

AVANCES, DESARROLLO Y SUSTENTABILIDAD AGROAMBIENTAL

Luis SANDIA
Francklin RIVAS
Edmundo RECALDE
Santiago MAFLA

Editores

EN **ECUADOR**
Y **VENEZUELA**



COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL

47 miembros de 12 países (Alemania, Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, España, Hungría, Perú, Portugal, Puerto Rico, Suiza, Venezuela):

Marco Antonio Alfaro (Universidad de La Serena, Chile)
Marilena Asprino (PUCESI, Ecuador)
Tomás Bandes (ULA, Venezuela)
Ceres Boada (ULA, Venezuela)
Gladys Cáceres (ULA, Venezuela)
Omar Carrero (Granflor, Brasil)
Richard Andrés Campusano (CIT, Chile)
Sabina Caula (UC, Venezuela)
Eulogio Chacón (ULA, Venezuela)
Doris Chalampiente (Universidad Técnica del Norte, Ecuador)
Fernando Delgado (ULA, Venezuela)
Leoncio Fernández (Universidad Agraria la Molina, Perú)
Pablo Fernández (Universidad de Concepción, Chile)
Yohn García (ULA, Venezuela)
Alejandro Gutiérrez (ULA, Venezuela)
Edwin Hernández (UCLA, Venezuela)
Alejandro Liñayo (CIGaIR, Venezuela)
Luis LLambi (ULA, Venezuela)
Jorge López (UCLA, Venezuela)
Juan López (ULA, Venezuela)
Raúl Machiavelli (Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico)
Ronald Maldonado (Flouromatic, Suiza)

Jesús Mejías (ULA, Venezuela)
Elías Méndez (ULA, Venezuela)
Misael Molina (UNESUR, Venezuela)
Ana Yajaira Moret (ULA, Venezuela)
María Alejandra Noguera (POCH by WSP, Chile)
Györgyi Paloczi (Instituto de Meteorología, Hungría)
Anna Gabriela Pérez (ULA, Venezuela)
Mariela Alexandra Pérez (Yachay, Ecuador)
Rubén Pérez (Gas Energy, Venezuela)
Katina Rincón (Pequiven, Venezuela)
Luis Rincón (Universidad San Francisco, Ecuador)
Juan Carlos Rivero (ULA, Venezuela)
José Rojas López (ULA, Venezuela)
María Isabel Rojas Polanco (ULA, Venezuela)
José Gregorio Rosales (ULA, Venezuela)
Cándida Shinn (Universidad de Coimbra, Portugal)
Lillian Spencer (Yachat, Ecuador)
Sonia Sgroppo (UNNE, Argentina)
Delfina Trinca (ULA, Venezuela)
José Valderrama (CIT, Chile)
Carolina Valera (ULA, Venezuela)
Johanna Vasconez (Escuela Superior Politécnica del Ejército, Ecuador)
María Elena Vergara (HS Osnabrück, Alemania)
Mary Vergara (PUCESI, Ecuador)
Mauricio Villarroel (FIBAO, España)

AVANCES, DESARROLLO Y SUSTENTABILIDAD AGROAMBIENTAL EN ECUADOR Y VENEZUELA

EDITORES: LUIS SANDIA, FRANCKLIN RIVAS, EDMUNDO RECALDE y SANTIAGO MAFLA

Este libro es producto del Acuerdo de Cooperación Interinstitucional entre la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) Sede Ibarra, y la Universidad de Los Andes (ULA) de Venezuela a través del Consejo de Publicaciones en Mérida, Venezuela..

Av. Aurelio Espinosa Pólit, Ibarra, Ecuador.

Teléfonos: +593 6 264-1786 <http://www.pucesi.edu.ec>

Av. Andrés Bello, antiguo CALA, La Parroquia, Mérida, estado Mérida, Venezuela.

Telefax: +58274 2713210, 2712034, 2711955

Correo: cpula@ula.ve <http://www.ula.ve/cp>

Colección: Ciencias de la Tierra

Serie: Ambiente

1a edición, 2017

Reservados todos los derechos

© UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (ULA)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, SEDE IBARRA (PUCESI)

Hecho el depósito de ley

Depósito legal (digital) ME2017000168 (Venezuela)

ISBN (digital) 978-980-11-1899-2 (Venezuela)

ISBN (digital) 978-9978-375-33-4 (Ecuador)

CONCEPTO Y DISEÑO GRÁFICO: REINALDO SÁNCHEZ GUILLÉN vandrakor@gmail.com

ORGANIZACIÓN DE TEXTOS: ZULAY PEÑA DUGARTE penazulay@gmail.com

CORRECTOR: LUIS PANIAGUA correctorcpula@gmail.com Consejo de Publicaciones

Este libro fue sometido al debido proceso de evaluación y dictamen de reconocidos árbitros en el área, resultando favorable su evaluación y publicación dentro del programa de coediciones del Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes de Venezuela.

