. angustifolia* espadín y 10 de *A. cupreata* papalote, de las cuales se observaron variaciones importantes entre especímenes y entre poblaciones (Cuadro 2).

Análisis de componentes principales (ACP)

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

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

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Altura de la planta	-0.135	-0.103	0.471	-0.156	0.007	0.001
Diámetro de la roseta	-0.079	-0.08	0.485	-0.358	0.061	0.072
Número de hojas	-0.091	0.278	0.238	-0.198	-0.243	-0.091
Longitud de la hoja	-0.169	-0.145	0.445	0.171	-0.305	-0.043
Relación longitud y anchura de la hoja	-0.13	0.085	0.236	0.694	-0.001	-0.054
Forma de la hoja	0.324	-0.113	0.007	-0.06	-0.222	0.157
Forma del corte transversal de la hoja	0.079	-0.201	-0.015	0.032	0.396	0.269
Borde de la hoja	0.394	-0.055	0.119	0.05	-0.001	-0.009
Textura de la hoja	0.225	-0.376	-0.052	-0.065	-0.071	-0.104
Glauescencia de la hoja	0.111	0.417	0.185	0.132	0.088	0.122
Color de la hoja	0.381	-0.044	0.077	0.045	0.03	-0.014
Intensidad del color de la hoja	-0.036	-0.186	0.125	0.029	0.123	0.786
Forma de espinas laterales	0	0.25	0.081	-0.309	0.56	-0.187
Color de espinas laterales	0.193	0.277	0.021	-0.315	-0.195	0.131
Uniformidad en el tamaño de espinas	0.111	0.417	0.185	0.132	0.088	0.122
Número de espinas laterales	-0.183	-0.311	0.133	-0.168	-0.102	-0.16
Distancia entre espinas laterales	0.297	-0.051	0.182	0.027	0.024	-0.042
Estrías en espinas laterales	0.361	-0.008	0.126	0.046	-0.034	-0.272
Forma de la espina terminal	-0.023	0.232	-0.195	-0.141	-0.483	0.268
Longitud de la espina terminal	0.379	-0.051	0.115	0.052	-0.065	0.019
Autovalor	5.976	4.385	1.929	1.355	1.175	0.975
Variabilidad (%)	29.882	21.925	9.647	6.774	5.874	4.874
Variabilidad acumulativa (%)	29.882	51.807	61.454	68.228	74.101	78.975

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

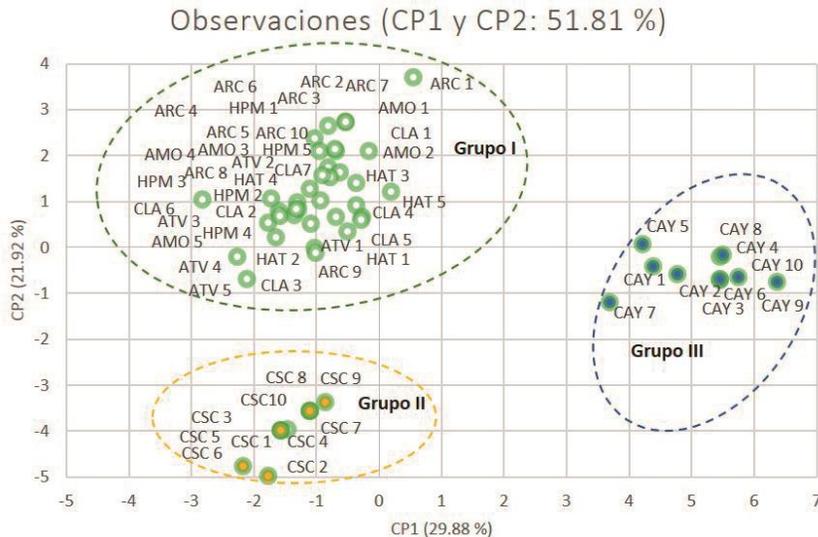


Figura 2. Plano bidimensional de los CP1 y CP2. Grupo I (maguey sacatoro). Atetetla (HAT); Paso Morelos (HPM); Coacán (ARC); Los Amates (CLA); Motuapa (AMO) y Trapiche Viejo (ATV). Grupo II (maguey espadín). Santa Cruz (SCS). Grupo III (maguey papalote). Ayahualco (CAY).

