

ÁREAS PRIORITARIAS PARA COLECTAR GERMOPLASMA DE *Amaranthus* EN MÉXICO CON BASE EN LA DIVERSIDAD Y RIQUEZA DE ESPECIES*

PRIORITY AREAS TO COLLECT *Amaranthus* GERMPLASM IN MEXICO BASED ON DIVERSITY AND SPECIES RICHNESS

Eduardo Espitia Rangel^{1§}, Diana Escobedo López², Emma Cristina Mapes Sánchez³ y Carlos Alberto Núñez Colín²

¹Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Textcoco, km 13.5. Textcoco, Estado de México, México. A. P. 110. C. P. 56230. ²Campo Experimental Bajío. INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km. 6.5. Celaya, Guanajuato, México. A. P. 112. C. P. 38110. ³Jardín Botánico. Instituto de Biología. UNAM. Ciudad Universitaria, Distrito Federal, México. C. P. 04510. §Autor para correspondencia: espitia.eduardo@inifap.gob.mx.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo utilizar el Sistema de Información Geográfico, para crear mapas de índices de diversidad y riqueza de especies del género *Amaranthus* en México, para proyectar las mejores áreas de colecta de germoplasma. La máxima riqueza de especies se encontró en el centro occidente del Estado de México incluyendo el Distrito Federal y la costa del Pacífico, entre Jalisco y Colima, así como en Sinaloa. El índice de biodiversidad de Brillouin mostró alta diversidad en la costa del Pacífico, Sinaloa, entre los estados de Jalisco y Colima, además el centro occidente de Nuevo León, la región de la Huasteca del sureste de Tamaulipas y noreste de Veracruz, así como la zona noroeste de la Península de Yucatán. Las áreas prioritarias que se proponen son: la costa central de Sinaloa, sur de la región biogeográfica de Sonora, parte centro occidente del Estado de México incluyendo el Distrito Federal, región biogeográfica del Eje Volcánico Transmexicano y la costa del pacífico centro entre los estados de Jalisco y Colima, finalmente en la región biogeográfica de la costa pacífica mexicana.

Palabras clave: amaranto, estimadores de riqueza de especies, índices de diversidad, SIG.

ABSTRACT

This investigation had as objective to use the Geographical Information System, to create maps of indexes of diversity and wealth of species of genus *Amaranthus* in Mexico, to plan the best areas of germplasm collection. The maximum wealth of species was in west center of State of Mexico including Distrito Federal and the Pacific coast, between Jalisco and Colima, as well as in Sinaloa. The Brillouin index of biodiversity showed high diversity in the Pacific coast, Sinaloa, between the states of Jalisco and Colima, also the west center of Nuevo León, the region of Huasteca of southeast of Tamaulipas and northeast of Veracruz, as well as the northwest area of Yucatán Peninsula. The priority areas proposed are: the central coast of Sinaloa, south of biogeographic region of Sonora, west center section of State of Mexico including Distrito Federal, biogeographic region of Mexican Trans-Volcanic Belt and central Pacific coast between states of Jalisco and Colima, finally in biogeographic region of Mexican Pacific coast.

Key words: amaranth, estimators for wealth of species, indexes of diversity, SIG.

INTRODUCCIÓN

El género *Amaranthus* se integra por 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 a su alto y excepcional valor nutrimental de sus semillas y hojas (Costea *et al.*, 2001). Kauffman y Weber (1990) y Kauffman (1992) mencionan que el amaranto tiene una proteína de alto valor biológico. Las semillas contienen compuestos como inhibidores de proteasas, péptidos antimicrobianos, lectinas y compuestos antioxidantes (Valdés-Rodríguez *et al.*, 1993; Broekaert *et al.*, 2002; Sánchez-Hernández *et al.*, 2004; Sani *et al.*, 2004).

Recientemente, utilizando herramientas de bioinformática (Edwards *et al.*, 2007) se han detectado que las proteínas de amaranto, contiene diversos péptidos con actividades antihipertensivas y anticarcinogénicas (Barba de la Rosa *et al.*, 2007). Por otro lado, Brenner *et al.* (2000) fueron los que han hecho una excelente revisión, sobre el estado actual de los recursos genéticos y el mejoramiento genético en este género a nivel internacional y para el germoplasma mexicano, lo realizó Espitia-Rangel (1994).

