

Variabilidad cualitativa y cuantitativa de accesiones de amaranto determinada mediante caracterización morfológica*

Qualitative and quantitative variability determined through morphological characterization in amaranth accessions

Víctor Cuahutémoc Ruiz Hernández¹, Micaela de la O Olán^{2§}, Eduardo Espitia Rangel², Dora Ma. Sangerman-Jarquín², Juan Manuel Hernández Casillas² y Rita Schwentesius de Rindermann³

¹Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, C.P. 56250. A.P. 307 y 10. Tel 015959212738 (verh81@hotmail.com, espitia.eduardo@inifap.gob.mx, sangerman.dora@inifap.gob.mx, jhernandez_casillas@hotmail.com). ³Programa de Investigación en Agricultura Sustentable CIIDRI. Carretera México- Texcoco, km 38.8 Chapingo, Texcoco, Estado de México. Tel. 01 595 108 911. (rschwent@prodigy.net.mx). [§]Autora para correspondencia: micad@colpos.mx.

Resumen

La clasificación dentro del género *Amaranthus* ha sido difícil, debido a que se han considerado para tal efecto caracteres con alta segregación dentro de las poblaciones. El objetivo del presente estudio fue caracterizar morfológicamente germoplasma de *Amaranthus* spp., para conocer tanto la variabilidad cualitativa como la cuantitativa existente en la colección del programa de recursos genéticos del INIFAP (CEVAMEX). Se establecieron 155 accesiones durante el ciclo agrícola primavera-verano, 2009 en el Campo Experimental Valle de México del INIFAP, en Santa Lucía de Prías, Texcoco, Estado de México. La caracterización morfológica se realizó con base en una lista de descriptores tanto cualitativos como cuantitativos propuestos por Grubben y Van Sloten (1981). Todas las variables cuantitativas estudiadas presentaron alta variabilidad, pues presentaron diferencias altamente significativas entre poblaciones y especies. La especie *A. hypochondriacus* fue la de mayor frecuencia con 66.7% del germoplasma estudiado; otras especies encontradas fueron *A. cruentus*, *A. caudatus* y *A. hybridus*. Para caracteres cualitativos existió una enorme variación de colores, tamaños y formas en tallo, inflorescencia y hojas dentro de cada especie bajo estudio. El germoplasma de amaranto disponible en la actualidad

Abstract

The classification within the genus *Amaranthus* has been quite difficult, mainly because highly segregating characters within the populations have been considered for this. The aim of this study was to morphologically characterize *Amaranthus* spp., germplasm in order to know the existent qualitative and quantitative variability in the INIFAP's collection of the genetic resources program (CEVAMEX). During the spring-summer season, 2009, 155 accessions were established in INIFAP's Mexican Valley Experimental Station in Santa Lucía de Prías, Texcoco, State of Mexico. The morphological characterization was made based on a list of qualitative and quantitative descriptors proposed by Grubben and Van Sloten (1981). All the quantitative studied variables showed high variability, considering the highly significant differences between populations and species. The species *A. hypochondriacus* was the most frequent with 66.7% of the studied germplasm; other species found were *A. cruentus*, *A. caudatus* and *A. hybridus*. A large variation of colors, sizes and shapes in stem, inflorescence and leaves within each species was observed for the qualitative traits. The amaranth germplasm available today shows a large morphological diversity, due to a high degree of cross-breeding. There is quite an enormous phenotypic variation

* Recibido: junio de 2012
Aceptado: marzo de 2013

muestra una gran diversidad morfológica, producto de un alto grado de cruzamiento. Existe una enorme variación fenotípica entre y dentro de especies del género *Amaranthus*, que puede ser aprovechada en el mejoramiento genético, así como para conocer la diversidad de este cultivo en México.

Palabras clave: *Amaranthus* spp., caracterización morfológica, variabilidad cualitativa y cuantitativa.

Introducción

El germoplasma de amaranto disponible en la actualidad muestra una gran diversidad morfológica, producto de un alto grado de cruzamiento y de múltiples criterios de selección por parte de los agricultores. La clasificación dentro del género *Amaranthus* ha sido difícil, debido a que se han considerado para tal efecto caracteres con alta segregación dentro de las poblaciones (Espitia *et al.*, 2010).

La familia Amaranthaceae, está compuesta de 60 géneros y alrededor de 800 especies. Hunziker (1991) estima que en el mundo existe poco menos de 90 especies del género *Amaranthus*, sumando a las 17 del viejo mundo, unas 14 australianas y 56 de América. Éstas últimas incluyen 10 especies dioicas, entre EE. UU. y México existen un total de 29 especies. La clasificación dentro del género *Amaranthus* ha sido difícil, debido a que se han considerado para tal efecto caracteres con alta segregación dentro de las poblaciones (Espitia *et al.*, 2010).

Se entiende por caracterización a la descripción de la variación que existe en una colección de germoplasma, en términos de características morfológicas y fenológicas de alta heredabilidad; es decir, características cuya expresión es poco influenciada por el ambiente. La caracterización debe permitir diferenciar a las accesiones de una especie. Las características morfológicas de las plantas han sido utilizadas por el hombre desde el momento en el cual comenzó a recolectar semillas y a seleccionar especies vegetales que le podían servir para satisfacer sus necesidades básicas (Franco e Hidalgo, 2003). Actualmente existe un gran número de colecciones de germoplasma que contienen genotipos con un alto valor agronómico, susceptible de ser usado en los programas de mejoramiento genético. Sin embargo, en muchas ocasiones el conocimiento de la organización genética y la relación existente entre el material disponible es escaso, lo que impide su utilización en fitomejoramiento. Inclusive dentro de éstas

between and within the species of *Amaranthus* genus, which might be used for breeding proposes and also to understand the diversity of this crop in Mexico.

Key words: *Amaranthus* spp., morphological characterization, qualitative and quantitative variability.

Introduction

The amaranth germplasm available today has a large morphological diversity, due to a high degree of cross-breeding and multiple selection criteria made by the farmers themselves. Classification within the genus *Amaranthus* has been rather difficult, mainly because highly segregating characters within the populations have been considered for this purpose (Espitia *et al.*, 2010). The family Amaranthaceae it's comprised of 60 genera and about 800 species. Hunziker (1991) estimated that, all over the world there are but a few less than 90 species of the *Amaranthus* genus, considering 17 from the old world, about 14 from Australia and another 56 from America. The latter number including 10 dioecious species. Between USA and Mexico there are 29 species.

