TENDENCIAS EVOLUTIVAS EN AMARANTO (*AMARANTHUS* spp.) BAJO SELECCIÓN HUMANA EN MÉXICO

CRISTINA MAPES, FRANCISCO BASURTO, JAVIER CABALLERO Y ROBERT BYE

Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-614, Coyoacán, 04510 México D.F., México. e-mail: cmapes@mail.ibiol.unam.mx

Resumen. Se realizó el inventario de las especies y razas de amaranto productoras de verdura ("quintoniles") en la Sierra Norte de Puebla, México. Se analizó su uso, manejo e importancia alimentaria y se caracterizaron sus patrones de asignación de biomasa y variación morfofisiológica. Los objetivos de este trabajo fueron: 1] estudiar la riqueza biológica de las especies y razas de amaranto productoras de verdura en la región de la Sierra Norte de Puebla, México y 2] analizar sus tendencias evolutivas bajo selección humana y compararlas con las especies y razas de amaranto productoras de grano. Las especies y razas de amaranto fomentadas son: *Amaranthus hypochondriacus* razas Mixteco y Azteca ("chichiquelit") y *A. cruentus* razas Mexicano ("iztaquelit") y Africano ("quintonil rojo"). Las especies arvenses son *A. hybridus* y *A. spinosus*. Se encontraron tres patrones de asignación de biomasa: a] el de las especies y razas productoras de grano; b] el de las productoras de verdura y c] el de las productoras de verdura con características malezoides. Los resultados obtenidos sugieren dos vías de domesticación en *Amaranthus*, una asociada a la producción de hojas para verdura y otra a la producción de grano.

Palabras clave: *Amaranthus*, verdura, Sierra Norte de Puebla, análisis de crecimiento.

Abstract. An inventory of species and races of amaranth greens (quintoniles) was made in the Sierra Norte de Puebla, Mexico. Their use, management and importance to the local residents were studied as well as the biological patterns of allocation of biomass and morphophysiological variation. The purpose of this work was to 1] study the biological richness of the species and races of greens-producing amaranth in this region and 2] study their evolutionary trends under human selection as compared with the species and races of grain-producing amaranth. The promoted species and races are: *A. hypochondriacus* Mixteco and Azteca races ("chichiquelit") and *A. cruentus* Mexicano ("iztaquelit") and Africano ("quintonil rojo") races. The agrestal species are *A. hybridus* and *A. spinosus*. Three allocation patterns were found: a] grain producing races, b] greens-producing races and c] greens producing races which showed weedy growth characteristics. The results obtained suggest that there are two pathways for *Amaranthus* domestication, one associated to produce leaves as greens and another associated to the use of seeds as grain.

Key words: *Amaranthus*, greens, Sierra Norte de Puebla, Growth analysis.

El cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp.) en México es actualmente marginal tanto desde el punto de vista comercial como de subsistencia, aunque desde tiempos anteriores a la conquista los amarantos de grano formaron parte de los cultivos básicos en América (Sauer, 1967). No obstante, existe un renovado interés en su cultivo debido al potencial que tiene en la elaboración de nuevos productos alimenticios; a sus beneficios nutricionales tales como su alto valor protéico y contenido de grasas así como a sus

ventajas agrícolas de alta resistencia a la sequía y gran facilidad de establecimiento, lo cual le permite desarrollarse vigorosamente y adaptarse a nuevos medios (Suárez, 1988; Bressani, 1989; Espitia, 1991; Bressani, *et al.*, 1992).

Existen evidencias arqueológicas que indican que México es uno de los centros primarios de origen y domesticación del amaranto como grano (Sauer, 1950; Smith, 1967; Flannery, 1986; Smith, 1973) y evidencia botánica de que también constituye uno de los

centros con mayor diversidad tanto de especies cultivadas como no cultivadas. Diversos autores han realizado estudios sobre las relaciones filogenéticas de las especies cultivadas y sus posibles ancestros (Sauer, 1967; Pal y Khoshoo, 1974; Huaptli y Jain, 1984; Kulakow y Jain, 1990). Siendo México el centro de diversidad y domesticación de *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*, lo más probable es que los ancestros de estas plantas cultivadas, usadas a manera de grano, se encuentren en este lugar.

