

Caracterización morfométrica de agaves mezcaleros de la región norte de Guerrero

Venus Yadiralep Arroyo-Antúnez¹

Jorge Huerta-Zavala²

Héctor Ramón Segura-Pacheco¹

Elías Hernández-Castro²

Paul García-Escamilla¹

Flaviano Godínez-Jaimes^{3,5}

1 Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local-Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Campus Tuxpan-Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, Iguala, Guerrero. CP. 40040.

2 Doctorado en Sostenibilidad de los Recursos Agropecuarios- Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Campus Tuxpan-Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, Iguala, Guerrero. CP. 40040.

3 Maestría en Matemáticas Aplicadas-Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Lázaro Cárdenas S/N, Ciudad Universitaria Sur, Chilpancingo, Guerrero. CP. 39087.

Autor para correspondencia: fgodinezj@uagro.mx

Resumen

El conocimiento actual de los campesinos en la región norte de Guerrero sobre la identificación de especies y variedades de agave usadas en la producción de mezcal es limitado. Al desconocer el nombre científico de estas especies, se les impide acceder a información sobre formas de reproducción, manejo y subproductos, así como a los procesos de certificación de las plantaciones de agave para la producción de mezcal. El objetivo de esta investigación fue caracterizar la morfometría de agaves mezcaleros e identificar caracteres que puedan ser empleados para su identificación. La investigación se realizó de 2016 a 2023, recolectando 230 ejemplares de agave en 31 localidades de la región norte de Guerrero. Se midieron 23 caracteres morfométricos, los cuales se ingresaron a una base de datos en Microsoft Excel®. Se realizó el análisis de componentes principales y el análisis discriminante lineal en el software R versión 4.0.3. Los primeros cinco componentes principales explicaron el 79.59% de la variación. El análisis discriminante lineal requirió dos funciones discriminantes para explicar el 89% de la variación. Los caracteres que más contribuyeron en el análisis de componentes principales fueron uniformidad de dientes, margen de la hoja y longitud de los dientes a la mitad de la hoja. En el análisis discriminante lineal, los caracteres que más contribuyeron fueron ancho mayor de la hoja, longitud de la hoja y ancho de la base de la hoja. La identificación de estas especies y variedades facilitará a los campesinos la certificación de sus parcelas de agave y dar valor agregado al mezcal.

Palabras clave:

agave, análisis de componentes principales, análisis discriminante lineal, morfometría.

Introducción

El género *Agave* pertenece a la familia *Asparagaceae* la cual es endémica de América (Chavez-Parga *et al.*, 2016). Los países con mayor registro de taxones de *Agave* son México, Estados Unidos de América, Cuba y Guatemala. México es el centro de mayor riqueza y diversidad de estas plantas, donde se registran 159 especies, de las cuales 129 son endémicas (García-Mendoza *et al.*, 2019). Existe registro sobre la domesticación de los agaves por pobladores mesoamericanos desde hace aproximadamente diez mil años, quienes los utilizaban como alimento, construcción de vivienda, vestimenta, fibra, bebidas (como tequila o mezcal) y medicina (Álvarez-Duarte *et al.*, 2018).

En la actualidad, los agaves siguen siendo de gran importancia cultural y económica para los mexicanos, ya que se aprovechan casi todas sus estructuras morfológicas, tanto de especies silvestres como domesticadas (Delgado-Lemus *et al.*, 2014). Diversos autores sugieren la necesidad de efectuar estudios morfométricos, moleculares y genéticos con la finalidad de obtener una clasificación e identificación más apropiada para la delimitación de estos taxones (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019; Fragoso-Gadea *et al.*, 2021).

Sin embargo, un problema que se presenta al identificar especies de agave empleadas en la producción de mezcal es la definición de caracteres diagnóstico que permita su identificación, ya que algunos de ellos hacen referencia a caracteres florales, los cuales se pierden al realizar el corte del pedúnculo floral (quiote) durante las actividades de manejo y cosecha del agave, por lo cual hace falta definir caracteres vegetativos que puedan servir en la delimitación de especies y variedades de este género empleadas en la producción de mezcal (Figueredo-Urbina *et al.*, 2017).

En la región norte de Guerrero, algunas especies de agave son utilizadas principalmente para la producción de mezcal, actividad que ha promovido una alta demanda en plantaciones y poblaciones silvestres (Delgado-Lemus *et al.*, 2014). Sin embargo, el conocimiento que poseen los campesinos para identificar las especies y variedades de agave empleadas para la producción de mezcal aún es limitado, utilizando nombres locales (maguey ancho o maguey delgado) los cuales pueden cambiar según el lugar o región donde se empleen, por lo que al no conocer el nombre científico de estas especies, limita su acceso a la información disponible sobre formas de reproducción, manejo y subproductos elaborados de estas especies y variedades, así como a los procesos de certificación de las plantaciones de agave y de la producción mezcal.

