

Caracterización morfológica de 41 accesiones de *Vanilla* spp. (Orchidales: Orchidaceae) de México

Morphometric characterization of 41 accessions of *Vanilla* spp. (Orchidales: Orchidaceae) from Mexico

Álvaro Flores-Jiménez¹ ; Porfirio Juárez-López¹ ; Manuel de Jesús Sainz-Aispuro² ;
Nelson Avonce-Vergara² ; Fermín Pascual-Ramírez³ ; Carmela Hernández-Domínguez⁴ ;
Edgar Martínez-Fernández⁵ ; Erika Román-Montes de Oca¹ ; Delfino Reyes-López^{4*} 

¹Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Avenida Universidad 1001, 62210, Cuernavaca, Morelos, México.

²Centro de Investigación en Dinámica Celular, UAEM.

³Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, 58190, Morelia, Michoacán, México.

⁴Facultad en Ciencias Agrícolas y Pecuarias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. Universidad S/N, San Juan Acateno, 73965, Teziutlán, Puebla, México.

⁵Centro de Investigaciones Biológicas, UAEM.

*Autor para correspondencia: delfino.reyes@correo.buap.mx

Fecha de recepción:

25 de enero de 2023

Fecha de aceptación:

24 de abril de 2023

Disponible en línea:

31 de mayo de 2024

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercial-

CompartirIgual 4.0

Internacional

(CC BY-NC-SA 4.0)

RESUMEN

La vainilla es considerada originaria de México y Centroamérica que es donde se encuentra la mayor diversidad genética a nivel mundial. Sin embargo, en México aún no se cuenta con información precisa sobre la diversidad existente dentro de cada especie del género *Vanilla*. El objetivo de esta investigación fue evaluar la diversidad genética de 41 accesiones de vainillas mexicanas mediante caracterización morfológica de tallos, hojas y flores. Se tomaron muestras de tres hojas, tres tallos y tres flores por accesión, las cuales fueron escaneadas en un escáner digital y medidas con un analizador de imágenes. Con los datos obtenidos se llevó a cabo el análisis estadístico descriptivo (media, desviación estándar, valores mínimos y máximos), el de correlación y de componentes principales. Los caracteres morfológicos altamente correlacionados ($\geq 90\%$) correspondieron a caracteres de la flor, los cuales fueron área de pétalos (APE), largo de pétalos (LPE), ancho de pétalos (ANPE), área de sépalos (ASE), largo de sépalos (LSE), área del labelo (AL), largo del labelo (LL) y largo del ginostema (LG). La varianza acumulada de los seis primeros componentes principales incluye 73.8 por ciento de la variación total del conjunto de datos analizados. El análisis de conglomerados jerárquicos permitió la formación de 15 grupos, donde se separaron cinco especies del género *Vanilla*, seis clones dentro de la especie *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews (Orchidaceae) y la posibilidad de que tres accesiones fueran consideradas como nuevas especies para México.

PALABRAS CLAVE

Análisis multivariado, diversidad, orquídeas, vainilla

ABSTRACT

Vanilla is considered native to Mexico and Central America, which is where the greatest genetic diversity is found worldwide. In Mexico, there is still no precise information on the existing diversity within each species of the vanilla genus. The objective of this research was to evaluate the genetic diversity of 41 accessions of Mexican vanilla by means of morphometric characterization of stems, leaves, and flowers. Samples of three leaves, three stems and three flowers per accession were taken, which were scanned in a digital scanner and measured with an image analyzer. Descriptive statistical analyzes (mean, standard deviation, minimum and maximum values), correlation analysis and principal component analysis were performed with the data obtained. The

highly correlated morphometric characters ($\geq 90\%$) corresponded to flower characters, which were petal area (APE), petal length (LPE), petal width (ANPE), sepal area (ASE), length of sepals (LSE), lip area (AL), lip length (LL) and gynostema length (LG). The cumulative variance of the first six principal components includes 73.8 % of the total variance of the analyzed data set. The hierarchical cluster analysis allowed the formation of 15 groups where five species of the *Vanilla* genus were separated, six clones within the species *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews (Orchidaceae) and the possibility that three accessions are considered as new species for Mexico.