Las principales especies cultivadas para la producción de grano son: *A. hypochondriacus* L. originaria de México y *A. cruentus* L. originaria de México y de Guatemala y distribuidas hasta el suroeste de los Estados Unidos; *A. caudatus* L., originaria de los Andes de Perú, se extiende hacia el norte de Ecuador y hacia el sur de Bolivia y Argentina (Williams y Brenner, 1995). Estas tres especies productoras de grano se usan además por sus hojas comestibles, *Amaranthus cruentus* L. ha llegado a ser una verdura muy importante en otras partes del mundo, especialmente en África. Inicialmente fue domesticada como una especie productora de grano, de verdura y como colorante, pero en el siglo XIX se usaba también como ornamental.

En los últimos años se ha generado un gran interés en el uso del amaranto como verdura, especialmente en los trópicos (National Academy of Sciences, 1975; Grubben, 1977). Esta planta ha sido utilizada con este fin desde hace 2000 años, como lo muestran escritos antiguos de China, Egipto y Grecia en los cuales se testifica el uso del amaranto como verdura o medicina (Williams y Brenner, 1995). Varias especies de amaranto son actualmente usadas como verdura en diversas áreas geográficas como el suroeste de Estados Unidos, China, India, África, Nepal, las islas del Pacífico Sur, el Caribe, Grecia, Italia y Rusia (Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993). Entre las especies utilizadas como verdura se encuentra la especie *A. tricolor* L. con cuatro tipos, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos y cultivados en el este de Asia y en el Pacífico Sur. Las hojas de *A. dubius* Mart. ex. Thell. se consideran de buen sabor en muchas áreas del Caribe y las hojas de *A. cruentus* son muy apreciadas en África (Grubben, 1977). También se consumen las hojas de *A. lividus* L. en la India. Las especies anteriormente mencionadas tienen su origen en diferentes regiones. Algunos autores proponen (véase Devadas y Mallika, 1991) que *A. tricolor* es nativo de la India o de la región del sureste de China; *A. lividus* de la parte sur o central de Europa; *A. dubius* de América Central y *A. cruentus* del sur de México y de Centro América. Los tipos que se usan para verdura presentan generalmente hojas muy suaves y un hábito de crecimiento indetermina-

do que produce un nuevo crecimiento succulento y axilar lo cual permite hacer varios cortes (Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993).

En la India el amaranto (*A. tricolor*) es muy popular y recibe el nombre de "espinaca de los pobres". Su cultivo es muy común en este país debido a la facilidad con que se lleva a cabo, a la rápida tasa de crecimiento que presenta, a la adaptabilidad a diferentes condiciones agroclimáticas, a su alto potencial de producción y a la resistencia al ataque de plagas y enfermedades. Las limitantes importantes del cultivo de amaranto de las especies anteriormente mencionadas y usadas como verdura son: el inicio de la floración, antes de que se produzca suficiente material vegetativo y la incidencia de plagas y enfermedades. La floración temprana termina con el crecimiento vegetativo dando como resultado una baja producción (Devadas y Mallika, 1991).

En diversas regiones de México se usan diferentes especies de amaranto como verdura, siendo las más comunes: *A. hybridus* L., *A. retroflexus* L., *A. palmeri* S. Wats., *A. powellii* S. Wats., *A. dubius* y *A. spinosus* L. Estas especies son arvenses y se consideran como plantas que entran a los campos de cultivo, o ruderales que son plantas que pueden encontrarse en sitios con vegetación perturbada o bien a lo largo de los caminos. Son plantas de menor tamaño que las productoras de grano, presentan flores y frutos más pequeños y semillas de color oscuro.

En la región de la Sierra Norte de Puebla y en algunas partes de Veracruz se usan las hojas de *A. hybridus*, *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*. Estas especies constituyen plantas fomentadas o inducidas en la milpa mediante la dispersión intencional de semillas en el terreno, cuando una nueva parcela se abre al cultivo (Colunga *et al.*, 1986; Vázquez, 1986; Bye, 1993; Casas *et al.*, 1997). Las hojas de las especies *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* cultivadas para la producción de grano también son consumidas en otras partes de México cuando las plantas se encuentran en estado tierno (Suárez, 1988).