En México, la producción comercial de amaranto se encuentra concentrada en cuatro regiones: el oriente del estado de Morelos en Huazulco y Amilcingo; San Miguel del Milagro en Tlaxcala; Huaquechula y Santa clara Tetla en el estado de Puebla y Tulyehualco, Mixiquic, Tetelco y Tecómitl en el Distrito Federal. Esporádicamente se llegan a encontrar algunos lotes en el Estado de México, Oaxaca, Guerrero, Durango y últimamente en Chihuahua (Espitia, 1992).

Existe interés por compañías de la industria alimenticia por incluir el amaranto en diversos productos. Por ejemplo, en Estados Unidos existen varias compañías que ya tienen un número considerable de productos a base de amaranto dentro del mercado. Además, existe el interés por el amaranto en Nueva Zelanda, Japón, Alemania, España, entre otros.

Las especies del género *Amaranthus* tienen una amplia distribución, ya que han sido cultivados en ambientes que van desde tropicales, hasta semiáridos (Costea *et al.*, 2001).

INTRODUCTION

The genus *Amaranthus* is integrated by around 70 species, of which 40 are native of the American continent and the rest of 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 interest during the recent years as agricultural cultivations in many regions of the world; due to their high and exceptional nutrimental value of their seeds and leaves (Costea *et al.*, 2001). Kauffman and Weber (1990) and Kauffman (1992) mention that amaranth has a protein of high biological value. The seeds contain compound as protease inhibitors, antimicrobial peptides, lectins and antioxidant compound (Valdés-Rodríguez *et al.*, 1993; Broekaert *et al.*, 2002; Sánchez-Hernández *et al.*, 2004; Sani *et al.*, 2004).

Recently, using bioinformatic tools (Edwards *et al.*, 2007) have been detected that amaranth proteins contain diverse peptides with antihypertensive and anticarcinogen activities (Barba de la Rosa *et al.*, 2007). on the other hand, Brenner *et al.* (2000) have made an excellent revision about the current state of the genetic resources and the genetic improvement in this genus at international level, and Espitia-Rangel (1994) carried out for the Mexican germplasm.

In Mexico, the commercial production of amaranth is concentrated on four regions: the east of State of Morelos mainly Huazulco and Amilcingo; San Miguel del Milagro in Tlaxcala; Huaquechula and Santa Clara Tetla in state of Puebla and Tulyehualco, Mixiquic, Tetelco and Tecómitl in Distrito Federal. Sporadically they are found some lots in State of Mexico, Oaxaca, Guerrero, Durango and lately in Chihuahua (Espitia, 1992).

Food industry companies have interest to include amaranth in diverse products. For example, in United States there are several companies that already have a considerable number of products based on amaranth inside the market. Also, there is interest for the amaranth in New Zealand, Japan, Germany, Spain, among others.

The species of genus *Amaranthus* has a wide distribution, since they have been cultivated in environments from tropical to semi-arid (Costea *et al.*, 2001).

El amaranto se cultiva de manera tradicional desde el ecuador y los 30° de latitud norte, este puede ser cultivado en latitudes mayores si se utilizan materiales que florezcan aún cuando no cuenten con el fotoperíodo de los trópicos (National Research Council, 1985). El amaranto para producción de grano, se ha concentrado en regiones altas como la Sierra Madre y el Eje Neovolcánico en México y en el resto del mundo en los Andes y los Himalayas (Grubben y Sloten, 1981).

La disponibilidad de diversidad genética es requisito fundamental en el mejoramiento de un cultivo, la cual se puede concentrar en un banco de germoplasma que además puede servir para la conservación de los recursos fitogenéticos (Zagaja, 1988). En nuestro país se impulsó la recolección de germoplasma de amaranto hasta que llegaron misiones extranjeras en busca de estos recursos; de manera conjunta con estos grupos exploratorios, a principios de la década de los noventa, se inició la recolección de la variabilidad genética existente. Hasta ahora se han colectado casi exclusivamente materiales cultivados de las especies *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*, que son las especies productoras de grano más distribuidas en México (Espitia-Rangel, 1990). Es de estas dos especies de *Amaranthus* las que tienen mayor número de colectas en la colección del INIFAP.

De las especies silvestres, sólo se han realizado algunas colectas de *A. hybridus* con el propósito de aprovechar algunas características ventajosas en mejoramiento genético (Costea *et al.*, 2001).

Cuando es necesario coleccionar germoplasma, se debe hacer en regiones con la mayor diversidad para incrementar las posibilidades de obtener la máxima diversidad genética (Zagaja, 1988); sin embargo, esta actividad resulta difícil cuando no se cuenta con estudios biogeográficos.