Los estudios morfométricos se utilizan para identificar patrones de variación en poblaciones de plantas y para distinguir taxones dentro de grupos de plantas (Gonzalo *et al.*, 2012). Los análisis multivariados han sido usados para analizar la variabilidad morfológica y contribuyen a resolver problemas taxonómicos en algunos complejos y especies de la familia *Asparagaceae* (Gutiérrez *et al.*, 2017). Los análisis de agrupación y ordenación como son el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis discriminante lineal (ADL), han permitido diferenciar, separar e identificar taxones silvestres y domesticados de importancia económica (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021; Barrientos-Rivera *et al.*, 2019; Arzaba-Villalba *et al.*, 2023).

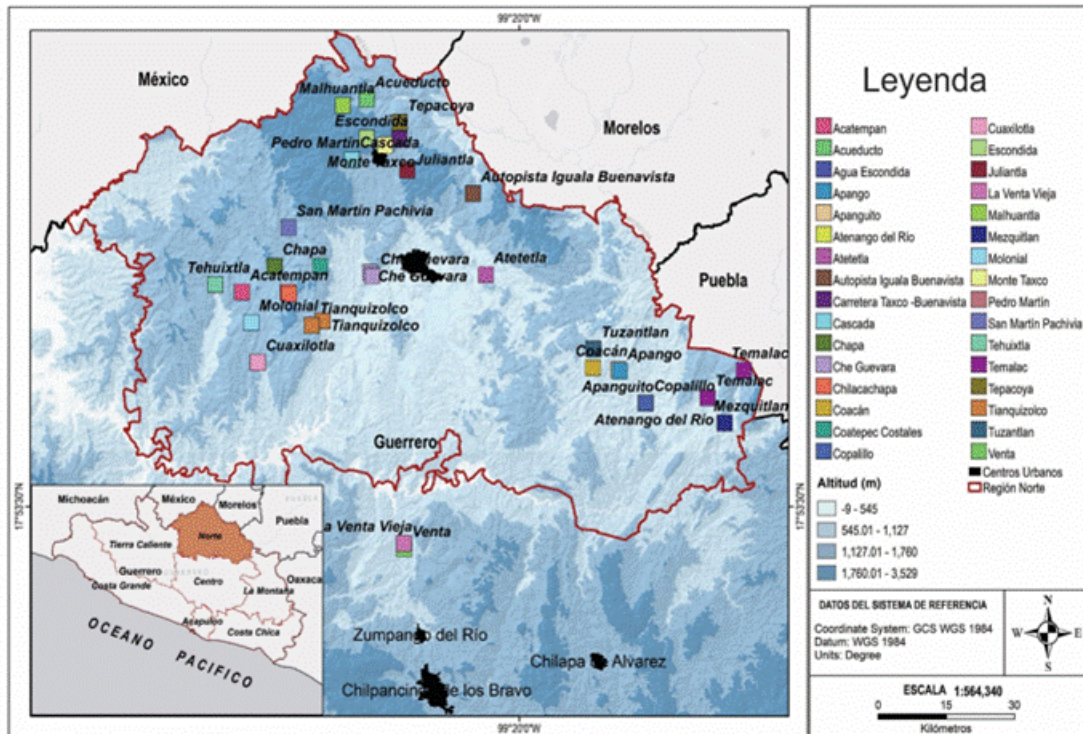
Bajo este contexto, los objetivos de este estudio fueron caracterizar la morfometría de los agaves mezcaleros de la región norte de Guerrero mediante dos análisis multivariados para contribuir a su delimitación taxonómica e identificar caracteres morfométricos que puedan ser empleados por los productores de agave mezcal para la identificación de estas especies.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

La investigación se realizó en 31 localidades de la región norte de Guerrero (Figura 1). Se realizaron 45 salidas a campo de agosto 2016 a marzo 2023, donde se recolectaron 230 ejemplares de nueve taxones de *Agave*. La identificación de los ejemplares se realizó mediante las descripciones de Gentry (1982); García-Mendoza (2011).

Figura 1. Ubicación geográfica de las localidades de estudio.



Medición de datos morfométricos

Se seleccionaron 23 caracteres morfométricos (14 cuantitativos y nueve cualitativos) y uno taxonómico. En el análisis de componentes principales se usaron 23 caracteres (Cuadro 1) y en el análisis discriminante lineal se usaron 14 (Cuadro 2). Las especies y variedades recolectadas dependieron de las condiciones particulares que presentó cada ejemplar y sitio de muestreo. Los caracteres cuantitativos fueron medidos con el software image J versión 2023.

Cuadro 1. Cargas factoriales de los componentes principales.

