

## DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESPECIES CULTIVADAS DE *AMARANTHUS* Y DE SUS PARIENTES SILVESTRES EN MÉXICO\*

### GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF CULTIVATED SPECIES OF *AMARANTHUS* AND THEIR WILD RELATIVES IN MEXICO

Eduardo Espitia-Rangel<sup>1§</sup>, Emma Cristina Mapes-Sánchez<sup>2</sup>, Carlos Alberto Núñez-Colín<sup>1</sup> y Diana Escobedo-López<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Bajío. INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km 6.5. Celaya, Guanajuato, México. A. P. 112. C. P. 38110. Tel. 01 461 6177107. (nunez.carlos@inifap.gob.mx), (escobedo.diana@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Jardín Botánico. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. Distrito Federal, México. C. P. 04510. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: espitia.eduardo@inifap.gob.mx.

#### RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo obtener los patrones de distribución de *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypochondriacus* y sus parientes silvestres, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, además de realizar un patrón de variación geográfica de las zonas donde se localizan. El género *Amaranthus* está distribuido a lo largo de México. *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* se distribuyen en la parte centro sur del país, mientras que *A. powellii* está distribuido del centro al norte de México. Por otro lado, *A. hybridus* se puede cultivar prácticamente en todo México, por lo que fue la especie que presentó la mayor adaptación en comparación a las otras tres especies que mostraron una distribución más limitada. De acuerdo con la hipótesis que *A. hybridus* puede ser el ancestro más probable de *A. cruentus* y según los resultados obtenidos en este estudio, esta hipótesis podría ser cierta debido que en toda la distribución de *A. cruentus* está presente *A. hybridus*. Cabe mencionar, sobre la hipótesis que *A. hypochondriacus* puede ser un híbrido entre *A. cruentus* y *A. powellii*, se puede concluir que es cierta ya que *A. hypochondriacus* presentó un patrón de variación latitudinal parecido a *A. powellii* y un patrón de variación altitudinal similar a *A. cruentus*; además que todas ellas convergen en el Valle de México.

#### ABSTRACT

The aim of this work was to obtain the distribution patterns of *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypochondriacus* and its wild relatives using Geographic Information Systems, as well as creating a geographic variation pattern of the areas in which they are found. The genus *Amaranthus* is distributed throughout Mexico. *A. cruentus* and *A. hypochondriacus* are distributed in the south-central area of the country, whereas *A. powellii* is found in the center and north of Mexico. On the other hand, *A. hybridus* can be cultivated in practically any part of the country, making it the species with the greatest adaptation in comparison to the other three species that displayed a more limited distribution. According to the hypothesis that states that *A. hybridus* is most likely the ancestor of *A. cruentus* and according to results obtained in this study, this hypothesis may be correct, since in all the distribution of *A. cruentus*, *A. hybridus* is present. It is worth mentioning, on the hypothesis of *A. hypochondriacus* being a hybrid between *A. cruentus* and *A. powellii*, that we can conclude it is true, since *A. hypochondriacus* displayed a latitudinal variation pattern similar to that of *A. powellii* and a pattern of altitudinal variation similar to that of *A. cruentus*; besides, all the species converge in the Valley of Mexico.

\* Recibido: marzo de 2010  
Aceptado: septiembre de 2010

**Palabras Clave:** *Amaranthus cruentus*, *A. hybridus*, *A. hypochondriacus*, *A. powellii*, Sistemas de Información Geográfica.

**Key words:** *Amaranthus cruentus*, *A. hybridus*, *A. hypochondriacus*, *A. powellii*, Geographic Information Systems.

## INTRODUCCIÓN

El género *Amaranthus* consiste alrededor de 70 especies, de las cuales 40 son nativas del continente americano y el resto de Australia, África, Asia y Europa (Costea *et al.*, 2001). *A. caudatus* L., *A. hypochondriacus* L. y *A. cruentus* L. son las especies de amaranto que han creado un gran interés durante los años recientes como cultivos agrícolas en muchas regiones del mundo; debido excepcionalmente por alto valor nutricional de sus semillas y hojas (Costea *et al.*, 2001).

Existen una gran cantidad artículos científicos que documentan el valor nutricional del amaranto, además de su potencial agronómico, el manejo de sus recursos genéticos y los programas de mejoramiento de amaranto; sin embargo, una revisión sobre aspectos nutricionales se puede encontrar en Kauffman y Weber (1990); Kauffman (1992) y para una exploración sobre recursos genéticos y mejoramiento en Brenner *et al.* (2000).

La domesticación de las especies de amaranto para grano, no está totalmente comprendida. Sin embargo, el primer dato que existe sobre el amaranto como cultivo de grano domesticado, proviene de excavaciones arqueológicas en la cueva de Coxcatlan en Tehuacán, Puebla, México; donde las semillas de *A. cruentus* se fecharon con 6 000 años de antigüedad, aunque Sauer (1993) mencionó que la domesticación inicial podría haber ocurrido mucho antes y en diferentes lugares. Por otro lado, las semillas más antiguas conocidas de *A. hypochondriacus* aparecieron en las mismas cuevas, pero fechadas con cerca de 1 500 años de antigüedad, aunque la domesticación, al igual que el caso anterior, pudo haber ocurrido antes (Brenner *et al.*, 2000).