Por esta razón, el presente estudio tuvo como finalidad determinar áreas prioritarias para la colecta de germoplasma de *Amaranthus* por medio de índices de riqueza de especies y diversidad biogeográfica; así como la diversidad y riqueza de especies del germoplasma de *Amaranthus* en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 2 754 datos de pasaporte de especímenes de herbario, además de los datos de pasaporte de accesiones del banco de germoplasma de amaranto (*Amaranthus* spp.) del

The amaranth is cultivated in a traditional way in regions comprised between the Equator and 30° of latitude north, this can be cultivated in higher latitudes if are used materials that still flourish when they do not have photoperiod of the tropics (National Research Council, 1985). The cultivation of the amaranth for grain production has concentrated on high regions as Sierra Madre and Mexican Trans-Volcanic Belt and in the rest of the world in the Andes and the Himalayas (Grubben and Sloten, 1981).

The availability of genetic diversity is fundamental requirement in the improvement of a cultivation, which can concentrate on a germplasm bank that can also be good for conservation of phylogenetic resources (Zagaja, 1988). In our country the collection of amaranth germplasm was boosted until foreign missions came searching these resources; in a combined way with these exploratory groups, at the beginning of the decade of 1990's, the collection of existent genetic variability began. Until now have been collected almost exclusively material cultivated of species *A. hypochondriacus* and *A. cruentus* that are grain producing species most distributed in México (Espitia-Rangel, 1990). From these two species of *Amaranthus* have bigger number of collections in INIFAP's collection.

Of wild species, there have been carried out only some collections of *A. hybridus* with the purpose of taking advantage of some favorable characteristics in genetic improvement (Costea *et al.*, 2001).

When it is necessary to collect germplasm, it should be made in regions with the greater diversity to increase possibilities to obtain the maximum genetic diversity (Zagaja, 1988); however, this activity is difficult when there are no biogeographic studies.

By this reason, this study has purpose to determine the priority areas for collection of *Amaranthus* germplasm by means of indexes of wealth of species and biogeographic diversity; as well as to determine the diversity and wealth of species of *Amaranthus* germplasm in México.

MATERIALS AND METHODS

2 754 data of passport of herbarium specimens were used, besides the data of passport of accessions of bank of amaranth germplasm (*Amaranthus* spp.) of Instituto Nacional de

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que fueron clasificados e identificados correctamente; los datos de herbario fueron obtenidos en su mayoría de la red mesoamericana de información sobre la biodiversidad (REMIB) (CONABIO, 2009).

La riqueza de las especies, se determinó en base al número de especies diferentes en cada celda de una cuadrícula delimitada por un grado de latitud por uno de longitud. Aunado a lo anterior, se calculó el estimador de riqueza de Chao, esta fórmula a diferencia de la anterior, presupone que todas las celdas de la cuadrícula tuvieran el mismo número de sitios de colecta. Este estimador es un método no paramétrico para estimar el número de clases diferentes en una celda, el cual fue propuesto como un límite inferior. Este límite es un dato duro que recientemente ha sido probado con éxito como una medida puntual bajo supuestos prácticos (Shen *et al.*, 2003).

También se obtuvo el índice de diversidad de Brillouin para determinar la posible biodiversidad con base en el número de especímenes y de especies diferentes ubicados en cada celda. Este índice tiene como ventaja que la medida de diversidad se encuentra en la muestra integrada para cada prototipo, no es una estimación de un universo desconocido y además, este índice no se ve muy afectado por el tamaño de muestra utilizado, aunque se obtienen mejores resultados con muestras grandes (Greene, 1975). Todos los índices antes mencionados se obtuvieron con el programa DIVA-GIS versión 7.1 (Hijmans *et al.*, 2004).

RESULTADOS

Dentro de la variabilidad analizada, se encontraron 33 especies diferentes de amarantos en México. Las especies más numerosas son *A. hybridus*, *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. spinosus* (Cuadro 1), de las cuales *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* son amarantos cultivados y las más raras *A. lividus*, *A. scleropoides*, *A. texensis*, *A. tricolor*, *A. acuminata*, y *A. obcordatus* (Cuadro 1).

Riqueza de especies

En cuanto a la riqueza de especies observadas, se tienen tres cuadros con la máxima riqueza obtenidas con 2 754 accesiones geo-referenciadas y el programa DIVA-GIS versión 7.1. (Hijmans *et al.*, 2004), que representan entre ocho y nueve especies convergiendo en el centro occidental

Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) that were correctly classified and identified; the herbarium data were obtained in their majority from Mesoamerican information network on biodiversity (REMIB) (CONABIO, 2009).