En México, los amarantos usados a manera de verdura reciben el nombre común de "quintoniles" y son una clase de "quelites", concepto que incluye a las plantas herbáceas cuyas hojas jóvenes se consumen. En algunos casos también se usa como alimento a las inflorescencias inmaduras y los tallos tiernos (Bye, 1981).

La palabra "quelite" deriva del término nahuatl "quilitl" que significa verdura. Es interesante señalar que el término existe en diferentes lenguas indígenas del país. Estas plantas generalmente se comen herventadas y en raras ocasiones crudas. Se consumen frescas durante la estación de lluvias.

En México no existe conocimiento acerca del manejo y de los procesos de evolución bajo domesticación de las especies de amaranto que se usan a manera de verdura. Durante una fase preliminar de este estudio, observaciones de campo sugirieron que algunas especies y razas de amaranto tienen una gran importancia como verdura en la región de la Sierra Norte de Puebla. También se presume que el manejo de estas plantas productoras de verdura es diferente al que reciben los amarantos productores de grano en otras regiones del país. Asimismo, se observaron diferencias en morfología, arquitectura y patrones de crecimiento entre las plantas productoras de verdura y las de grano.

Con base en tales observaciones, en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

1. Estudiar la riqueza biológica en las especies y razas de amaranto productoras de verdura en la región de la Sierra Norte de Puebla, México.
2. Analizar sus tendencias evolutivas bajo selección humana, y compararlas con algunas de las especies y razas de amaranto productoras de grano.

Este trabajo incluyó dos etapas. En la primera se llevó a cabo una investigación etnobotánica en la región de la Sierra Norte de Puebla, y en la segunda se realizó un trabajo experimental en Chalco, Estado de México. Algunos de los resultados ya han sido publicados (Veáse Mapes *et al.*, 1995; Mapes *et al.*, 1996 y Mapes *et al.*, 1997).

Área de estudio

La región de la Sierra Norte de Puebla limita al norte y este con el estado de Veracruz, al sur con los Llanos de San Juan, estado de Puebla, al oeste con el estado de Hidalgo y al suroeste con el estado de Tlaxcala. Fisiográficamente forma parte de la Sierra Madre Oriental y del Eje Neovolcánico y se caracteriza por intensos plegamientos y fallas que conforman un paisaje extremadamente abrupto con variación altitudinal entre 2400 y 200 msnm, con pendiente descendente de sur a norte. La precipitación media anual varía de 800 a 4000 mm y la temperatura media anual de 16 a 22°C, dando como resultado que de la Altiplanicie Mexicana a la Llanura Costera del Golfo se presenten climas templados húmedos y subhúmedos a climas semicálidos y cálidos húmedos. Estas dos grandes áreas climáticas son reconocidas por la gente y denominadas "tierra fría" y "tierra caliente" con límites no muy precisos entre una y otra, pero que se ubican entre los 800 y 1000 msnm.

Materiales y métodos

Investigación etnobotánica

Se hicieron recorridos de campo en la región de la Sierra Norte de Puebla para la recolecta de ejemplares de herbario y semillas. El trabajo de campo se realizó en cinco comunidades de la Sierra Norte de Puebla: Huahuaxtla, Jilotzingo, Hueyapan, Comaltepec.

Figura 1. Localización de las comunidades estudiadas en la Sierra Norte de Puebla.

pec y Zapotitlán, las cuatro primeras de origen nahua y la última de filiación tonaca, ubicadas entre los 700 y 1800 msnm (figura 1). Mediante observación participante y entrevistas abiertas realizadas en los campos de cultivo, en las casas y en las visitas periódicas a los principales mercados de la región, se obtuvo información acerca del conocimiento, uso y grado de manejo de las diferentes especies de amaranto que se utilizan como verdura en esta zona. Se ubicaron los agroecosistemas donde se encuentra presente el amaranto y se obtuvo información sobre el manejo agrícola que reciben en ellos. Paralelamente se realizaron viajes a diferentes zonas productoras de amaranto en el Distrito Federal, Morelos, Tlaxcala y Puebla, con el fin de recolectar semillas y ejemplares de herbario en diferentes agroecosistemas, en graneros y en mercados. Los ejemplares de herbario fueron depositados en el Herbario Nacional (MEXU) y las semillas quedaron depositadas en el Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma de Chapingo (BANGEV) y en el Banco de Germoplasma Plant Introduction Station NC-7, de Iowa State University, Estados Unidos.