De acuerdo con Grubben (1976); Grubben y Sloten (1981), la especie *A. cruentus* L. es originaria de América Central, probablemente de Guatemala y sureste de México, donde se cultiva hasta hoy en día y donde también se encuentra ampliamente distribuida de manera natural. Sauer (1993) propuso que el progenitor más probable de *A. cruentus* es *A. hybridus* L. que actualmente se encuentra distribuida en una amplia gama de llanuras y montañas del norte, centro y sur del continente americano.

## INTRODUCTION

The genus *Amaranthus* consists of roughly 70 species, of which 40 are native to the Americas, and the rest to Australia, Africa, Asia and Europe (Costea *et al.*, 2001). *A. caudatus* L., *A. hypochondriacus* L. and *A. cruentus* L. are the amaranth species that have created a great worldwide interest in recent years as agricultural crop; this is due mostly to its high nutritional value of their seeds and leaves (Costea *et al.*, 2001).

There is a large number of scientific papers that document the nutritional value of amaranth, as well as its agricultural potential, the handling of its genetic resources and amaranth improvement programs; however, a revision on nutritional aspects can be found in Kauffman and Weber (1990); Kauffman (1992), and for an exploration on genetic resources and improvement Brenner *et al.* (2000).

The domestication of amaranth species for the use of its grain is not entirely understood. However, the first piece of data known on amaranth as a domesticated grain crop comes from archaeological excavations in the Coxcatlan cave in Tehuacán, Puebla, Mexico, where *A. cruentus* seeds were found to be 6 000 years old, although Sauer (1993) mentioned that initial domestication could have occurred long before and in a different place. On the other hand, the oldest known *A. hypochondriacus* seeds appeared in the same caves, although these were found to be 1 500 years old, although domestication, like in the previous case, could have occurred earlier (Brenner *et al.*, 2000).

According to Grubben (1976); Grubben and Sloten (1981), the species *A. cruentus* L. comes from Central America, probably from Guatemala and southeastern Mexico, where it is grown until nowadays, and where it is widely distributed in its natural form. Sauer (1993) proposed that the ancestor of *A. cruentus* is most probably *A. hybridus* L., which is currently distributed in a wide range of flatlands of the north, center and south of the American continent.

Por otro lado, Sauer (1950 y 1967) indicó que *A. hypochondriacus* L. es originaria del centro de México, debido que en esta zona se cultiva desde el tiempo de los aztecas y donde actualmente se sigue cultivando, además que se encuentra ampliamente distribuida en todo México. Esta especie también se cultiva en los Himalayas en Nepal y en el sur de la India, donde se han formado centros secundarios de diversificación. Sauer (1993) mencionó que *A. hypochondriacus* presenta características tanto de *A. cruentus* como de la especie silvestre *A. powelli* Watson, y que incluso *A. hypochondriacus* pudiera ser un híbrido entre ambas especies.

*A. caudatus* L. es otra especie cultivada para la producción de grano; es de día corto y se adapta mejor que las otras especies a las bajas temperaturas. Esta especie es originaria de los andes (Sudamérica) y de aquí se distribuyó a otras zonas templadas y subtropicales (Grubben, 1976; Grubben y Sloten, 1981; Hunziker, 1952).

El amaranto de grano de las tres especies, ha sido cultivado tradicionalmente en regiones comprendidas entre el ecuador y los 30° de latitud norte, aunque el amaranto puede ser cultivado en latitudes mayores, utilizando materiales que puedan florecer aún cuando no cuenten con el fotoperiodo de los trópicos (National Research Council, 1985).

En la actualidad, el cultivo del amaranto para producción de grano se ha concentrado en regiones altas tales como la Sierra Madre y el Eje Neovolcánico en México, Los Andes en Sudamérica y los Himalayas en Nepal y la India (Grubben y Sloten, 1981).

A pesar de estos antecedentes, no existen estudios actuales sobre la distribución natural de las especies cultivadas de amaranto en México; por este motivo, el objetivo del presente trabajo fue determinar la distribución actual de las especies cultivadas nativas y de sus posibles ancestros mediante datos de pasaporte de colectas de herbario y de germoplasma y el uso de Sistema de Información Geográfico (SIG).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 2 786 datos de pasaporte de ejemplares de todas las especies del género *Amaranthus*, de los cuales 610 son de *A. cruentus*; 680 de *A. hybridus*; 356 de *A. hypochondriacus*, y 35 de *A. powellii*. Estos valores fueron obtenidos de la base de datos de la red mundial de información

On the other hand, Sauer (1950 and 1967) indicated that *A. hypochondriacus* L. comes from central Mexico, since it has been grown in this area since the time of the Aztecs, and is widely distributed in all of Mexico. This species is also grown in the Himalayas in Nepal and southern India, where secondary diversification centers have been formed. Sauer (1993) mentioned that *A. hypochondriacus* has characteristics of both *A. cruentus* and the wild species *A. powelli* Watson, and that *A. hypochondriacus* could even be a hybrid between both species.

*A. caudatus* L. is another species grown for the production of grain; it is a short-day plant that adapts better than the other species to low temperatures. This species comes from the Andes (South America) and distributed from there to warm and subtropical areas (Grubben, 1976; Grubben and Sloten, 1981; Hunziker, 1952).

The grain amaranth of all three species has been cultivated traditionally in the areas between the equator and 30° latitude north, although the amaranth can be grown in greater latitudes, but only if materials are used that can thrive, even when the photoperiod is not the same as in the tropics (National Research Council, 1985).

The cultivation of amaranth for the grain production has been centered on high areas, such as the Sierra Madre and the Eje Neovolcanico in Mexico, the Andes in South America and the Himalayas in Nepal and India (Grubben and Sloten, 1981).