The wealth of species was determined based on the number of different species in each cell of a grid defined by a grade of latitude by one of longitude. Together to this, the estimator of wealth of Chao was calculated, this formula contrary to the previous one, presupposes that all cells of the grid had the same number of collection places. This estimator is a non parametric method to estimate the number of different classes in a cell, which was proposed as an inferior limit. This limit is a hard fact that recently has been proven with success as a punctual measure under practical assumptions (Shen *et al.*, 2003).

The index of diversity of Brillouin was also obtained to determine the possible biodiversity with base in the number of specimens and of different species located in each cell. As advantage this index has that measure of diversity is in the sample integrated for each prototype, it is not an estimate of an unknown universe and also, this index is not very affected by the used sample size, although better results are obtained with big samples (Greene, 1975). All the indexes mentioned before were obtained with the software DIVA-GIS version 7.1 (Hijmans *et al.*, 2004).

RESULTS

Inside the variability analyzed, there were 33 different species of amaranths in Mexico. The most numerous species are *A. hybridus*, *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* and *A. spinosus* (Table 1), of which *A. cruentus* and *A. hypochondriacus* are cultivated amaranths and the strangest *A. lividus*, *A. scleropoides*, *A. texensis*, *A. tricolor*, *A. acuminata*, and *A. obcordatus* (Table 1).

Wealth of species

As for the wealth of observed species, there are three squares with the maximum wealth obtained with 2 754 geo-indexed accessions and the software DIVA-GIS version 7.1. (Hijmans *et al.*, 2004), that represent between eight and nine species converging in west center State of

Cuadro 1. Especies de amaranto encontradas en herbarios de México y colecciones de germoplasma (REMIB, SNIB e INIFAP).**Table 1. Amaranth species found in herbarium of Mexico and germplasm collections (REMIB, SNIB e INIFAP).**

Especie	Número de accesiones	Altitud promedio (m)	Altitud mínima (m)	Altitud máxima (m)
<i>A. hybridus</i>	684	1 217	0	2 650
<i>A. cruentus*</i>	598	972	86	2 601
<i>A. hypochondriacus*</i>	370	2 262	306	3 225
<i>A. spinosus</i>	335	291	0	2 000
<i>A. palmeri</i>	155	789	0	2 092
<i>A. watsonii</i>	96	209	0	1 032
<i>A. greggii</i>	92	13	0	400
<i>A. dubius</i>	58	106	0	2 260
<i>A. powellii</i>	35	1 968	1 195	2 650
<i>A. retroflexus</i>	29	1 338	0	2 660
<i>A. scariosus</i>	28	248	0	1 750
<i>A. torreyi</i>	25	1 254	4	1 967
<i>A. crassipes</i>	19	958	210	1 900
<i>A. viridis</i>	13	83	0	470
<i>A. australis</i>	11	1 088	7	1 800
<i>A. acanthochiton</i>	10	1 291	1 153	1 715
<i>A. venulosus</i>	10	247	8	1 500
<i>A. acutilobus</i>	9	2 351	1 832	2 500
<i>A. annectens</i>	9	9	0	50
<i>A. albus</i>	6	515	0	2 080
<i>A. blitoides</i>	6	961	40	2 200
<i>A. pringlei</i>	6	923	299	1 427
<i>A. chihuahuensis</i>	5	1 782	1 360	1 899
<i>A. graecizans</i>	4	1 152	0	1 850
<i>A. tamaulipensis</i>	4	17	0	40
<i>A. myrianthus</i>	4	968	0	1 500
<i>A. arenicola</i>	3	1 160	1 140	1 200
<i>A. lividus</i>	2	2 241	2 231	2 250
<i>A. scleropoides</i>	2	518	510	525
<i>A. texensis</i>	2	26	5	46
<i>A. tricolor</i>	1	2 079	2 079	2 079
<i>A. acuminata</i>	1	1 600	1 600	1 600
<i>A. obcordatus</i>	1	11	11	11

* = especies cultivadas para grano.

del Estado de México y el Distrito Federal, otro en la costa del Pacífico entre los estados de Colima y Jalisco, y el tercero en la costa del pacífico del estado de Sinaloa (Figura 1). Existen otras zonas con alta riqueza de especies observada (> 5 especies) en partes del centro, sureste y algunos puntos aislados en el norte de México.