KEYWORDS

Multivariate analysis, diversity, orchids, Vanilla

INTRODUCCIÓN

La base de la agricultura y la seguridad alimentaria mundial son el agua, el suelo y los recursos genéticos; de éstos, los recursos fitogenéticos son los menos conocidos, valorados y amenazados, por lo que dependen del cuidado de la humanidad. Son de gran importancia, ya que comprenden variedades tradicionales, cultivares modernos y plantas silvestres afines a las cultivadas, de los cuales se obtienen múltiples satisfactores para la humanidad (FAO 2009). Sin embargo, su diversidad genética ha disminuido considerablemente por diversos factores, tanto climáticos como de actividades antropocéntricas (Bautista-Ramírez et al. 2020).

México, por su ubicación geográfica y diversidad biológica, ha contribuido de manera sobresaliente a la alimentación y desarrollo de la humanidad con especies como maíz, frijol, calabaza, chile, papaya, algodón y vainilla, entre otros cultivos (SNICS 2020). Debido a la importancia de los recursos fitogenéticos de México, se ha implementado una estrategia nacional para su rescate, conservación y uso potencial, considerando el segundo plan de acción mundial para los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (FAO 2018).

La vainilla, *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews (Orchidaceae), es un cultivo que puede considerarse un recurso fitogenético importante para México, ya que de sus frutos se obtienen ingredientes que se utilizan para la alimentación y la medicina. Además, tiene raíces lingüísticas y culturales (Bory et al. 2008; Flores et al. 2017; Herrera 2018).

La diversidad genética de la vainilla en el país ha disminuido debido a que su hábitat natural se ha destruido de manera considerable (Hernández et al. 2011;

Luis-Rojas et al. 2020). En este sentido, a nivel internacional, *V. planifolia* está considerada como una especie de alto grado de erosión genética (FAO 1995; López et al. 2008), y, a nivel nacional, como una especie sujeta a protección (SEMARNAT 2010); por diversos factores, también ha disminuido notablemente su superficie sembrada y sus rendimientos por unidad de superficie (Luis-Rojas et al. 2020).

En América, se registran 52 especies del género *Vanilla*, de las cuales, 15 se reportan en América Central y 10 en México, lo cual evidencia la importancia de este último país como fuente de variación genética del género (Soto y Cribb 2010; Soto y Dressler 2010). Sin embargo, diversos trabajos indican que pueden existir más especies (Castillo y Engleman 1993; Flores et al. 2017; Korthou y Verpoorte 2007; Ramos-Castellá et al. 2016; Reyes-López et al. 2014).

La caracterización morfológica es una herramienta que puede discriminar materiales biológicos con características fenotípicas diferentes, y el análisis multivariado es usado frecuentemente para evaluar la variabilidad morfométrica de diferentes especies, identificar grupos de accesiones que poseen caracteres deseables en programas de mejoramiento genético, crear colecciones núcleo y detectar patrones de variación en colecciones de germoplasma (Dos Santos et al. 2009).

Dentro de las políticas nacionales en relación con los recursos fitogenéticos de México, en 2001 se formó el Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI) como un subprograma del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), el cual, desde 2008, integró varios bancos de germoplasma de cultivos nativos del país, entre ellos la vainilla; en la actualidad, se cuenta con un banco de

germoplasma que resguarda 120 accesiones. En este sentido, el objetivo del presente estudio fue caracterizar de manera morfológica la hoja, el tallo y la flor de 41 accesiones del banco de germoplasma de vainilla de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el banco de germoplasma de vainilla de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, ubicado en Tenampulco, en la parte nororiental del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 10° 08' 30'' y 20° 14' 54'' de Latitud Norte y los meridianos 97° 20' 00'' y 97° 30' 00'' de Longitud Oeste; a 210 msnm, presenta un clima cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano (INEGI 2019). Las accesiones de vainilla del banco de germoplasma se encuentran bajo el mismo manejo agronómico y protegidas por una malla con 70 por ciento de sombra, usando tutores vivos de *Erythrina coralloides* Moc. & Sessé ex. DC. (Fabaceae) y *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Fabaceae), que sirven de sostén y brindan sombra; de ello se infiere que las expresiones fenotípicas de las plantas se deben a su

genotipo y se descartan las diferencias que se puedan expresar debido al ambiente.

