



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

**CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE
POBLACIONES DEL COMPLEJO *Agave
angustifolia* (ASPARAGACEAE: AGAVOIDEAE)
EN LA REGIÓN NORTE DE GUERRERO,
MÉXICO**

**MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF
POPULATIONS OF THE *Agave angustifolia*
COMPLEX (ASPARAGACEAE: AGAVOIDEAE)
IN THE NORTHERN REGION OF GUERRERO,
MEXICO**

**Huerta Zavala, J., A.J. García Mendoza, E. Hernández Castro, H.R. Segura Pacheco,
A. Damián Nava, F. Godínez Jaimes**

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE POBLACIONES DEL COMPLEJO *Agave
angustifolia* (ASPARAGACEAE: AGAVOIDEAE) EN LA REGIÓN NORTE DE GUERRERO,
MÉXICO

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF POPULATIONS OF THE *Agave angustifolia*
COMPLEX (ASPARAGACEAE: AGAVOIDEAE) IN THE NORTHERN REGION OF
GUERRERO, MEXICO

Núm. 59: 117-139 México. Enero 2025

DOI: 10.18387/polibotanica.59.7

Instituto Politécnico Nacional



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0
Atribución-No Comercial ([CC BY-NC 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

Caracterización morfométrica de poblaciones del complejo *Agave angustifolia* (Asparagaceae: Agavoideae) en la región norte de Guerrero, México

Morphometric characterization of populations of the *Agave angustifolia* complex (Asparagaceae: Agavoideae) in the northern region of Guerrero, Mexico

Jorge Huerta Zavala, Abisai Josué García Mendoza, Elías Hernández Castro, Héctor Ramón Segura Pacheco, Agustín Damián Nava y Flaviano Godínez Jaimes

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE POBLACIONES DEL COMPLEJO *Agave angustifolia* (ASPARAGACEAE: AGAVOIDEAE) EN LA REGIÓN NORTE DE GUERRERO, MÉXICO

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF POPULATIONS OF THE *Agave angustifolia* COMPLEX (ASPARAGACEAE: AGAVOIDEAE) IN THE NORTHERN REGION OF GUERRERO, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 59: 117-139. Enero 2025

DOI:
10.18387/polibotanica.59.7

Jorge Huerta-Zavala <https://orcid.org/0000-0001-9382-8701>

Tesista del Programa Doctorado en Sostenibilidad de los Recursos Agropecuarios

Abisai Josué García-Mendoza <https://orcid.org/0000-0002-0284-5117>

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Jardín Botánico. Coyoacán, Ciudad de México, México

Elías Hernández-Castro <https://orcid.org/0000-0001-6573-6236>

Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Doctorado en Sostenibilidad de los Recursos Agropecuarios. Iguala de la Independencia, Guerrero, México

Héctor Ramón Segura-Pacheco <https://orcid.org/0000-0002-6232-9819>

Agustín Damián-Nava <https://orcid.org/0000-0002-1581-0407>

Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Iguala de la Independencia, Guerrero, México

Flaviano Godínez-Jaimes. *Autor de correspondencia:* fgodinezj@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5531-8989>

Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Matemáticas, Chilpancingo, Guerrero, México

RESUMEN: Dentro del género *Agave* L. el complejo *Agave angustifolia* es uno de los grupos de plantas más importantes desde el punto de vista económico y cultural, del cual se han descrito más de 20 especies. Sin embargo, han sido escasos los estudios que permiten entender las relaciones taxonómicas del grupo. El objetivo principal de este estudio fue caracterizar mediante métodos morfométricos individuos silvestres y cultivados de este complejo, identificando los caracteres que permitan su correcta identificación, con el fin de contribuir al entendimiento de este grupo y facilitar los procesos de certificación de la producción de *agave-mezcal*. Se realizaron 28 salidas de campo y se colectaron 172 ejemplares de la región norte de Guerrero y un municipio de la región centro, de agosto de 2016 a marzo de 2023. De cada ejemplar se evaluaron datos de 18 caracteres morfométricos para su posterior selección y análisis estadístico, mediante el Análisis Discriminante Lineal (ADL) donde se utilizaron nueve caracteres y el Análisis de Componentes Principales (ACP), en el cual se emplearon 12 caracteres. Se identificaron taxonómicamente 106 ejemplares de *A. angustifolia* var. *angustifolia* (61.63%), 41 ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens* (23.84%) y 25 ejemplares de *A. rhodacantha* (14.53%), esta última especie resultó ser un nuevo registro para Guerrero. Los caracteres color de la hoja, altura de roseta, número de hojas por planta, ancho mayor de la hoja, número de dientes en un lado del margen de la hoja, distancia de la base de la espina terminal al diente más cercano y ancho de la espina terminal, permitieron delimitar los taxones estudiados, además de que pueden ser utilizados en los trabajos de identificación de los agaves, un requisito necesario para el proceso de certificación del *agave-mezcal* y con ello dar valor agregado a sus productos. Las variedades de *A. angustifolia* presentaron traslapes en algunos ejemplares lo que refleja

la alta variabilidad fenotípica de ambos taxones. El ADL resultó ser una herramienta estadística útil para el entendimiento de las variables fenotípicas del complejo *A. angustifolia*. Este tipo de estudios debe complementarse con información edafoclimática, gradientes altitudinales, así como datos agroecológicos y genéticos.

Palabras clave: conservación, mezcal, complejo taxonómico.

ABSTRACT

Within the *Agave* genus, the *Agave angustifolia* complex is one of the most important groups of plants from an economic and cultural point of view wherein more than 20 species have been described. However, there have been few studies that allow us to understand the taxonomic relationships of the group. The main objective of this study was to characterize wild and cultivated individuals from this complex using morphometric methods, identifying the characters that allow their correct identification, to contribute to the understanding of this group and enable the certification processes of agave production and mezcal. Between August 2016 and March 2023, 28 field trips were carried out and 172 specimens were collected from the northern region of Guerrero and a municipality in the central region. Data on 18 morphometric characters were evaluated for each specimen for subsequent selection and statistical analysis, using Linear Discriminant Analysis (LDA) where nine characters were used and Principal Component Analysis (PCA), in which 12 characters were used. One hundred six specimens of *A. angustifolia* var. *angustifolia* were taxonomically identified (61.63%), 41 specimens of *A. angustifolia* var. *rubescens* (23.84%) and 25 specimens of *A. rhodacantha* (14.53%), this last species turned out to be a new record for Guerrero. Traits such as leaf color, rosette height, number of leaves per plant, greatest width of the leaf, number of teeth on one side of the leaf margin, distance from the base of the terminal spine to the nearest tooth and width of the terminal spine, allowed the delimitation of the taxa studied, in addition to being used in the identification work of agaves, a necessary requirement for the agave-mezcal certification process and thereby giving added value to its products. The varieties of *A. angustifolia* presented overlaps in some specimens, which reflects the high phenotypic variability of both taxa. The ADL proved to be a useful statistical tool for understanding the phenotypic variables of the *A. angustifolia* complex. This type of studies must be complemented with edaphoclimatic information, altitudinal gradients, as well as agroecological and genetic data.

Key words: conservation, mezcal, taxonomic complex.

INTRODUCCIÓN

El género *Agave* L. tradicionalmente se ha considerado parte de la familia Agavaceae (Dahlgren *et al.*, 1985) y recientemente con base en evidencias morfológicas y moleculares como parte de la familia Asparagaceae, subfamilia Agavoideae (APG IV *et al.*, 2016). Sin embargo, su ubicación a nivel familia aún es controvertida dada su alta heterogeneidad morfológica y molecular (Chase *et al.*, 2009; Judd *et al.*, 2016; Thiede, 2020). El género *Agave* es endémico del continente americano, se distribuye desde el sur de los Estados Unidos de América hasta Colombia y Venezuela, incluyendo todas las islas del Caribe (García-Mendoza, 2004). Actualmente se reconocen 210 especies, de las cuales 160 se encuentran en México y de ellas 130 son endémicas, lo que representa el 62% a nivel mundial y el 81% a nivel nacional (García-Mendoza *et al.*, 2022).

En México, las especies de *Agave* tienen gran importancia económica y cultural, ya que proporcionan numerosos productos útiles a las personas como: fibras, alimentos, bebidas fermentadas y destiladas, forraje, material de construcción, sustitutos del jabón y numerosas artesanías. Los grupos humanos establecidos en el actual territorio de México aprovecharon los agaves desde hace por lo menos diez mil años, domesticando varios de ellos (Flannery, 1986). De las diferentes especies utilizadas en el país, se encuentran poblaciones silvestres y manejadas, como las de *Agave angustifolia* Haw. y los taxones emparentados, los cuales en muchas ocasiones

son difíciles de ubicar taxonómicamente debido al manejo que los humanos les han dado; tal es el caso de los taxones considerados en este estudio.

Las poblaciones naturales de *Agave angustifolia* se localizan desde Sonora (México) hasta Costa Rica (Gentry, 1982), y representan la especie con mayor distribución dentro del género. Sin embargo, estas poblaciones forman parte de un complejo taxonómico del cual se han descrito más de 20 especies (Fragoso-Gadea *et al.*, 2021; Gentry, 1982), entre otras *A. rhodacantha* Trel. Existen diversos estudios que han investigado las relaciones taxonómicas y los usos en el complejo (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 1996; Colunga-GarcíaMarín y May-Pat, 1997; Fragoso-Gadea *et al.*, 2021; Gil-Vega *et al.*, 2006; Rivera-Lugo *et al.*, 2018; Rodríguez-Garay *et al.*, 2009; Trejo *et al.*, 2018; Vargas-Ponce *et al.*, 2009). En los sitios donde se encuentran, presentan una gran diversidad morfológica y de usos tradicionales, así como a nivel industrial. Son de gran importancia económica, tanto para la extracción de fibras como para la producción de bebidas alcohólicas, como el mezcal, el tequila y el bacanora (Fragoso-Gadea *et al.*, 2021; García-Mendoza *et al.*, 1993).