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

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

Mora-López *et al.* (2011), tomaron en cuenta variables cuantitativas, como altura y diámetro de la roseta, longitud de la hoja, número, longitud, y distancia entre las espinas laterales, las cuales les permitieron separar poblaciones del género *Agave*. Rivera-Lugo *et al.* (2018) en su investigación sobre la variación morfológica y genética del complejo *A. angustifolia*, mostró rasgos útiles para la identificación taxonómica de esta especie y, muestra con una dispersión fenotípica que los

taxones se agrupan claramente según el nivel de cultivo y manejo que se le da a la planta. Sin embargo, las variables cualitativas, aunque están poco influenciadas por las condiciones ambientales también son determinantes (Franco e Hidalgo, 2003).

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

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

De la misma manera, el maguey sacatoro, colectado en la localidad Los Amates en su forma silvestre, presenta roseta pequeña (80 cm de altura) y espinas laterales pequeñas y numerosas (más de 150 espinas laterales) en comparación con los ejemplares evaluados en las localidades Atetetla, Paso Morelos y Motuapa con un manejo incipiente, que presentan una altura de planta mayor de dos metros, espinas laterales grandes y en menor cantidad (de 60 a 80 espinas laterales en la hoja).

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

Análisis de agrupamiento jerárquico aglomerativo (AJA)

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

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

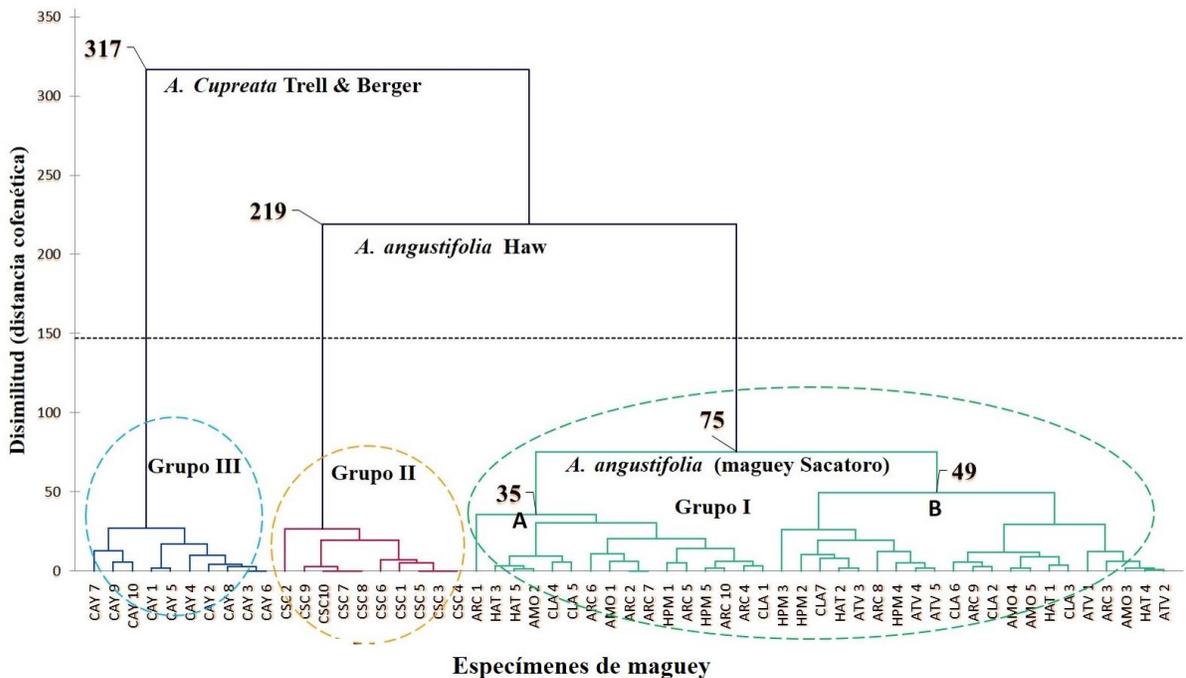


Figura 3. Dendrograma de especímenes de maguey en tres grupos: *A. angustifolia* Haw (maguey espadín), *A. angustifolia* (maguey sacatoro) y *A. cupreata* (maguey papalote).