Material vegetal

Se evaluaron 41 accesiones de *Vanilla* spp. con siete años, provenientes de los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo y Veracruz, México. Se consideraron tallos, hojas y flores.

Caracterización morfométrica

En las 41 accesiones de *Vanilla* spp., de la parte media de cada planta se seleccionaron tres hojas, tres tallos y tres flores totalmente desarrolladas, en tres plantas por accesión. Se cortaron las hojas y flores, y se escaneó cada una de sus partes con un escáner digital Canon® MX310, con la finalidad de obtener imágenes en formato JPEG, las cuales, posteriormente, se introdujeron al procesador y analizador de imágenes UTHSCSA ImageTool™ (IT) versión 3.0 (<http://compdent.uthscsa.edu/dig/itdesc.html>). En los tallos se midieron las variables de manera directa. Se registraron 14 variables para hoja, 5 para tallo y 32 para flor (Cuadro 1).

Cuadro 1. Caracteres evaluados, abreviación y escala numérica de 41 accesiones de *Vanilla* spp. provenientes de cinco estados de México.

Carácter	Abreviación	Escala de medición
Hoja		
Longitud de hoja	L	cm
Ancho de hoja	A	cm
Área foliar	AF	m ²
Ángulo inferior	AI	Grados (°)
Ángulo superior	AS	Grados (°)
Longitud del peciolo	LP	cm
Color de hoja	C	
Grosor de hoja	G	cm
Longitud de hoja/Ancho de hoja	L/A	cm
Longitud de hoja/Área foliar	L/AF	cm
Ángulo superior/Ángulo inferior	AS/AI	Grados (°)
Longitud de hoja/Grosor de hoja	L/G	cm
Ancho de hoja/Grosor de hoja	A/G	cm
Longitud de hoja/Longitud del peciolo	L/LP	cm

Cuadro 1. Continuación.

Carácter	Abreviación	Escala de medición
Tallo		
Grosor de tallo	GT	cm
Color de tallo	CT	
Distancia de entrenudos	DN	cm
Rugosidad	R	
Grosor de tallos/distancia de entrenudos	GT/DN	cm
Flor		
Área de pétalos	APE	cm ²
Perímetro de pétalos	PPE	cm
Largo de pétalos	LPE	cm
Ancho de pétalos	ANPE	cm
Ancho inferior de pétalos	ANIPE	cm
Área de sépalos	ASE	cm ²
Perímetro de sépalos	PSE	cm
Largo de sépalos	LSE	cm
Ancho de sépalos	ANSE	cm
Ancho inferior de sépalos	ANISE	cm
Área del labelo	AL	cm ²
Perímetro del labelo	PL	cm
Largo del labelo	LL	cm
Ancho del labelo	ANL	cm
Área de las vellosidades	AREV	cm ²
Área del callo	AREC	cm ²
Área del ginostema	AG	cm ²
Perímetro del ginostema	PG	cm
Largo del ginostema	LG	cm
Ancho del ginostema	ANG	cm
Área del polinario	APO	cm ²
Perímetro del polinario	PPO	cm
Largo del polinario	LPO	cm
Ancho del polinario	ANPO	cm
Área del róstelo	AR	cm ²
Perímetro del róstelo	PR	cm
Largo del róstelo	LR	cm
Ancho del róstelo	ANR	cm
Área del ovario	AO	cm ²
Perímetro del ovario	PO	cm
Largo del ovario	LO	cm
Ancho del ovario	ANOV	cm

Análisis estadístico

Los datos morfométricos se analizaron mediante pruebas descriptivas; iniciando con la estandarización de la matriz básica de datos (Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos) (Cuadro 2). Con el objetivo de estimar la variación total de cada carácter, se calculó el coeficiente de variación como la desviación estándar \times promedio \times 100. Con base en los promedios de las evaluaciones anteriores, se construyó la matriz básica de datos (MBD), con la cual se obtuvo un análisis de correlación de Pearson entre caracteres.