Caracteres	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Altura de la roseta (ALRos)	0.065	0.392	0.039	0.026	0.049
Diámetro de la roseta (DmRos)	0.083	0.35	0.055	0.148	0.094
Número de hojas por planta (NHjs)	0.061	0.193	-0.335	-0.206	-0.605
Longitud de la hoja cm (LnHjs)	0.108	0.385	0.078	0.028	0.172
Ancho en la base de la hoja (AnBsHjs)	-0.211	0.276	0.149	-0.003	0.094
Ancho mayor de la hoja (AnMyrHjs)	-0.272	0.185	0.132	-0.051	0.011

Caracteres	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Distancia de la base a la parte más ancha de la hoja (DtBsAnchHj)	0.1	0.354	0.086	0.152	0.1
Número de dientes por un lado de la hoja (NDts)	0.115	0.311	-0.267	0.166	0.187
Longitud de los dientes a la mitad de la hoja (LnDts)	-0.297	-0.018	0.066	0.113	-0.073
Ancho de los dientes a la mitad de la hoja (AnDts)	-0.29	0.04	0.061	0.058	-0.136
Distancia entre dientes a la mitad de la hoja (DtEntrDts)	0.033	0.08	0.455	-0.437	-0.1
Largo de espina terminal (LrET)	-0.219	0.044	0.241	0.166	-0.219
Ancho de espina terminal (AnET)	-0.087	0.029	0.107	0.64	-0.409
Distancia de la espina terminal al diente más cercano (DtETDte)	0.004	0.167	0.461	-0.064	-0.157
Forma de la hoja (HFrm)	-0.257	-0.047	-0.154	0.132	-0.188
Margen de la hoja (HMrgn)	-0.306	0.052	0.078	0.009	0.199
Glauscencia (Glaus)	0.126	0.25	-0.069	-0.05	-0.265
Color de la hoja (HClr)	0.148	-0.211	0.408	-0.018	-0.077
Forma de dientes laterales (DLFrm)	-0.227	0.171	-0.141	-0.352	-0.113
Uniformidad de dientes (Dunfr)	-0.316	-0.065	0.044	0.023	0.072
Color de dientes laterales (DLClr)	-0.292	-0.034	-0.067	0.118	0.309
Forma de la espina terminal (ETFrm)	-0.288	0.14	-0.163	-0.19	0.011
Color de la espina terminal (ETClr)	-0.294	0.011	-0.086	-0.193	-0.019
Desviación estándar	3.031	2.211	1.373	1.134	1.025
Proporción de varianza	39.95%	21.26%	8.21%	5.6%	4.57%
Proporción acumulada	39.95%	61.21%	69.42%	75.02%	79.59%

CP= componente principal.

Cuadro 2. Coeficientes de los 14 caracteres en las tres funciones discriminantes.

Caracteres	DL1	DL2	DL3
Altura de la roseta	-0.14	0.47	-0.02
Diámetro de la roseta	-0.16	-0.07	-0.11

Caracteres	DL1	DL2	DL3
Número de hojas por planta	-0.26	0.29	-1.07
Longitud de la hoja	-1.16	0.3	-0.04
Ancho de la base de la hoja	0.86	1.02	0.64
Ancho mayor de la hoja	2.08	0.63	-0.16
Distancia de la base a la parte más ancha de la hoja	0.12	-0.15	-0.02
Número de dientes por un lado de la hoja	0.12	0.38	-0.27
Longitud de los dientes a la mitad de la hoja	0.66	-0.73	-0.42
Ancho de los dientes a la mitad de la hoja	0.31	-0.31	-0.42
Distancia entre dientes a la mitad de la hoja	-0.29	0.32	0.18
Largo de la espina terminal	0.61	-0.18	-0.01
Ancho de la espina terminal	-0.56	-0.13	-0.03
Distancia de la espina terminal al diente más cercano	0.11	0.08	0.46

DL= discriminante lineal.

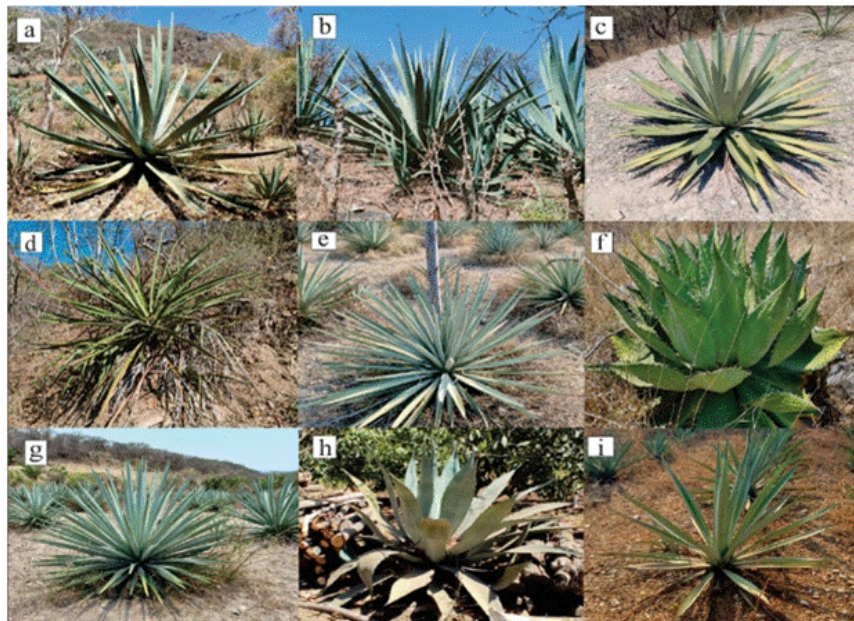
Los caracteres y sus datos se sistematizaron en una base de Microsoft Excel® con cada taxón identificado. Los dos análisis estadísticos utilizaron una matriz de correlaciones, se seleccionaron los caracteres más importantes y posteriormente se realizó el análisis de componentes principales (ACP) con la función princomp del paquete stats y el análisis discriminante lineal (ADL) con la función greedy.wilks del paquete klaR (Weihs *et al.*, 2005) con el software R versión 4.0.3 (R Core Team, 2020).