En la región norte del estado de Guerrero, las poblaciones consideradas en este complejo, incluido *Agave rhodacantha* (García-Mendoza *et al.*, 2022) son utilizadas para la producción de mezcal (Kirchmayr *et al.*, 2014). Sin embargo, los ejemplares empleados con este fin presentan una gran variabilidad de formas y tamaños, lo que da lugar a confusiones sobre su identidad taxonómica, además de que al certificar las parcelas de agave y caracterizar la materia prima, los productores recurren al uso de nombres locales, sin tener certeza de las especies usadas, lo que ha limitado el dar valor agregado al producto. El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar individuos de poblaciones del complejo *A. angustifolia* en la región norte de Guerrero, utilizando técnicas morfométricas y así definir aquellos caracteres que faciliten su correcta identificación, con ello se espera contribuir en los procesos de identificación y certificación del agave utilizado para mezcal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

La investigación se realizó en la zona montañosa de la región norte del estado de Guerrero, en los municipios de Atenango del Río, Buenavista de Cuéllar, Copalillo, Cuetzala del Progreso, Huitzuc de los Figueroa, Iguala de la Independencia, Ixcateopan de Cuauhtémoc, Taxco de Alarcón, Teloloapan, Tetipac y un municipio (Eduardo Neri) y una localidad de la región centro (La Venta), todos incluidos en la cuenca del río Balsas, con altitudes comprendidas entre 467-2,500 msnm. (Figura 1; INEGI, 2021b).

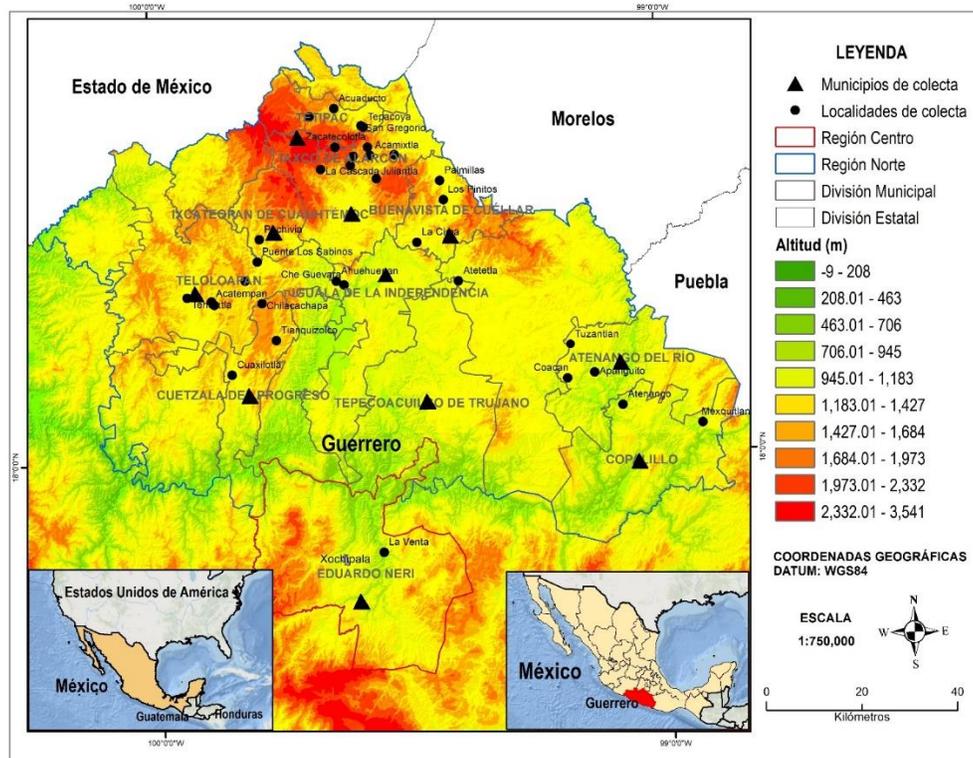


Figura 1. Ubicación de sitios de recolecta de ejemplares del complejo *Agave angustifolia*, en la región norte y centro de Guerrero.

Figure 1. Collection sites for specimens of the *Agave angustifolia* complex, in the Northern and Central Region of Guerrero.

Descripción ambiental

Dada la orografía y altitudes presentes en la región se tienen diversos tipos de clima como son: semiseco muy cálido (88,192 ha) y cálido subhúmedo (531,424 ha) presentes en altitudes menores a 1,100 m; semicálido subhúmedo (156,431 ha) en altitudes comprendidas entre 1,100 m y menores a 1,700 m y templado subhúmedo (81,521 ha) en altitudes superiores a 1,700 m (INEGI, 2020). La temperatura media anual oscila entre los 16 a 18 °C (8,236 ha) hasta 26 a 28 °C (102,548 ha), siendo frecuente el espectro comprendido entre 22 a 26 °C (555,911 ha; INEGI, 2020). Los rangos de precipitación van de 600 a 800 mm (35,895 ha), 800 a 1,200 mm (574,298 ha) y de 1,200 a 1,500 mm (245,799 ha; INEGI, 2020). Los principales ríos son: Amacuzac, Mezcala, Cocula, Los Sabinos y San Juan, todos ellos tributarios del río Balsas (INEGI, 2021b). Las topeformas corresponden a sierras (729,799 ha), valles (42,570 ha) y lomeríos (26,551 ha; INEGI, 2001). Los principales tipos de roca son: caliza (279,987 ha), lutita-Arenisca (122,240 ha), metasedimentaria (122,026 ha) e ígnea extrusiva ácida (95,554 ha; INEGI, 2014). Los tipos de suelo predominantes son: Leptosol (404,130 ha), Regosol (211,649 ha), Phaeozem (100,355 ha) y Luvisol (74,149 ha; INEGI, 2014). Los principales usos del suelo y la vegetación son: vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (290,432 ha), agricultura de temporal anual (162,599 ha), pastizal inducido (92,909 ha), vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino (92,802 ha), vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia (62,219 ha), selva baja caducifolia (35,851 ha), bosque de encino (25,401 ha) y vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate (16,172 ha; INEGI, 2021a).

Revisión bibliográfica

Se analizaron las publicaciones originales de cada taxón, así como las revisiones taxonómicas y monográficas que hay sobre este complejo de especies (Berger, 1915; García-Mendoza y Chiang, 2003; García-Mendoza *et al.*, 2022; Gentry, 1982), además se consultó vía internet la base de datos Tropicos.org (2024) del *Missouri Botanical Garden*. En la definición del complejo *A.*

angustifolia, se tomaron en cuenta los criterios propuestos por Gentry (1982) y retomados por Rivera-Lugo *et al.* (2018). Bajo esta delimitación se reconocieron para Guerrero los siguientes taxones silvestres y cultivados para la producción de mezcal: *Agave angustifolia* Haw. var. *angustifolia*, *Agave angustifolia* var. *rubescens* (Salm-Dyck) Gentry y *Agave rhodacantha* Trel. Durante los recorridos se observaron plantaciones de *A. tequilana* F.A.C. Weber y maguey espadín oaxaqueño (*Agave angustifolia* 'espadín'), provenientes de los estados de Oaxaca, Guanajuato y Morelos que son usadas para la producción de mezcal. Sin embargo, dada la carencia de ejemplares maduros, dichos taxones fueron excluidos de la presente investigación.

Trabajo de campo y gabinete

Entre agosto de 2016 y marzo de 2023, se realizaron 28 salidas de campo, recolectando un total de 172 ejemplares silvestres y cultivados. Se seleccionaron ejemplares adultos procedentes de diversas localidades y climas, buscando la representatividad de la diversidad de las poblaciones y cultivos de cada taxón analizado. Los ejemplares se recolectaron en 10 municipios y 37 localidades de la región norte, así como en un municipio y una localidad de la región centro de Guerrero (Apéndice 1). Mediante el uso de claves especializadas de identificación (García-Mendoza, 2011; Gentry, 1982) y la comparación con especímenes de los herbarios de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México, Ciudad de México (ENCB; Thiers, 2024) y el Herbario de la Universidad Nacional Autónoma de México, México, Ciudad de México (MEXU; Thiers, 2024), se identificaron taxonómicamente 106 ejemplares de *A. angustifolia* var. *angustifolia* (61.6%, Figura 2a), 41 ejemplares de *A. angustifolia* var. *rubescens* (23.9%, Figura 2b) y 25 ejemplares de *A. rhodacantha* (14.5%; Figura 2c; Apéndice 1), los cuales fueron depositados en los herbarios Jardín botánico de la Universidad Autónoma de Guerrero, México, Chilpancingo (UAGC, Thiers, 2024), ENCB y MEXU.



Figura 2. Ejemplares del complejo *Agave angustifolia*. a) *Agave angustifolia* var. *angustifolia*, Chilacachapa, b) *Agave angustifolia* var. *rubescens*, Mexquitlán y c) *Agave rhodacantha*, San Martín Pachivia.

Figure 2. Specimens of the *Agave angustifolia* complex. a) *Agave angustifolia* var. *angustifolia*, Chilacachapa, b) *Agave angustifolia* var. *rubescens*, Mexquitlán and c) *Agave rhodacantha*, San Martín Pachivia.

De cada ejemplar se tomaron 18 caracteres morfométricos y fenotípicos de tipo vegetativo (Apéndice 2). En campo, se midieron la altura y el diámetro de la roseta, así como la longitud de la hoja. Además, se recopilaban datos sobre el número de hojas por planta, el número de dientes en un lado del margen de la hoja, la forma, el color y la glauscencia de la hoja, y la forma de los dientes laterales, registrándose los datos en una base de datos en el software Microsoft Excel®. Para el resto de las mediciones de los caracteres se empleó una modificación de la metodología propuesta por Serafin-Higuera *et al.* (2022) recolectándose tres hojas de cada ejemplar, a las cuales se les tomaron dos fotografías por hoja con una cámara digital Realme modelo RMX3741 de 200 megapíxeles, con apertura $f/1.7$ y estabilización óptica de imagen (OIS), a una distancia de 1.20 cm entre la hoja y el trípode de la cámara, sin ningún acercamiento. Adicionalmente, se colocó una regla de aluminio de 30 cm marca Jands para contar con una escala de referencia. El procesamiento de las fotografías para obtener las medidas de cada carácter se realizó utilizando

el software libre ImageJ versión 1.46 r (Ferreira y Rasband, 2012), registrándose el promedio de tres mediciones por carácter por ejemplar en la base de datos de Microsoft Excel®.

Adicionalmente, a cada ejemplar se le tomaron datos como la altitud a la que se encontraba, tipo de vegetación contigua y los usos dados a cada taxón. Se excluyeron los caracteres florales ya que fueron pocos los ejemplares que se encontraban en floración, dado que la práctica para la cosecha de agaves mezcaleros consiste en el corte del pedúnculo floral (capado) antes de su maduración, con la finalidad de que el tallo concentre los azúcares y con ello, tener mejores rendimientos en la producción de mezcal (Barrera-Cobos *et al.*, 2023).

Análisis estadístico

Con las mediciones de los 18 caracteres de los 172 ejemplares recolectados, se creó una base de datos con 3,096 registros en el software Microsoft Excel®. Además, se incluyó la altitud sobre el nivel del mar de cada ejemplar y su nombre científico.