Characterization is the description of the variation that exists in a germplasm collection in terms of highly heritable morphological and phonological traits; *i.e.* traits whose expression is hardly influenced by the environment. Characterization it's meant for differentiating the accessions of a certain species. Morphological traits have been used since humans began to collect seeds and selecting plant species that could be used to meet their basic needs (Franco and Hidalgo, 2003). Currently, there are a large number of germplasm collections containing genotypes with high agronomic-value suitable for breeding programs. However, on several occasions, the knowledge on genetic organization and, the relationship between the available materials is confined, which thwarts its use in plant breeding. Even within these very collections there are accessions admitted as sundry materials that happen to be counterfeits of the very same material, which leads to an overestimation of the diversity (Becerra and Paredes, 2000).

Morphology acquiesces to analyze the differences in observable traits (phenotypes) among different plants and animals as well. These methods are relatively cheaper and provide the basis for the characterization of samples of the species under study (De O *et al.*, 1997). These embody phenotypic traits of easy visual identification or measurement

colecciones existen materiales ingresados como accesiones diferentes que resultan ser duplicaciones del mismo material, lo cual conlleva a una sobreestimación de la diversidad existente (Becerra y Paredes, 2000).

La morfología permite analizar las diferencias de rasgos observables (fenotipos) entre las distintas plantas y animales. Estos métodos son relativamente económicos y constituyen la base de la caracterización de las muestras de la especie bajo estudio (De O *et al.*, 1997). Están conformados por características fenotípicas de fácil identificación visual o medición tales como: color, forma, tipo, número y tamaño de inflorescencias o frutos; tipo, forma y altura de crecimiento de las plantas; biomasa; rendimiento y susceptibilidad o resistencia a stress hídrico, plagas o enfermedades. Éstos caracteres suelen estar definidos por descriptores para cada cultivo aprobados por los organismos internacionales encargados de ello (Falconer y Mackay, 1996).

Conocer la similitud entre los individuos y las poblaciones es de gran utilidad en los programas de mejoramiento genético, pues permite, además de la organización del material la selección adecuada de los genotipos superiores y la complementación con datos fenotípicos y agronómicos para el desarrollo de una población mejorada (Becerra y Paredes, 2000). Los descriptores morfológicos involucran el manejo de atributos para efectuar mejoramiento genético. El objetivo del presente trabajo fue realizar una caracterización morfológica de accesiones de *Amaranthus* spp. presentes en el banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), para conocer la variabilidad cualitativa y cuantitativa de las mismas.

Materiales y métodos

Se realizó una caracterización morfológica de 155 accesiones de *Amaranthus*, sembradas en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), ubicado en Santa Lucía de Prías, Estado de México, en el ciclo primavera-verano de 2009, con materiales que se encontraban en el banco de germoplasma del INIFAP. El tipo de clima es C(w)(w)b(i)g que corresponde a un templado subhúmedo con temperatura media anual entre 12° y 18 °C, con poca oscilación (entre 5° y 7°); presenta lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal menor de 5. Se presenta una precipitación media anual de 670 mm y una temperatura media

such as: color, shape, type, number and size of inflorescences or fruits; type, shape and height of plant growth; biomass; yield and susceptibility or resistance to water stress, pests or diseases. These traits are usually defined through descriptors for each crop approved by international organisms responsible for it (Falconer and Mackay, 1996).

Knowing the semblance between individuals and populations is quite useful in breeding programs, considering that not only helps for a better management but also for selecting superior genotypes, integrating phenotypic and agronomic data for the development of an improved population (Becerra and Paredes, 2000). Morphological descriptors comprehend handling attributes for breeding processes. The aim of this study was to undergo a morphological characterization of *Amaranthus* spp. accessions bestowed in the genebank of the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), in order to know their qualitative and quantitative variability.

Materials and methods

We realized a morphological characterization of 155 accessions of *Amaranthus* planted in the Mexican Valley Experimental Station (CEVAMEX), located in Santa Lucía de Prías, State of Mexico, during the spring-summer cycle, 2009, with materials bestowed in the INIFAP's genebank. The climate is C(w)(w)b(i)g, which corresponds to mild-humid with an average annual temperature between 12° and 18 °C, with little oscillation (between 5° and 7°); with rainfalls during the summer and a winter precipitation rated with less than 5. It has an average annual rainfall of 670 mm and an average annual temperature of 15.2 °C (García, 1988). The experimental plot had three five-meter long rows for each accession, with three replicates under a completely randomized design, trickled sowed on the back of the furrows and then leaving a distance of 15-20 cm between plants.

Field data was gathered individually from ten plants per accession, in which we wrote for the plant and material each of the qualitative and quantitative variables. We took a number of qualitative traits that required only visual assessment or rating based on existing scales and; quantitative traits based on analysis measurements acquiring means per collection (Espitia *et al.*, 1997, 2010).

The morphological characterization was made based on Grubben and Van Sloten (1981) who proposed a list of descriptors for the characterization and evaluation of amaranth

anual de 15.2 °C (García, 1988). La parcela experimental fue de tres surcos de cinco metros de largo de cada una de las accesiones, con tres repeticiones bajo un diseño experimental completamente al azar, las cuáles fueron sembradas a chorrillo sobre el lomo del surco para después hacer un aclareo y dejar una distancia entre plantas de 15-20 cm.

La información de campo se registró en forma individual en diez plantas por accesión, en las cuales se anotó por material y por planta cada una de las variables cualitativas y cuantitativas. Se tomaron una serie de características tanto cualitativas que únicamente requieren de apreciación visual o calificación en base a escalas preestablecidas; como cuantitativas basadas en mediciones de análisis obteniendo promedios por colecta (Espitia *et al.*, 1997, 2010).

La caracterización morfológica se realizó en base a Grubben y Van Sloten (1981) quienes proponen una lista de descriptores para la caracterización y evaluación de germoplasma de amaranto, debido a que ellos consideran la producción tanto de grano como de verdura. Primero se realizó una clasificación por especie y raza, posteriormente se registraron los siguientes caracteres:

Color de tallo (COTA)

Esta característica se tomó durante la floración quedando como sigue:

1) verde; 2) verde con estrías rojas o púrpuras; 3) rojo o púrpura; 4) dorado; y 5) mezcla de tallos de diferente color.