Resultados y discusión

En el presente estudio se identificaron 230 ejemplares correspondientes a nueve taxones: *Agave americana* L. var. *americana* (cuatro ejemplares), *A. americana* var. *oaxacensis* Gentry (nueve ejemplares), *A. angustifolia* Haw var. *angustifolia* Gentry (105 ejemplares), *A. angustifolia* Haw var. *rubecens* (Salm-Dyk) Gentry (41 ejemplares), *A. angustifolia* Haw 'Espadín' (11 ejemplares), *A. cupreata* Trel & Berger (24 ejemplares), *A. rhodacantha* Trel (26 ejemplares), *A. salmiana* Otto ex Salm (dos ejemplares) y *A. tequilana* FAC. Weber (ocho ejemplares) (Figura 2).



Figura 2. Ejemplares de agave recolectados en las localidades de estudio: a) *A. americana* var *americana* (San Martín Pachivia); b) *A. americana* var *oaxacensis* (Coatepec Costales); c) *A. angustifolia* var. *angustifolia* (Coacán); d) *A. angustifolia* var *rubecens* (Coacán); e) *A. angustifolia* ‘Espadín’ (Coacán); f) *A. cupreata* (San Martín Pachivia); g) *A. rhodacantha* (Coacán); h) *A. salmiana* (San Martín Pachivia); i) *A. tequilana* (San Martín Pachivia).



Con lo cual se amplía el número de especies y variedades conocidas para Guerrero, ya que Huerta-Zavala (2018) mencionó solo seis especies que pertenecen al complejo *angustifolia*, mientras que Barrientos-Rivera *et al.* (2019) señalaron la utilización de *A. cupreata*, *A. angustifolia* ‘Espadín’, *A. angustifolia* ‘Zacatoro’ en ocho localidades de las regiones Centro y Norte de Guerrero.

Análisis de componentes principales

Los primeros cinco CP explicaron el 79.59% de la variación observada presente en los 230 ejemplares de agave analizados (Cuadro 1), otros estudios morfométricos en agave han necesitado de dos a seis CP para explicar más del 46% al 83% variación, utilizando entre 57 a 174 ejemplares (Mora-López *et al.*, 2011; Huerta-Zavala 2018; Barrientos-Rivera *et al.*, 2019; Vázquez-Pérez *et al.*, 2020; Figueredo-Urbina *et al.*, 2021; Arzaba-Villalba *et al.*, 2023).

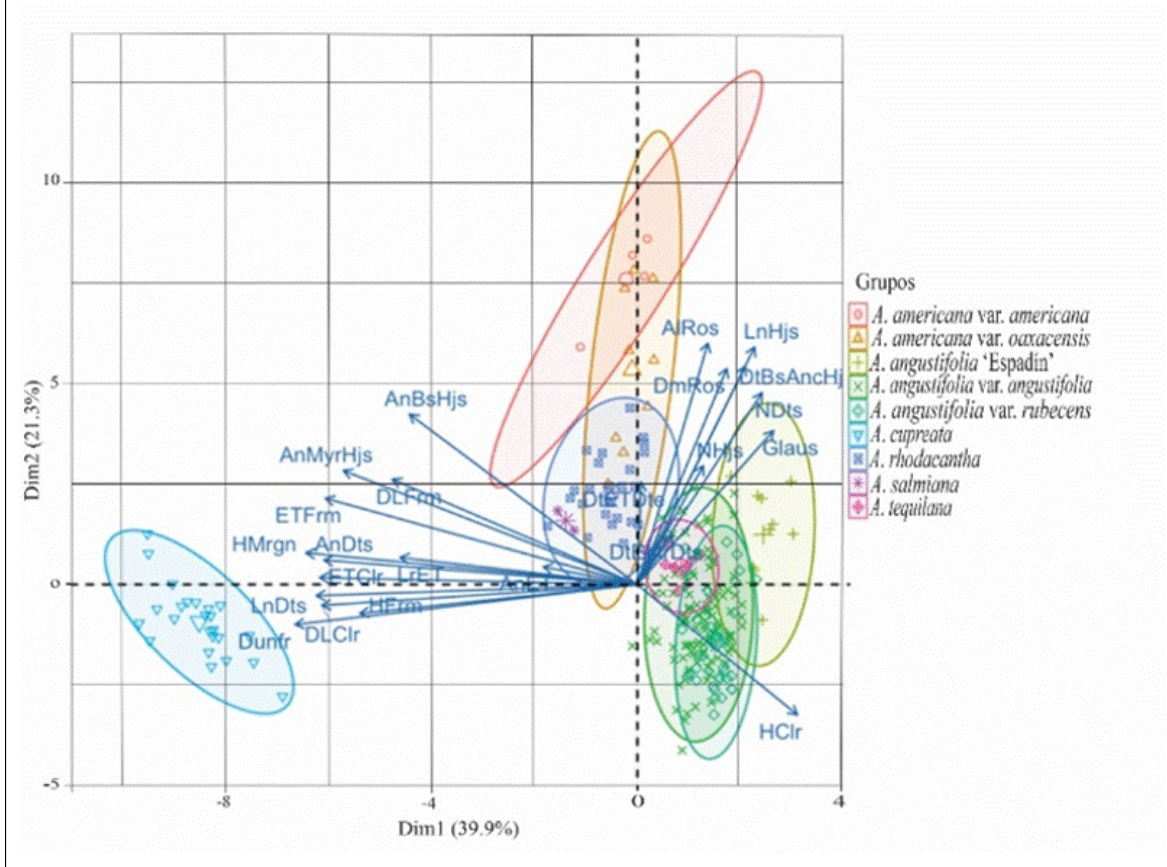
El primer componente aportó el 39.95% de la varianza total de los datos, los caracteres que aportaron una mayor contribución (en orden de su magnitud) son uniformidad de dientes, margen de la hoja, longitud de los dientes a la mitad de la hoja, color de la espina terminal, color de dientes laterales, ancho de los dientes a la mitad de la hoja, forma de la espina terminal, ancho mayor de la hoja, forma de la hoja, forma de dientes laterales, largo de espina terminal y ancho de la base de la hoja. Todos los caracteres anteriores tienen una correlación negativa con el CP1.