Los especímenes de *A. angustifolia* sacatoro, aunque se ubiquen en un subgrupo separado, también son parte del grupo II que conforma el *A. angustifolia* ‘espadín’. Dicha subagrupación se debe al tipo de manejo de la planta. Los agaves evaluados en campo y algunas de sus características con las cuales se realizó el análisis ACP y el análisis AJA se observan en las (Figura 4 y 5).

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

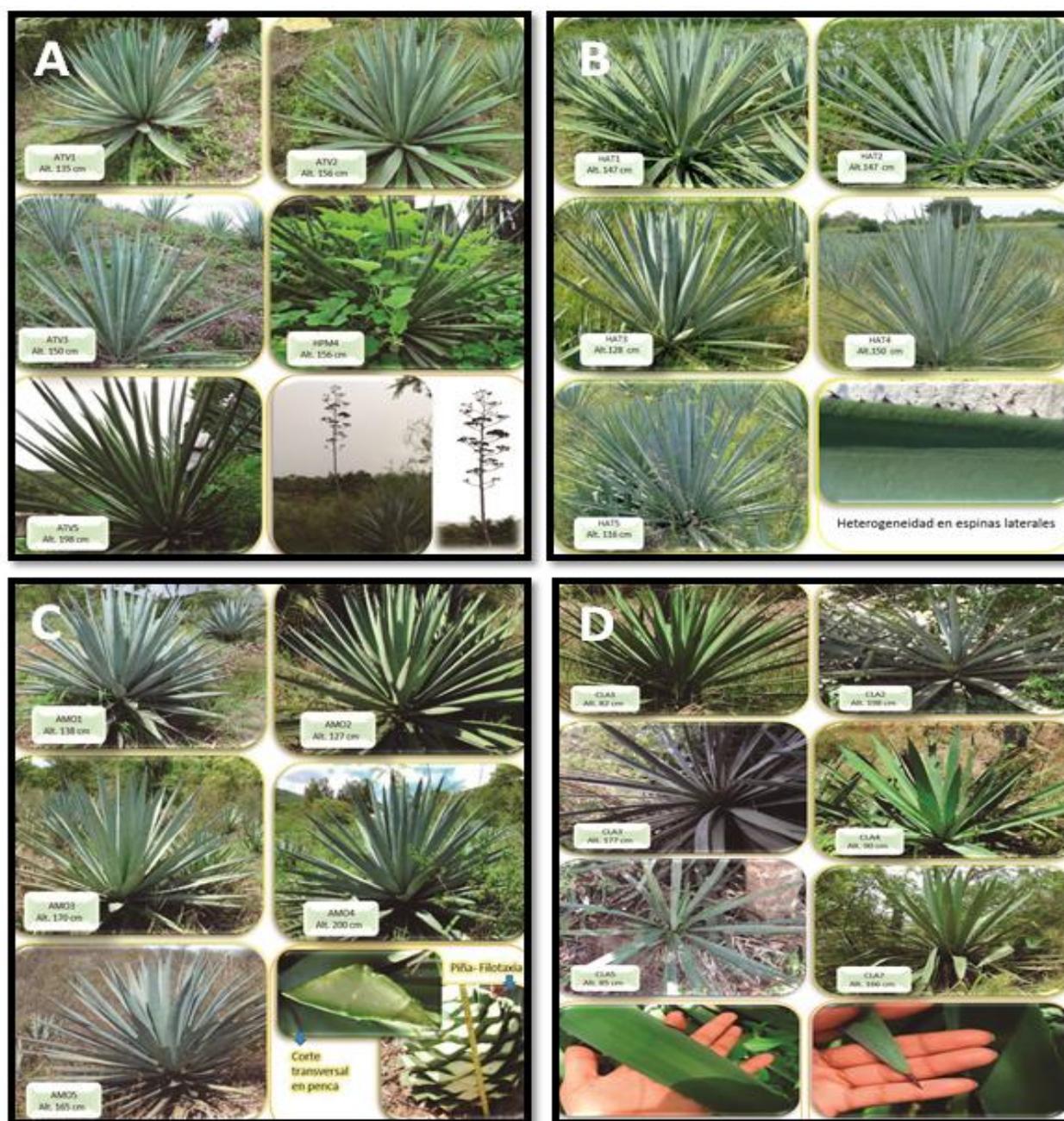


Figura 4. Taxón *A. angustifolia* 'sacatoro' y localidades muestreadas: A) Trapiche Viejo; B) Atetetla; C) Motuapa; y D) Los Amates.