Fase Experimental

La investigación se inscribió dentro de las actividades del Programa Universitario de Alimentos (PUAL), a través del proyecto "Establecimiento de Jardines de Introducción". Durante 1990 se estableció un ciclo de cultivo bajo condiciones homogéneas con 32 colectas distintas de plantas ruderales, arvenses, fomentadas, cultivadas, productoras de grano y de verdura, de diferentes regiones del país, con el propósito de establecer parcelas demostrativas del uso potencial del amaranto y al mismo tiempo realizar un estudio comparativo del patrón de crecimiento.

La fase experimental se llevó a cabo en el Rancho San Francisco, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, localizado en el municipio de Chalco, Estado de México, al sur del valle de México, a una altitud de 2236 msnm. El clima de Chalco es del tipo templado, subhúmedo con lluvias de verano, la temperatura media anual es de 15°C, con mayo como el mes más cálido (22°C) y diciembre-enero como los meses más fríos (3°C). Las heladas se presentan en los meses de diciembre, enero y febrero (Reyna, 1989).

El área total de la parcela experimental fue de 4140.5 m² la cual fue dividida en 32 subparcelas de 80 m² cada una, separadas entre sí por pasillos de 1.12 m. Se realizó roturación y dos rastreos del terreno. Cuatro meses antes se fertilizó el terreno con estiércol de buego. La siembra se realizó el 15 de mayo de 1990

en surcos de 80 cm y la misma distancia entre plantas, se depositaron en cada punto diez semillas a una profundidad de 2 cm. Se realizaron deshierbes manuales y aclareos 30 días después de la germinación, dejando sólo una plántula en cada hoyo. De esta manera, quedaron 80 plantas por subparcela. Durante el aclareo, se trasplantaron las plántulas a lugares de la misma subparcela donde las semillas no habían germinado. En algunos casos las colectas se resembraron. Se realizaron varios riegos manuales previos a la temporada de lluvias. A partir del 19 de mayo se llevó a cabo la primera labranza (aporque). Durante todo el ciclo de cultivo se llevaron a cabo diez deshierbes y cinco labranzas. Se hicieron varias aplicaciones de insecticida (Foley) ya que las plantas de las subparcelas fueron severamente atacadas por insectos. El 10 de noviembre se presentó una helada muy severa que terminó con el cultivo, dándose por terminado en ese momento el experimento. En ese momento las plantas ya se encontraban en la etapa de maduración fisiológica.

El experimento incluyó a diez colectas de amaranto productoras de verdura y cuatro poblaciones productoras de grano con el propósito de caracterizar y comparar su patrón de variación morfofisiológica en aspectos relacionados con el tamaño, la asignación de recursos y los parámetros de crecimiento durante el ciclo biológico de las plantas. En este trabajo sólo se presentan los resultados de cuatro de las razas que se usan a manera de verdura: *A. hypochondriacus* raza Mixteco; *A. cruentus* razas Mexicano y Africano, y *A. hybridus*. Para ello se tomaron datos de área foliar, biomasa total de la planta y biomasa de raíz, tallo, hoja e inflorescencia. Se hicieron cinco muestreos destructivos o cosechas a intervalos de 30 días aproximadamente de seis plantas completas (incluyendo raíz) seleccionadas al azar en cada una de las subparcelas. Para conocer la asignación de biomasa de las plantas se consideraron los porcentajes de biomasa de raíz (R), tallo (T), hoja (H) e inflorescencia (I). Las tasas de crecimiento por planta se obtuvieron a partir del programa en computadora descrito por Hunt y Parsons (1974 y 1981). En dicho programa se adopta una forma de análisis de crecimiento funcional y se obtienen tasas de crecimiento instantáneas en diferentes tiempos (generalmente más de dos cosechas), a partir de funciones matemáticas ajustadas a los valores observados de biomasa y de área foliar.