El segundo componente explicó el 21.26% de la varianza total, los caracteres que tuvieron una mayor contribución (en orden de su magnitud) son altura de la roseta, longitud de la hoja, distancia de la base a la parte más ancha de la hoja, diámetro de la roseta, número de dientes por un lado de la hoja, ancho de la base de la hoja, glaucencia y color de la hoja. Estos mismos caracteres han sido utilizados por otros autores para separar taxones de *Agave* (Mora-López *et al.*, 2011; Huerta-Zavala, 2018; Barrientos-Rivera *et al.*, 2019; Vázquez-Pérez *et al.*, 2020; Figueredo-Urbina *et al.*, 2021).

Es importante mencionar que solo se presentan los resultados gráficos de los CP 1 y 2, debido a que no es posible la representación gráfica simultánea de los 5 CP. Tomando en cuenta

los primeros dos componentes principales, que acumulan el 61.21% de toda la varianza, se observa la dispersión y las tendencias morfométricas de los taxones examinados en el sistema de coordenadas definido por los dos primeros CP (Figura 3). En la parte inferior izquierda se observó que los ejemplares de *A. cupreata* forman un grupo con una separación clara de los demás taxones, caracteres como uniformidad de dientes y margen de la hoja aportaron más información en la separación de estos ejemplares sobre los demás grupos.

Figura 3. Contribución de los caracteres estudiadas a los dos primeros CP y tendencias morfométricas de los taxones.



En el extremo opuesto de la gráfica se observaron los dos ejemplares de *A. salmiana*, que al tener pocos ejemplares no conformaron un grupo. Sin embargo, se observó un traslape con los ejemplares de *A. americana* var. *oaxacensis* y *A. rhodacantha*, ya que comparten medidas muy similares en la altura de la roseta y en el ancho de la base de la hoja, diferenciándose *A. rhodacantha* de estos taxones por presentar más de 100 hojas por ejemplar (Huerta-Zavala 2018).

En la parte superior derecha (Figura 3) se observan los ejemplares de *A. americana* var. *americana* teniendo un traslape con los ejemplares de *A. americana* var. *oaxacensis*, además de mostrar una separación del resto de los demás taxones, agrupándose los ejemplares de esta especie principalmente por mayores valores en la altura y diámetro de la roseta y en la longitud de las hojas.

Por otro lado, en la parte inferior y superior derecha se observaron diversos grupos (taxones) que corresponden al complejo *angustifolia* (Rivera-Lugo *et al.*, 2018), entre estos se encontraron los ejemplares de *angustifolia* var. *angustifolia* y *angustifolia* var. *rubescens* que se caracterizaron por tener hojas pequeñas y delgadas de tipo lanceolado en la var. *angustifolia* y en *A. tequilana* y linear en la var. *rubescens*, mientras que los ejemplares de *A. angustifolia* 'Espadín' tienden a agruparse en la parte superior derecha principalmente por la uniformidad en el número de dientes y glaucencia en la hoja (Figura 3).

