

**CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE 41 ACCESIONES DE *Vanilla* spp.  
(ORCHIDALES: ORCHIDACEAE) DE MÉXICO**

**MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF 41 ACCESSIONS OF *Vanilla* spp.  
(ORCHIDALES: ORCHIDACEAE) FROM MEXICO**

**CARACTERIZACIÓN DE VAINILLA DE MÉXICO**

Álvaro Flores-Jiménez<sup>1</sup>; Porfirio Juárez-López<sup>1</sup>; Manuel de Jesús Sainz-Aispuro<sup>2</sup>; Nelson Avonce-Vergara<sup>2</sup>; Fermín Pascual-Ramírez<sup>3</sup>; Carmela Hernández-Domínguez<sup>4</sup>; Edgar Martínez-Fernández<sup>5</sup>; Erika Román-Montes de Oca<sup>1</sup>; Delfino Reyes-López<sup>4\*</sup>

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

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Dinámica Celular, UAEM.

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

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

<sup>5</sup>Centro de Investigaciones Biológicas, UAEM.

\*Autor para correspondencia: [delfino.reyes@correo.buap.mx](mailto:delfino.reyes@correo.buap.mx)

Álvaro Flores-Jiménez, <https://orcid.org/0000-0003-1648-4532>

Porfirio Juárez-López, <https://orcid.org/0000-0002-4241-1110>

Manuel de Jesús Sainz-Aispuro, <https://orcid.org/0000-0002-2963-9321>

Nelson Avonce-Vergara, <https://orcid.org/0000-0003-2747-4065>

Fermín Pascual-Ramírez, <https://orcid.org/0000-0002-1005-9597>

Carmela Hernández-Domínguez, <https://orcid.org/0000-0003-0212-216X>

Edgar Martínez-Fernández, <https://orcid.org/0000-0002-9232-7988>

Erika Román-Montes de Oca, <https://orcid.org/0000-0002-9490-6422>

Delfino Reyes-López, <https://orcid.org/0000-0002-8360-0567>

Fecha de recepción: 25 de enero de 2023

Fecha de aceptación: 24 de abril de 2023

**RESUMEN**

La vainilla es considerada originaria de México y Centro América 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 morfométrica 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 realizó análisis estadístico descriptivo (media, desviación estándar, valores mínimos y máximos), análisis de correlación y de componentes principales. Los caracteres morfométricos 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 el 73.8% 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, sean 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 estos, 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 diversos 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 el maíz, frijol, calabaza, chile, papaya, algodón y vainilla, entre otros cultivos (SNICS 2020). Considerando 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 (Orquidaceae), es un cultivo que puede considerarse un recurso fitogenético importante para México, ya que de sus frutos se obtiene 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 (Luis-Rojas et al. 2020; Hernández et al. 2011). En este sentido, a nivel internacional, *V. planifolia* Jacks ex Andrews está considerada como una especie de alto grado de erosión genética (FAO 1995; López et al. 2008) y a nivel nacional se considera como una especie sujeta a protección (SEMARNAT 2010), y por diversos factores también ha disminuido considerablemente su superficie sembrada y 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; Korthou y Verpoorte 2007; Reyes-López et al. 2014; Ramos-Castellá et al. 2016; Flores et al. 2017).

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, creación de colecciones núcleo y para detectar patrones de variación en colecciones de germoplasma (Dos Santos et al. 2009).

Dentro de las políticas nacionales con relación a los recursos fitogenéticos de México, en 2001 se formó el Sistema Nacional de los Recursos Fitogenéticos (SINAREFI) como un subprograma del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) que desde 2008 integraron varios bancos de germoplasma de cultivos nativos del país, entre ellos la vainilla; en la actualidad se cuenta con un banco de germoplasma el cual resguarda 120 accesiones. En este sentido el objetivo del presente trabajo fue caracterizar de manera morfológica la hoja, tallo y 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, y 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 % 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 lo cual se infiere que las expresiones fenotípicas de las plantas se deben a su genotipo descartando 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 consideró tallos, hojas y flores.

### Caracterización morfométrica

En las 41 accesiones de *Vanilla* spp. se seleccionaron de la parte media de cada planta tres hojas, tres tallos y tres flores totalmente desarrolladas, en tres plantas por accesión. Se cortaron las hojas y flores, y se escanearon 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.

| <b>Carácter</b>                          | <b>Abreviación</b> | <b>Escala de medición</b> |
|--|--------------------|---------------------------|
| <b>-----Hoja-----</b>                    |                    |                           |
| Longitud de hoja                         | L                  | cm                        |
| Ancho de hoja                            | A                  | cm                        |
| Área foliar                              | AF                 | m <sup>2</sup>            |
| Angulo inferior                          | AI                 | Grados (°)                |
| Angulo 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                        |
| Angulo superior/Angulo 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                        |
| <b>-----Tallo-----</b>                   |                    |                           |
| 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                        |
| <b>-----Flor-----</b>                    |                    |                           |