Forma de las hojas (FOHO)

Variable tomada durante la floración, la forma de las hojas en el amaranto es muy variable y se le puede encontrar como se enumera enseguida:

1) lanceolada; 2) elíptica; 3) cuneada; 4) obovada; 5) ovatinada; 6) rómbica; 7) ovalada; y 8) otra forma diferente.

Color de las hojas (COHO)

El color de las hojas se tomó también durante la floración ya que es en esta etapa en la que se presentan los colores más representativos, pues a medida que la planta va madurando es muy frecuente que los colores cambien por traslocación de pigmentos, esta característica también es altamente variable y los colores pueden ser:

germplasm, as they consider the production of both grain and vegetables alike. First, a classification by species and breed was made, and then we recorded the following traits:

Stem color (COTA)

This trait was taken during flowering, being as follows: 1) green; 2) green with red or purple stretch marks; 3) red or purple; 4) golden; and 5) mixture of different colored stems.

Leaf shape (FOHO)

Variable taken during flowering; the shape of the amaranth's leaves are rather different and may be found as listed below: 1) lanceolate; 2) elliptical; 3) cuneate; 4) obovate, 5) ovatinada; 6) rhombic; 7) oval; and 8) other.

Leaf color (COHO)

The color of the leaves was also taken during flowering as it is during this stage that colors are way more representative, considering that when the plant thrives it is quite common that colors change through the translocation of pigments, this trait is also highly shifty and the colors may be: 1) full-purple leaf; 2) leaf with pigmented basal area; 3) leaf with a central stain; 4) leaf with two V-shaped stripes; 5) leaf with one V-shaped strip; 6) leaf with the edge and veins pigmented; 7) leaf with a pale green stripe over the regular green; 8) regular green; 9) dark green; and 10) others.

Inflorescence color (COIN)

This trait was taken during flowering or shortly after, being as follows: 1) yellow; 2) green 3) pink; 4) red or purple; 5) others, and 6) mixture of different inflorescence colors.

Inflorescence shape (FOIN)

The accessions were classified through their inflorescence shape, being as follows: 1) spike; 2) short-branched panicle; 3) long-branched panicle; 4) inflorescence grouping at the apex; and 5) other forms.

Inflorescence density (DEIN)

The amaranth germplasm was also catalogued according to the inflorescence density, taking into account the following scale: 1) loosen; 2) intermediate; and 3) dense or compact.

1) lámina entera de color púrpura; 2) hoja con área basal pigmentada; 3) hoja con una mancha central; 4) hoja con dos franjas en forma V; 5) hoja con una franja en forma de V; 6) hoja con margen y venas pigmentados; 7) hoja con una franja verde pálido sobre verde normal; 8) verde normal; 9) verde oscuro; y 10) otro.

Color de la inflorescencia (COIN)

Este carácter se tomó durante floración o un poco después quedando de la siguiente manera:

1) amarilla; 2) verde; 3) rosa; 4) roja o púrpura; 5) otro; y 6) mezcla de inflorescencia de diferentes colores.

Forma de la inflorescencia (FOIN)

Las diferentes accesiones fueron clasificadas por su forma de inflorescencia de la manera siguiente:

1) espiga; 2) panícula con ramificaciones cortas; 3) panícula con ramificaciones largas; 4) inflorescencia con agrupación en el ápice; y 5) otras formas.

Densidad de la inflorescencia (DEIN)

El germoplasma de amaranto también fue clasificado de acuerdo a la densidad de su inflorescencia tomando en cuenta la escala siguiente:

1) laxa; 2) intermedia; y 3) densa o compacta.

Color de semilla (COSE)

El color de la semilla del germoplasma se clasificó de acuerdo a la escala siguiente:

1) amarillo pálido; 2) rosa; 3) roja; 4) café; 5) negra; y 6) mezclas.

Tipos de cubierta de semilla (TIPSE)

Después de que se trilló el germoplasma fue clasificado de acuerdo a la cubierta o testa de la semilla. Los tipos que se presentaron son:

1) cristalina; 2) opaca; y 3) mezcla.

Seed color (COSE)

The color of the seed was catalogued according to the following scale: 1) pale-yellow; 2) pink; 3) red; 4) brown; 5) black; and 6) mixtures.

Seed cover types (TIPSE)

After threshing the germplasm, it was catalogued according to the cover or seed coat. The types presented are: 1) crystal; 2) opaque; and 3) mixture.

Lateral branching (RALAT)

We also evaluated the collections by their different degrees of lateral branching, these being as follows: 0) no branching; 1) short branches along the stem; 2) few branches at the base of the stem; 3) several branches at the base of the stem; and 4) many branches along the stem.

Lodging (ACAM)

When the collections reached full maturity, they were evaluated according to the presence of lodging to the following scale: 0) no lodging; 3) low; 4) moderate; and 7) high.

Stem diameter (DITA)

This trait was taken after flowering; the measurement was done using a vernier at 20 cm of the stem base in ten plants for each collection.

Leaf length (LOHO)

We measured in cm from the sixth to the eighth leaf in ten plants of each collection. This was taken after flowering when the leaves had finished their development. Seizing the average of the 10 leaves and the 10 plants.

Leaf width (ANHO)

We measured in cm from the sixth to the eighth leaf in ten plants of each collection. This was taken after flowering when the leaves had finished their development. Seizing the average of the 10 leaves and the 10 plants.

Ramificación lateral (RALAT)

También se evaluó a las diferentes colectas por sus diferentes grados de ramificación lateral, siendo éstas:

0) sin ramificación; 1) ramas cortas a lo largo del tallo; 2) pocas ramas en la base del tallo; 3) muchas ramas en la base del tallo; y 4) muchas ramas a lo largo del tallo.

Acame (ACAM)

Cuando llegaron a madurez las colectas fueron evaluadas según el acame que presentaron de acuerdo a la escala siguiente:

0) sin acame; 3) bajo; 4) moderado; y 7) alto.

Diámetro del tallo (DITA)

Esta característica fue tomada después de la floración la medición se realizó con un vernier a 20 cm de la base del tallo de diez plantas de cada colecta.