El análisis estadístico se realizó con el programa estadístico R (R Core Team, 2020). Se verificó la normalidad multivariada con el estadístico de Royston implementado en el paquete *MVN* (Korkmaz *et al.*, 2014), la homogeneidad de las matrices de covarianzas en los grupos con la prueba Box M implementada en la función *boxM* del paquete *biotools* (da Silva, 2021), y la multicolinealidad con los factores de inflación de varianzas implementados en la función *vif* del paquete *car* (Fox y Weisberg, 2019). Los resultados de estas pruebas fundamentaron el empleo del Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis Discriminante Lineal (ADL), los cuales han sido empleados por otros autores para el género *Agave* (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 1996; Figueredo-Urbina *et al.*, 2021; Fragoso-Gadea *et al.*, 2021; Rivera-Lugo *et al.*, 2018; Rodríguez-Garay *et al.*, 2009; Trejo *et al.*, 2018). En el ADL y el ACP se incluyeron los datos de los 172 ejemplares. Los dos análisis estadísticos se basaron en la matriz de correlaciones debido a la notable diferencia entre las varianzas de los caracteres estudiados. Un paso necesario en el análisis estadístico fue seleccionar los caracteres más importantes que faciliten la identificación de los taxones. En el ADL la selección de caracteres se realizó con la función *eleaps* del paquete *subselect* (Orestes Cerdeira *et al.*, 2017), considerando los catorce caracteres cuantitativos y la altura sobre el nivel del mar. En este proceso se descartaron seis caracteres, los cuales fueron: diámetro de la roseta, longitud de la hoja, ancho en la base de la hoja, longitud de los dientes a la mitad de la hoja, distancia entre dientes y altura sobre el nivel del mar. Los caracteres usados en el ADL se muestran en la Tabla 1. Estos no mostraron distribución multivariada (Royston, $p < 0.001$), tampoco homogeneidad de las matrices de covarianzas en los grupos ($c^2(90) = 198.56$, $p < 0.001$) y no hubo evidencia de multicolinealidad (máximo de los nueve *vif* igual a 2.0). Lo anterior puede indicar que se debería usar un análisis discriminante cuadrático; sin embargo, se usó el análisis discriminante lineal por tres razones 1) es más fácil de entender, 2) dio resultados similares en la predicción de los ejemplares y 3) el análisis discriminante es bastante robusto a las violaciones de los supuestos de normalidad multivariada y homogeneidad de las matrices de covarianzas en los grupos (Backhaus *et al.*, 2023). Con excepción del largo de la base de la espina terminal y del ancho de la espina terminal las medias de los otros siete caracteres de los tres taxones no fueron estadísticamente iguales (Kruskal-Wallis, $p < 0.001$). Para el ACP, además de los caracteres seleccionados en el ADL, se usaron tres caracteres cualitativos a los cuales se les asignaron los siguientes valores: forma de las hojas (linear 1, lanceolada o linear lanceolada 3), color de la hoja (verde a glauco 1, verde a verde amarillo 3 y verde limón 5) y forma de los dientes laterales (rectos 1, antrorsos 3 y curvados 5, Tabla 3).

RESULTADOS

Análisis Discriminante Lineal

El ADL, con las dos funciones discriminantes lineales, permitió clasificar correctamente un 84.3% de todos los ejemplares. Además, se clasificó adecuadamente un 89.6% de *A. angustifolia* var. *angustifolia*, el 63.4% de *A. angustifolia* var. *rubescens* y el 96.0% de *A. rhodacantha*. En el ADL se observó que *A. angustifolia* var. *angustifolia* presenta problemas de clasificación en los

grupos definidos *a priori*, superponiéndose con el grupo de *A. angustifolia* var. *rubescens* por los caracteres altura de roseta, diámetro de roseta, número de hojas por planta y longitud de la hoja. La primera función discriminante lineal explica el 91.7% de la varianza total de los datos. En esta función discriminante lineal los caracteres más importantes fueron: número de hojas por planta y ancho mayor de la hoja. Ambos caracteres tienen un fuerte efecto positivo con la primera función discriminante lineal (Tabla 1). La segunda función discriminante lineal explica el 8.3% de la varianza total de los datos. En esta función discriminante lineal los caracteres más importantes fueron: distancia de la base de la espina terminal al diente más cercano, el ancho de la espina terminal y el número de dientes en un lado del margen de la hoja. El primer carácter tiene un fuerte efecto negativo con la segunda función discriminante lineal y los otros un fuerte efecto positivo (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficientes de los nueve caracteres en las dos funciones discriminantes.

Table 1. Coefficients of the nine characters in the two discriminant functions.

| Caracteres | DL1 | DL2 |
|---|--------------|---------------|
| Altura de la roseta | 0.258 | -0.133 |
| Número de hojas por planta | 1.344 | -0.277 |
| Ancho mayor de la hoja | 0.478 | 0.120 |
| Distancia de la base a la parte más ancha de la hoja | -0.082 | -0.053 |
| Número de dientes en un lado del margen de la hoja | 0.150 | 0.545 |
| Ancho de los dientes a la mitad de la hoja | 0.092 | -0.205 |
| Largo espina terminal | -0.102 | -0.026 |
| Ancho de la espina terminal | -0.130 | 0.635 |
| Distancia de la espina terminal al diente más cercano | -0.180 | -0.925 |

DL1: función discriminante lineal 1, DL2: función discriminante lineal 2.

Al analizar los valores de cada individuo con respecto a las dos funciones discriminantes, se obtuvo una gráfica de dispersión fenotípica, donde se observó el agrupamiento de los ejemplares de los tres taxones analizados (Figura 3).

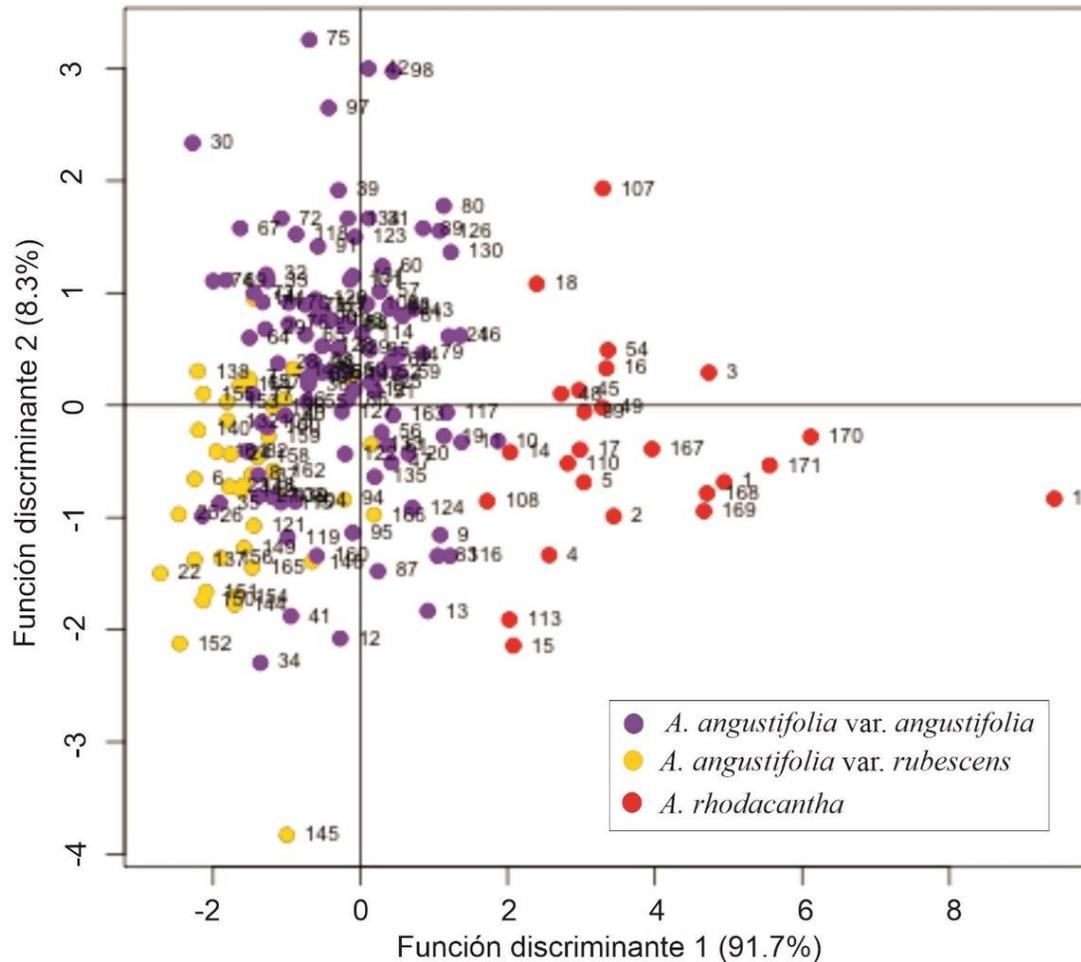


Figura 3. Dispersión de los datos con dos funciones discriminantes de las tendencias fenotípicas de los taxones del complejo *Agave angustifolia*.

Figure 3. Dispersion of the data with two discriminant functions of the phenotypic trends of the taxa of the *Agave angustifolia* complex.

La primera función discriminante (eje X) separó *A. rhodacantha* de *A. angustifolia* var. *rubescens* y de *A. angustifolia* var. *angustifolia* ya que *A. rhodacantha* tiene valores mayores en el número de hojas por planta ([min – máx]100–270, \bar{X} =131.4) y ancho mayor de la hoja (4.8–10.3, \bar{X} =7.7 cm), en comparación con *A. angustifolia* var. *angustifolia* (27–10, \bar{X} =57.7 número de hojas y 2.0–9.2, \bar{X} =5.1 cm ancho mayor) y *A. angustifolia* var. *rubescens* (14–72, \bar{X} =37.8 número de hojas y 1.9–8.0, \bar{X} =4.3 cm ancho mayor). La segunda función discriminante (eje Y) muestra traslape de los tres taxones con valores mayores de *A. angustifolia* var. *angustifolia*, seguidos de *A. rhodacantha* y menores de *A. angustifolia* var. *rubescens*. Esto se debe a que en el carácter distancia de la base de la espina terminal al diente más cercano tiene un fuerte efecto negativo en esta función discriminante el taxón *A. angustifolia* var. *angustifolia* con valores menores (1.0–13.2, \bar{X} =5.4 cm) comparados con *A. angustifolia* var. *rubescens* (2.5–16.5, \bar{X} =7.9 cm) y *A. rhodacantha* (1.2–11.8, \bar{X} =6.2 cm). Además, para el carácter ancho de la espina terminal que tiene un fuerte efecto positivo en esta función discriminante el taxón *A. angustifolia* var. *angustifolia* tiene los valores mayores (0.2–1.2, \bar{X} =0.6 cm) comparados con *A. angustifolia* var. *rubescens* (0.2–1.0, \bar{X} =0.5 cm) y *A. rhodacantha* (0.3–0.8, \bar{X} =0.5 cm).