Despite these antecedents, there are no current studies on the natural distribution of cultivated species of amaranth in Mexico; for this reason, the aim of this investigation was to determine the current distribution of the native species cultivated in Mexico and of their possible ancestors, using a passport data from herbarium and germplasm collections, along with the use of Geographic Information System (GIS).

## MATERIALS AND METHODS

The passport data of 2 786 specimens of the *Amaranthus* genus were used, out of which 610 belonged to *A. cruentus*, 680 to *A. hybridus*; 356 to *A. hypochondriacus*, and 35 to *A. powellii*. These values were obtained from the data base of the World Network of Information on Biodiversity (REMIB), the National Biodiversity Information System (CONABIO) and INIFAP's National Amaranth Collection.

sobre biodiversidad (REMIB), del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (CONABIO) y de la colección nacional de amaranto del INIFAP.

Con datos de pasaporte se elaboraron mapas de distribución; el primero de todos los ejemplares del género *Amaranthus* en México, así como uno para cada especie cultivada y cada uno de sus posibles ancestros, además de mapas con la distribución combinada de *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* con sus posibles progenitores. Estos mapas fueron hechos utilizando el programa DIVA-GIS versión 7.1 (Hijmans *et al.*, 2004). Los patrones de distribución donde se encuentran cada una de las especies de *Amaranthus* fue explicada de acuerdo a las regiones biogeográficas descritas por Morrone (2005).

Además de los mapas de distribución y con el fin de obtener de manera cuantitativa los patrones de distribución latitudinal y altitudinal de cada especie, tanto de las cultivadas como sus relativos silvestres, se elaboraron gráficas de dispersión de las accesiones de cada una de ellas, en donde se graficó la latitud (eje X) y altitud (eje Y), en la cual se ubicaron cada una de las accesiones de cada especie; con esto, se pretendió que al comparar los gráficos de las diferentes especies, se pueda elucidar los patrones de comportamiento de la distribución de las mismas, para deducir su probable grado de adaptación y su posible relación de parentesco.

## RESULTADOS

### Distribución general

La distribución del género *Amaranthus* en México es amplia, teniendo representantes en todos los estados del país (Figura 1).

Aunque la mayor concentración de especímenes, se localiza en la zona biogeográfica denominada Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005), este género está ampliamente distribuido en toda la república mexicana, tanto en planicies costeras como en zonas montañosas.

### Distribución de las especies cultivadas y sus parientes silvestres

*A. cruentus* está principalmente distribuida en el centro-sur de la república mexicana, principalmente en la zona biogeográfica del Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005) en los estados de Puebla, Morelos, Estado de México y Distrito Federal; aunque también presentó

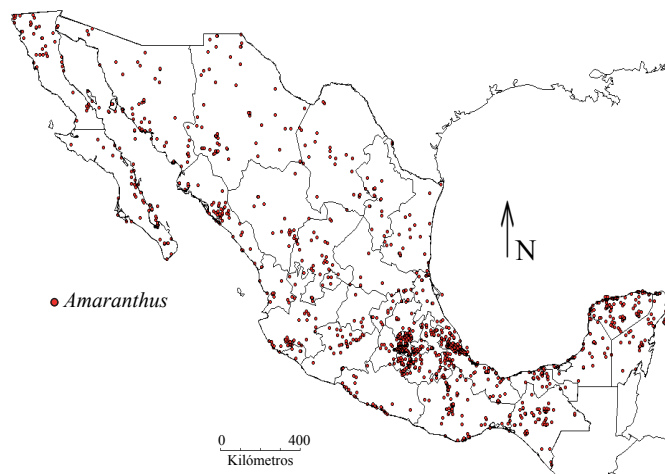
Using the passport data, distribution maps were created; the first of all the specimens of the genus *Amaranthus* in Mexico, as well as one for each species planted and each of their possible ancestors, along with maps of the combined distribution of *A. hypochondriacus* and *A. cruentus* with their possible parents. There maps were created using the program DIVA-GIS 7.1 (Hijmans *et al.*, 2004). The distribution patterns where each of the species of *Amaranthus* are found was explained according to the biogeographical regions described by Morrone (2005).

In order to obtain latitudinal and altitudinal quantitative distribution patterns for wild and cultivated species, along with the distribution maps, dispersion graphs were created with the accessions of each species, in which the latitude (X axis) and altitude (Y axis) were plotted. The dispersion graphs were used to explain the behavior patterns of species distribution, to deduce their probable degree of adaptation and its possible relationships.

## RESULTS

### General distribution

The distribution of the genus *Amaranthus* in Mexico is wide, covering all states of the country (Figure 1).



**Figura 1. Distribución geográfica del género *Amaranthus* en México.**

**Figure 1. Geographical distribution of the genus *Amaranthus* in Mexico.**

especímenes en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Colima, San Luis Potosí, Guerrero, Veracruz, Oaxaca y Chiapas (Figura 2).



**Figura 2. Distribución geográfica de *A. cruentus* en México.**  
**Figure 2. Geographical distribution of *A. cruentus* in Mexico.**

En este sentido, *A. hybridus*, que es el posible ancestro de *A. cruentus*, presentó una mayor distribución geográfica en México, presentando especímenes en prácticamente todo el país (Figura 3). Aunque esta especie se distribuye principalmente en las zonas biogeográficas del Eje Volcánico Transmexicano, Golfo de México y Altiplano mexicano (Morrone, 2005).