Longitud de la hoja (LOHO)

Se midió en cm de la sexta a la octava hoja de diez plantas de cada colecta. Este dato se tomó después de la floración cuando las hojas habían terminado su desarrollo. Obteniendo el promedio de las 10 hojas y de las 10 plantas.

Ancho de la hoja (ANHO)

Se midió en cm tomado de la sexta a la octava hoja de diez plantas de cada colecta. Obteniendo el promedio de las 10 hojas y de las 10 plantas.

Longitud de la inflorescencia (LOIN)

Esta característica se tomó en cm desde la base hasta el ápice de la inflorescencia, cuando la planta había llegado a madurez.

Diámetro de la inflorescencia (DIIN))

Este dato también se tomó a la madurez midiéndose el diámetro a la mitad de la inflorescencia en cm.

Altura de planta (ALT)

Esta variable se tomó desde el nivel del suelo hasta el ápice de la inflorescencia durante la madurez.

Inflorescence length (LOIN)

This trait was taken in cm from the base to the apex of the inflorescence when the plant had reached full-maturity.

Inflorescence diameter (DIIN))

This data was also taken at full-maturity by measuring the diameter in the middle of the inflorescence in cm.

Plant height (ALT)

This variable was taken from the ground level to the apex of the inflorescence at full-maturity.

The sagacity of species was made through the shape and proportion of floral structures; methodology used in the provisional key to identify edible species of the Amaranaceae family, Feine (1979). The sagacity by race was made through the qualitative classification by the Rodale Research Center (Kauffman and Reider, 1986; Espitia *et al.*, 1992, 2010).

The variables were classified into quantitative and qualitative for the statistical analyzes, we made a frequency analysis for the qualitative variables and in order to determine the degree of association between pairs of traits a simple correlation analysis was done between the quantitative variables, through Pearson's simple correlation coefficients, using the programs "Statistical Analysis System" (SAS, 1997) and "Numerical Taxonomy System" (NTSYS).

With the quantitative variables we also performed the univariate analysis, obtaining the means for each morphological trait as a measure of central tendency, and the standard deviation, coefficient of variation and maximum and minimum values as measurement of dispersion, using the procedure of MEANS from SAS. With the quantitative traits we made a cluster analysis, which consisted on the construction of a matrix of Euclidean distances, developing a quantitative dendrogram by applying the algorithm of unweighted means.

Results and discussion

Of the 155 accessions it was found that, the most common species was *A. hypochondriacus* L. with 66.7%, where the races Mercado, Nepal, Azteca and Mixteca were found. The second most common species was *A. cruentus* L. with 20.2%

La diferenciación de especies se hizo mediante la forma y proporción de las estructuras florales; metodología utilizada en la clave provisional para identificar algunas especies comestibles de la familia Amaranaceae de Feine (1979). La clasificación por raza se llevó a efecto, mediante la clasificación cualitativa de Rodale Research Center (Kauffman and Reider, 1986; Espitia *et al.*, 1992, 2010).

Se clasificaron las variables en cuantitativas y cualitativas para efecto de los análisis estadísticos, se realizó un análisis de frecuencias para las variables cualitativas y con el fin de conocer el grado de asociación entre pares de caracteres se realizó un análisis de correlación simple entre las variables cuantitativas mediante los coeficientes de correlación simple de Pearson, utilizando los programas “Statistical Analysis System” (SAS, 1997) y “Numerical Taxonomy System” (NTSYS).

Con las variables cuantitativas se realizó también el análisis univariado, obteniéndose por cada carácter morfológico como medida de tendencia central, la media y como medidas de dispersión, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los valores máximos y mínimos, mediante el procedimiento de MEANS de SAS. Con las características cuantitativas se hizo el análisis de conglomerados, el cual consistió en la construcción de una matriz de distancias euclidianas, con que se elaboró un dendrograma cuantitativo mediante la aplicación del algoritmo de las medias no ponderadas.

Resultados y discusión

De las 155 accesiones caracterizadas se obtuvo que la especie de mayor frecuencia fue la de *A. hypochondriacus* L. con 66.7%, donde se encontraron las razas Mercado, Nepal, Azteca y Mixteca, la segunda especie con mayor frecuencia fue *A. cruentus* L. con 20.2% representada por las razas Mexicana y Guatemalteca, seguida de *A. caudatus* L. (8.5%) con la raza sudamericana y por último *A. hybridus* L. (0.6%) con la raza prima (Cuadro 1).

Variabilidad cualitativa

Color de tallo: del total del germoplasma estudiado 56% presentaron tallos verdes con estrías independientemente de la especie, seguidas con 35% con tallos verdes, 5.4% rojo-púrpura y 1.2% dorado (Figura 1).

represented by Mexicana and Guatemalteca races, followed by *A. caudatus* L. (8.5%) with the sudamericana race and finally *A. hybridus* L. (0.6%) with the Prima race (Table 1).

Cuadro 1. Frecuencia de las especies y razas en accesiones de amaranto caracterizadas en primavera-verano, 2009. Santa Lucía de Prías, Estado de México.
Table 1. Frequency of species and races in amaranth accessions characterized in the spring-summer, 2009. Santa Lucía de Prías, State of Mexico.

Especie	Número de accesiones	Raza	Frecuencia (%)
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	102		66.7
	35	Mercado	34.3
	35	Nepal	34.3
	22	Azteca	21.6
	5	Mixteca	4.9
	5	Mezcla	4.9
<i>Amaranthus cruentus</i> L.	31		20.2
	17	Mexicana	54.8
	9	Guatemalteca	29.0
	5	Mezcla	16.12
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	13		8.5
	13	Sudamericana	100
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	5		0.6
	5	Prima	100
Mezcla	6		

Qualitative variability

Stem color: of the total germplasm studied, 56% presented green stems with stretch marks regardless of the species, followed by 35% with green stems, 5.4% red-purple and 1.2% golden (Figure 1).