Análisis de Componentes Principales

Con cuatro componentes principales se explicó un 72.8% de la variación en los datos. La varianza, desviación estándar, proporción de la varianza y proporción de la varianza acumulada de los primeros nueve componentes principales se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Componentes principales y su proporción de varianza explicada con el empleo de doce caracteres.

Table 2. Principal components and their proportion of variance explained with the use of twelve characters.

| Componente | Varianza | Desviación estándar | Proporción de la varianza | Proporción acumulada |
|------------|----------|---------------------|---------------------------|----------------------|
| CP1 | 4.10 | 2.02 | 34.13 | 34.13 |
| CP2 | 1.94 | 1.39 | 16.14 | 50.27 |
| CP3 | 1.55 | 1.24 | 12.88 | 63.15 |
| CP4 | 1.16 | 1.08 | 9.69 | 72.84 |
| CP5 | 0.85 | 0.92 | 7.08 | 79.92 |
| CP6 | 0.63 | 0.79 | 5.21 | 85.13 |
| CP7 | 0.48 | 0.69 | 4.01 | 89.14 |
| CP8 | 0.43 | 0.66 | 3.55 | 92.69 |
| CP9 | 0.35 | 0.59 | 2.94 | 95.64 |

El primer Componente Principal (CP) explica el 34.1% de toda la varianza (Figura 4), los caracteres con mayor contribución en este componente son: color de la hoja, altura de la roseta, número de hojas por planta, ancho mayor de la hoja, número de dientes en un lado del margen de la hoja y ancho de los dientes a la mitad de la hoja (Tabla 3). El primer carácter está correlacionado negativamente con este componente principal y los otros caracteres están correlacionados positivamente.

El segundo componente explica el 16.1% de toda la varianza (Figura 4) y los caracteres con mayor contribución son la distancia de la espina terminal al diente más cercano, forma de las hojas, largo de la espina terminal y color de la hoja (Tabla 3). El segundo carácter está correlacionado negativamente con este componente principal y los otros tres positivamente.

Tabla 3. Cargas de los componentes principales de los datos de los ejemplares estudiados.

Table 3. Loadings of the data's principal components of the studied specimens.

| Caracteres | CP1 | CP2 | CP3 | CP4 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Altura de la roseta | 0.38 | 0.13 | 0.11 | 0.17 |
| Número de hojas por planta | 0.38 | -0.10 | 0.23 | -0.10 |
| Ancho mayor de la hoja | 0.38 | 0.10 | 0.02 | -0.19 |
| Distancia de la base a la parte más ancha de la hoja | 0.29 | 0.27 | -0.08 | 0.35 |
| Número de dientes en un lado del margen de la hoja | 0.31 | 0.00 | -0.04 | 0.55 |
| Ancho de los dientes a la mitad de la hoja | 0.30 | 0.07 | -0.05 | -0.57 |
| Largo espina terminal | 0.09 | 0.35 | -0.42 | 0.05 |
| Ancho de la espina terminal | 0.12 | 0.25 | -0.53 | -0.35 |
| Distancia de la espina terminal al diente más cercano | 0.01 | 0.54 | -0.02 | 0.14 |
| Forma de las hojas | 0.28 | -0.47 | -0.35 | 0.08 |
| Color de la hoja | -0.40 | 0.33 | 0.01 | 0.02 |
| Forma dientes laterales | 0.20 | 0.27 | 0.59 | -0.18 |

Tomando en cuenta los dos primeros componentes principales, que acumulan el 50.27% de toda la varianza, se analizó la dispersión y las tendencias fenotípicas de los taxones examinados en el sistema de coordenadas definido por los dos CP (Figura 4). En el CP1 hay ligero traslape de los tres taxones, pero se diferencia claramente a la izquierda el grupo de *A. angustifolia* var. *rubescens* con valores menores del CP1, (color de hojas verde limon y altura de roseta 70.0-162.0, \bar{X} =113.6 cm); al centro esta el taxón *A. angustifolia* var. *angustifolia* (con color de hojas verde amarillo y altura de roseta 45.0-178.9, \bar{X} =123.8 cm); y a la derecha sobrelapándose con el anterior taxón se encuentra *A. rhodacantha*, con valores mayores del CP1 (color de hojas verde a glauco y altura de roseta 135.3-249.0, \bar{X} =168.81 cm).

En el CP2 existe un traslape de los tres taxones. En la parte inferior, es decir con valores menores del CP2, están los ejemplares de *A. angustifolia* var. *angustifolia* (con una distancia de la espina terminal al diente más cercano de 1.0-13.1, \bar{X} =5.4 cm y forma de la hoja lanceolada o linear lanceolada), al centro se encuentra el grupo de *A. rhodacantha* con valores intermedios de los caracteres más importantes del CP2 (distancia de la espina terminal al diente más cercano 1.1-11.8, \bar{X} =6.1 cm y forma de la hoja lanceolada o linear lanceolada) y en la parte superior, es decir con valores mayores del CP2, el taxón *A. angustifolia* var. *rubescens* (distancia de la espina terminal al diente más cercano 2.5-16.4, \bar{X} =7.9 cm y forma de la hoja linear).

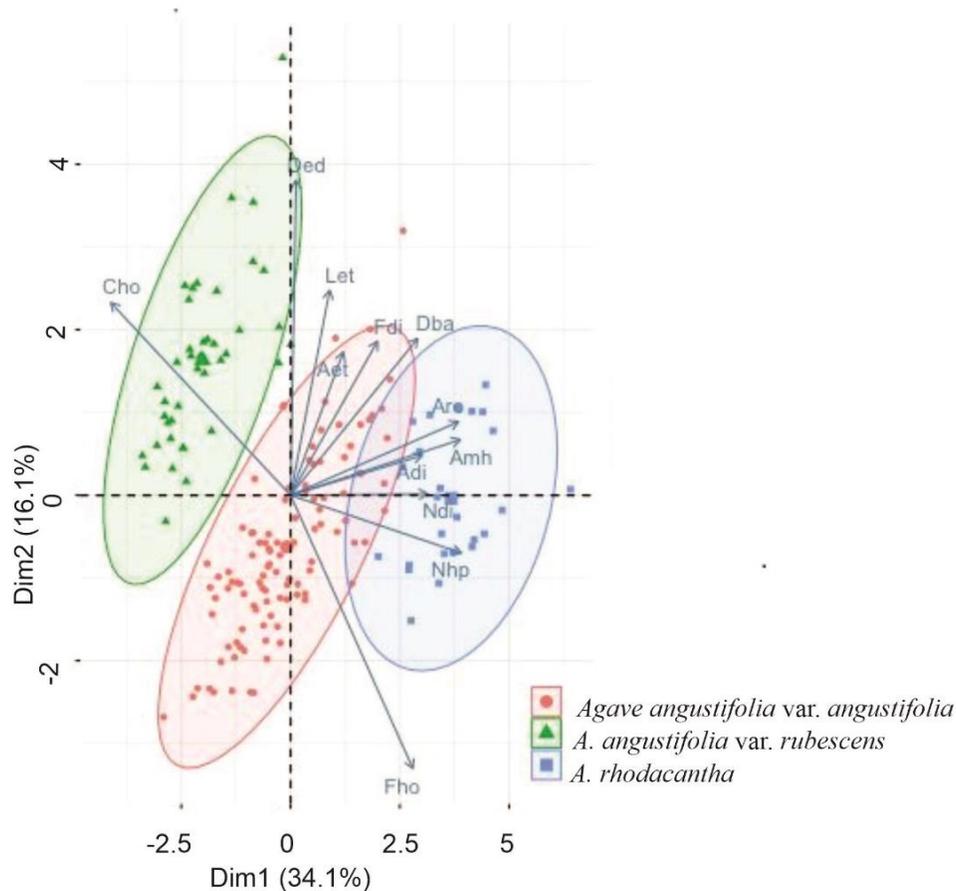


Figura 4. Dispersión de los datos en los dos primeros CP y tendencias fenotípicas de los taxones del complejo *Agave angustifolia*.

Figure 4. Dispersion of data in the first two PCs and phenotypic trends of the taxa of the *Agave angustifolia* complex.

DISCUSIÓN

Este estudio permitió identificar y confirmar la presencia de tres taxones del complejo *Agave angustifolia* silvestres y cultivados en la región norte de Guerrero, los cuales son: *A. angustifolia* var. *angustifolia*, *A. angustifolia* var. *rubescens* y *A. rhodacantha*, siendo esta última especie un nuevo registro para el estado de Guerrero. Al analizar el número de localidades en las cuales se encuentran estos taxones y el número de individuos de sus poblaciones, se observó que *A. angustifolia* var. *angustifolia* es el taxón más frecuente (presente en 25 localidades), encontrándose de manera silvestre y cultivado para la producción de mezcal, información que coincide con lo informado por (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019), quienes mencionaron que esta especie presenta la mayor distribución del género. *Agave angustifolia* var. *rubescens* se encontró silvestre en 13 localidades y cultivado en una localidad. Su menor presencia puede deberse a lo restringido de sus poblaciones, además de ser una especie endémica de los estados de Guerrero, Jalisco y Oaxaca (García-Mendoza, 2011). Por el contrario, *Agave rhodacantha* fue el taxón más escaso, presente en cuatro localidades de forma cultivada para mezcal y en una silvestre; al respecto, García-Mendoza (2011) señaló lo escaso de ejemplares de herbario para su caracterización.