**Figura 3. Distribución geográfica de *A. hybridus* en México.**  
**Figure 3. Geographical distribution of *A. hybridus* in Mexico.**

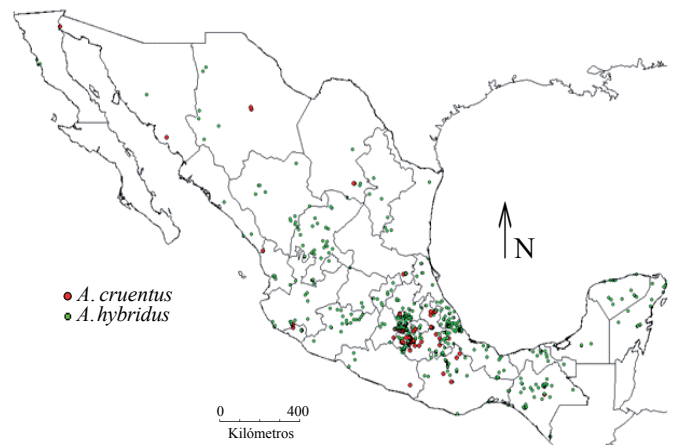
Although the greatest concentration of specimens is located in the biogeographical area known as the Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005), this genus is widely distributed throughout the country, in coastal plains and mountainous areas alike.

**Distribution of the planted species and their wild relatives**

*A. cruentus* is mostly distributed in central-south Mexico, mainly in the biogeographical area of the Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005) in the states of Puebla, Morelos, State of Mexico and the Federal District; although there were also specimens found in the states of Sonora, Chihuahua, Coahuila, Colima, San Luis Potosí, Guerrero, Veracruz, Oaxaca and Chiapas (Figure 2).

In this sense, *A. hybridus*, which is the possible ancestor of *A. cruentus*, displayed a greater geographical distribution in Mexico, with specimens in practically the entire country (Figure 3); although this species is distributed mostly in the biogeographical areas of the Eje Volcánico Transmexicano, the Gulf of Mexico and the Mexican Highlands (Morrone, 2005).

If we combine the distribution of these two species in one map, we notice that they converge in south-central Mexico, within the biogeographical area of the Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005), in the states of Puebla, Morelos, State of Mexico and the Federal District, as well as in the biogeographical area of the Southern Sierra Madre (Morrone, 2005) in the state of Oaxaca (Figure 4).



**Figura 4. Distribución geográfica de *A. cruentus* y *A. hybridus* en México.**  
**Figure 4. Geographical distribution of *A. cruentus* and *A. hybridus* in Mexico.**

Al combinar en un mismo mapa la distribución de estas dos especies, se encontró que estas convergen en el centro-sur de México, dentro de la zona biogeográfica del Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005), en los estados de Puebla, Morelos, Estado de México y Distrito Federal; así como en la región biogeográfica Sierra Madre del Sur (Morrone, 2005) en el estado de Oaxaca (Figura 4).

Por otro lado, *A. hypochondriacus* se distribuye principalmente en las regiones biogeográficas del Eje Volcánico Transmexicano y Sierra Madre del Sur (Morrone, 2005) en los estados de Puebla, Estado de México, Tlaxcala, Oaxaca y Distrito Federal (Figura 5).

Aunque también existen algunos especímenes de *Amaranthus* reportados en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Michoacán y Veracruz (Figura 5).



**Figura 5. Distribución geográfica de *A. hypochondriacus* en México.**

**Figure 5. Geographical distribution of *A. hypochondriacus* in Mexico.**

En este sentido, *A. powellii* presentó una distribución en las zonas biogeográficas de California, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y el Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005). Por lo tanto, a pesar que existen pocos datos de pasaporte, esta especie presentó mayor distribución que su relativo cultivado (Figura 6).

El *A. cruentus* y *A. powellii* pueden ser los posibles ancestros de *A. hypochondriacus*, por tal razón, se realizó un sólo mapa de distribución de ellos. En el mapa de *A. powellii*,

On the other hand, *A. hypochondriacus* is mainly distributed in the biogeographical area of the Eje Volcánico Transmexicano and the Southern Sierra Madre (Morrone, 2005) in the states of Puebla, State of Mexico, Tlaxcala, Oaxaca and the Federal District (Figure 5).

There have also been reports of some specimens of *Amaranthus* in the states of Sonora, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Michoacán and Veracruz (Figure 5).

In this sense, *A. powellii* showed a distribution in the biogeographical areas of California, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental and the Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005). Therefore, despite the few passport data, this species displayed a wider distribution than its cultivated relative (Figure 6).



**Figura 6. Distribución geográfica de *A. powellii* en México.**

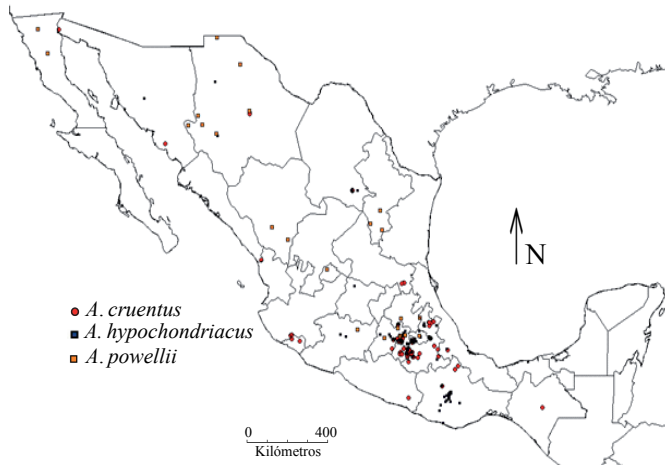
**Figure 6. Geographical distribution of *A. powellii* in Mexico.**

*A. cruentus* and *A. powellii* can be the possible ancestors of *A. hypochondriacus*, which is why a single distribution map of them was created. In the map of *A. powellii*, *A. cruentus* and *A. hypochondriacus*, we can notice that the three species converge in southern-central Mexico (Figure 7), in the biogeographical area of the Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005).