Mexico and Distrito Federal, another in the Pacific coast between states of Colima and Jalisco, and the third in the Pacific coast of State of Sinaloa (Figure 1). Other areas exist with high wealth of observed species (> 5 species) in parts of the center, southeast and some points isolated in the north of Mexico.

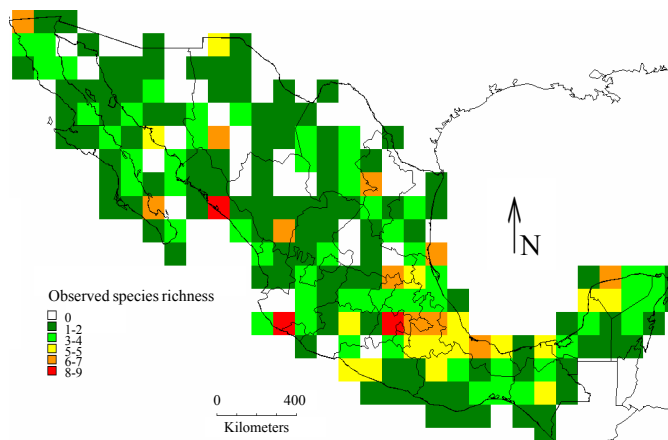


Figura 1. Riqueza de especies observadas del género *Amaranthus* en México.

Figure 1. Observed wealth of species of genus *Amaranthus* in Mexico.

Por otro lado, al estimar la riqueza de especies por la fórmula de Chao, se tienen algunos cambios con relación a la riqueza observada, obtenido con 2 754 accesiones geo-referenciadas y el programa DIVA-GIS versión 7.1. (Hijmans *et al.*, 2004). En primer término se encuentran cinco cuadros con la máxima riqueza de especies (entre 11 y 14 especies), dos de ellos iguales al de la riqueza observada, a excepción con la que estaba ubicada entre Jalisco y Colima, pero se agregan una en el suroeste de Chihuahua, cerca de su frontera con Sinaloa, otra en Oaxaca, cerca de frontera con Puebla y la última en el noroeste de México en el área de Tijuana en Baja California en frontera con Estados Unidos de América (Figura 2).

Al igual que para la riqueza de especies observada, el estimador de Chao presentó un patrón similar y las zonas con alta riqueza (>5 especies) se concentraron en partes del centro, sureste y algunos puntos aislados en el norte de México, siguiendo el mismo patrón que la riqueza observada (Figura 2).

Diversidad biogeográfica

La estimación de la biodiversidad por el índice de biodiversidad de Brillouin, obtenido de 2 754 accesiones geo-referenciadas y el programa DIVA-GIS versión 2 (Hijmans *et al.*, 2002); mostró seis cuadros con la máxima diversidad, dos de ellos corresponden a zonas con alta riqueza de especies observada y uno de ellos también coincide con la riqueza mediante el estimador de Chao. Estos

On the other hand, when estimating the wealth of species by the formula of Chao, there are some changes with relationship to observed wealth, obtained with 2 754 geo-indexed accessions and the software DIVA-GIS version 7.1. (Hijmans *et al.*, 2004). In first term, there are five squares with the maximum wealth of species (between 11 and 14 species), two of them similar to that of the observed wealth, to exception with which was located between Jalisco and Colima, but there is added one in southwest of Chihuahua, near its border with Sinaloa, another in Oaxaca, near its border with Puebla and the last one in the northwest of Mexico in area of Tijuana in Baja California in its border with United States of America (Figure 2).

Same as for wealth of observed species, the estimator of Chao showed a similar pattern and the zones with high wealth (>5 species) were concentrated on parts of the center, southeast and some points isolated in the north of Mexico, following the same pattern that the observed wealth (Figure 2).

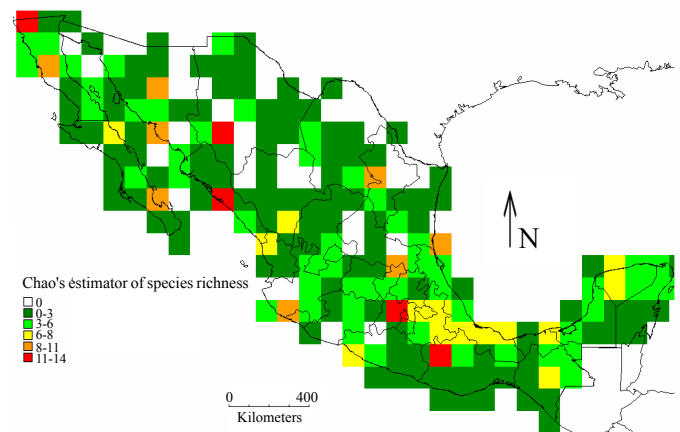


Figura 2. Estimador de riqueza de especies de Chao del género *Amaranthus* en México.