|                           |       |                 |
|---------------------------|-------|-----------------|
| Área de pétalos           | APE   | cm <sup>2</sup> |
| 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 <sup>2</sup> |
| 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 <sup>2</sup> |
| Perímetro del labelo      | PL    | cm              |
| Largo del labelo          | LL    | cm              |
| Ancho del labelo          | ANL   | cm              |
| Área de las vellosidades  | AREV  | cm <sup>2</sup> |
| Área del callo            | AREC  | cm <sup>2</sup> |
| Área del ginostema        | AG    | cm <sup>2</sup> |
| Perímetro del ginostema   | PG    | cm              |
| Largo del ginostema       | LG    | cm              |
| Ancho del ginostema       | ANG   | cm              |
| Área del polinario        | APO   | cm <sup>2</sup> |
| Perímetro del polinario   | PPO   | cm              |
| Largo del polinario       | LPO   | cm              |
| Ancho del polinario       | ANPO  | cm              |
| Área del róstelo          | AR    | cm <sup>2</sup> |
| Perímetro del róstelo     | PR    | cm              |
| Largo del róstelo         | LR    | cm              |
| Ancho del róstelo         | ANR   | cm              |
| Área del ovario           | AO    | cm <sup>2</sup> |
| 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 x promedio x 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.

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

| <b>Variable</b> | <b>Media</b> | <b>Desviación estándar</b> | <b>n</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |
|-----------------|--------------|----------------------------|----------|---------------|---------------|
| 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          |
| 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  |

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 análisis 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 (Unweighth 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 y 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).

## 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.

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 |

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 de fruto (PC/A), eje radial de semilla (ER), peso de capsula (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), están altamente correlacionados ( $\geq 90\%$ ). Asimismo, Flores et al. (2016), 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 correlacionados ( $\geq 90\%$ ). Por otro lado, Hernandez-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 (Flores 2016; Reyes et al., 2014, Castillo y Engleman 1993).

### **Análisis de componentes principales**

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

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

| <b>Componente principal</b> | <b>Valor propio (Eigen valores)</b> | <b>Porcentaje de varianza (%)</b> | <b>Varianza acumulada (%)</b> |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1                           | 19.4                                | 38.1                              | 38.1                          |
| 2                           | 6.5                                 | 12.9                              | 51.0                          |
| 3                           | 4.1                                 | 8.0                               | 59                            |
| 4                           | 2.8                                 | 5.5                               | 64.5                          |
| 5                           | 2.6                                 | 5.2                               | 69.7                          |
| 6                           | 2.0                                 | 4.1                               | 73.8                          |

En trabajos de caracterización de fruto y semilla en cuatro especies del género *Vanilla*, Reyes-López et al. (2014) reportan que sus componentes principales abarcaron el 87.99 %, así mismo los componentes principales para la caracterización de hoja y tallo en 186 accesiones del género *Vanilla* realizado por Flores et al. (2016) reportan que sus componentes abarcan el 91.82 %, 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), largo de los pétalos (LPE). En el segundo componente principal fue ancho del ovario (ANOV). Para el tercer cuadrante

fue el área de pétalos (APE). Para el cuarto componente principal fue el perímetro del róstelo (PR).

Reyes-López et al. (2014) en la caracterización de fruto y semilla en cuatro especies del género *Vanilla* reportan 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 componente principal, grosor en el tercer componente principal y área de zona placentaria en el cuarto componente principal. Mientras que en el análisis de tallos y hojas realizado por Flores et al. (2016) 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 entre área foliar. En el segundo componente principal fue longitud de entrenudos. Para el tercer cuadrante fue índice de compactación. Para el cuarto componente principal fue 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 formó el grupo 14; las accesiones 20, 47, 45, 99, 28, 44, 100, 30, 37, 43, 49, 79, 98, 97, 84, formaron el grupo 13; las accesiones 32 y 75 formaron el grupo 12; la accesión 194 formó el grupo 11; las accesiones 41 y 124 formaron el grupo 10; la accesión 18 formó el grupo 9 y las accesiones 73 y 86 formaron el grupo 6). Las accesiones 51 y 53 que formaron el grupo 7, son un tipo de vainilla comúnmente llamada espada, las accesiones 76 y 31 que corresponden a la especie *V. inodora* Schiede formaron de manera independiente los grupos 4 y 5. Las accesiones 4 y 95 que corresponden a *V. odorata* C.Presl formaron el grupo 3, la accesión 139 y 105 formaron 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, ya que según Soto (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, llamada comúnmente 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 oreja de burro 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 considerar la accesión 18 como una especie diferente a *V. planifolia*, que por sus características morfológicas y agronómicas aportaría genes favorables para el mejoramiento genético.

Las accesiones 51 y 53 comúnmente llamada espada son accesiones que, por su forma de hoja, tamaño de flor y grosor de tallo, el análisis de conglomerados los separó de las demás accesiones. 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

como una especie nueva. Soto (2003) menciona que en México existen 10 especies de vainilla, diversidad que representa el 6 % 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), Hernandez-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.