CAPÍTULO

16



Colección núcleo de amaranto

del Banco de Germoplasma
del INIAP, Ecuador

POR

César Guillermo **TAPIA BASTIDAS**

Miguel Eduardo **PERALTA IDROVO**

Nelson Gonzalo **MAZÓN ORTIZ**

■ Introducción

En Ecuador, *Amaranthusspp* es conocido como amaranto, ataco o sangorache y cultivado en la región de la sierra; sus granos e inflorescencia presentan pigmentación púrpura que puede ser aprovechada en gastronomía y las industrias alimenticia y textil (Peralta, 1985, Peralta et al., 2008). Estrella (1988), en su libro *El pan de América* reporta que el ataco tradicionalmente se ha utilizado en ensaladas y comidas ceremoniales como la “colada morada”, que se consume en el Día de los Difuntos, y desde el punto de vista medicinal, la infusión de sus hojas y panoja se recomendaba para aliviar las molestias renales y cólicos menstruales.

El amaranto es una planta C4 fotosintéticamente eficiente, con adaptación desde ambientes áridos hasta húmedos, desde el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 2.800 m, dando cosechas en diferentes tipos de suelo (algunas especies toleran la salinidad y alcalinidad) (Espitia et al., 2010, Hernández et al., 2014, Martínez, 2016, Mujica et al., 1997).

El amaranto posee también un alto potencial agroalimentario, pues su semilla, planta y hojas presentan valores más altos de proteína, minerales, vitaminas, fibra, antioxidantes que los cereales de uso común. Su grano no contiene gluten, dato importante para las personas que presentan intolerancia a esta proteína. La proteína del amaranto presenta un buen balance de aminoácidos, predominando el ácido aspártico, el ácido glutámico, la arginina, la glicina y la leucina, con valores que superan los reportados para la carne. El amaranto tiene efectos antioxidantes y puede contribuir al tratamiento de enfermedades como osteoporosis, hipertensión arterial, estreñimiento, insuficiencia renal y hepática e incluso nivelación de la glucosa en personas con diabetes mellitus (Espitia et al., 2010, García et al., 2016, Martínez., 2016, Peralta et al., 2008). El amaranto es particularmente rico en pigmentos conocidos como betalaínas, colorante es utilizado en alimentos, bebidas y repostería (Peralta et al., 2008).

El grano de amaranto se puede transformar en productos de consumo básico como cereales y barras; harina para pan, tortillas y galletas, almidones, aceites, colorantes, bebidas nutricionales y suplementos alimenticios, entre otros (Martínez, 2016). Por su corto ciclo de cultivo, su tolerancia a la sequía, su valor nutricional y sus diversas formas de uso, el amaranto es un cultivo interesante para el desarrollo económico de aquellos lugares semiáridos y áridos en donde se produzca, consuma y comercialice, generando ingresos económicos y disminuyendo la desnutrición (Espitia et al., 2010, Martínez, 2016).

En Ecuador, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en los años 80 inició la recolección, introducción e intercambio de germoplasma de amaranto, principalmente de especies cultivadas, llegando a formar una colección de alrededor de 400 accesiones que se conservan en condiciones *ex situ* en el Banco de Germoplasma (Mazón et al., 2003).

Por la misma época, el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (CIRF) indicó que la formación de colecciones núcleo es una manera de enfrentar el desafío de las grandes colecciones en tamaño y número. Dado el gran número de entradas en la

colección de germoplasma de amaranto del INIAP, se planteó la conformación de colecciones núcleo que reúnen la mayor variabilidad genética en el menor número de muestras. Se forma duplicando la colección base y separando las entradas que constituirán la colección núcleo (70-80% de variabilidad representada en 10-15% de las entradas), así como llevando el resto a una colección de reserva. La colección núcleo se establece para facilitar el manejo y fomentar la utilización del germoplasma según las necesidades de ciertos atributos (rendimiento, precocidad, tolerancia a plagas y enfermedades, calidad del grano, entre otros) de los programas de mejoramiento (Frankel, 1984, Holden, 1984).

El objetivo que se planteó en esta investigación fue el de determinar mediante análisis multivariados descriptores discriminantes para diferenciar morfológicamente la diversidad de la colección de amaranto en estudio e identificar atributos deseados por los programas de mejoramiento (colecciones núcleo).