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



Figura 5. Taxones y localidades muestreadas. A) *A. angustifolia* ‘sacator’, localidad Paso Morelos; B) *A. angustifolia* ‘papalote’, localidad Ayahualco; C) *A. angustifolia* ‘sacator’, localidad Coacán; y D) *A. angustifolia* ‘espadín’, localidad Santa Cruz.

Conclusiones

Los análisis morfológicos realizados mostraron diferencias entre variables y taxones estudiados. Los caracteres de intensidad de color de la hoja, forma de espinas laterales, relación entre longitud y anchura de la hoja, diámetro de la roseta, altura de la planta, longitud de la hoja, uniformidad en

el tamaño de las espinas, longitud de la espina terminal, color de la hoja, forma de la hoja, distancia entre espinas laterales, número de hojas y número de espinas laterales, en conjunto son los más importantes en la delimitación morfológica de los taxones.

Los taxones *Agave angustifolia* ‘sacatoro’ y *Agave angustifolia* ‘espadín’, son finalmente la misma especie. Aunque ambas se puedan distinguir morfológicamente, los resultados confirman una estrecha relación entre ellos. Por ende, las diferencias morfológicas pudieran atribuirse a la selección y propagación vegetativa del germoplasma con características deseables debido al excesivo uso como materia prima para la producción de mezcal, uso principal en el área de estudio.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento 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 Huitzuc, Gro. Balsas. A los productores “maestros mezcaleros” del área de estudio y demás participantes que contribuyeron en este proceso.

Literatura citada

- Avendaño, A. C. H.; Iracheta, D. L.; Gódinez, A. J. C.; López, G. P. y Barrios, A. A. 2015. Caracterización morfológica de *Agave cupreata*, especie endémica de México. *Phyton*. Buenos Aires. 84(1):148-162.
- Castañón, N. G. L. M.; Latournerie, M.; Mendoza, E. A. Vargas, L. y Cárdenas, M. H. 2008. Colección y caracterización de chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Phyton* (Botánica Experimental). 77(1):189-202.
- Castro-Castro, A. Rodríguez, A.; Vargas-Amado, G. y Ramírez-Delgadillo, R. 2010. Variación morfológica del género *Prochnyanthes* (Agavaceae). *Acta Bot. Mex.* 92(1):29-49.
- Colunga-García, M. P.; Estrada-Loera, E. y May-Pat, F. 1996. Patterns of morphological variation diversity and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatán, Mexico. *Am. J. Bot.* 83(8):1069-1082.
- CONABIO. 2006. Mezcales y diversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *In*: Colunga-García, S. A. M. P.; Larqué, E. L.; Eguiarte, D. y Zizumbo-Villareal. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros Agaves (anexo: xxxviii). Mérida, Yucatán, México: IEPSA. 402 p.
- Crossa, J.; DeLacy, I. H. and Taba, S. 1995. The use of multivariate methods in developing a core collection. *Core Collections of plant genetic resources*. John Wiley and sons, New York. 77-89 pp.
- Esparza-Ibarra, E. L.; Violante-González, S. J.; Monks, J. C.; Iñiguez, C.; Araujo-Andrade y Rossel-Kipping, E. D. 2015. Los agaves mezcaleros del Altiplano Potosino y Zacatecano. *Estudios en Biodiversidad*. University of Nebraska-Lincoln. 227-245 pp.
- Fahmy, T. 1993. XLSTAT-Software, Version 10. Addinsoft, Paris, France.
- Figueredo, C. J.; Casas, A. P.; Colunga-García M.; Nassar, J. M. y González-Rodríguez, A. 2014. Morphological variation, management and domestication of ‘maguey alto’ (*Agave inaequidens*) and ‘maguey manso’ (*A. hookeri*) in Michoacán, Mexico. *J. Ethnobiol. Ethnomedicine*. 10(1):1-12. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-66>.