El ADL separó de manera clara (84.3% de discriminación) los tres taxones estudiados, con dos funciones discriminantes utilizando nueve caracteres; los que más información aportaron a la discriminación de los grupos fueron el número de hojas por planta y ancho mayor de la hoja, donde *A. rhodacantha* presentó los mayores valores (más de 100 hojas por planta y 7.7 cm de ancho mayor de hoja), *A. angustifolia* var. *angustifolia* mostró valores intermedios de estos caracteres y *A. angustifolia* var. *rubescens* presentó los valores más bajos de estos caracteres (37 hojas y 4.2 cm de ancho mayor de hoja). Los caracteres de la distancia de la base de la espina terminal al diente más cercano, el ancho de la espina terminal y el número de dientes en un lado del margen de la hoja, permitieron complementar la separación de estos taxones. Estos resultados coinciden con trabajos similares como el realizado por Rivera-Lugo *et al.* (2018), quienes mencionaron que el análisis discriminante canónico demostró ser más útil para el complejo *A. angustifolia*, ya que con dos funciones explicaron el 80% de la varianza; además, señalaron que los caracteres número de dientes, largo y ancho de la espina terminal (los cuales también se emplearon en esta investigación), junto con el largo de bráctea, largo de la antera y proporción de semillas maduras, pueden ayudar a la separación de estos taxones. Figueredo-Urbina *et al.* (2021), en su estudio sobre diversidad morfológica y genética de magueyes en Hidalgo, mencionaron que con dos funciones discriminantes se explicaba el 96.03% de la varianza de los ejemplares estudiados, donde las funciones con los valores más altos estaban asociadas a la longitud de las hojas y la morfometría de la dentición. Por otra parte, Fragoso-Gadea *et al.* (2021) mencionaron que el análisis discriminante canónico permitió separar tres poblaciones de *A. angustifolia* de Sonora con dos funciones discriminantes y un 100% de discriminación, aunque las principales variables analizadas fueron diferentes (tono y saturación de color foliar y el grado de desarrollo de la inflorescencia), por lo cual es importante complementar este tipo de análisis con caracteres florales, situación que debe ser socializada con los productores de agave para que permitan la floración de ejemplares dentro de sus plantaciones y de las poblaciones silvestres (magueyerías).

En el ACP del presente estudio se requirió de al menos cuatro componentes para explicar el 72.8% de toda la varianza y el primer componente explicó el 34.13% del total de esta, requiriéndose 12 caracteres para obtener este porcentaje de varianza explicada, siendo los más importantes el color de la hoja, altura de roseta, número de hojas por planta, ancho mayor de la hoja y el número de dientes por un lado de la hoja. Rodríguez-Garay *et al.* (2009), en su estudio sobre diversidad morfológica y molecular de *Agave tequilana* Weber y *Agave angustifolia* var. *lineño* Rodríguez, utilizaron 13 variables y con tres componentes principales explicaron el 79.9% de la variabilidad total y el componente uno explicó el 61.13%; las variables de mayor peso fueron: distancia entre la última espina laterales y apical, ancho de la hoja, número de hojas de la roseta (caracteres que también fueron utilizados en la presente investigación), así como el largo y ancho de dientes y número de dientes en 10 cm. Estos autores concluyeron que existe una variación morfológica intraespecífica más amplia en *A. angustifolia* que en *A. tequilana*, similar a lo encontrado en esta investigación para *A. angustifolia* var. *angustifolia* tanto en el número de

hojas, el ancho mayor de la hoja y el número de dientes por un lado de la hoja, cuyos valores mínimos pueden ser similares a los encontrados en *A. angustifolia* var. *rubescens* mientras que los valores máximos pueden ser similares a los de *A. rhodacantha*. Al respecto Rivera Lugo (2014), al realizar el análisis del complejo *A. angustifolia* en Oaxaca, utilizó ocho CP para explicar un 79.5% de la varianza y el primer CP solo explicó el 21% de la variación, utilizando caracteres como el número de hojas y número de dientes los cuales también fueron empleados en la presente investigación, además de incluir caracteres de la flor y los frutos (los cuales no se analizaron en la presente investigación), aunque empleó un menor número de ejemplares para su análisis (46). Barrientos-Rivera *et al.* (2019), en su estudio sobre la caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, analizaron 47 ejemplares de *A. angustifolia* (sacatoro), 10 ejemplares de *A. angustifolia* (espadín) y 10 ejemplares de *Agave cupreata* Trel & Berger (papalote), además dos localidades estudiadas por estos autores coincidieron con las analizadas en la presente investigación (Atetetla y Coacán). Al realizar el ACP utilizaron 20 variables y con seis componentes explicaron el 79% de la variación total en los datos; el componente uno aportó el 29.8% de la variación total y estuvo determinado principalmente por las variables forma, borde, color de la hoja y la longitud de la espina terminal, mientras el CP2 estuvo determinado por la uniformidad y el número de espinas terminales, resultados similares a lo encontrado en el presente estudio. Por último, Fragoso-Gadea *et al.* (2021) en su ACP para tres poblaciones de *A. angustifolia* de Sonora, utilizaron 29 variables y con cuatro componentes principales explicaron el 51.9% de la varianza de los datos. Sin embargo, los caracteres analizados por estos autores difieren de los utilizados en esta investigación, ya que emplearon como principales caracteres los grados brix (concentración de solutos presente en la sabia del tallo de cada ejemplar), relación peso seco/peso fresco del tallo y el grado de desarrollo de la inflorescencia.

Un factor limitante que afecta la correcta definición de los grupos tiene que ver con la escasez de ejemplares de *A. rhodacantha*, situación similar a la registrada por Rivera-Lugo *et al.* (2018), lo cual se debe en parte a lo fragmentado de la distribución y la escasez de individuos y poblaciones. En Guerrero, esta especie es muy apreciada y demandada para la producción de mezcal, conocido como ‘de pedregal’, en alusión a que crece en terrenos con rocas de tipo caliza. Además, destaca por el gran tamaño de su piña o tallo, que puede llegar a pesar hasta 150 kg, los altos rendimientos de mezcal obtenido y su sabor distintivo. Para ello, se corta el pedúnculo floral, lo que permite que los azúcares se concentren en el tallo, impidiendo así la formación de flores, frutos y semillas. Esta especie se encontró creciendo en la selva baja caducifolia y bosque de táscate, en altitudes comprendidas entre 943 a 1,754 m. Florece en los meses de mayo a julio y fructifica entre septiembre y noviembre. Estos datos coinciden parcialmente con lo informado por García-Mendoza (2011), quien mencionó que este taxón se le encuentra en el valle de Tehuacán – Cuicatlán en el bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo entre los 1,780 y 2,080 m, florece de junio a julio y fructifica de septiembre a noviembre. Contrasta con lo informado por García-Mendoza *et al.* (2022) para ejemplares del estado de Sonora, donde se le encuentra en la selva baja caducifolia y matorral espinoso en altitudes comprendidas entre 200 a 700 m, florece en los meses de febrero a abril y fructifica en el mes de julio, estas diferencias se pueden deber en parte a los tipos de climas y los patrones de lluvias presentes en cada lugar (Williams-Linera y Meave del Castillo, 2002).

Hasta antes de este estudio, *Agave rhodacantha* solo se había encontrado en Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Durango y Oaxaca (Gentry, 1982; González-Elizondo *et al.*, 2009; Rivera Lugo, 2014; Vargas-Ponce *et al.*, 2009). Como resultado de este trabajo se citan ejemplares de cinco localidades de esta especie para Guerrero, por lo que es necesario garantizar su conservación a través de la implementación de programas de manejo forestal no maderable y propagación de individuos obtenidos por semilla, para garantizar su adecuado manejo a corto plazo.

Los análisis realizados en este trabajo confirmaron que *A. angustifolia* var. *angustifolia* es un taxón con alta variabilidad fenotípica, lo cual está relacionado con las condiciones edafoclimáticas y agroecológicas donde crecen y a la altitud a la que se encuentran (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019; Fragoso-Gadea *et al.*, 2021; Rodríguez-Garay *et al.*, 2009). En la distribución se observaron ejemplares de tallas grandes (altura de roseta 178 cm, diámetro de roseta 344 cm) muy similares a *A. rhodacantha* que se encontraron principalmente en las plantaciones mezcaleras de Huitzaco, San Martín Pachivia y Tehuixtla; donde se puede inferir un proceso de

selección de características específicas por parte de los productores mezcaleros, similar al caso de las plantaciones de *A. angustifolia* y *A. rhodacantha* del Estado de Jalisco (Vargas-Ponce *et al.*, 2009). Por otra parte, también se observaron ejemplares de tallas pequeñas de *A. angustifolia* var. *angustifolia* (altura de roseta 45 cm, diámetro de roseta 62 cm) que se localizaron en sitios con poblaciones silvestres (localidades de los Municipios Teloloapan y Tetipac), donde tienen un manejo incipiente por las poblaciones humanas. El rango de altitud a la que se encontraron ejemplares de este taxón va de los 664 a 2,422 m, frecuentemente a los 1,300 m, su hábitat es la selva baja caducifolia, matorral xerófilo, pastizal inducido bosque de pino encino y bosque de táscate; florece en los meses de mayo a julio y fructifica en los meses de agosto a noviembre, información que coincide con lo informado por García-Mendoza (2011) sobre su rango altitudinal, hábitat y fenología para ejemplares estudiados en el Valle de Tehuacán – Cuicatlán. *A. angustifolia* var. *rubescens* también presenta una alta variabilidad fenotípica, lo cual puede explicarse en parte, a que habita lugares más cálidos de los municipios Iguala de la Independencia y Atenango del Río y en climas semicálidos (temperatura media anual entre 26 a 28 °C). Otros factores clave tienen que ver con su hábitat y su fenología. García-Mendoza (2011) mencionó que este taxón crece en el bosque tropical caducifolio, en elevaciones de 900 a 1,500 msnm, la floración se da de junio a agosto y la fructificación de agosto a noviembre. Sin embargo, en los ejemplares analizados en este estudio, se observó que estos crecen en altitudes de 664 a 1,679 m, la floración abarca desde septiembre hasta diciembre y la fructificación de diciembre a febrero, información que amplía el rango de tolerancia de la especie en función de las condiciones edafoclimáticas (Williams-Linera y Meave del Castillo, 2002) y agroecológicas de cada lugar. 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, es fundamental complementar estos estudios morfométricos, con trabajos relacionados con la agroecología y usos bioculturales, con la finalidad de proponer sistemas productivos que privilegien la diversidad genética, biológica y cultural de las especies.

Clave para identificar los taxones del complejo *A. angustifolia* en la región norte de Guerrero

1. Roseta 1.3-2.5 m altura, diámetro 1.7-3.4 m; más de 100 hojas por planta; 88.0-156.0 x 4.8-10.3 cm, glaucas o verdes *A. rhodacantha*.
1. Roseta 0.4-1.7 m altura, diámetro 0.6-3.4 m; 37-90 hojas por planta, 60.0-90.0 x 3.0-6.0 cm, verde a verde-amarillentas 2.
2. Hojas 1.5-4.2 cm ancho en la parte media, lineares, margen con dientes 0.5-3.0 mm largo, distantes entre sí 1.0-2.5 cm a la mitad de la hoja, distancia de la base de la espina terminal al diente más cercano 2.5 a 16.4 cm..... *A. angustifolia* var. *rubescens*.
2. Hojas 4.0-6.0 cm ancho en la parte media, lanceoladas, margen con dientes 3.0-5.0 mm largo, distantes entre sí 2.0-3.5 cm a la mitad de la hoja, distancia de la base de la espina terminal al diente más cercano 1.0 a 13.8 cm..... *A. angustifolia* var. *angustifolia*.