#### **Variation patterns of the cultivated species and their wild relatives**

*A. cruentus* displayed a pattern of narrow latitudinal variation, concentrating mostly on parallels 18° and 20°, although it is distributed from 16° to 29° latitude north (Figure 8).

*A. cruentus* y *A. hypochondriacus* se observa que las tres especies convergen en el centro-sur de México (Figura 7), en la región biogeográfica del Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005).



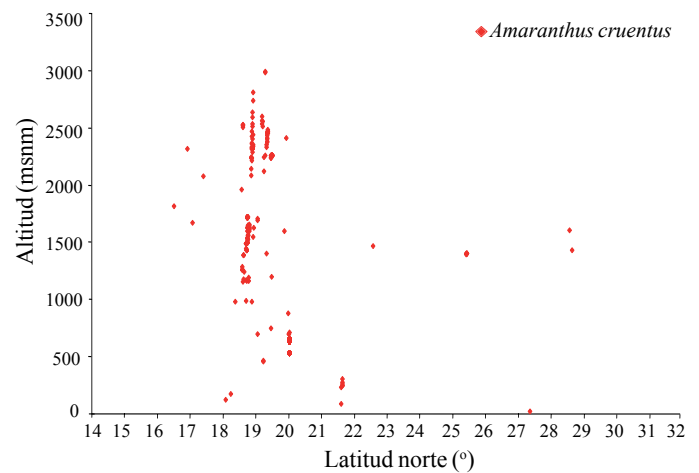
**Figura 7. Distribución geográfica de *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. powellii* en México.**  
**Figure 7. Geographical distribution of *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* and *A. powellii* in Mexico.**

#### Patrones de variación de las especies cultivadas y sus parientes silvestres

*A. cruentus* presentó un patrón de variación latitudinal estrecho, concentrándose principalmente entre los paralelos 18° y 20°, aunque se distribuye desde los 16° hasta los 29° de latitud norte (Figura 8).

Por el contrario, el patrón de variación altitudinal es amplio en esta especie, distribuyéndose principalmente entre los 1 000 y 3 000 msnm, aunque existen especímenes prácticamente desde el nivel del mar hasta 3 000 m de altitud.

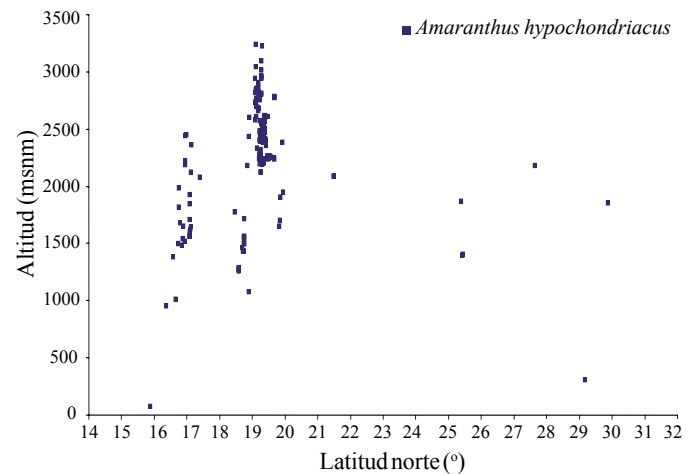
En el caso de *A. hypochondriacus* también presenta una variación latitudinal estrecha, aunque más amplia que *A. cruentus*, concentrándose principalmente entre los paralelos 16° y 20°, aunque esta especie se distribuye desde menos de 16° hasta 30° de latitud norte. En contraste, el patrón de variación altitudinal es alta, porque esta especie se concentra entre los 1 000 y hasta 3 300 msnm, siendo raros los especímenes por debajo de estas altitudes (Figura 9).



**Figura 8. Patrones de variación latitudinal y altitudinal de *A. cruentus* en México.**  
**Figure 8. Latitudinal and altitudinal variation patterns of *A. cruentus* in Mexico.**

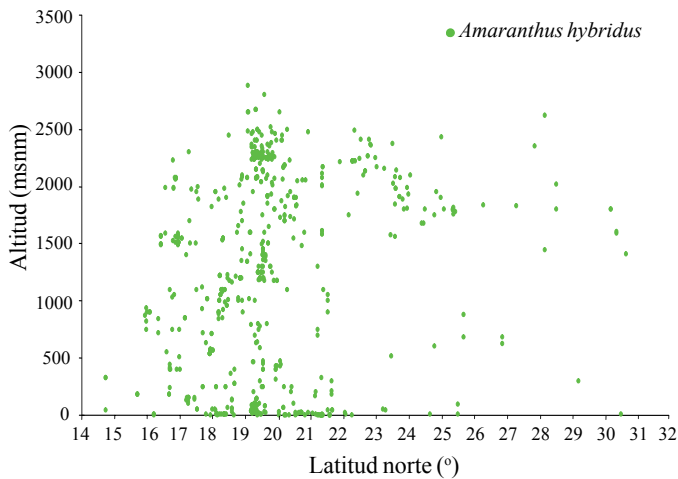
On the other hand, the altitudinal variation pattern is broad in this species, with a distribution mainly between 1 000 and 3 000 masl, although there are specimens practically between sea level and 3 000 masl.