Figure 2. Estimator of wealth of species of Chao for genus *Amaranthus* in Mexico.

Biogeographic diversity

The estimate of biodiversity for the index of biodiversity of Brillouin, obtained from 2 754 geo-indexed accessions and the software DIVA-GIS version 7.1. (Hijmans *et al.*, 2002) showed six squares with the maximum diversity, two of them correspond to areas with high wealth of observed species and one of them also coincides with the wealth by

cuadros se encuentran ubicados en el Pacífico, el primero en el estado de Sinaloa y el otro en entre los estados de Jalisco y Colima (Figura 3).

Las otras zonas con alta diversidad son: el centro occidente del estado de Nuevo León, el sureste de Tamaulipas y noreste de Veracruz, la región de la Huasteca entre San Luis Potosí, Hidalgo y Veracruz, así como la zona noroeste de la Península de Yucatán (Figura 3).

El patrón de alta diversidad (>0.06 de este índice) se localiza en zonas similares para los patrones de riqueza de especies. Es decir, estos cuadros se concentraron en partes del centro, sureste y algunos puntos aislados en el norte de México, aunque en este caso hay mayor patrón de diversidad en el norte que de riqueza de especies.

DISCUSIÓN

La alta riqueza de especies y de diversidad en el género *Amaranthus*, se encuentra distribuida en diferentes zonas biogeográficas del país (Morrone, 2005); por lo tanto, la elección de las áreas prioritarias debe ser en base a donde se tenga una alta probabilidad de tener tanto una alta riqueza de especies como alta diversidad y preferentemente presenten climatologías diferentes (Guarino *et al.*, 2002). Esto debido que las plantas han evolucionado en ambientes diferentes pueden haber hecho cambios genéticos específicos, probablemente únicos, para adaptarse a dicho ambiente (Dobzhansky, 1970); además, este germoplasma, que en teoría es genéticamente divergente por haber evolucionado en dos ambientes diferentes, se pueden utilizar para hacer una cruce a individuos de regiones contrastantes, por lo que puede suponerse que su progenie podría tener alta heterosis, porque la probabilidad de que exista alta tasa de endogamia es baja (Wright, 1978).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, las áreas prioritarias deben ser la costa de la parte central del estado de Sinaloa, al sur de la región biogeográfica denominada Sonora (Morrone, 2005); la parte centro occidente del Estado de México, incluyendo el Distrito Federal, que se encuentran en la región biogeográfica del Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005); la región entre los estados de Colima y Jalisco en la región biogeográfica de la Costa Pacífica Mexicana (Morrone, 2005); la zona noroeste de Oaxaca cerca de Puebla, en la región de donde se unen las

means of estimator of Chao. These squares are located in the Pacific, the first one in the State of Sinaloa and the other between the States of Jalisco and Colima (Figure 3).

The other areas with high diversity are: the west center of State of Nuevo León, southeast of Tamaulipas and northeast of Veracruz, the region of Huasteca between San Luis Potosí, Hidalgo and Veracruz, as well as the northwest area of Yucatán Peninsula (Figure 3).

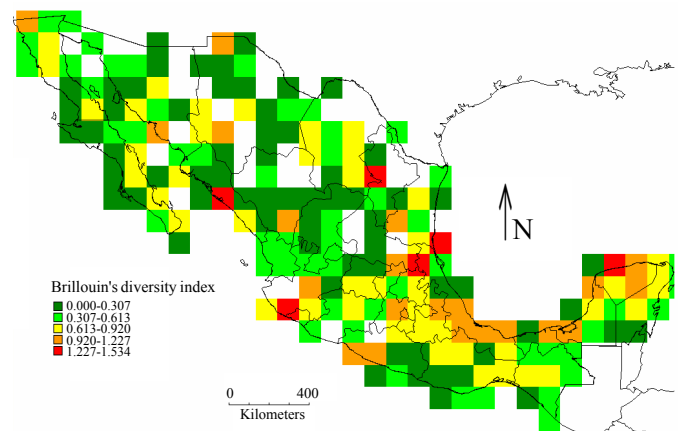


Figura 3. Índice de diversidad de Brillouin del género *Amaranthus* en México.