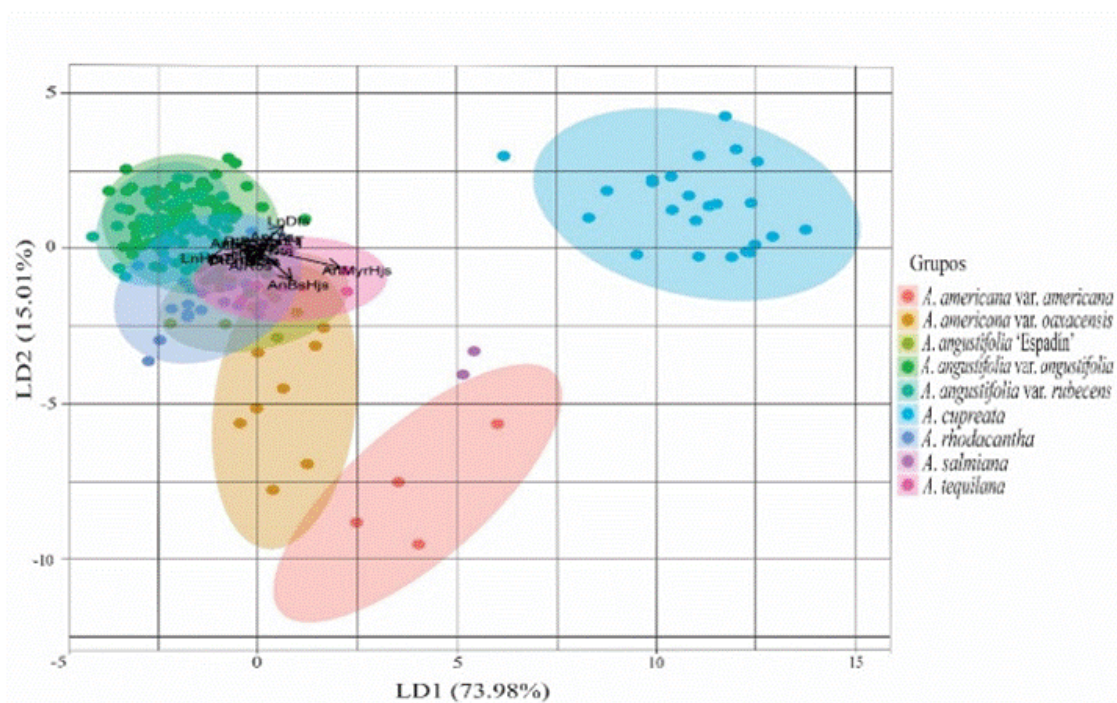
Análisis discriminante lineal

El análisis discriminante lineal con 14 caracteres predijo correctamente el taxón correspondiente en el 86.5% de los ejemplares. La primera función discriminante lineal explicó el 74% de la variación de los datos y la segunda función discriminante lineal explicó el 15% y conjuntamente explicaron el 89%.

En la primera función discriminante lineal los caracteres que más contribuyeron fueron ancho mayor de la hoja, longitud de la hoja, ancho de la base de la hoja y longitud de dientes a la mitad de la hoja. En la segunda función discriminante lineal los caracteres que más contribuyeron fueron ancho de la base de la hoja, longitud de los dientes a la mitad de la hoja, ancho mayor de la hoja y número de dientes por un lado de la hoja (Cuadro 2), estos caracteres también han sido utilizados por otros autores para discriminar grupos en taxones de *Agave* (Huerta-Zavala, 2018; Rivera-Lugo et al., 2018; Figueredo-Urbina et al., 2021).

En la parte superior derecha (Figura 4), se observan los ejemplares de *A. cupreata* diferenciándose de los demás taxones. En la parte central se observan los dos ejemplares de *A. salmiana* diferenciándose de los demás taxones sin constituir un grupo por el escaso número de ejemplares. En la parte inferior de la gráfica se ubican los ejemplares de *A. americana* var. *americana* separándose de los demás taxones, situación muy similar a *A. americana* var. *oaxacensis*, presentando un ligero traslape con los ejemplares de *A. tequilana*.

Figura 4. Distribución de los taxones respecto a las dos primeras funciones discriminantes lineales.



Finalmente, los ejemplares de *A. angustifolia* var. *angustifolia*, *A. angustifolia* var. *rubescens*, *A. tequilana*, *A. angustifolia* 'Espadín' y *A. rhodacantha*, muestran una sobreposición entre grupos, lo cual es entendible si se tiene en cuenta la plasticidad fenotípica que presentan las especies y variedades del complejo *Angustifolia* al cual pertenecen todos estos taxones (Figura 4).

El ADL permitió diferenciar claramente a los ejemplares de *A. cupreata*, así como las agrupaciones de los ejemplares *A. americana* var. *americana* y de *A. americana* var. *oaxacensis*, los cuales pertenecen a la misma especie, diferenciándose principalmente entre ellos por el número de hojas y el ancho mayor de la hoja, siendo estos dos caracteres menores en *A. americana* var. *oaxacensis*, lo cual es similar a lo informado por Gentry (1982); García-Mendoza (2011).

Por otra parte, los ejemplares silvestres de *A. angustifolia* var. *angustifolia* y *A. angustifolia* var. *rubescens* pertenecen a la misma especie, presentando similitudes con ejemplares procedentes de plantaciones de *A. tequilana*, *A. angustifolia* 'Espadín' los cuales son considerados integrantes de esta especie, pero ya bajo procesos de humanización, por lo que Gentry (1982) los trató como taxones diferentes. Rivera-Lugo *et al.* (2018) mencionaron la cercanía genética entre ejemplares de *A. tequilana* y *A. angustifolia* 'Espadín', refiriendo que este último taxón tiene una estrecha relación con *A. tequilana* y *A. rhodacantha* que también pertenece al grupo de especies que integran al complejo *angustifolia*, por lo que comparten muchas características similares con *A. angustifolia*.