CONCLUSIONES

Con técnicas morfométricas se caracterizaron individuos de poblaciones del complejo *A. angustifolia*, que en la región norte de Guerrero está representado por *A. angustifolia* var. *angustifolia*, *A. angustifolia* var. *rubescens* y *A. rhodacantha* siendo esta última especie un nuevo registro para Guerrero. Los caracteres: color de la hoja, altura de roseta, número de hojas por planta, ancho mayor de la hoja, número de dientes en un lado del margen de la hoja, distancia de la base de la espina terminal al diente más cercano y ancho de la espina terminal, son útiles para la separación de los taxones del complejo *A. angustifolia*. Estos caracteres pueden ser utilizados por productores, técnicos y académicos en los trabajos de identificación de los agaves, un requisito necesario para el proceso de certificación del agave-mezcal y con ello dar valor agregado a sus productos. El ADL es una herramienta útil para el análisis de las poblaciones del complejo *A. angustifolia*.

Dada la escasez de ejemplares de *A. rhodacantha*, así como la importancia económica y cultural que tiene para los productores de mezcal, es necesario realizar estudios y planes de manejo para

el cultivo de la planta que permitan garantizar la conservación, propagación por semilla y manejo de las poblaciones silvestres y plantaciones de esta especie. Este tipo de estudios debe complementarse con información edafoclimática, gradientes altitudinales, así como datos agroecológicos y genéticos.

AGRADECIMIENTOS

A las comunidades magueyeras y mezcaleras de Guerrero por las facilidades dadas para la realización y conocimientos aportados para este estudio. Agradecemos a los maestros mezcaleros de San Martín Pachivia, Cándido Calixto Giles y Alejandro Ocampo Cheno (fallecidos), por su apoyo en esta investigación, permitiendo el acceso a sus plantaciones de *A. rhodacantha* y compartiendo su conocimiento sobre la cultura del mezcal. Al CONAHCYT por el apoyo parcial económico otorgado a través del proyecto 263188 de SEMARNAT- CONAHCYT, así como por la beca número 413487 otorgada al primer autor. A los revisores anónimos por sus sugerencias que enriquecieron el escrito.

LITERATURA CITADA

- APG IV, Moore, M., Olmstead, R., Perret, M., Skog, L., Smith, J., Tank, D., Vorontsova, M., & Weber, A. (2016). *An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV*. 1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R., & Weiber, T. (2023). *Multivariate analysis. An application oriented introduction* (Second edition, Vol. 10). Springer Books.
- Barrera-Cobos, S., Maimone-Celorio, M., Salomé- Castañeda, E., González-Canchola, A., y Herrera-Pérez, L. (2023). Análisis de la producción de mezcal en San Diego la mesa Tochimiltzingo, Puebla (reserva Sierra del Tentzo), México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(1), 66–91. <https://doi.org/10.22231/asyd.v19i4.1525>
- Barrientos-Rivera, G., Esparza-Ibarra, E. L., Segura-Pacheco, H. R., Talavera-Mendoza, O., Sampedro-Rosas, M. L., & Hernández-Castro, E. (2019). Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 655–668. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1554>
- Berger, A. (1915). Die Agaven. Beiträge zu einer Monographie. Mit 79 Abbildungen im Text und 2 Karten. *Die Agaven. Beiträge zu einer Monographie. Mit 79 Abbildungen im Text und 2 Karten*, September. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/52969>
- Chase, M. W., Reveal, J. L., & Fay, M. F. (2009). A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 132–136. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00999.x>
- Colunga-GarcíaMarín, P., Estrada-Loera, E., & 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(8), 1069–1082. <https://doi.org/10.2307/2445997>
- Colunga-GarcíaMarín, P., & May-Pat, F. (1997). Morphological variation of henequen (*Agave fourcroydes*, Agavaceae) germplasm and its wild ancestor (*A. angustifolia*) under uniform growth conditions: Diversity and domestication. *American Journal of Botany*, 84(11), 1449–1465. <https://doi.org/10.2307/2446608>
- da Silva, A. R. (2021). *biotools: Tools for Biometry and Applied Statistics in Agricultural Science. R package version 4.2*. <https://cran.r-project.org/package=biotools>
- Dahlgren, R. M., Clifford, H. T., & Yeo P. F. (1985). *The Families of the Monocotyledons. Structure, Evolution and Taxonomy* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1987.tb00937.x>
- Ferreira, T., & Rasband, W. (2012). *ImageJ User Guide, IJ 1.46r* (pp. 1–198). <https://imagej.net/ij/docs/guide/user-guide.pdf#page=10.36>

- Figueredo-Urbina, C. J., Álvarez-Ríos, G. D., García Montes, M. A., & Octavio Aguilar, P. (2021). Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo State, Mexico. *PLoS ONE*, 16(7): e02, 24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254376>
- Flannery, K. V. (1986). *Guilá Naquitz, archaic foraging and early agriculture in Oaxaca, México*. Academic Press, Inc. <https://doi.org/10.4324/9781315427935>
- Fox, J., & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression, Third edition*. Sage, Thousand Oaks CA. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Fragoso-Gadea, T., Gutiérrez, A., Coronado, M. L., Terrazas, T., Ramos-Clamont, G., Vázquez-Moreno, L., Álvarez-Bajo, O., & Esqueda, M. (2021). Poblaciones silvestres de *Agave angustifolia* (Asparagaceae) de Sonora, México: variación morfológica y contenido de azúcares. *Acta Botanica Mexicana*, 128. <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1889>
- García-Mendoza. (2011). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Agavaceae, Fascículo 88* (UNAM, Ed.). http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras_tehuacan/2012/F88_Agav.pdf
- García-Mendoza, A. J., Colunga-García Marín, P., & Bye B., R. (1993). Los usos del *Agave angustifolia* Haw., ancestro silvestre del henequén en su área de distribución geográfica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 62(April 2015), 109–128. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4602.3200>
- García-Mendoza, A. J. (2004). Agaváceas. En A. J. García, M. J. Ordoñez, & M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (pp. 159–169). Instituto de Biología. UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund.
- García-Mendoza, A. J., & Chiang, F. (2003). The confusion of *Agave vivipara* L. and *A. angustifolia* Haw., two distinct taxa. *Brittonia*, 55, 82–87. <https://www.jstor.org/stable/3218419>
- García-Mendoza, A. J., Franco Martínez, I. S., & Sandoval Gutiérrez, D. (2022). El complejo taxonómico *Agave angustifolia*: restablecimiento y circunscripción del *Agave pacifica* en Sonora. En M. Esqueda, M. L. Coronado, A. Gutiérrez, & M. L. Robert (Eds.), *Ecología y biotecnología aplicadas al manejo sostenible del agave en Sonora* (pp. 15–34). Fontamara. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of Continental North American* (T. U. of A. Press, Ed.).
- Gil-Vega, K., Díaz, C., Nava-Cedillo, A., & Simpson, J. (2006). AFLP analysis of *Agave tequilana* varieties. *Plant Science*, 170(4), 904–909. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.12.014>
- González-Elizondo, M., Galván-Villanueva, R., López-Enriquez, I. L., Reséndiz-Rojas, L., & González Elizondo, M. S. (2009). *Agaves-magueyes, lechuguillas y noas-del Estado de Durango y sus alrededores*. CONABIO-Instituto Politécnico Nacional. <https://www.researchgate.net/publication/322243902>
- INEGI. (2001). *Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575>
- INEGI. (2014). *Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional)*. <http://geoportal.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/eda250s2gw>
- INEGI. (2020). *Climas y sus subproductos climáticos derivados*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- INEGI. (2021a). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional)*. <http://geoportal.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/usv250s7gw>
- INEGI, (2021b). *Aspectos Geográficos, Guerrero*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_12.pdf
- Judd, W. S., Campbell, Ch. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (2016). *Systematics: A Phylogenetic Approach. 4th ed* (4a edición). Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Press.
- Kirchmayr, M., Arellano Plaza, Melchor, Estarrón Espinosa, M., & Gallardo Valdez, Juan, Gschaedler Mathis, Anne Ch., López Ramírez, Julisa E., Navarro Hurtado, Alejandra, Prado Ramírez, Rogelio, Ramírez Romo, E. (2014). Manual para la estandarización de

Recibido:
4/junio/2024

Aceptado:
19/noviembre/2024

- los procesos de producción del mezcal guerrerense. En *Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.* <https://centrosconacyt.mx/wp-content/uploads/2015/04/manualmezcalguerrerense.pdf>
- Korkmaz, S., Goksuluk, D., & Zararsiz, G. (2014). *MVN: An R Package for Assessing Multivariate Normality*. (pp. 151–162). The R Journal. <https://journal.r-project.org/archive/2014-2/korkmaz-goksuluk-zararsiz.pdf>
- 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>.
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. <https://www.R-project.org/>
- Rivera Lugo, M. (2014). *Variación morfológica y genética del complejo Agave angustifolia Haw., en el estado de Oaxaca* [Universidad Autónoma de México]. https://repositorio.unam.mx/contenidos/variacion-morfologica-y-genetica-del-complejo-agave-angustifolia-haw-en-el-estado-de-oaxaca-65883?c=1wgnw&d=false&q=*&i=7&v=1&t=search_1&as=0
- Rivera-Lugo, M., García-Mendoza, A., Simpson, J., Solano, E., & 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*, 304, 969–979. <https://doi.org/10.1007/s00606-018-1525-0>
- Rodríguez-Garay, B., Lomelí-Sención, J. A., Tapia-Campos, E., Gutiérrez-Mora, A., García-Galindo, J., Rodríguez-Domínguez, J. M., Urbina-López, D., & Vicente-Ramírez, I. (2009). Morphological and molecular diversity of *Agave tequilana* Weber var. Azul and *Agave angustifolia* Haw. var. lineño. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 220–228. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.05.007>
- Serafin-Higuera, E. L., Antonio-Bautista, A., & Benavides-Mendoza, A. (2022). Morfología de *Dasyilirion cedrosanum* y su correlación con imágenes en localidades del Sureste de Coahuila. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1). <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3198>
- Thiede, J. (2020). Agave Agavaceae. En U. Egli & R. Nyffeler (Eds.), *Illustrated handbook of succulent plants: Monocotyledons* (2nd ed., pp. 21–311). Springer-Verlag.
- Thiers B. (2024, octubre 2). *Index Herbariorum. NYBG Steere Herbarium*. <http://sweetgum.nybg.org/science/ih/>
- Trejo, L., Limones, V., Peña, G., Scheinvar, E., Vargas-Ponce, O., Zizumbo-Villarreal, D., & Colunga-GarcíaMarín, P. (2018). Genetic variation and relationships among agaves related to the production of Tequila and Mezcal in Jalisco. *Industrial Crops and Products*, 125, 140–149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.072>
- Tropicos.org. (2024, October 4). *Missouri Botanical Garden*. <http://www.tropicos.org>.
- Vargas-Ponce, O., Zizumbo-Villarreal, D., Martínez-Castillo, J., Coello-Coello, J., & Colunga-GarcíaMarín, P. (2009). Diversity and structure of landraces of agave grown for spirits under traditional agriculture: a comparison with wild populations of *A. Angustifolia* (Agavaceae) and commercial plantations of *A. tequilana*. *American Journal of Botany*, 96(2), 448–457. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800176>
- Williams-Linera, G., & Meave del Castillo, J. A. (2002). Patrones fenológicos. En M. Guariguata & G. Kattan (Eds.), *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (pp. 407–431). Editorial Libro Universitario Regional. https://www.researchgate.net/publication/281348224_Patrones_fenologicos#fullTextFileContent

Apéndice 1. Sitios de estudio y recolecta de ejemplares del complejo *Agave angustifolia*, en las regiones norte y centro de Guerrero. Colector Jorge Huerta Zavala.