- Franco, F. L. y Hidalgo, R. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. Boletín técnico núm. 8. 89 p.
- Gallegos-Vázquez, C. R. D.; Valdez-Cepeda, M.; Barrón-Macías, A. F.; Barrientos-Priego, A. A. J. y Nieto-Ángel, R. 2006. Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso como hortaliza del Banco de Germoplasma del CRUCEN-UACH. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 12(1):41-49.
- García-Herrera, E. J.; Méndez-Gallegos, S. D. J. y Talavera-Magaña, D. 2010. El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. Revista Salud Pública y Nutrición, Edición especial. 5(1):109-129.
- García-Mendoza, A. 2002. Distribution of *Agave* (Agavaceae) in México. Cact. Succ. J. USA. 74(4):177-187.
- García-Mendoza, A. 2007. Los Agaves de México. Revista Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 87(1):14-23.
- García-Mendoza, A. and Chiang, F. 2003. The confusion of *Agave vivipara* L. and *Agave angustifolia* Haw, two distinct taxa. Brittonia. 55(1):82-87.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona. 670 p.
- Jacinto, L. A. 2013. Aspectos de la fenología, visitantes florales y polinización de *Agave inaequidens* Koch spp. *inaequidens* (Agavaceae) en el estado de Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 100 p.
- Keiser, H. F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. Educational and Psychological Measurement. 20(1):141-151.
- Kirchmayr, R. M.; Arellano, P. M.; Estarrón, E. M.; Gallardo, V. J.; Gschaedler, M. A. Ch.; López, R. J. E.; Navarro, H. A.; Prado, R. R. y Ramírez, R. E. 2014. Proceso de producción del mezcal. En: Manual para la estandarización de los procesos de producción de mezcal guerrerense. Fundación Produce Guerrero. 231 p.
- Mora-López, J. L.; Reyes-Agüero, J. A.; Flores-Flores, J. L.; Peña-Valdivia, C. B. y Aguirre-Rivera, J. R. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección Salmianae del género *Agave*. Agrociencia. 45(4):465-477.
- Narez-Jiménez, C. A.; De La Cruz-Lázaro, E.; Gómez-Vázquez, A.; Castañón-Nájera, G.; Cruz-Hernández, A. y Márquez-Quiroz, C. 2014. La diversidad morfológica *in situ* de chiles silvestres (*Capsicum* spp.) de Tabasco, México. Rev. Fitotec. Mex. 37(3):209-215.
- Rivera-Lugo, M.; García-Mendoza, A.; Simpson, J.; Solano, E. y Gil-Vega, K. 2018. Taxonomic implications of the morphological and genetic variation of cultivated and domesticated populations of the *Agave angustifolia* complex (Agavoideae, Asparagaceae) in Oaxaca, Mexico. Plant Systematics and Evolution. 1-11 pp.
- Rodríguez-Garay, B.; Lomelí-Sención, J. A.; Tapia-Campos, E.; Gutiérrez-Mora, A.; García-Galindo, J.; Rodríguez-Domínguez, J. M.; López-Urbina D. y Vicente-Ramírez, I. 2009. Morphological and molecular diversity of *Agave tequilana* Weber var. Cultivos y Productos industriales. 29(1):220-228.
- SNICS. 2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Guía Técnica TG/Agave UPOV. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/snics/>.

Vázquez-García, J. A.; Cházaro, B. M. de J.; Hernández, V. G.; Vargas-Rodríguez Y. L. y Zamora, T. Ma. del P. 2007. Taxonomía del género *Agave* en el Occidente de México: una panorámica preliminar. *In*: Vázquez-García, M. J.; Cházaro, G.; Hernández, V. E.; Flores, and Vargas-Rodríguez Y. L. (Ed.) Los Agaves del Occidente de México. (Ed.). by J. A. Universidad de Guadalajara CUCBA-CUCSH, México. 38-82 pp.