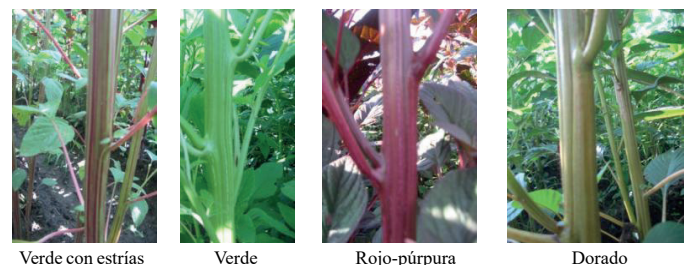


Figura 1. Diversidad de color de tallos de las especies de *Amaranthus* sp., caracterizadas en primavera-verano, 2009. Santa Lucía de Prías, Estado de México.
Figure 1. Stem color diversity of the species *Amaranthus* sp., characterized in the spring-summer, 2009. Santa Lucía de Prías, State of Mexico.

Forma de la hoja: La forma de hoja que presentó 69.5% de las accesiones fueron elípticas, 19.2% ovatinada, 11.2% rómbica y 0.10% cuneada.

Color de las hojas: en ésta característica se presentó mucha variación, pudiéndose destacar que la clase más frecuente fue hoja verde normal con 70% de las accesiones en las diferentes especies de *Amaranthus* spp. El 9% con una mancha central, 7% verde oscuro, 5% área basal pigmentada, y 3% margen y venas pigmentadas.

Color de la inflorescencia: en el color de la inflorescencia los materiales caracterizados presentaron 50% inflorescencia de color rojo o púrpura, 37% color verde, el resto de color rosa (9.8%), amarillo (0.14%) y mezclas (3.1%).

Tipo de cubierta de la semilla: en el carácter de tipo de cubierta de la semilla 69.5% presentaron cubierta opaca, 20.5% mezclas; y 9.9% cubierta cristalina principalmente en especies pertenecientes al *A. cruentus* L.

Ramificación lateral: el 63.8% del germoplasma no presentaron ramificación, 30.5% muchas ramas en la base del tallo y 5.6% con pocas ramas en la base del tallo.

Acame: en cuanto al acame se obtuvo 54% del total del germoplasma estudiado con no presencia de acame, 23% presentó acame bajo y el resto presentaron acame moderado.

Forma de la Inflorescencia: 51% de las accesiones presentaron inflorescencia con ramificaciones largas, 45% con ramificaciones cortas y el resto inflorescencia con agrupación en el ápice y espiga.

Densidad de inflorescencia: aproximadamente la mitad de las poblaciones caracterizadas presentan una densidad de inflorescencia intermedia (54%); 25% densa y 20% laxa.

Color de semilla: 41.7% del germoplasma caracterizado presentó semilla de color amarillo, ya que la mayoría de los materiales pertenecen a la especie *A. hypochondriacus* L., seguidas por materiales con semillas de mezclas de colores (34.6%), luego el color café con 15.2%, negra con 5.9% y el rosa con 2.6% (Figura 2).

Leaf shape: 69.5% presented elliptical leaves, 19.2% ovate, 11.2% rhomboid and 0.10% cuneate.

Leaf color: there was a lot of variation in this feature, and can be noted that the most frequent class was the regular green leaf with 70% of the accessions in the different species of *Amaranthus* spp., 9% with a central stain, 7% dark green, 5% pigmented in the basal area, and 3% pigmented in the edge and veins.

Inflorescence color: 50% were red or purple, 37% green, the rest were pink (9.8%), yellow (0.14%) and mixtures (3.1%).

Seed coat: 69.5% had opaque coat, 20.5% mixed, and 9.9% crystal cover mainly in species from *A. cruentus* L.

Lateral branching: 63.8% showed no branching at all, 30.5% had several branches at the base of the stem and, 5.6% with only a few branches at the base of the stem.

Lodging: 54% of the germplasm had no presence at all, 23% had low lodging and the rest showed moderated presence.

Inflorescence shape: 51% of the accessions had long branches, 45% had short branches and rest had grouping inflorescence at the apex and the spike.

Inflorescence density: intermediate (54%), 25% dense and 20% loosen.

Seed color: 41.7% had yellow seeds, since most of the materials belong to *A. hypochondriacus* L., followed by materials with mixing colored seeds (34.6%), 15.2% had brown seeds, 5.9% were black and 2.6% were pink (Figure 2).

Quantitative variability

The Table 2 presents the existing quantitative variability in the germplasm, making a study with statistical dispersion. The basic statistics on the population level show that, there is certain homogeneity in the germplasm for some traits and high variation for others. It shows the average, standard deviation and coefficient of variation of quantitative characteristics of the germplasm (Rodríguez *et al.*, 2010).

The inflorescence diameter is the trait with the highest variability as it has a standard deviation of 4.5, and a coefficient of variation of 21.8, where the most opened

Variabilidad cuantitativa

En el Cuadro 2 se presenta la variabilidad cuantitativa existente en el germoplasma estudiado, donde se realizó un estudio con estadísticas de dispersión. Las estadísticas básicas a nivel poblacional en el que puede observarse que el germoplasma analizado presenta cierta homogeneidad para algunos caracteres y alta variación para otros. Se muestra el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los caracteres cuantitativos del germoplasma en estudio (Rodríguez *et al.*, 2010).

inflorescence was 34.8 cm and 9.6 cm the closed inflorescence. In the stem diameter, the largest value was presented by the accessions with 4.3 cm, and the thinnest stem with 1.6 cm. Tall plants were obtained with *A. hypochondriacus* with 2.9 m and short plants were with *A. caudatus* with only 1.3 m. For the inflorescence length, the accessions with the highest value were 87.5 cm, while the smallest were only 39 cm. The leaf length is the character that showed the lowest variability of all the quantitative traits under study, with a coefficient of variation of 11.1, as it is one of the most homogeneous characteristics of all.

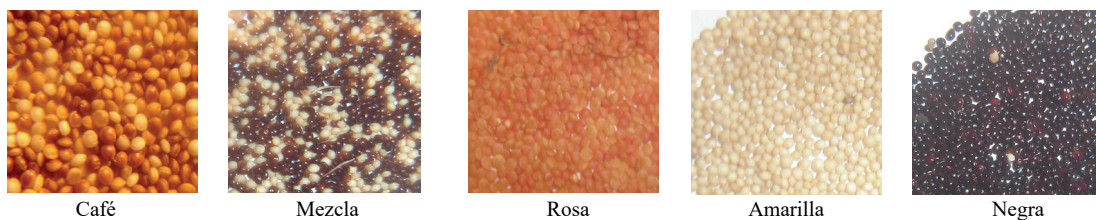


Figura 2. Diversidad de color de semillas de las especies de *Amaranthus* sp., caracterizadas en primavera-verano, 2009. Santa Lucía de Prías, Estado de México.