Appendix 1. Study sites and collection of specimens of the *Agave angustifolia* complex, in the northern and central regions of Guerrero. Collector Jorge Huerta Zavala.

| No. | No. de colecta | Clave | Municipio | Localidad | Especie | msnm | Silvestre o cultivado |
|-----|----------------|-------------|--------------------------|------------------------|---|------|-----------------------|
| 1 | 6 | CoaRhoda1 | Atenango del Río | Coacan | <i>A. rhodacantha</i> | 943 | Cultivado |
| 2 | 7 | CoaRhoda2 | Atenango del Río | Coacan | <i>A. rhodacantha</i> | 943 | Cultivado |
| 3 | 8 | CoaRhoda3 | Atenango del Río | Coacan | <i>A. rhodacantha</i> | 943 | Cultivado |
| 4 | 9 | CoaRhoda4 | Atenango del Río | Coacan | <i>A. rhodacantha</i> | 943 | Cultivado |
| 5 | 10 | CoaRhoda5 | Atenango del Río | Coacan | <i>A. rhodacantha</i> | 943 | Cultivado |
| 6 | 11 | CoaRub1 | Atenango del Río | Coacan - El Vado | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1041 | Silvestre |
| 7 | 12 | CoaRub2 | Atenango del Río | Coacan - El Vado | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1041 | Silvestre |
| 8 | 13 | CoaRub3 | Atenango del Río | Coacan - El Vado | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1041 | Silvestre |
| 9 | 14 | CoaAngus2 | Atenango del Río | Coacan -La Fábrica | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1008 | Cultivado |
| 10 | 15 | CoaAngus3 | Atenango del Río | Coacan -La Fábrica | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1008 | Cultivado |
| 11 | 16 | CoaAngus4 | Atenango del Río | Coacan -La Fábrica | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1008 | Cultivado |
| 12 | 17 | CoaAngus5 | Atenango del Río | Coacan -La Fábrica | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1008 | Cultivado |
| 13 | 18 | CoaAngus6 | Atenango del Río | Coacan -La Fábrica | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1008 | Cultivado |
| 14 | 19 | PachiRhoda1 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. rhodacantha</i> | 1506 | Cultivado |
| 15 | 20 | PachiRhoda2 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. rhodacantha</i> | 1506 | Cultivado |
| 16 | 21 | PachiRhoda3 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. rhodacantha</i> | 1506 | Cultivado |
| 17 | 22 | PachiRhoda4 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. rhodacantha</i> | 1506 | Cultivado |
| 18 | 23 | PachiRhoda5 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. rhodacantha</i> | 1506 | Cultivado |
| 19 | 24 | PachiAngus1 | Teloloapan | Los Sabino | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1332 | Silvestre |
| 20 | 25 | PachiAngus2 | Teloloapan | Pachivia - Puente | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1332 | Silvestre |
| 21 | 26 | PachiAngus3 | Teloloapan | Los Sabino | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1332 | Silvestre |
| 22 | 35 | T-Rub 1 | Cuetzala del Progreso | Tianquizolco - Machito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1441 | Silvestre |
| 23 | 36 | T- Rub 2 | Cuetzala del Progreso | Tianquizolco - Machito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1441 | Silvestre |
| 24 | 37 | T-Rub 3 | Cuetzala del Progreso | Tianquizolco - Machito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1441 | Silvestre |
| 25 | 38 | T- Rub 4 | Cuetzala del Progreso | Tianquizolco - Machito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1441 | Silvestre |
| 26 | 50 | Mex1 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 745 | Silvestre |
| 27 | 51 | Mex2 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 745 | Silvestre |
| 28 | 52 | Mex3 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 745 | Silvestre |
| 29 | 53 | Mex4 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 790 | Silvestre |
| 30 | 54 | Mex5 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 790 | Silvestre |
| 31 | 55 | Mex6 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 790 | Silvestre |
| 32 | 56 | Mex7 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 790 | Silvestre |
| 33 | 57 | Mex8 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 871 | Silvestre |
| 34 | 58 | Mex9 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 871 | Silvestre |

| No. | No. de colecta | Clave | Municipio | Localidad | Especie | msnm | Silvestre o cultivado |
|-----|----------------|---------|--------------------------|------------------------|---|------|-----------------------|
| 35 | 59 | Mex10 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 871 | Silvestre |
| 36 | 60 | Mex11 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 871 | Silvestre |
| 37 | 61 | Mex12 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 871 | Silvestre |
| 38 | 62 | Mex13 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 871 | Silvestre |
| 39 | 63 | Mex14 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 871 | Silvestre |
| 40 | 64 | Mex15 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 871 | Silvestre |
| 41 | 65 | Mex16 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 862 | Silvestre |
| 42 | 66 | Mex17 | Copalillo | Mezquitlan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 862 | Silvestre |
| 43 | 67 | Pachi1 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 44 | 68 | Pachi2 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 45 | 69 | Pachi3 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. rhodacantha</i> | 1414 | Cultivado |
| 46 | 70 | Pachi4 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 47 | 71 | Pachi5 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 48 | 72 | Pachi6 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. rhodacantha</i> | 1414 | Cultivado |
| 49 | 73 | Pachi7 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. rhodacantha</i> | 1414 | Cultivado |
| 50 | 74 | Pachi8 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 51 | 75 | Pachi9 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 52 | 76 | Pachi10 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 53 | 77 | Pachi11 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 54 | 78 | Pachi12 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. rhodacantha</i> | 1414 | Cultivado |
| 55 | 79 | Pachi13 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 56 | 80 | Pachi14 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 57 | 81 | Pachi15 | Ixcateopan de Cuauhtémoc | San Martín Pachivia | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1414 | Cultivado |
| 58 | 82 | Tepa1 | Tetipac | Tepacoya, San Gregorio | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1742 | Silvestre |
| 59 | 83 | Tepa2 | Tetipac | Tepacoya, San Gregorio | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1794 | Silvestre |
| 60 | 84 | Tepa3 | Tetipac | Tepacoya, San Gregorio | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1794 | Silvestre |
| 61 | 85 | Tepa4 | Tetipac | Tepacoya, San Gregorio | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1801 | Silvestre |
| 62 | 86 | Chapa1 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 63 | 87 | Chapa2 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 64 | 88 | Chapa3 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 65 | 89 | Chapa4 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 66 | 90 | Chapa5 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1552 | Silvestre |
| 67 | 91 | Chapa6 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 68 | 92 | Chapa7 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |

| No. | No. de colecta | Clave | Municipio | Localidad | Especie | msnm | Silvestre o cultivado |
|-----|----------------|----------------------|-------------------------|-------------|---|------|-----------------------|
| 69 | 93 | Chapa8 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 70 | 94 | Chapa9 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 71 | 95 | Chapa10 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 72 | 96 | Chapa11 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 73 | 97 | Chapa12 | Teloloapan | Chapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1552 | Silvestre |
| 74 | 98 | Ctaxco1 | Taxco de Alarcón | Acamixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1706 | Silvestre |
| 75 | 99 | Ctaxco2 | Taxco de Alarcón | Acamixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1706 | Silvestre |
| 76 | 100 | Ctaxco3 | Taxco de Alarcón | Acamixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1706 | Silvestre |
| 77 | 101 | Ctaxco4 | Taxco de Alarcón | Acamixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1706 | Silvestre |
| 78 | 102 | Ju1 | Taxco de Alarcón | Juliantla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1773 | Silvestre |
| 79 | 103 | Ju2 | Taxco de Alarcón | Juliantla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1773 | Silvestre |
| 80 | 104 | 2CT1 | Taxco de Alarcón | Acamixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1732 | Silvestre |
| 81 | 105 | 2CT2 | Taxco de Alarcón | Acamixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1732 | Silvestre |
| 82 | 106 | 2CT3 | Taxco de Alarcón | Acamixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1732 | Silvestre |
| 83 | 107 | 2CT4 | Taxco de Alarcón | Acamixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1732 | Silvestre |
| 84 | 108 | Atetetla1 | Huitzuc de los Figueroa | Atetetla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 896 | Cultivado |
| 85 | 109 | Atetetla2 | Huitzuc de los Figueroa | Atetetla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 896 | Cultivado |
| 86 | 110 | Atetetla3 | Huitzuc de los Figueroa | Atetetla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 896 | Cultivado |
| 87 | 111 | Atetetla4 | Huitzuc de los Figueroa | Atetetla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 896 | Cultivado |
| 88 | 112 | Atetetla5 | Huitzuc de los Figueroa | Atetetla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 896 | Cultivado |
| 89 | 113 | Atetetla6 | Huitzuc de los Figueroa | Atetetla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 896 | Cultivado |
| 90 | 114 | Atetetla7 | Huitzuc de los Figueroa | Atetetla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 896 | Cultivado |
| 91 | 115 | Atetetla8 | Huitzuc de los Figueroa | Atetetla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 896 | Cultivado |
| 92 | 116 | Bue1 | Buenavista de Cuellar | Zacapalco | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1143 | Silvestre |
| 93 | 117 | Bue2 | Buenavista de Cuellar | Zacapalco | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1143 | Silvestre |
| 94 | 118 | Bue3 | Buenavista de Cuellar | Zacapalco | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1143 | Silvestre |
| 95 | 119 | Bue4 | Buenavista de Cuellar | Zacapalco | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1143 | Silvestre |
| 96 | 120 | Monte Taxco 2,Taxco1 | Taxco de Alarcón | Monte Taxco | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1894 | Silvestre |
| 97 | 121 | Monte Taxco 2,Taxco2 | Taxco de Alarcón | Monte Taxco | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1894 | Silvestre |
| 98 | 122 | Malhuantla1 | Tetipac | Malhuantla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1754 | Silvestre |
| 99 | 123 | Malhuantla2 | Tetipac | Pregones | <i>A. rhodacantha</i> | 1754 | Silvestre |
| 100 | 124 | Acueducto1 | Tetipac | Acueducto | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1522 | Silvestre |
| 101 | 125 | 2,Tepacoya1 | Tetipac | Tepacoya | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1786 | Silvestre |
| 102 | 126 | 2,Tepacoya2 | Tetipac | Tepacoya | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1786 | Silvestre |