■ Metodología

Para la conformación de las colecciones núcleo se trabajó con las 421 entradas que conforman la colección de amaranto del INIAP. Para el agrupamiento se analizó la información de 12 descriptores morfológicos y seis agronómicos (Tabla 1) con el algoritmo multivariado del análisis de agrupamiento jerárquico de Ward (Ward, 1963).

TABLA 1. Descriptores morfológicos y agronómicos utilizados para la agrupación de la colección de amaranto del INIAP

Descriptor	Tipo de descriptor
Color del grano	Cualitativo
Ramificación de los tallos	Cualitativo
Color de la inflorescencia	Cualitativo
Densidad de la inflorescencia	Cualitativo
Tipo de la inflorescencia	Cualitativo
Porte de la planta	Cualitativo
Tumbado o acame a la maduración	Cualitativo
Actitud de la inflorescencia terminal	Cualitativo
Potencial ornamental	Cualitativo
Forma de la panoja	Cualitativo
Presencia de esclerotinia en la panoja	Cualitativo
Presencia de áfidos verdes	Cualitativo
Días a la cosecha	Cuantitativo
Días al panojamiento	Cuantitativo
Días a la floración	Cuantitativo
Porcentaje de emergencia	Cuantitativo
Rendimiento de grano	Cuantitativo
Peso de 1000 semillas	Cuantitativo

Fuente: Elaboración propia

Para identificar grupos y las distancias morfológicas entre grupos se utilizó la distancia de Mahalanobis (Mahalanobis, 1936). Para la identificación de caracteres cualitativos discriminantes se utilizó la prueba de X^2 (Cochran, 1954), y para caracteres cuantitativos el estadístico de Engels (Engels, 1983), el cual establece que un carácter para el cual los grupos tengan valores marcadamente distintos tendrá un valor “D” máximo de 1 por cuanto las comparaciones posibles serán todas significativas. Finalmente se identificaron accesiones en cada grupo que tuvieron características útiles para los programas de mejora genética en relación con rendimiento y precocidad, lo que generó colecciones núcleo por carácter de importancia.

Resultados

La estructura taxonómica obtenida por la matriz de distancia de Mahalanobis identificó cinco grupos e indicó que las mayores distancias a nivel morfológico se presentaron entre los *grupos 2 y 3* (57,51). Por el contrario, los grupos más similares fueron los *grupos 1 y 4*; y, *3 con 4* con distancias de 1,75 y 1,74 respectivamente (**TABLA 2, FIGURA 1**). Las características morfológicas del *grupo 2* son diferentes a los otros, siendo los descriptores discriminantes los que mayormente inciden en estas diferencias. Los grupos 1 y 3 son los que tienen el mayor número de entradas con 34,9% y 35,4%, respectivamente (**TABLA 3**).

De los 12 caracteres cualitativos analizados mediante la prueba de X^2 se detectó como discriminantes a nueve de ellos con alta significancia (1 %), uno con significancia al 5% y solamente dos no significativos (**TABLA 4**). En la misma tabla se indica con color azul

TABLA 2. Distancias de Mahalanobis para la separación morfológica entre grupos

Grupo	1	2	3	4	5
1	0	23,81	4,56	1,75	2,89
2	23,81	0	57,51	9,72	24,36
3	4,56	57,51	0	1,74	9,40
4	1,75	9,72	1,74	0	3,02
5	2,89	24,36	9,40	3,02	0

Fuente: Elaboración propia

TABLA 3. Grupos diferentes de la colección de amaranto del INIAP indicando el número de entradas y porcentaje acumulado

Grupo	Frecuencia	%	Frecuencia acumulada	% acumulado
1	147	34,9	147	34,9
2	36	8,6	183	43,5
3	149	35,4	332	78,9
4	53	12,6	385	91,4
5	36	8,6	421	100,0