Al comparar el ACP y el ADL realizados en la presente investigación, se observó que el ADL separa de mejor manera los ejemplares de los nueve taxones estudiados, con solo dos funciones discriminantes resultados similares a los mencionados por otros autores (Huerta-Zavala 2018; Rivera-Lugo *et al.*, 2018; Vázquez-Pérez *et al.*, 2020).

En 2019 Barrientos-Rivera *et al.* llevaron a cabo un estudio morfológico del 'maguey sacatoro' (*A. angustifolia*) en el estado de Guerrero, señalando que los taxones *A. angustifolia* 'sacatoro' y *A. angustifolia* 'espadín', están estrechamente relacionados debido a la selección y propagación vegetativa que se les ha dado para la elaboración de mezcal; además de que los taxones cultivados se diferencian de las poblaciones silvestres debido al proceso de domesticación que se les ha dado; información muy similar a lo informado por Rivera-Lugo *et al.* (2018) en su estudio sobre la variación morfológica y genética del complejo *A. angustifolia*, mencionando que la dispersión fenotípica de estos taxones está relacionada con la procedencia (silvestre o cultivada) y el manejo que se le da a la planta.

Con la presente investigación se amplió el área de distribución conocida en Guerrero de *A. rhodacantha* a seis localidades, ya que anteriormente Huerta-Zavala (2018) reportó su existencia en solo cuatro localidades. *Agave rhodacantha* solo se conocía de los estados de Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Durango y Oaxaca (Gentry 1982; Rivera-Lugo *et al.*, 2018). *A. angustifolia* var. *angustifolia*, es el taxón más frecuente en las parcelas de los productores, mientras que *A. salmiana* es el más escaso, con solo dos ejemplares recolectados.

Al igual que en otras investigaciones, *A. angustifolia* var. *rubescens* solo se encuentra en forma silvestre y solo se utiliza para la producción de mezcal cuando hay escases de agave en las localidades (Huerta-Zavala, 2018). Bajo este contexto, es importante que los productores manejen y conserven la diversidad de taxones de Agave empleados para la producción de mezcal, ya que dependiendo de la especie o variedad de agave puede tardar entre siete, diez o treinta y seis años o más para alcanzar la madurez de cosecha (Alducin-Martínez *et al.*, 2023).

Por otra parte, dado el incremento en la demanda de mezcal, a nivel regional se observa la introducción de especies procedentes de otras regiones del país como *A. angustifolia* 'Espadín' (espadín oaxaqueño) y *A. tequilana*, por lo que es importante analizar los impactos ambientales y económicos que pueda generar la introducción de estas especies.

Conclusiones

Se amplió el conocimiento a nueve especies y variedades de agave empleadas para la producción de mezcal en la región norte de Guerrero. Estas pueden ser diferenciadas a partir de los caracteres identificados por el ADL, los cuales son: ancho mayor de la hoja, longitud de la hoja, ancho de la base de la hoja y longitud de los dientes a la mitad de la hoja. Dicho análisis resultó ser más adecuado para su identificación.

La identificación de las especies y variedades de agave empleadas por los productores en la elaboración de mezcal les permitirá acceder a información sobre formas de propagación, manejo, mejoramiento de los rendimientos productivos y les facilitará los procesos de certificación de sus parcelas de agave.

Diferenciar y conocer el nombre científico de los agaves empleados para la producción de mezcal permitirá a los productores dar valor agregado a su producto, ya que el proveer en la etiqueta del producto embotellado más información a los consumidores puede ser un elemento que les brinde seguridad y confianza. Por lo cual es fundamental promover la diversidad de las especies nativas de agaves.