Posteriormente, se realizó el análisis de componentes principales de la siguiente manera: (1) estandarización de los datos para reducir los efectos de las diferentes escalas de medición, restando a cada valor el promedio de cada carácter y dividiendo el resultado

por la desviación estándar del mismo; (2) cálculo de la matriz de distancia entre accesiones basada en el coeficiente de distancia taxonómica promedio, la cual se utilizó tanto para el análisis de componentes principales como para el de agrupamientos; (3) proyección bidimensional de las accesiones obtenida mediante el cálculo de los valores propios y vectores propios de la matriz de distancia, y (4) agrupación de las accesiones mediante el algoritmo de agrupamiento jerárquico UPGMA (Unweigh pair-group method using aritmética verages o media aritmética no ponderada), con el cual se generó un dendograma que agrupó las accesiones en grupos discretos; también se determinaron las distancias morfométricas entre grupos. Los análisis de componentes principales y de agrupamiento se llevaron a cabo con el programa NTSYSpc Ver. 2.21c. (Rohlf 2009).

Cuadro 2. Estandarización de la matriz básica de variables evaluadas de 41 accesiones de *Vanilla* spp. provenientes de cinco estados de México.

Variable	Media	Desviación estándar	n	Mínimo	Máximo
L	17.05	3.95	41	9.50	25.86
A	4.69	1.16	41	2.30	7.40
AF	62.77	26.29	41	18.03	112.32
AI	38.79	9.46	41	19.29	56.97
AS	26.10	6.44	41	14.60	40.89
LP	1.01	0.22	41	0.46	1.56
C	3.80	2.65	41	1.00	9.00
G	0.17	0.04	41	0.04	0.26
L/A	3.71	0.69	41	2.51	5.47
L/AF	0.30	0.09	41	0.18	0.57
AS/AI	0.68	0.09	41	0.53	0.97
L/G	101.60	43.30	41	62.37	354.16
A/G	28.99	17.70	41	12.20	132.50
L/LP	17.14	3.64	41	11.50	26.56
GT	0.85	0.24	41	0.43	1.30
CT	3.36	2.69	41	1.00	10.00
DN	11.80	2.82	41	4.26	16.33
R	1.29	0.64	41	1.00	3.00
GT/DN	0.07	0.01	41	0.04	0.12
APE	4.7688	2.54	41	1.75	15.28
PPE	19.49	2.94	41	13.08	28.08
LPE	6.67	1.34	41	3.97	11.71
ANPE	1.08	0.20	41	0.77	1.89

Cuadro 2. Continuación.

Variable	Media	Desviación estándar	n	Mínimo	Máximo
ANIPE	0.62	0.11	41	0.47	0.99
ASE	6.45	2.71	41	3.88	17.79
PSE	16.74	3.69	41	11.82	27.43
LSE	6.72	1.40	41	4.14	12.44
ANSE	1.40	0.21	41	0.93	2.12
ANISE	0.61	0.11	41	0.37	1.00
AL	9.31	4.28	41	6.38	29.50
PL	27.34	15.21	41	16.39	81.95
LL	6.11	1.85	41	4.14	11.78
ANL	3.18	0.68	41	2.49	5.61
AREV	2.76	0.47	41	1.79	4.22
AREC	0.45	0.19	41	0.00	1.12
AG	1.85	0.43	41	0.99	2.87
PG	15.31	16.10	41	6.52	111.00
LG	4.70	1.25	41	2.36	8.15
ANG	0.68	0.09	41	0.53	0.98
APO	0.19	0.28	41	0.09	1.95
PPO	1.83	0.37	41	1.45	2.85
LPO	0.57	0.14	41	0.44	0.97
ANPO	0.35	0.05	41	0.30	0.54
AR	0.16	0.21	41	0.06	0.90
PR	1.36	0.22	41	1.12	2.07
LR	0.41	0.05	41	0.36	0.57
ANR	0.36	0.05	41	0.24	0.52
AO	2.19	1.54	41	1.04	7.80
PO	15.84	2.09	41	12.45	22.00
LO	5.54	0.93	41	4.13	8.73
ANOV	0.64	0.18	41	0.33	1.22

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de correlación

Los resultados indican que estuvieron altamente correlacionados ($\geq 90\%$) los caracteres APE, LPE, ANPE, ASE, LSE, AL, LL y LG (Cuadro 3), que corresponden a caracteres de flor, los cuales podrían considerarse para la descripción y caracterización de especies y clones dentro de las especies.