Figure 2. Seed color diversity of *Amaranthus* sp., characterized in the spring-summer, 2009. Santa Lucía de Prías, State of Mexico.

Cuadro 2. Parámetros estadísticos de variables cuantitativas de la caracterización de amaranto primavera-verano, 2009. Santa Lucía de Prías, Estado de México.

Table 2. Statistical parameters of quantitative variables characterizing amaranth, spring-summer, 2009. Santa Lucía de Prías, State of Mexico.

Característica	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Coeficiente de variación	Desviación estándar
Longitud de inflorescencia (cm)	60.47	87.5	39.00	13.37	8.09
Diámetro de inflorescencia (cm)	21.04	34.8	9.66	21.81	4.59
Altura de planta (cm)	2.01	2.98	1.38	16.01	0.322
Diámetro de tallo (cm)	2.29	4.36	1.62	18.12	0.415
Longitud de hoja (cm)	18.28	22.96	11.52	11.10	2.03
Ancho de hoja (cm)	8.96	12.84	6.16	14.95	1.34
Peso de 500 semillas (g)	0.368	0.505	0.2305	13.04	0.048

El diámetro de inflorescencia es la característica que presentó mayor variabilidad ya que tiene una desviación estándar de 4.5, así como un coeficiente de variación de 21.8, donde la inflorescencia más abierta fue de 34.8 cm y la inflorescencia cerrada con 9.6 cm. En el diámetro de tallo el mayor valor lo presentado por las accesiones fueron de 4.3 cm, mientras el tallo delgado con 1.6 cm. Las plantas altas se obtuvieron en la especie *A. hypochondriacus* con 2.9 m y la plantas de porte bajo fueron en *A. caudatus* con solo 1.3 m. Para la longitud de inflorescencia las accesiones con mayor valor

The longest leaves had values of 22.9 cm, wide leaves had values of 12.8 cm, the lowest size values 11.5 cm long and 6.1 cm wide. Seed weight for the maximum value was 0.50 g per 500 seeds and the minimum of 0.23 g per 500 seeds; the minimum values were mainly for *A. hybridus*. All this coincides with that reported by Wu *et al.* (2000), mentioned the presence of a large diversity for agronomic traits among the genotypes of amaranth and, also identified several genotypes that seem to be favorable for the agronomic traits of immediate use in the development of new cultivars.

fueron de 87.5 cm, mientras las más pequeñas fueron de solo 39 cm. La longitud de la hoja es el carácter que presentó menor variabilidad de todos los caracteres cuantitativos bajo estudio, con un coeficiente de variación de 11.1, ya que es una de las características con mayor homogeneidad.

Las hojas más largas presentaron valores de 22.9 cm, las hojas anchas obtuvieron valores de 12.8 cm, los menor valores de tamaño de las hojas fueron 11.5 cm de largo y 6.1 cm de ancho. En el peso de semilla el valor máximo fue de 0.50 g por 500 semillas y el mínimo de 0.23 g por 500 semillas, los valores mínimos correspondieron principalmente a la especie *A. hybridus*. Todo lo anterior coincide con lo reportado por Wu *et al.* (2000), quienes mencionan la presencia de una gran diversidad en las características agronómicas entre los genotipos de amaranto y también identificaron varios genotipos que parecían favorables para llevar a las características agronómicas de uso inmediato en el desarrollo de cultivares.

En el Cuadro 3 se presenta la matriz de correlaciones de siete caracteres cuantitativos con la finalidad de conocer la relación que existe entre sí en las variables estudiadas. Se observa que la longitud de la inflorescencia (LOIN) presentó correlación altamente significativa con diámetro de inflorescencia y altura de planta (ALP), excepto en diámetro de tallo (DITA), longitud de hoja y peso de grano (REN500), destacando una asociación altamente significativa pero negativa con ancho de hoja (-0.28); es decir, conforme aumenta el tamaño de la inflorescencia disminuye el ancho de la hoja.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación de las variables cuantitativas en la caracterización de amaranto primavera- verano, 2009. Santa Lucía de Prías, Estado de México.

Table 3. Correlation coefficient for quantitative variables in the characterization of amaranth, spring-summer, 2009. Saint Lucía de Prías, State of Mexico.

	LOIN	DIIN	ALP	DITA	LOHO	ANHO	REN500
LOIN	1	0.339**	0.268**	0.132ns	-0.125ns	-0.282**	0.098ns
DIIN		1	-0.286**	-0.194*	0.043ns	0.028ns	0.330**
ALP			1	0.708**	0.272**	0.197**	-0.235**
DITA				1	0.399**	0.327**	-0.198**
LOHO					1	0.722**	-0.161*
ANHO						1	-0.043ns
REN500							1

ns= no significativo; *= significancia al 0.05 de probabilidad; **= significancia al 0.01 de probabilidad; LOIN= longitud de inflorescencia (cm); DIIN= diámetro de inflorescencia (cm); ALP= altura de la planta (cm); DITA= diámetro de tallo (cm); LOHO= longitud de hoja (cm); ANHO= ancho de hoja (cm); REN500= peso de 500 semillas.

En el diámetro de inflorescencia tuvo alta asociación positiva con rendimiento de semilla (0.33), y de manera negativa con altura de planta (-0.28), pero una relación

The Table 3 presents the correlation matrix of seven quantitative traits in order to know the relationship between each other. It's shown that, the length of the inflorescence (LOIN) showed highly significant correlations with the inflorescence diameter and plant height (ALP), except for the stem diameter (DITA), leaf length and weight of grain (REN500), emphasizing an association highly significant but negative with leaf width (-0.28); *i.e.*, when the inflorescence size increasing the width of the leaf decreases.