*A. hypochondriacus* also has a broad latitudinal variation, although wider than *A. cruentus*, concentrating mostly between parallels 16° y 20°, although this species is distributed less between parallels 16° to 30° latitude north. In contrast, the pattern of altitudinal variation is high, because this species is concentrated between 1 000 and 3 300 masl, and specimens below this height are rare (Figure 9).



**Figura 9. Patrones de variación latitudinal y altitudinal de *A. hypochondriacus* en México.**  
**Figure 9. Latitudinal and altitudinal variation patterns of *A. hypochondriacus* in Mexico.**

En el caso de *A. hybridus*, esta especie presentó un patrón de mayor distribución tanto latitudinal como altitudinal. El patrón de variación latitudinal de esta especie se concentra entre los paralelos 16° hasta el paralelo 25°, aunque existen especímenes desde 14° hasta 31° de latitud norte (Figura 10).



**Figura 10. Patrones de variación latitudinal y altitudinal de *A. hybridus* en México.**

**Figure 10. Latitudinal and altitudinal variation patterns of *A. hybridus* in Mexico.**

El patrón de variación altitudinal también es bastante amplio, porque esta especie se distribuye desde el nivel del mar hasta cerca de 3 000 m de altitud, distribuyéndose en todo el rango altitudinal sin concentrarse en una zona específica.

Por otro lado, *A. powellii* presentó un mayor patrón de variación latitudinal distribuyéndose entre los paralelos 19° y 32°, sin tener una concentración de especímenes entre este rango. Además manifestó un patrón de variación altitudinal menor que las otras especies, concentrándose entre los 1 200 y 2 500 msnm, siendo escasos los especímenes por abajo o por arriba de este rango de altitud (Figura 11).

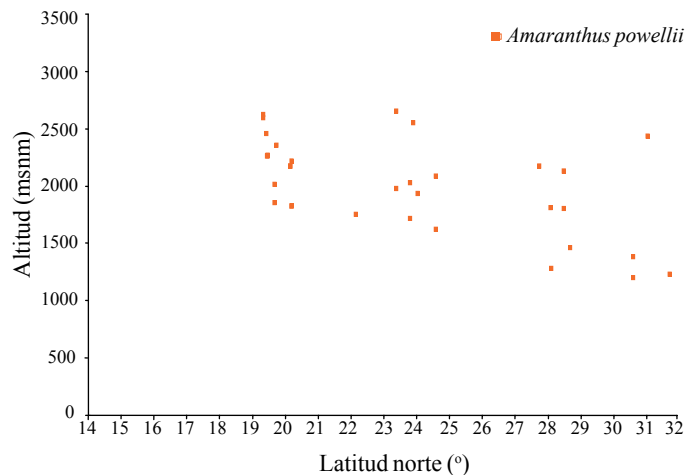
## DISCUSIÓN

Al parecer las especies estudiadas en el presente trabajo, están catalogadas dentro del subgénero *Amaranthus* y las especies cultivadas se distinguen de las silvestres por lo corto de sus bracteólas (Costea y Tardif, 2003). Sin embargo, el patrón de variación latitudinal y altitudinal son diferentes entre las especies cultivadas y las silvestres, siendo la especie ecológicamente más exitosa *A. hybridus* por su alta variación tanto latitudinal como altitudinal, lo que coincide

*A. hybridus*, displayed a pattern of greater distribution, both latitudinal and altitudinal. The latitudinal variation pattern of this species is concentrated between parallels 16° and 25°, although there are specimens from 14° up to 31° of latitude north (Figure 10).

The altitudinal variation patterns are also quite broad, because this species is distributed between sea level and almost 3 000 masl, distributed in all the altitudinal range without concentrating on a specific area.

Likewise, *A. powellii* showed a greater latitudinal variation pattern, with a distribution between parallels 19° and 32°, with no concentration of specimens in this range. It also showed a lower altitudinal variation pattern than the other species, concentrated between 1 200 and 2 500 masl, with a scarce amount of specimens out of this altitudinal range (Figure 11).



**Figura 11. Patrones de variación latitudinal y altitudinal de *A. powellii* en México.**

**Figure 11. Latitudinal and altitudinal variation patterns of *A. powellii* in Mexico.**

## DISCUSSION

It seems that the studied species in this investigation belong to the subgenus *Amaranthus* and the cultivated species can be told apart by their short bracteoles (Costea and Tardif, 2003). However, the latitudinal and altitudinal variation patterns are different for the cultivated and wild species, *A. hybridus* being the most ecologically successful species due to its high variation, both in its latitudinal and altitudinal variation, which coincides



con Costea *et al.* (2001); mientras que *A. powellii* presentó sólo una mayor variación latitudinal, pero no altitudinal. Por otro lado las dos especies cultivadas presentaron una variación latitudinal baja.