En trabajos similares de caracterización morfológica en vainilla, Reyes-López et al. (2014) reportan en fruto y semilla de cuatro especies del género *Vanilla* los caracteres de longitud/ancho de fruto (L/A), peso/ancho

Cuadro 3. Variables altamente correlacionadas ($\geq 90\%$) en especies y clones dentro de las especies de *Vanilla* spp. estudiadas.

	APE	LPE	ASE	PPO
LPE	0.965			
ANPE	0.93			
ASE	0.965	0.933		
LSE	0.97	0.991	0.939	
AL	0.9		0.935	
LL	0.913			
LG	0.943	0.964	0.903	
LPO				0.979

de fruto (PC/A), eje radial de semilla (ER), peso de cápsula (PC), área de semilla (AS), índice de compactación de semilla (IC), área/perímetro de semilla (AS/PS), longitud del hilio de la semilla (LF) y diámetro feret de semilla (DF) altamente relacionados ($\geq 90\%$). Asimismo, Flores et al. (2017), en la caracterización de hoja y tallo en 186 accesiones del género *Vanilla*, reportan los caracteres perímetro (P), ancho (A), diámetro feret (DF), longitud (L), área foliar (AF) altamente asociados ($\geq 90\%$). Por otro lado, Hernández-Ruiz et al. (2016) encontraron variaciones florales infraespecíficas en *V. planifolia*. Andriamihaja et al. (2020), en un estudio de diferenciación de vainillas sin hojas de Madagascar, identificaron siete grupos genéticos por rasgos florales específicos.

Los resultados encontrados en el estudio complementan los conocimientos de caracterización morfométrica del género *Vanilla* en México, debido a que en trabajos anteriores no se había considerado la flor en diferentes especies de vainilla (Castillo y Engleman 1993; Flores 2016; Reyes-López et al. 2014).

Análisis de componentes principales

Los valores de componentes principales (Cuadro 4) indican que el primer elemento aporta 38.1 por ciento de la varianza total, seguido por los componentes principales 2, 3, 4, 5 y 6 con 12.9, 8.0, 5.5, 5.2 y 4.1 por ciento, respectivamente, lo que indica que la varianza acumulada de los 6 primeros incluye 73.8 por ciento de la variación total del conjunto de datos analizados y los caracteres tomados en consideración.

En trabajos de caracterización de fruto y semilla en cuatro especies del género *Vanilla*, Reyes-López et al. (2014) reportan que sus componentes principales abarcan 87.99 por ciento, mientras que de acuerdo con Flores et al. (2017) los componentes principales para

la caracterización de hoja y tallo en 186 accesiones del género *Vanilla* alcanzan 91.82 por ciento, resultados similares a los encontrados en la presente investigación.

De acuerdo con los valores propios de los seis primeros componentes, las variables que mayor aporte tuvieron en el primer componente principal fueron ancho del polinario (ANPO), perímetro de los pétalos (PPE), largo del róstelo (LR) y largo de los pétalos (LPE). En el segundo fue el ancho del ovario (ANOV). Para el tercero fue el área de pétalos (APE). En el caso del cuarto fue el perímetro del róstelo (PR).

Por otra parte, en la caracterización de fruto y semilla en cuatro especies del género *Vanilla*, Reyes-López et al. (2014) encontraron que las variables con mayor aporte son eje radial, longitud del hilio, peso de cápsula, en el primer componente principal; índice de compactación en el segundo; grosor, en el tercero, y área de zona placentaria, en el cuarto. Mientras que en el análisis de tallos y hojas realizado por Flores et al. (2017) las variables que mayor aporte tuvieron en el primer componente principal fueron área foliar, perímetro, longitud, ancho, y las relaciones longitud entre área foliar y ancho; en el segundo, longitud de entrenudos; para el tercero, índice de compactación; en el caso del cuarto, índice de compactación y diámetro de tallo.

Análisis de agrupamiento

El análisis de conglomerados jerárquicos permitió la formación de 15 grupos (Figura 1) donde se separó a *V. planifolia* (accesiones 1, 2, 115, 27, 39, 36 y 41 formaron el grupo 15; la accesión 14, el grupo 14; las accesiones 20, 47, 45, 99, 28, 44, 100, 30, 37, 43, 49, 79, 98, 97 y 84, el grupo 13; las accesiones 32 y 75, el grupo 12; la accesión 194, el grupo 11; las accesiones 41 y 124, el grupo 10; la

Cuadro 4. Valor propio, porcentaje de varianza y varianza acumulada para los componentes principales en el estudio de caracterización morfológica de vainilla.