The inflorescence diameter had a highly positive association with seed yield (0.33), and negatively with plant height (-0.28), but a significant but negative relationship with stem diameter (-0.19), with the variables that showed no correlation whatsoever were with the leaf's (width and length). Plant height (ALP) is highly correlated with stem diameter (0.70), length (0.27) and leaf width (0.19) and, negatively highly significant correlation with seed yield (-0.23); *i.e.* in tall plants, leaves and stem production is much higher, but the grain yield decreases. The stem diameter (DITA) is highly correlated with the leaf length (0.39) and leaf width (0.32); demonstrating the high association between the ability of a genotype to develop a high yield of biomass (vegetative production).

The leaf length (LOHO) was highly correlated with leaf width (0.72), and negatively with seed yield (-0.16). Leaf width is not correlated with seed weight (-0.04). The inflorescence diameter

is one of the indicators closely related to the yield, standing out as a major component of amaranth productivity. However, it is clearly seen that when there is a higher

significativa pero negativa con el diámetro de tallo (-0.19), con las variables que no mostró ninguna correlación fueron las de hoja (ancho y longitud). La altura de planta (ALP) está altamente correlacionado con diámetro de tallo (0.70), longitud (0.27) y ancho de hoja (0.19), y correlación altamente significativa de manera negativa con rendimiento de semilla (-0.23); es decir, en plantas altas la producción de hojas y tallo es mucho mayor, pero el rendimiento de grano disminuye. En diámetro de tallo (DITA) es altamente correlacionado con longitud de la hoja (0.39) y ancho de hoja (0.32); demostrando por una parte, la alta asociación que existe entre la capacidad de un genotipo de desarrollar una alta producción de biomasa (producción vegetativa).

La longitud de la hoja (LOHO) estuvo altamente correlacionada con el ancho de la hoja (0.72), y negativamente con el rendimiento de la semilla (-0.16). El ancho de la hoja no es correlacionado con el peso de la semilla (-0.04). El diámetro de inflorescencia es uno de los indicadores estrechamente ligado al comportamiento del rendimiento, destacándose como uno de los principales componentes con la productividad en amaranto. Sin embargo, se nota claramente que cuando hay una mayor producción de biomasa (altura de planta, diámetro de tallo y longitud de hoja) en amaranto el rendimiento disminuye, y viceversa (Sangerman-Jarquín *et al.*, 2011; Cortés *et al.*, 2012).

Todas las variables cuantitativas, se incluyeron en un análisis de conglomerados, el cual se basó en la obtención de una matriz de similitud entre partes de materiales, con base en el coeficiente simple de concordancia y con la matriz se construyó un dendrograma mediante el empleo de algoritmo de las medidas no ponderadas, obtenido a partir de una matriz construida con los coeficientes de distancia entre los materiales, en el que se aprecia una amplia dispersión de los materiales conformando grupos y subgrupos a diferentes distancias (Costea, 2006).

El dendrograma de relaciones genéticas entre las razas o tipos de las especies de *Amaranthus* obtenidas mediante el análisis de las variables cuantitativas (Figura 3), muestra la formación de un gran grupo de las especies, que corresponden con las tres especies encontradas cultivadas *A. hypochondriacus* L., *A. cruentus* L. y *A. caudatus* L. Estos resultados muestran que *A. hypochondriacus* L. estuvo genéticamente más relacionado con *A. caudatus* L., y la especie más alejada fue *A. cruentus* L., resultados que coinciden con Legaria (2010) al estudiar la diversidad genética en algunas especies de amaranto.

production of biomass (plant height, stem diameter and leaf length) the yield decreases, and *vice versa* (Sangerman-Jarquín *et al.*, 2011; Cortés *et al.* 2012).

All the quantitative variables were included in a cluster analysis for obtaining a similarity matrix between material parts, based on the simple matching coefficient, making a dendrogram with the matrix using the unweighted measurements algorithm obtained from a matrix constructed with the distance coefficients between the materials, in which a wide dispersion of the materials forming groups and subgroups at different distances can be seen (Costea, 2006).

The dendrogram of genetic relationships between breeds or races of *Amaranthus* species obtained by the analysis of quantitative variables (Figure 3) shows the arrangement of a large group of species, which correspond to the three species *A. hypochondriacus* L., *A. cruentus* L. and, *A. caudatus* L. These results display that, *A. hypochondriacus* L. was genetically more related to *A. caudatus* L. and, the farthest species was *A. cruentus* L., results that concord with Legaria (2010) by studying the genetic diversity in some species of amaranth.

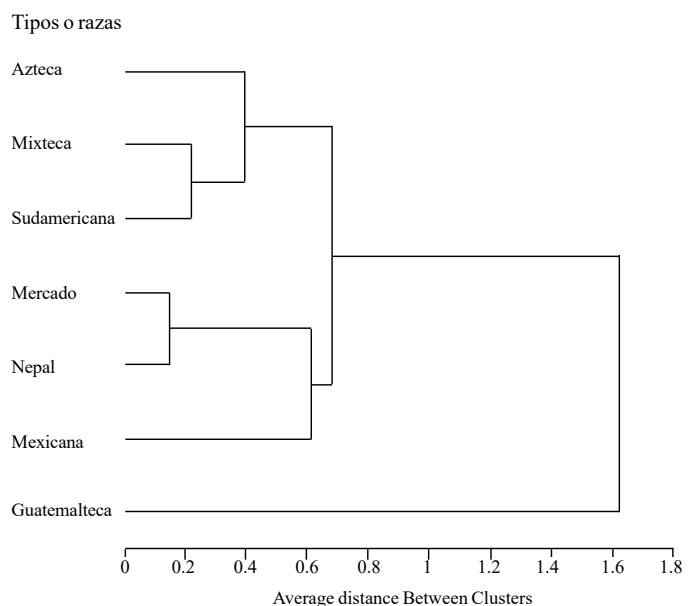


Figura 3. Dendrograma de relaciones genéticas entre razas o tipos de las especies de *Amaranthus* spp. Caracterizadas en Santa Lucías de Prías, Estado de México. Primavera-verano, 2009.

Figure 3. Genetic relationships dendrogram between breeds or races of species of *Amaranthus* spp. Characterized in Santa Lucía de Prías, State of Mexico. Spring-summer, 2009.

Conclusiones

Existe una gran diversidad de formas y colores entre especies y razas del género *Amaranthus*. Las especies o poblaciones cultivadas de *Amaranthus* (*A. hypochondriacus* L., *A. cruentus* L. y *A. caudatus* L.) están muy relacionadas entre sí. En las poblaciones de *Amaranthus* la mayor parte de la diversidad genética detectable se encuentra dentro de las especies y razas. La característica con mayor variabilidad en las poblaciones de *Amaranthus* se encuentra el diámetro de Inflorescencia.