De acuerdo con Espitia-Rangel (1994), las especies cultivadas de amaranto fueron domesticadas en las tierras altas de las regiones tropicales y subtropicales de América. En ambos casos las especies cultivadas tienen una mayor distribución en la zona central de México muy cerca del valle de México y regiones aledañas, donde se establecieron las antiguas culturas mesoamericanas del centro de México y donde también se distribuyen los posibles progenitores de estas especies, por lo que las hipótesis del origen de las especies cultivadas de amaranto de Sauer (1993) pudieran ser ciertas.

Sin embargo, *A. hypochondriacus* está más distribuida al sur, latitudinalmente, que *A. cruentus*, por lo que la hipótesis de que *A. cruentus* tiene un origen más centroamericano (Grubben, 1976; Grubben y Sloten, 1981), no sería correcta según nuestros datos, sino más bien mesoamericana cerca de las culturas prehispánicas mexicanas de la llamada región biogeográfica del Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005) al igual que su posible hijo *A. hypochondriacus*.

En contraste, Williams y Brenner (1995) mencionan que la hipótesis centroamericana, es por la gran variedad de usos que tiene en Guatemala y el sur de México, donde estos autores creen que fue domesticado, y que de ahí se movió hacia el norte, hasta el suroeste de Estados Unidos de América y al sur de los Andes, esto explicaría porque *A. cruentus* es considerado ancestro de *A. hypochondriacus* (Sauer, 1993), que se cree que fue domesticado en el centro de México al formar un híbrido de *A. cruentus* con *A. powellii*, y de *A. caudatus* (Coons, 1982), que fue domesticado en los Andes y se cree que es un híbrido entre *A. cruentus* con *A. hybridus* (en su variante *A. quitensis* Kunth).

Por otro lado, la hipótesis que *A. cruentus* es descendiente de *A. hybridus* puede ser cierta, porque los patrones de distribución de este trabajo así como los de Costea *et al.* (2001), manifiestan que *A. hybridus* es ampliamente distribuida y también está presente en las regiones donde está distribuida *A. cruentus*, entonces esta especie podría ser un material seleccionado a partir de *A. hybridus* y después fue domesticado en alguna de las regiones de Centroamérica, hasta llegar a áreas que ahora conocemos.

with Costea *et al.* (2001); whereas *A. powellii* displayed only one latitudinal, but not altitudinal variation. On the other hand, both cultivated species displayed a low latitudinal variation.

According to Espitia-Rangel (1994), the cultivated species of amaranth were domesticated in the highlands of the tropical and subtropical regions of the Americas. In both cases, the cultivated species have a greater distribution in the area of central Mexico and the surroundings, where the Mesoamerican cultures of central Mexico were established, and where the possible ancestors of these species are distributed, therefore the hypotheses on the origin of the species of amaranth by Sauer (1993) could be true.

However, *A. hypochondriacus* is distributed more towards the south, latitudinally than *A. cruentus*, since the hypothesis of *A. cruentus* having a more Central American origin (Grubben, 1976; Grubben and Sloten, 1981) would not be correct, according to our data, but more Mesoamerican, closer to the Mexican pre-hispanic cultures of the biogeographic region of the transmexican volcanic axis (Morrone, 2005) as well as its possible off spring, *A. hypochondriacus*.

By contrast, Williams and Brenner (1995) mention that the Central American hypothesis, is due to the large variety of uses it is given in Guatemala and southern Mexico, where these authors believe it was domesticated, and from where it moved north, to southwestern United States, and south, to the Andes, this would explain why *A. cruentus* is considered an ancestor of *A. hypochondriacus* (Sauer, 1993), which is believed to have been domesticated in central Mexico, after forming a hybrid of *A. cruentus*, *A. powellii* and *A. caudatus* (Coons, 1982), which was domesticated in the Andes and is believed to be a hybrid of *A. cruentus* and *A. hybridus* (in its variant *A. quitensis* Kunth).

On the other hand, the hypothesis of *A. cruentus* descending from *A. hybridus* could be true, because the distribution patterns in this investigation, as well as those by Costea *et al.* (2001), show that *A. hybridus* is widely distributed and is also present in the areas in which it is distributed *A. cruentus*. This species could then be material selected from *A. hybridus* and later domesticated in some of the areas of Central America, then reaching its current distribution areas.

Aunque en este trabajo se observó que tanto *A. hybridus* como *A. cruentus* se distribuyen en mayor medida en el centro de México, cerca del Valle de México. Adicionalmente, Xu y Sun (2001) encontraron que una accesión de *A. hybridus* estaba filogenéticamente relacionada con *A. cruentus*; además que los grupos de estas dos especies estaba estrechamente relacionada usando marcadores moleculares.

En consecuencia, *A. hypochondriacus* presentó una variación altitudinal muy parecida a *A. powellii* y una variación latitudinal muy parecida a *A. cruentus*, de tal manera que la hipótesis de Sauer (1993) puede ser correcta, puesto que ambas especies son catalogadas como progenitoras y convergen en el área del Valle de México, donde se menciona que fue su probable centro de domesticación (Williams y Brenner, 1995); además que *A. hypochondriacus* presenta un patrón de adaptación altitudinal parecido a *A. powellii* y un patrón de variación latitudinal semejante a *A. cruentus*; por lo tanto, podría aceptarse por cierta la hipótesis de un individuo híbrido entre estas dos especies.

Además estas cuatro especies, que pertenecen al mismo subgénero, pueden generar híbridos entre sí con cierta facilidad (Gupta y Gudu, 1991), por que la contaminación genética de los materiales cultivados por sus parientes silvestres puede ser alta, al igual que posibles transgenes podrían ser transferidos de los materiales cultivados a sus parientes silvestres.