Componente principal	Valor propio (Eigen valores)	Porcentaje de varianza (%)	Varianza acumulada (%)
1	19.4	38.1	38.1
2	6.5	12.9	51.0
3	4.1	8.0	59.0
4	2.8	5.5	64.5
5	2.6	5.2	69.7
6	2.0	4.1	73.8

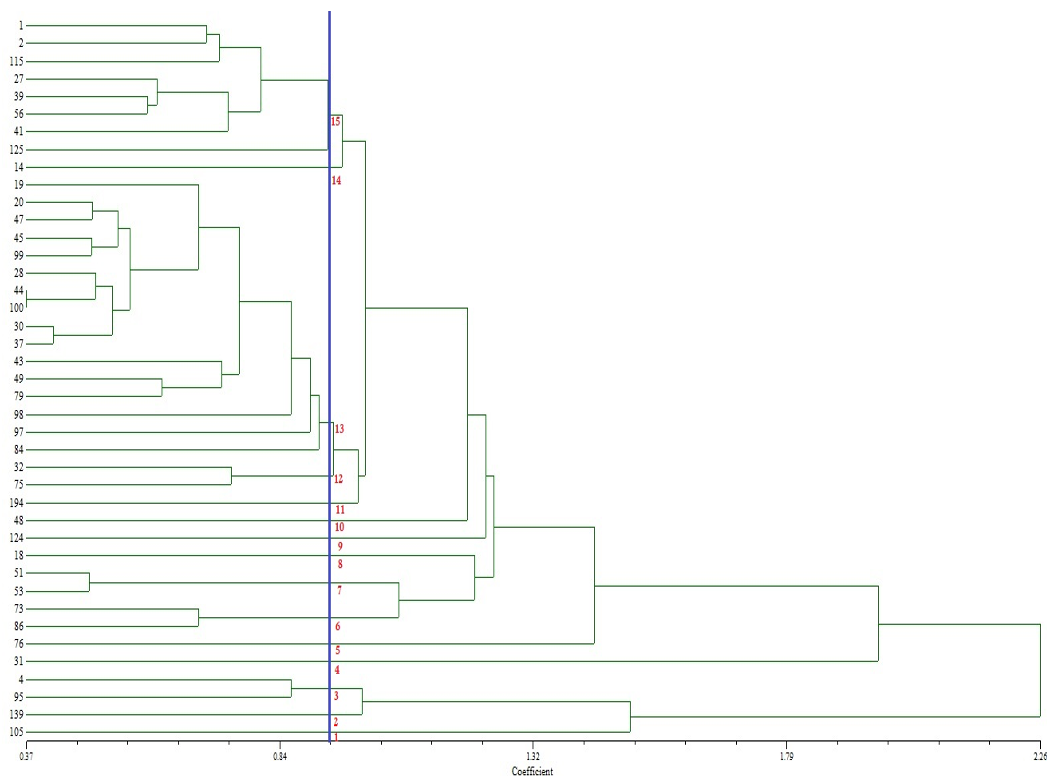


Figura 1. Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 41 accesiones de vainilla.

accesión 18, el grupo 9, y las accesiones 73 y 86, el grupo 6). Las accesiones 51 y 53 que conformaron el grupo 7 son un tipo de vainilla comúnmente llamada espada, y las accesiones 76 y 31, correspondientes a la especie *V. inodora* Schiede crearon, de manera independiente, los grupos 4 y 5. Las accesiones 4 y 95, que corresponden a *V. odorata* C.Presl, establecieron el grupo 3; las accesiones 139 y 105, el grupo 2 y 1, que corresponden a *V. insignis* Ames y *V. odorata*, respectivamente.

En *V. planifolia* se separaron las accesiones 14, 32, 75, 41, 124 y 18, las cuales son clones dentro de *V. planifolia*. Estos resultados indican que dentro de *V. planifolia*, considerada la de mayor importancia comercial, existe variación genética que podría ser utilizada para el mejoramiento genético de la especie. La discriminación de seis clones de *V. planifolia* contribuye al conocimiento de la diversidad genética que se puede encontrar dentro de la especie, pues según Soto-Arenas (2006) no se conoce con exactitud la variación clonal que puede haber dentro de las especies reportadas para México.