Fuente: Elaboración propia

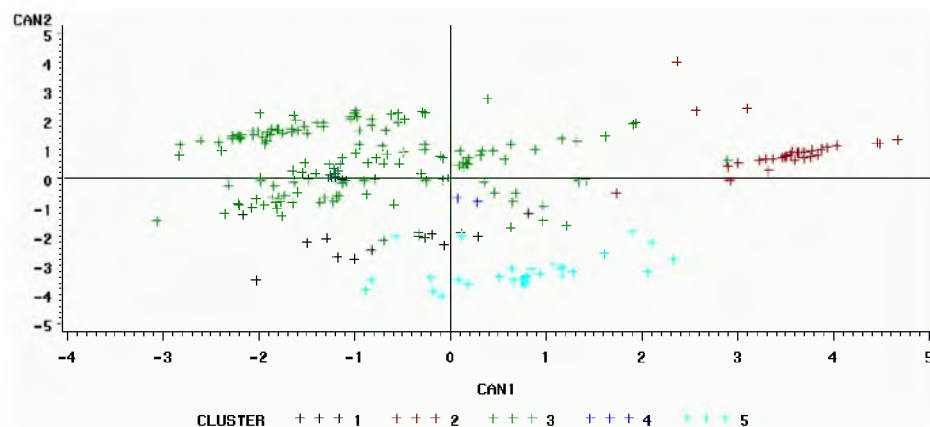


FIGURA 1
Distribución de las entradas en función de las variables canónicas procedentes del análisis de resultados del coeficiente de Mahalanobis. Fuente: Elaboración propia

tres caracteres elegidos por su mayor valor discriminante, que pueden utilizarse para establecer diferencias morfológicamente grupos. Descriptores relacionados a la semilla, tallo e inflorescencia tienen una alta contribución para discriminar entre grupos y son de importancia para ser tomados en cuenta en caracterizaciones o evaluaciones en los programas de mejora genética. Además, los programas de mejoramiento deberían tomar en cuenta al grupo 2 por presentar las mayores diferencias morfológicas en relación a los otros grupos en la busca de variedades con ciertas características que el mercado está demandando.

TABLA 4. Caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de *Amaranthuss pp*

DESCRIPTOR	χ^2
Color del grano	667.469**
Ramificación de los tallos	508.479**
Color de la inflorescencia	504.086**
Densidad de la inflorescencia	323.511**
Tipo de la inflorescencia	286.618**
Porte de la planta	233.750**
Tumbado o acame a la maduración	228.862**
Actitud de la inflorescencia terminal	145.781**
Potencial ornamental	17.527**
Forma de la panoja	9.851*
Presencia de esclerotinia en la panoja	5.376 ^{NS}
Presencia de áfidos verdes	1.145 ^{NS}

** diferencia estadística con significancia al 1%,
* diferencia estadística con significancia al 5%,
^{NS} diferencia estadística no significativa. Fuente: Elaboración propia

Según Engels, un carácter para el cual los cinco grupos tengan valores marcadamente distintos tendrá un valor “D” máximo de 1 por cuanto las cinco comparaciones posibles serán todas significativas. En la **TABLA 5** se observa que días a la cosecha (color azul) es el único carácter con mayor valor discriminante, útil para diferenciar los cinco grupos.

TABLA 5. Caracteres cuantitativos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de *Amaranthus* sp

Descriptor	Valor discriminante
Días a la cosecha	1,0
Días al panojamiento	0,8
Días a la floración	0,8
Porcentaje de emergencia	0,5
Rendimiento de grano	0,5
Peso de 1000 semillas	0,0

Fuente: Elaboración propia

Para los fines prácticos de fitomejoramiento se definieron colecciones núcleo en función de la precocidad y el rendimiento que son variables relevantes a ser tomadas en cuenta para la generación de variedades mejoradas.

Precocidad (días al panojamiento, días a la floración, días a la cosecha). En la colección se identificó para días al panojamiento, días a la floración y días a la cosecha, al *grupo 2* como el más precoz, conformado por 36 entradas, que corresponde al 8,6% de la colección, con promedios de 40, 58 y 121 días después de la siembra para cada una de las variables.

Rendimiento (rendimiento por planta, densidad de la inflorescencia): El *grupo 5* (36 entradas), con promedio de 0,305 g, y el *grupo 3* (148 entradas), con promedio de 0,299 g, presentan los mayores rendimientos por planta. Para densidad de la inflorescencia compacta se detectaron 15 entradas en el *grupo 1*, 33 entradas en el *grupo 2*, 11 entradas en el *grupo 3*, 23 entradas en el *grupo 4* y 34 entradas en el *grupo 5*. Además, se detectó que en los *grupos 2* y *5* solo hubieron tres y dos entradas respectivamente y no presentaron inflorescencia compacta.

Otras variables importantes para el fitomejoramiento del amaranto es la ramificación de la planta (la ausencia de ramas facilita la cosecha), la densidad y actitud de la inflorescencia y el color del grano. En los grupos 5, 1 y 3 predominan las accesiones con plantas sin ramas; en los grupos 2 y 5 se concentran las accesiones con panoja compacta (relacionada con mayor rendimiento) y erectas (también facilita la cosecha). Con relación al color de grano, las accesiones con grano color negro se concentran principalmente en los grupos 1 y 4; en el grupo 2, mayormente se encuentran accesiones con color amarillo, y en los grupos 3 y 5 se encuentran las accesiones con los otros colores de grano. En resumen, las accesiones de los grupos 2 y 5 muestran características interesantes para la

generación de nuevas variedades de amaranto con grano de color claro (blanco, crema, amarillo), y las del grupo 1 son importantes para la generación de variedades de grano negro.