Bibliografía

- 1 Alducin-Martínez, C.; Ruiz-Mondragón, K. Y.; Jiménez-Barrón, O.; Aguirre-Planter, E.; Gasca-Pineda, J.; Eguiarte, L. E. and Medellín, R. A. 2023. Uses, knowledge and extinction risk faced by *Agave* species in Mexico. *Plants*. 12(1):1-37. 10.3390/plants12010124.
- 2 Álvarez-Duarte, M. C.; García-Moya, E.; Suarez-Espinosa, J.; Luna-Cavazos, M. y Rodríguez-Acosta, M. 2018. Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en municipios de Puebla y Tlaxcala. *Polibotánica*. 0(45):205-222. 10.18387/polibotanica.45.15.
- 3 Arzaba-Villalba, C. R.; Cházaro-Bazáñes, M.; Luna-Cavazos, M. y García-Moya, E. 2023. Análisis morfométrico de *Agave sensu stricto* (Asparagaceae: agavoideae) en Veracruz y áreas adyacentes de Puebla, México. *Polibotánica*. 56:39-59. 10.18387/polibotanica.56.3.
- 4 Barrientos-Rivera, G.; León-Esparza, I. E.; Segura-Pacheco, H. R.; Talavera-Mendoza, Ó.; Laura-Sampedro, R. M. y Hernández-Castro, E. 2019. Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 20(1):1-14. 10.29312/remexca.v10i3.1554.
- 5 Chavez-Parga, M. D. C.; Pérez-Hernández, E. y González-Hernández, J. C. 2016. Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 18(1):148-164. 10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552.
- 6 Delgado-Lemus, A., Torres-García, I., Blancas, J., y Casas, A. 2014. Vulnerability and risk management of *Agave* species in the Tehuacán Valley, México. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*. 10(1):1-15. 10.1186/1746-4269-10-53.
- 7 Figueredo-Urbina, C. J.; Casas, A. y Torres-García, I. 2017. Morphological and genetic divergence between *Agave inaequidens*, *A. cupreata* and the domesticated *A. hookeri*. analysis of their evolutionary relationships. *Plos One*. 12(11):1-24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187260>.
- 8 Figueredo-Urbina, C. J.; Álvarez-Ríos, G. D.; García-Montes, M. A. y Octavio-Aguilar, P. 2021. Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo State, Mexico. *Plos One*. 16(7):1-24. 10.1371/journal.pone.0254376.
- 9 Fragoso-Gadea, T.; Gutiérrez, A.; Coronado, M. L.; Terrazas, T.; Ramos-Clamon, G.; Vázquez-Moreno, L.; Álvarez-Bajo, O. y Esqueda, M. 2021. Poblaciones silvestres de *Agave angustifolia* (Asparagaceae) de Sonora, México: variación morfológica y contenido de azúcares. *Acta Botánica Mexicana*. 128: e1889, 1-16. <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1924>.
- 10 García-Mendoza, A. J. 2011. Agavaceae. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Medina-Lemos R. Ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Fascículo 88. México, DF. 95 p.

- 11 García-Mendoza, A. J.; Martínez, I. S. F., y Gutiérrez, D. S. 2019. Cuatro especies nuevas de agave (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta Botánica Mexicana*. 126(e1461):1-18. 10.21829/abm126.2019.1461.
- 12 Gentry, H. S. 1982. *Agaves of Continental North American*. The University of Arizona Press. Tucson. 670 p.
- 13 Gonzalo, R.; Aedo, C.; Nickrent, D. L. y García, M. A. 2012. A numerical taxonomic investigation of *Stipa* Sec. *Smirnovia* and Sect. *Subsmirnovia* (Poaceae). *Systematic Botany*. 37(3): 665-670. 10.2307/41515154.
- 14 Gutiérrez, J.; Terrazas, T. y Luna-Vega, I. 2017. Morphometric analysis of *Milla biflora* (Asparagaceae: brodiaeoideae), with an identification key for *Milla*. *Plant Ecology and Evolution*. 150(1):76-86. 10.5091/plecevo.2017.1276.
- 15 Huerta-Zavala, J. 2018. Variación morfológica y áreas potenciales de poblaciones del complejo *Agave angustifolia* en el estado de Guerrero. Tesis de Maestría en Ciencias agropecuarias y gestión local. Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala de la Independencia. 46-66 pp.
- 16 Mora-López, J. L.; Reyes-Agüero, J. A.; Flores-Flores, J. L.; Peña-Valdivia, C. B. y Aguirre-Rivera, J. R. I. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección *Salmianae* del género *Agave*. *Agrociencia*. 45(4):465-477.
- 17 R Core Team 2020. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- 18 Rivera Lugo, M.; García Mendoza, A. J.; Simpson, J.; Solano, E.; y Gil-Vega, K. 2018. Implicaciones taxonómicas de la variación morfológica y genética de poblaciones cultivadas y domesticadas del complejo *Agave angustifolia* (Agavoideae, Asparagaceae) en Oaxaca, México. *Plant Systematics and Evolution*. 304(8):969-979. 10.1007/s00606 018 1525 0.
- 19 Vázquez-Pérez, N.; Blancas, J.; Torres-García, I.; García-Mendoza, A.; Casas, A.; Moreno-Calles, A. I.; Maldonado-Almanza, B. y Rendón-Aguilar, B. 2020. Conocimiento y manejo tradicional de *Agave karwinskii* en el sur de México. *Botanical Sciences*. 98(2):328-347. 10.17129/botscl.2421.
- 20 Weihs, C.; Ligges, U.; Luebke, K. y Raabe, N. 2005. *Klar analyzing German business cycles*. Ed. Data analysis and decision support, Springer-Verlag, Berlin. 335-343 pp. 10.1007/3-540-28397-8-36.



Caracterización morfométrica de agaves mezcaleros de la región norte de Guerrero

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2025
Date accepted: 01 May 2025
Publication date: 25 June 2025
Publication date: May-Jun 2025
Volume: 16
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3729
DOI: 10.29312/remexca.v16i4.3729

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

agave
análisis de componentes principales
análisis discriminante lineal
morfometría

Counts

Figures: 4
Tables: 2
Equations: 0
References: 20
Pages: 0