Por otro lado, la accesión 18 —comúnmente llamada por productores de vainilla de Veracruz y Puebla como “oreja de burro”— es considerada como un clon dentro de *V. planifolia*. Sin embargo, Castillo

y Engleman (1993), en un estudio de caracterización morfológica, compararon “oreja de burro” con la vainilla llamada “mansa”, y consideraron la posibilidad de que la primera podría ser una especie diferente a *V. planifolia*. En el presente estudio, la accesión 18 formó un grupo independiente a las demás accesiones de *V. planifolia*, por lo que dicha accesión podría ser considerada como una especie nueva. Sin embargo, aún se requiere un estudio a nivel molecular para fortalecer esta hipótesis de examinar la accesión 18 como una especie diferente a *V. planifolia*, la cual por sus características morfológicas y agronómicas aportaría genes favorables para el mejoramiento genético.

Respecto a las accesiones 51 y 53 —comúnmente llamadas “espada”—, por su forma de hoja, tamaño de flor y grosor de tallo, han sido deparadas de las demás debido al análisis de conglomerados. Sus características morfológicas de tallo, flor y hoja no corresponden a las especies *V. insignis* ni *V. odorata* que serían las más parecidas, por lo que faltaría un análisis a nivel molecular para situarlas dentro de una especie ya conocida o considerarlas una especie nueva. Soto (2003) menciona que en México existen 10 especies de vainilla, lo que representa 6 por ciento de la diversidad mundial

del género *Vanilla* (Soto y Cribb 2010; Soto y Dressler 2010), Sin embargo, los estudios de Castillo y Engleman (1993), Reyes-López et al. (2014), Hernández-Ruiz et al. (2016), Ramos-Castellá et al. (2016) y Flores et al. (2017) sugieren que la diversidad del género *Vanilla* en México podría ser mayor, hipótesis que es fortalecida con los resultados encontrados en el presente estudio.

CONCLUSIÓN

El estudio de caracterización morfológica en 41 accesiones de vainilla permitió la formación de 15 grupos donde se separaron cinco especies del género *Vanilla*, seis clones dentro de *V. planifolia* Jacks ex Andrews y la posibilidad de que las accesiones 18, 51 y 53 —llamadas comúnmente oreja de burro y espada, respectivamente— sean consideradas como nuevas especies.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT, por la beca 554375 para realizar estudios de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural.

LITERATURA CITADA

- Andriamihaja CF, Ramarosandratana AV, Grisoni M, Jeannoda V, Besse P. 2020. The leafless *Vanilla* species-complex from the South-West Indian Ocean region: A taxonomic puzzle and a model for orchid evolution and conservation research. *Diversity* 12: 443. <https://doi.org/10.3390/d12120443>
- Bautista-Ramírez A, Aguillón-Gutiérrez DR, Magno-Benítez I, Hernández-Austria R. 2020. Principales amenazas para la biodiversidad y perspectivas para su manejo y conservación en el estado de Hidalgo: el caso de los anfibios y reptiles. En: Ramírez-Bautista A, Sánchez-González A, Sánchez-Rojas G, Cuevas-Cardona C, editores. Biodiversidad del estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. P. 577-590.
- Bory S, Grisoni M, Duval MF, Besse P. 2008. Biodiversity and preservation of vanilla: Present state of knowledge. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55: 551-571. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9260-3>
- Castillo MR, Engleman EM. 1993. Caracterización de dos tipos de *Vanilla planifolia*. *Acta Botánica Mexicana* 25: 49-59. <https://doi.org/10.21829/abm25.1993.682>
- Dos Santos TMM, Gananca F, Slaski JJ, Pinheiro MA. 2009. Morphological characterization of wheat genetic resources from the Island of Madeira, Portugal. *Genetic Resources and Crop Evolution* 56: 363-375. <https://doi.org/10.1007/s10722-008-9371-5>
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1995. Documentos técnicos de referencia. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2009. How to Feed the World in 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Flores JA. 2016. Caracterización de clones de cinco especies de vainilla y su distribución en México. Tesis de Maestría en Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.
- Flores Á, Reyes D, Jiménez D, Romero O, Rivera JA, Huerta M, Pérez SA. 2017. Diversity and bioclimatic profiles of *Vanilla* spp. (Orchidaceae) in Mexico. *Revista de Biología Tropical* 65: 975-987. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i3.29438>
- Hernández J, Sánchez MS, Curti DE, Larios RM. 2011. La producción de vainilla en México. Libro técnico Núm. 25. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro.
- Hernández-Ruiz J, Herrera-Cabrera BE, Delgado-Alvarado A, Salazar-Rojas VM, Bustamante-Gonzalez A, Campos-Contreras JE, Ramírez-Juárez J. 2016. Potential distribution and geographic characteristics of wild populations of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) Oaxaca, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 64: 235-246. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.17854>
- Herrera CB. 2018. Caracterización de agroecosistemas con *Vanilla* spp., [Orchidaceae] en el Totonacapan, México. *Agroproductividad* 11: 64-69.

- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [internet]. 2019. Áreas geográficas. [citado 2019 octubre 22]. Disponible en: www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioidatos
- Korthou H, Verpoorte R. 2007. Vanilla. En: Günter-Berger R, editor. *Flavours and Fragrances Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*. Hannover, Springer. P. 203-213.
- López SA, Odoux E, Brat P, Ribeyre F, Rodríguez JG, Robles OV, García AA y Günata Z. 2008. GC-MS and GC-olfactometry analysis of aroma compounds in a representative organic aroma extract from cured vanilla (*Vanilla planifolia* G. Jackson) beans. *Food Chemistry* 99: 728-735. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.050>
- Luis-Rojas S, Ramírez-Valverde B, Díaz-Bautista M, Pizano-Calderón J, Rodríguez-López C. 2020. La producción de vainilla (*Vanilla planifolia*) en México: análisis y pronóstico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11: 175-187. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.2065>
- Ramos-Castellá A, Iglesias-Andreu L, Martínez-Castillo J, Ortiz-García M, Andueza-Noh RH, Octavio-Aguilar P, Luna-Rodríguez M. 2016. Evaluation of molecular variability in germplasm of vanilla (*Vanilla planifolia* G. Jackson in Andrews) in Southeast Mexico: Implications for genetic improvement and conservation. *Plant Genetic Resources* 15: 310-320. <https://doi.org/10.1017/S1479262115000660>
- Reyes-López D, Flores-Jiménez A, Huerta-Lara M, Kelso-Bucio HA, Avendaño-Arzate CH, Lobato-Ortiz R, Aragón-García A, López-Olguín JF. 2014. Variación morfológica de fruto y semilla en cuatro especies del género *Vanilla*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 1: 205-218.
- Rohlf FJ. 2009. Statistical power comparisons among alternative morphometric methods. *American Journal of Biological Anthropology* 111: 463-478. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(200004\)111:4<463::AID-AJPA3>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(200004)111:4<463::AID-AJPA3>3.0.CO;2-B)
- [SEMARNAT] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [internet]. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diario Oficial. [citado 2010 diciembre 30]. Disponible en: <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010>
- [SNICS] Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. [internet]. 2020. Generalidades de la red vainilla. [citado 2017 agosto 01]. Disponible en: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/vainilla-vainilla-spp>
- Soto AMA. 2003. Vanilla. En: Pridgeon AM, Cribb PJ, Chase MW, Rasmussen FN, editores. *Orchids of Mexico, parts 2 and 3. Icones Orchidacearum fasc. 5-6*. Distrito Federal, Herbario AMO. P. 321-334.
- Soto-Arenas MA. 2006. La vainilla retos y perspectivas de su cultivo. *Biodiversitas* 66: 1-9.
- Soto M, Cribb P. 2010. A new infrageneric classification and synopsis of the genus *Vanilla* Plum. ex Mill. (Orchidaceae: Vanillinae). *Lankesteriana* 9: 355-398. <https://doi.org/10.15517/lank.v0i0.12071>
- Soto MA, Dressler RL. 2010. A revision of the Mexican and Central American species of *Vanilla* Plumier ex Miller with a characterization of their its region of the nuclear ribosomal DNA. *Lankesteriana* 9: 285-354. <https://doi.org/10.15517/lank.v0i0.12065>