## CONCLUSIÓN

El género *Amaranthus* se encuentra presente en todos los estados del país; las especies cultivadas *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* se distribuyen en la parte centro sur de México; la especie silvestre *A. hybridus* se localiza prácticamente en todo México, mientras que *A. powellii* está ubicada del centro al norte de México.

## LITERATURA CITADA

Brenner, D. M.; Baltensperger, D. D.; Kulakow, P. A.; Lehmann, J. W.; Myers, R. L.; Slabbert, M. M. and Sleugh, B. B. 2000. Genetic resources and breeding of *Amaranthus*. *Plant Breed. Rev.* 19:227-285.

However, in this investigation we observed that both *A. hybridus* and *A. cruentus* were distributed mostly in central Mexico, near the Valley of Mexico. In addition, Xu and Sun (2001) found that an accession of *A. hybridus* was phylogenetically related to *A. cruentus*, as well as the group of these two species being closely related, using molecular markers.

Consequently, *A. hypochondriacus* displayed a very similar altitudinal variation to *A. powellii* and a latitudinal variation very similar to *A. cruentus*, so the hypothesis by Sauer (1993) may be correct, since both species are considered parents and they converge in the area of the Valley of Mexico, which was mentioned as their possible center of domestication (Williams and Brenner, 1995). Also, *A. hypochondriacus* has similar altitudinal adaptation pattern to *A. powellii* and a similar latitudinal variation pattern to *A. cruentus*; therefore, the hypothesis of a hybrid individual between these two species could be considered true.

Also, these four species, which belong to the same subgenus, can create hybrids between them with a certain ease (Gupta and Gudu, 1991), since the genetic contamination of the materials cultivated by their wild relatives can be high, just as possible transgenes could be transferred from the cultivated materials to its wild relatives.

## CONCLUSION

The genus *Amaranthus* is present in all states of the country; the cultivated species *A. cruentus* and *A. hypochondriacus* are distributed in south central Mexico; the wild species *A. hybridus* is found in practically all Mexico, while *A. powellii* is found between central and northern Mexico.

*End of the English version*



Coons, M. P. 1982. Species and varieties. Relationships of *Amaranthus caudatus*. *Econ. Bot.* 36:119-146.  
 Costea, M. and Tardif, F. J. 2003. The bracteoles in *Amaranthus* (Amaranthaceae): their morphology, structure, function and taxonomic significance. *SIDA.* 20:969-985.

- Costea, M.; Sanders, A. and Waines, G. 2001. Preliminary results toward a revision of the *Amaranthus hybridus* species complex (Amaranthaceae). SIDA 19:931-974.
- Espitia-Rangel, E. 1994. Breeding of grain amaranth. *In*: Paredes-López, O. (ed). Amaranth: biology, chemistry, and technology. CRC press, Boca Raton, USA. 23-38 pp.
- Grubben, G. J. H. 1976. The cultivation of amaranth as a tropical leaf vegetable, with special reference to South-Dahomey. Communications No. 67. Royal Tropical Institute. Amsterdam, Netherlands. 207 p.
- Grubben, G. J. H. and Sloten, D. H. 1981. Genetic resources of amaranths: a global plan of action. AGP: IBPGR 80/2. IBPGR. FAO. Roma, Italia. 57 p.
- Gupta, V. K. and Gudu, S. 1991. Interspecific hybrids and possible phylogenetic relations in grain amaranths. Euphytica. 52:33-38.
- Hijmans, R. J.; Guarino, L.; Bussink, C.; Mathur, P.; Cruz, M.; Barrantes, I. and Rojas, E. 2004. DIVA-GIS, version 7.1. A geographic information system for the analysis of biodiversity data. URL: <http://www.diva-gis.org>.
- Hunziker, A. T. 1952. Pseudocereales de la agricultura indígena de América. ACME. Buenos Aires, Argentina. 104 p.
- Kauffman, C. S. 1992. Realizing the potential of grain amaranth. Food Reviews International 8:5-21.
- Kauffman, C. S. and Weber, L. F. 1990. Grain amaranth. *In*: Janick, J; Simon, J. E. (ed). Advanced in new crops. Timber Press. Portland, USA. 127-139 pp.
- Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. Revista Mexicana de Biodiversidad 76:207-252.
- National Research Council. 1985. De emergencia y continua los niveles de exposición para la orientación seleccionada contaminantes en el aire. DC: National Academy Press. Comisión de Ciencias de la Vida. Vol. 4. Washington, USA. 83-95 pp.
- Sauer, J. D. 1950. The grain amaranths: a survey of their history and classification. Annals of the Missouri Botanical Garden. 37:561-632.
- Sauer, J. D. 1967. The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. Annals of the Missouri Botanical Garden. 54:103-137.
- Sauer, J. D. 1993. Historical geography of crop plants: a select roster. CRC press. Los Angeles, USA. 320 p.
- Williams, J. T. and Brenner, D. 1995. Grain amaranth (*Amaranthus* spp.). *In*: Williams, J. T. (ed). Cereals and pseudocereals. Chapman & Hall. London, UK. 129-185 p.
- Xu, F. and Sun, M. 2001. Comparative analysis of phylogenetic relationships of grain amaranths and their wild relatives (*Amaranthus*; Amaranthaceae). Using internal transcribed spacer, amplified fragment length polymorphism, and double-primer fluorescent intersimple sequence repeat markers. Mol. Phylogenetics Evol. 21:272-28.