Figure 3. Index of diversity of Brillouin for genus *Amaranthus* in Mexico.

The pattern of high diversity (>0.06 of this index) it is located in similar areas for the patterns of wealth of species. In other words, these squares were concentrated on parts of center, southeast and some points isolated in the north of Mexico, although in this case there is bigger pattern of diversity in the north that of wealth of species.

DISCUSSION

The high wealth of species and of diversity in the genus *Amaranthus* is distributed in different biogeographic areas of the country (Morrone, 2005); therefore, the election of priority areas should be based on where there is a high probability of having as good as high wealth of species as high diversity and that preferably show different climatologies (Guarino *et al.*, 2002). This due that plants have evolved in different environments could have made specific genetic changes,

regiones biogeográficas de la Sierra Madre del Sur y el Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005). Todas estas regiones presentan tanto una alta riqueza de especies como alta biodiversidad (Guarino *et al.*, 2002).

Adicionalmente, se pueden considerar también importantes, la zona noroeste de Baja California en la región biogeográfica de California (Morrone, 2005); la región Huasteca, entre los estados de Hidalgo, San Luis Potosí y Veracruz, en la región biogeográfica del Golfo de México (Morrone, 2005); la zona centro occidente de Nuevo León, donde convergen las regiones biogeográficas de la Sierra Madre Oriental y el Altiplano mexicano (Morrone, 2005), y por último la zona noroeste del estado de Yucatán en la región biogeográfica de la Península de Yucatán (Morrone, 2005). Sin embargo, estas últimas serían centros secundarios de colecta por no presentar los valores más altos en estos índices (Núñez-Colín, 2009)

Sin embargo, para colectar germoplasma cultivado, es necesario hacer el cálculo de las proyecciones de zonas adecuadas para el cultivo de dichas especies y de sus ancestros silvestres; estas proyecciones deben ser contrastadas con las obtenidas por estos índices, para conocer cuáles son realmente las adecuadas (Guarino *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

Basados en los índices que fueron calculados utilizando todas las especies de *Amaranthus* reportadas en México, al colectar germoplasma de las regiones prioritarias antes mencionadas se podría tener una muestra representativa de la biodiversidad existente y sería de gran importancia para enriquecer los bancos de germoplasma de este género en México.

LITERATURA CITADA

- Barba de la Rosa, A. P.; Silva, S. C. and González, M. E. 2007. Amaranth: an ancient crop for modern technology. Capítulo 9. *In: hispanic foods. Chemistry and flavor.* Michael, H. T. y González, M. E. (eds). ACS. Symposium Series 946. 103-116 pp.

probably unique, to adapt to this environment (Dobzhansky, 1970); also, this germplasm that in theory by evolving in two different environments is genetically divergent, can be used to make crosses to individuals of contrasting regions, for which can be supposed that its progenie could have high heterosis, because the probability that exists high rate of endogamy is low (Wright, 1978).

Keeping in mind these considerations, the priority areas should be the coast of central part of Sinaloa, south of biogeographic region known as Sonora (Morrone, 2005); the central west of State of Mexico, including Distrito Federal that are in the biogeographic region Mexican Trans-Volcanic Belt (Morrone, 2005); the region between States of Colima and Jalisco in the biogeographic region of mexican Pacific coast (Morrone, 2005); the northwest area of Oaxaca near Puebla, in region of where get together the biogeographic regions of Sierra Madre del Sur and Mexican Trans-Volcanic Belt (Morrone, 2005). All these regions present as good as high wealth of species as high biodiversity (Guarino *et al.*, 2002).

Additionally, there can also be considered important the northwest area of Baja California in the biogeographic region of California (Morrone, 2005); the region Huasteca, between States of Hidalgo, San Luis Potosí and Veracruz, in the biogeographic region of the Gulf of Mexico (Morrone, 2005); the west central part Nuevo León, where the biogeographic regions Sierra Madre Oriental and Mexican Highland converge (Morrone, 2005), and finally the northwest area of State of Yucatán in the biogeographic region of Yucatán Peninsula (Morrone, 2005). However, these last would be secondary centers of collection by not showing the highest values in these indexes (Núñez-Colín, 2009)

However, to collect cultivated germplasm it is necessary to make the calculation of the projections of appropriate zones for cultivation of this species and of their wild ancestors; these projections should be contrasted with those obtained by these indexes, to know which are really the appropriate ones (Guarino *et al.*, 2002).