| No. | No. de colecta | Clave | Municipio | Localidad | Especie | msnm | Silvestre o cultivado |
|-----|----------------|-----------------|------------------|------------------------------------|---|------|-----------------------|
| 103 | 127 | La Venta2 | Edurado Neri | La Venta | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 664 | Silvestre |
| 104 | 128 | La Venta3 | Edurado Neri | La Venta | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 664 | Silvestre |
| 105 | 129 | Tehuixtla1 | Teloloapan | Tehuixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1169 | Cultivado |
| 106 | 130 | Tehuixtla2 | Teloloapan | Tehuixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1169 | Cultivado |
| 107 | 131 | Tehuixtla3 | Teloloapan | Tehuixtla | <i>A. rhodacantha</i> | 1169 | Cultivado |
| 108 | 132 | Tehuixtla4 | Teloloapan | Tehuixtla | <i>A. rhodacantha</i> | 1169 | Cultivado |
| 109 | 133 | Tehuixtla5 | Teloloapan | Tehuixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1169 | Cultivado |
| 110 | 134 | Tehuixtla6 | Teloloapan | Tehuixtla | <i>A. rhodacantha</i> | 1169 | Cultivado |
| 111 | 135 | Tehuixtla7 | Teloloapan | Tehuixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1169 | Cultivado |
| 112 | 136 | Tehuixtla8 | Teloloapan | Tehuixtla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1169 | Cultivado |
| 113 | 137 | Tehuixtla9 | Teloloapan | Tehuixtla | <i>A. rhodacantha</i> | 1169 | Cultivado |
| 114 | 138 | La Cascada1 | Taxco de Alarcón | La Cascada | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1891 | Cultivado |
| 115 | 139 | 3Taxco1 | Taxco de Alarcón | Carretera cuota Taxco Zacapalco | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1894 | Silvestre |
| 116 | 140 | 3Taxco2 | Taxco de Alarcón | Carretera cuota Taxco Zacapalco | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1894 | Silvestre |
| 117 | 141 | 3Taxco3 | Taxco de Alarcón | Pedro Martín | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1894 | Cultivado |
| 118 | 142 | 3Taxco4 | Taxco de Alarcón | Pedro Martín | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1894 | Cultivado |
| 119 | 143 | 3Taxco5 | Taxco de Alarcón | Pedro Martín | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1894 | Cultivado |
| 120 | 144 | 3Taxco6 | Taxco de Alarcón | Zacatecolotla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1894 | Silvestre |
| 121 | 145 | 2Che1 | Independencia | Che Guevara | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 947 | Silvestre |
| 122 | 146 | 2Che2 | Independencia | Che Guevara | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 947 | Silvestre |
| 123 | 147 | Chi1 | Progreso | Cuetzala del Chilacachapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1744 | Silvestre |
| 124 | 148 | Chi2 | Progreso | Cuetzala del Chilacachapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1744 | Silvestre |
| 125 | 149 | Chi3 | Progreso | Cuetzala del Chilacachapa | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1744 | Silvestre |
| 126 | 150 | Chi4 | Progreso | Cuetzala del Chilacachapa-Zihuatel | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1744 | Silvestre |
| 127 | 151 | Chi5 | Progreso | Cuetzala del Chilacachapa-Zihuatel | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1744 | Silvestre |
| 128 | 152 | Chi6 | Progreso | Cuetzala del Chilacachapa-Zihuatel | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1744 | Silvestre |
| 129 | 153 | Agua Escondida1 | Taxco de Alarcón | Agua escondida | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 2422 | Cultivado |
| 130 | 154 | Agua Escondida2 | Taxco de Alarcón | Agua escondida | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 2422 | Cultivado |
| 131 | 155 | 2 La Cascada 1 | Taxco de Alarcón | La Cascada | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1891 | Cultivado |
| 132 | 156 | Coacan1 | Atenango del Río | Entrada Coacan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1041 | Silvestre |
| 133 | 157 | Acatempan1 | Teloloapan | Acatempan | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1481 | Silvestre |
| 134 | 158 | Acatempan2 | Teloloapan | Huerta Grande | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1481 | Silvestre |
| 135 | 159 | Acatempan3 | Teloloapan | Huerta Grande | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 1481 | Silvestre |
| 136 | 160 | Apango 1 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 137 | 161 | 3Mex2 | Copalillo | Mezquitlan - El Puente | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 678 | Silvestre |
| 138 | 162 | Atenango 1 | Atenango del Río | Atenango del Río | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |

| No. | No. de colecta | Clave | Municipio | Localidad | Especie | msnm | Silvestre o cultivado |
|-----|----------------|----------------|----------------------------|---------------------|---|------|-----------------------|
| 139 | 163 | Atenango 2 | Atenango del Río | Atenango del Río | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |
| 140 | 164 | Atenango 4 | Atenango del Río | Atenango del Río | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |
| 141 | 165 | Atenango 5 | Atenango del Río | Atenango del Río | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |
| 142 | 166 | Atenango 6 | Atenango del Río | Atenango del Río | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |
| 143 | 167 | Cuaxilotla 1 | Cuetzala del Progreso | Cuaxilotla | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |
| 144 | 168 | 2Atenango A1 | Atenango del Río | Atenango - Basurero | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |
| 145 | 169 | 2Atenango A2 | Atenango del Río | Atenango - Basurero | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |
| 146 | 170 | 2Atenango B1 | Atenango del Río | Atenango - Basurero | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |
| 147 | 171 | 2Atenango B2 | Atenango del Río | Atenango - Basurero | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 693 | Silvestre |
| 148 | 172 | 2Apango 1 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 149 | 173 | 2Apango 2 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 150 | 174 | 2Apango 3 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 151 | 175 | 2Apango 4 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 152 | 176 | 2Apango 5 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 153 | 177 | 2Apango 6 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 154 | 178 | 2Apango 7 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 155 | 179 | 2Apango 8 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 156 | 180 | 2Apango 9 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 157 | 181 | 2Apango 10 | Atenango del Río | Apanguito | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 751 | Silvestre |
| 158 | 182 | 3Che1a | Iguala de la Independencia | Che Guevara | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 947 | Silvestre |
| 159 | 183 | 3Che2b | Iguala de la Independencia | Che Guevara | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 947 | Silvestre |
| 160 | 184 | 3Che3c | Iguala de la Independencia | Che Guevara | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 947 | Silvestre |
| 161 | 185 | 3Che4d | Iguala de la Independencia | Che Guevara | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 947 | Silvestre |
| 162 | 186 | 3Che5e | Iguala de la Independencia | Che Guevara | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 947 | Silvestre |
| 163 | 187 | 3Che6f | Iguala de la Independencia | Che Guevara | <i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | 947 | Silvestre |
| 164 | 188 | 3Che7g | Iguala de la Independencia | Che Guevara | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 947 | Silvestre |
| 165 | 189 | La Venta 1 | Edurado Neri Cuetzala del | La Venta | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 664 | Silvestre |
| 166 | 190 | Tianquizolco 1 | Progreso | Tianquizolco | <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> | 1679 | Cultivado |
| 167 | 220 | Tuza rhoda 1 | Atenango del Río | Tuzantlan | <i>A. rhodacantha</i> | 985 | Cultivado |
| 168 | 221 | Tuza rhoda 2 | Atenango del Río | Tuzantlan | <i>A. rhodacantha</i> | 985 | Cultivado |
| 169 | 222 | Tuza rhoda 3 | Atenango del Río | Tuzantlan | <i>A. rhodacantha</i> | 985 | Cultivado |
| 170 | 223 | Tuza rhoda 4 | Atenango del Río | Tuzantlan | <i>A. rhodacantha</i> | 985 | Cultivado |
| 171 | 224 | Tuza rhoda 5 | Atenango del Río | Tuzantlan | <i>A. rhodacantha</i> | 985 | Cultivado |
| 172 | 225 | Tuza rhoda 6 | Atenango del Río | Tuzantlan | <i>A. rhodacantha</i> | 985 | Cultivado |

Apéndice 2. Caracteres vegetativos analizados en ejemplares pertenecientes al complejo *A. angustifolia*.

Appendix 2. Vegetative characters analyzed in specimens belonging to the *A. angustifolia* complex.

| No. | Carácter | Tipo de carácter | Valor numérico |
|-----|---|------------------|--|
| 1 | Altura de la roseta (Aro) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 2 | Diámetro de la roseta (Dro) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 3 | No. de hojas por planta (Nhp) | Cuantitativo | Número |
| 4 | Longitud de la hoja (promedio de 3 hojas, Lho) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 5 | Ancho en la base de la hoja (promedio de 3 hojas, Abh) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 6 | Ancho mayor de la hoja (promedio de 3 hojas, Amh) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 7 | Distancia de la base a la parte más ancha de la hoja (promedio de 3 hojas, Dba) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 8 | No. de dientes en un lado del margen de la hoja (promedio de 3 hojas, Ndi) | Cuantitativo | Número |
| 9 | Longitud de los dientes a la mitad de la hoja (promedio de 3 hojas, Ldi) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 10 | Ancho de los dientes a la mitad de la hoja (promedio de 3 hojas, Adi) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 11 | Distancia entre dientes (promedio de 3 hojas, Ddi) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 12 | Largo espina terminal (promedio de 3 hojas, Let) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 13 | Ancho de la espina terminal (promedio de 3 hojas, Aet) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 14 | Distancia de la base de la espina terminal al diente más cercano (promedio de 3 hojas, Ded) | Cuantitativo | Medida en cm |
| 15 | Forma de la hoja (Fho) | Cualitativo | linear 1, lanceolada o linear lanceolada 3 |
| 16 | Glauscencia (Gla) | Cualitativo | Ausente 1, medianamente presente 3 |
| 17 | Color de la hoja (Cho) | Cualitativo | Verde a glauco 1, verde a verde amarilloso 3 y verde limón 5 |
| 18 | Forma dientes laterales (Fdi) | Cualitativo | Rectos 1, Antrorsos 3 y curvados 5 |