■ Conclusiones

Las distancias de Mahalanobis permitió definir cinco grupos. Los caracteres cualitativos que mejor discriminan son color del grano, ramificación de los tallos y color de la inflorescencia. El carácter cuantitativo más discriminante es días a la cosecha.

En la colección se identificaron variables que son de importancia para programas de mejora genética.

Días al panojamiento, días a la floración y días a la cosecha vinculadas al *grupo 2* permiten identificarlo como el más precoz, conformado por 36 accesiones, que corresponde al 8,6 % de la colección, con promedios de 40, 58 y 121 días respectivamente

El *grupo 5*, con promedio de 0,305 g, y el *grupo 3* (148 entradas), con promedio de 0,299 g, presentan los mayores rendimientos por planta, encontrándose entradas con rendimientos mayores (ECU-2476 -0,68 g y ECU-4764-0,62 g).

Para los atributos de precocidad y rendimiento hay entradas que sobrepasan a los promedios, lo que permitirá contar con germoplasma posiblemente con alto potencial que será evaluado en ensayos de comprobación.

Es necesario realizar este tipo de trabajos de identificación de colecciones núcleo en otras colecciones de alta importancia (seguridad alimentaria, potencial de exportación) que se conservan en el Banco de Germoplasma del INIAP.

■ Referencias

- Cochran, W. (1954) Some methods for strengthening the common X^2 tests. *Biometrics* 10:417-451.
- Engels, J.M.M. (1983). A systematic description of cacao clones. *In: The discriminative value of quantitative characteristics. Euphytica* 32:377-385.
- Estrella, E. (1988). El pan de América. Etnohistoria de los alimentos aborígenes en el Ecuador. Centro de Estudios Históricos. Madrid. 415 p.
- Espitia, E., Mapes, C., Escobedo, D., De la O, M., Rivas, P., Martínez, G., Cortés, L., Hernández, J. M. (2010). Conservación y uso de los recursos genéticos de Amaranto en México. Libro Técnico No. 1. SINAREFI-INIFAP-UNAM, Centro de Investigación Regional Centro, Celaya, Guanajuato, México. 201 pp
- Frankel, O.H. (1984). Genetic perspectives of germplasm conservation. *In: Arber, W.K., Llimensee, K., Peacock W.J., Starlinger, P. (eds). Genetic Manipulation: Impact on Man and Society. Cambridge University Press, Cambridge, UK.* pp 161-170.
- García, A.J., Torres-Vargas, O.L., Ariza-Calderón, H. (2016). Caracterización estructural de proteína de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) y chía (*Salvia hispanica* L.). *Agronomía Colombiana* 34(1Supl.), p.1001-1005.

- Hernández, E., García, E., Ramírez, J.L. (2014). Caracterización de suelos cultivados con amaranto y algunos aspectos agronómicos de la planta. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* .5:3:421-431
- Holden, J.H.W. (1984). Thesecond ten years. *In: Holden, J.H.W., Williams, J.T. (eds.). Crop Genetic Resources: Conservation and Evaluation* George Alien &Unwin Ltd., London. pp 277-285.
- Mahalanobis, P.C. (1936). On the generalised distance in statistics.*Proceedings of the National Institute of Science of India* 12 49-55
- Martínez, L. (2016). Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México. *Revista Problemas del Desarrollo*, 186 :47:107-132.
- Mazón, N., Peralta, E., Rivera, M., Subía, C., Tapía, C. (2003). Catálogo del banco de germoplasma de amaranto (*Amaranthusspp.*) de INIAP – Ecuador. INIAP, PRONALEG-GA/DENAREF. Quito, Ecuador. 53 p.
- Mujica, A., Berti, M., Izquierdo, J. (1997). El cultivo del amaranto (*Amaranthusspp.*): producción, mejoramiento genético y utilización. FAO, UNA, Universidad de Concepción. Roma, Italia. 145 p.
- Peralta, E. (1985). Situación del amaranto en Ecuador. El Amaranto y su Potencial. Boletín No. 2. 3-4. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Guatemala, INCAP.
- Peralta, E., Villacrés, E., Mazón, N., Rivera, M., Subía, C. (2008). El ataco, sangorache o amaranto negro (*Amaranthushybridus* L.) en Ecuador. Publicación Miscelánea No. 143, INIAP, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Quito, Ecuador. 63 p.