CONCLUSIONS

Based on the indexes that were calculated using all species of *Amaranthus* reported in México, when collecting germplasm of the priority regions mentioned hereinbefore could have a

- 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 Breeding Reviews*. 19: 227-285.
- Costea, M.; Sanders, A. and Waines, G. 2001. Preliminary results toward a revision of the *Amaranthus hybridus* species complex (Amaranthaceae). *SIDA*. 19:931-974.
- Dobzhansky, T. 1970. *Genetics of the evolutionary process*. Columbia University Press. New York, USA. 505 p.
- Edwards, R. J.; Moran, N.; Devocelle, M.; Kiernan, A.; Meade, G.; Signac, F. M.; Park, S. D. E.; Dunne, E.; Kenny, D. and Shields, D. C. 2007. Bioinformatic discovery of novel bioactive peptides. *Nature Chemical Biology*. 3:108-112.
- Espitia, E. 1992. Amaranth germplasm development and agronomic studies in México. *Food Reviews International*. 8(1):71-86.
- Espitia-Rangel, E. 1990. Situación actual y problemática del cultivo de amaranto en México. *In: Trinidad-Santos, A.; Gómez-Lorente, F. y Suarez-Ramos, G. (eds). El amaranto (Amaranthus spp.) su cultivo y su aprovechamiento*. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 101-109 pp.
- 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.
- Green, C. S. 1975. A comparison of diversity indices. *In: Bascom, W. S. (ed). Coastal water research project annual report number 15*. Southern California Coastal Water Research Project. California, USA. 79-83 pp.
- Grubben, G. J. H. and Sloten, D. H. V. 1981. Genetic resources of amaranths: a global plan of action. AGP: IBPGR 80/2. IBPGR, FAO. Roma, Italia. 57 p.
- Guarino, L.; Jarvis, A.; Hijmans, R. J. and Maxted, N. 2002. Geographic information systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources. *In: Engels, J. M. M.; Ramanatha, R. V.; Brown, A. H. D. and Jackson, M. T. (eds). Managing plant genetic diversity*. International Plant Genetic Res. Institute (IPGRI). Roma, Italia. 387-404 pp.
- Hijmans, R. J.; Guarino, L.; Bussink, C.; Mathur, P.; Cruz, M.; Barrantes, I. y Rojas, E. 2004. DIVA-GIS Versión 4. Sistema de información geográfica para el análisis de distribución de especies. Manual. International Potato Center. Lima, Perú. 83 p.
- representative sample of the existent biodiversity in Mexico, which would be of great importance to enrich the banks of germplasm of this genus in Mexico.

End of the English version



- 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. and 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.
- Núñez-Colín, C. A. 2009. Áreas prioritarias para coleccionar germoplasma de (*Crataegus* L.) en México con base en la diversidad y riqueza de especies. *Agríc. Téc. Méx.* 35 (3):329-334.
- Sánchez-Hernández, C.; Martínez-Gallardo, N.; Guerrero-Rangel, A.; Valdés-Rodríguez, S. and Délano-Frier, J. 2004. Trypsin and a-amylase inhibitors are differentially induced in leaves of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) in response to biotic and abiotic stress. *Physiol. Plant*. 122:254-264.
- Sani, H. A.; Rahmat, A.; Ismail, M.; Rosli, R. and Endrini, S. 2004. Potential anticancer effect of red spinach (*Amaranthus gangengitus*) extract. *Asia Pacífico. J. Clin. Nutr.* 13(4):396-400.
- Shen, T. J.; Chao, A. and Lin, C. F. 2003. Predicting the number of new species in further taxonomic sampling. *Ecology*. 84:798-804.
- Valdés-Rodríguez, S.; Segura-Nieto, M.; Chagolla-López, A.; Ververly-Vargas, C. A.; Martínez-Gallardo, N. and Blanco-Labra, A. 1993. Purification, characterization, and complete amino acid sequence of a trypsin inhibitor from amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seeds. *Plant Physiol*. 103:1407.
- Wright, S. 1978. *Evolution and the genetics of populations. Variability within and among natural populations*. University of Chicago press. Chicago, USA. 580 p.
- Zagaja, S. W. 1988. Exploración de recursos genéticos. *In: Moore, J. N. y Janick, J. (eds). Métodos genotécnicos en frutales*. AGT Editor. Distrito Federal, México. 3-12 pp.