En amaranto existe un amplio campo de exploración para caracteres morfológicos, los caracteres cualitativos y cuantitativos representan una parte del espectro de la variación genética dentro de las especies. La diversidad de materiales en el banco de germoplasma lo hace característico para tener germoplasma en todos los programas de mejoramiento genético. La caracterización amplia de especies, locales e introducidas es una herramienta poderosa e importante para identificar caracteres de gran importancia agronómica para el desarrollo de cultivares (Kauffman y Reider, 1986).

Literatura citada

- Becerra, V. y Paredes, M. 2000. Marcadores bioquímicos y moleculares en estudios de diversidad genética. *Rev. Agric. Téc.* 60:270-281.
- Cortés, E. L.; Sangerman-Jarquín, D. Ma.; Espitia, R. E.; Jiménez, S. L.; González, E. A.; Navarro, B. A. y Ayala, G. A. V. 2012. Desarrollo rural: estudio de mercado en zonas rurales productoras de amaranto. *In: desarrollo rural y agricultura*. Sangerman-Jarquín, D. Ma.; Cadena, I. J.; Schwentesius, R. R. y Cuevas, S. J. A. (Ed.). Editorial del Colegio de Postgraduados. ISBN: 978-607-715-084-8. 101-114 pp.
- Costea, F. H. 2006. Delimitation of *Amaranthus cruentus* L. and *Amaranthus caudatus* L. using micromorphology and AFLP analysis: an application in germplasm identification. *Genetic Res. Crop Evol.* 53:1625-1633.
- De la O, O. M.; Ayala, G. A. V.; Rivas, V. P.; Martínez, T. G.; Sangerman-Jarquín, D. Ma.; Espitia, R. E. 2012. Variedades mejoradas de amaranto para producción en climas templados y semitropicales. Memoria técnica número 13. Campo Experimental Valle de México- INIFAP. ISBN: 978-607-425-853-0. 225-228 pp.
- De O, S.; Silva, E.; De Matos, A. P. y Shepherd, K. 1997. Mejoramiento de bananos diploides (AA) en EMBRAPA/CNPMF. *Infomusa* 6(2):21-22.
- Espitia, R. E.; Mapes, S. C.; Núñez, C. C. A. y Escobedo, L. D. 2010. Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(3):427-437.

Conclusions

There is a large diversity of shapes and colors between species and breeds on the genus *Amaranthus*. The cultivated species or populations of *Amaranthus* (*A. hypochondriacus* L., *A. cruentus* L. and, *A. caudatus* L.) are closely related. In *Amaranthus* populations, the largest detectable genetic diversity is within the species and races. The trait with the highest variability in populations of *Amaranthus* is the inflorescence diameter.

In amaranth, there is a wide exploration field for morphological traits; the qualitative and quantitative traits represent a portion of the spectrum of genetic variation within the species. The diversity of materials bestowed in the genebank does make it rather characteristic for having germplasm in all the breeding programs. The extensive characterization of local and introduced species is quite a powerful and important tool to identifying agronomically important traits for developing new cultivars (Kauffman and Reider, 1986).

End of the English version



- Espitia, R. E.; Mapes, S. C.; Escobedo L. D.; De la O, O. M.; Rivas, V. P.; Martínez, T. G.; Cortés, E. L. y Hernández, C. J. M. 2010. Conservación y uso de los recursos genéticos de Amaranto en México., Centro de Investigación Regional Centro- INIFAP. Celaya, Guanajuato, México. 200 pp.
- Espitia, R. E.; Miranda, C. E. y Castillo, G. F. 1992. Variabilidad genética e interrelaciones del rendimiento y sus componentes en alegría (*Amaranthus* spp.). *Agrociencia.* 3(4):83-98.
- Falconer, D. S. and Mackay, T. F. C. 1996. Introduction to quantitative genetics. (Ed.) 4. Longmans Green. Harlow. Essex. UK. 122-324 pp.
- Feine, L. B. 1979. An ethnobotanical observation and collection of grain amaranth in México, *In: proceedings of the second amaranth conference*. Rodale Press, Emmaus, PA. 111-116 pp.
- Franco, T. L. e Hidalgo, R. 2003. Análisis Estadístico de datos de caracterización morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico Núm. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios, S. A. México D. F. 217 p.
- Grubben, G. J. H. and Van Sloten, D. H. 1981. Genetics resources of amaranths International Board for Plant Genetic Resources, Rome. Italy. 57 pp.
- Hunziker, A. T. 1991. Sinopsis de las especies silvestres de *Amaranthus* del continente americano, con especial referencia a las monoicas. Primer Congreso Internacional del Amaranto. Oaxtepec, Morelos. México. 22 p.
- Kauffman, C. S. and Reider, C. 1986. Amaranth germoplasm collection. Rodale Press Inc. Emmaus. P. A. 114 pp.
- Legaria, S. J. P. 2010. Diversidad genética en algunas especies de amaranto (*Amaranthus* spp.). *Rev. Fitotec. Mex.* 33(2):89-95.

- Rodríguez, C. Ma. E.; Carballo, C. A.; Santacruz, V. A.; Espitia, R. E. y González, C. F. 2010. Distinción homogeneidad y estabilidad mediante caracterización morfológica de variedades de amaranto. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(3):335-349.
- Sangerman-Jarquín, D. Ma.; Cortés, E. L.; Schwentesius, R. R.; Cruz, L. A. y Navarro, B. A. Estudio de mercado en las zonas productoras de amaranto en Valles Altos. 2011 *Rev. Exp. Econ.* 26(1):115-132.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 1997. SAS user's guide. Statistics. Version 8. SAS/STAT Software: Changes and Enhancements through Release 6.12. SAS Institute, Cary, N.C.
- Wu, H. X.; Sun, M.; Yue, S. X.; Sun, H. L.; Cai, Y. Z.; Huang, R. H.; Brenner, D. and Corke, H. 2000. Field evaluation of an *Amaranthus* genetic resource collection in China. *Genetic Res. Crop Evol.* 47(1):43-53.