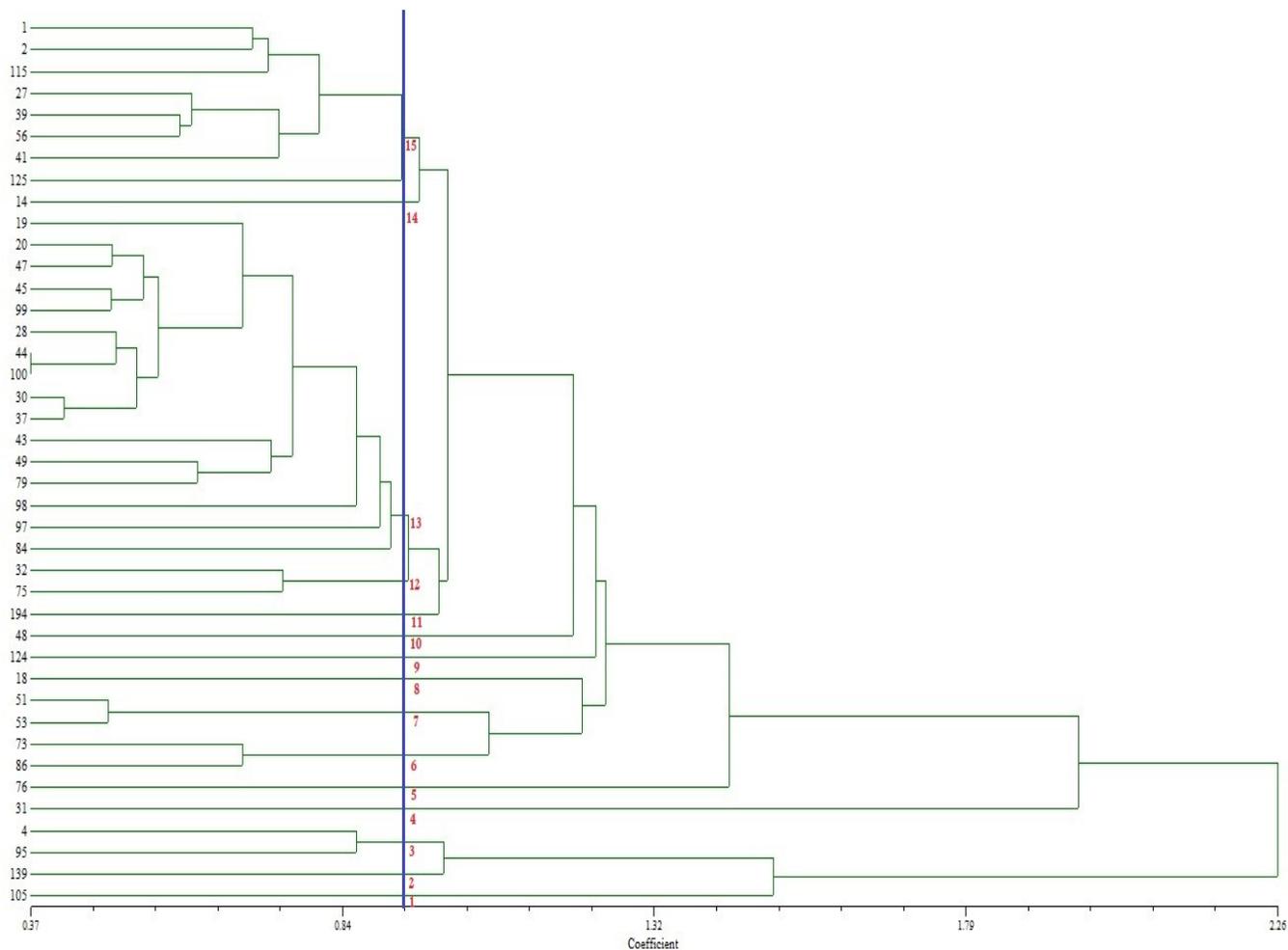


Figura 1. Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 41 accesiones de vainilla.

## 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 como 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*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Pachuca de Soto, México 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. 200. 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. P. 52-64.
- 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. P. 25-28.

- 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: <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i3.29438>
- Hernández J, Sánchez MS, Curti DE, Larios RM. 2011. La producción de vainilla en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Libro técnico Num.25. P. 15-22.
- 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. [cited 2019 octubre 22]. Disponible en: [www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos](http://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos)
- Korthou H, Verpoorte R. 2007. *Vanilla*. In R. Günter-Berger, editor. *Flavours and Fragrances Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*. Hannover, Springer. P. 203-213.
- López SA, Odoux E, Gunata Z, Brat P, Ribeyre F, Rodríguez JG, Robles OV, García AA, 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. <https://doi.org/10.19136/era.a1n3.649>
- 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. Jueves 30 de diciembre de 2010. <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. [cited 2018 agosto 01]. Disponible en: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/vainilla-vanilla-spp>
- Soto AMA. 2003. Vanilla. In: Pridgeon AM, Cribb PJ, Chase MW, Rasmussen FN, editores. Orchids of México, parts 2 and 3. Icones Orchidacearum fasc.5-6, Herbario AMO, Distrito Federal. Pp: 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(3), 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>