Para los valores obtenidos de altura, biomasa parcial y área foliar, se efectuaron análisis de covarianza para evaluar las diferencias entre las diferentes razas. Las variables independientes fueron, en todos los casos las razas (como factor estadístico), y el tiempo (como covariable del factor). Con el fin de cumplir con el

Cuadro 1. Especies y razas de *Amaranthus* utilizadas en el análisis fenético y de ordenación. En la primera columna se anota la clave que identifica a cada taxon en las gráficas resultantes.

Clave	Taxa	Uso	Forma de manejo	Color de la semilla	Localidad
VF1	<i>A. cruentus</i> L. raza Africano Mapes y Basurto 769	verdura	fomentada	negra	Sierra Norte de Puebla
VF2	<i>A. hypochondriacus</i> L. raza Mixteco Mapes y Basurto 772	verdura	fomentada	negra	Sierra Norte de Puebla
VF3	<i>A. hypochondriacus</i> L. raza Mixteco Mapes y Basurto 775	verdura	fomentada	negra	Sierra Norte de Puebla
VF4	<i>A. hybridus</i> L. Mapes y Basurto 782	verdura	fomentada	negra	Sierra Norte de Puebla
VF5	<i>A. cruentus</i> L. Mapes y Basurto 791	verdura	fomentada	negra	Sierra Norte de Puebla
VF6	<i>A. hypochondriacus</i> L. raza Mixteco Mapes y Basurto 766	verdura	fomentada	negra	Sierra Norte de Puebla
VF7	<i>A. hypochondriacus</i> L. raza Mixteco Mapes y Basurto 774	verdura	fomentada	negra	Sierra Norte de Puebla
G8	<i>A. hypochondriacus</i> L. raza Azteca Mapes 817	grano	cultivada	negra	Tulyehualco, D.F.
G9	<i>A. hypochondriacus</i> L. raza Mercado Espitia 153-5-3	grano	cultivada	blanca	Morelos
G10	<i>A. cruentus</i> L. raza Mexicano Espitia 1018C-3	grano	cultivada	blanca	Morelos
G11	<i>A. hypochondriacus</i> L. raza Mixteco Mapes y Basurto 786	grano	cultivada	negra	Patzcuaro, Michoacán
VF12	<i>A. hybridus</i> L. Bye y Linares 15187	verdura	fomentada	negra	Huejotzingo, Puebla
VA13	<i>A. hybridus</i> L. Mapes 742	verdura	arvense	negra	Chalco, México
VR14	<i>A. hybridus</i> L. Bye, Ramamoorthy, Rubluo y Reyes 14909	verdura	ruderal	negra	Saltillo, Coahuila

supuesto de normalidad, se hizo una transformación logarítmica de los valores de altura, biomasa y área foliar, mientras que para los datos porcentuales de biomasa se hizo una transformación arcoseno.

El análisis de los patrones de variación morfofisiológica se hizo mediante análisis de componentes principales y análisis de conglomerados. Mediante el

programa Numerical Taxonomy System (NTSYS) versión 1.8 (Rholf, 1993). Se tomaron en cuenta solo las catorce colectas originarias de México (cuadro 1).

Para este análisis se construyó una matriz de 18 hileras o caracteres por 14 columnas o colectas. En cada caso se usaron los promedios de los valores máximos alcanzados en el carácter respectivo por los

Cuadro 2. Caracteres medidos

Número	Carácter
1	peso seco total de la planta (g)
2	área foliar total de la planta (m ²)
3	peso seco de la raíz (g)
4	peso seco del tallo (g)
5	peso seco de hoja (g)
6	peso seco de la inflorescencia (g)
7	porcentaje de biomasa en la raíz
8	porcentaje de biomasa en tallo
9	porcentaje de biomasa en hoja
10	porcentaje de biomasa en inflorescencia
11	longitud de la hoja (cm)
12	ancho de la hoja (cm)
13	área foliar promedio (cm ²)
14	peso seco promedio de hoja (g)
15	longitud del pecíolo (cm)
16	distancia de la base a la parte más ancha de la lámina (cm)
17	tasa media de crecimiento absoluto
18	tasa máxima de crecimiento relativo

individuos medidos durante todo el período de cultivo. Sólo se evaluaron los caracteres con máximo valor de crecimiento porque las plantas presentaron diferentes tiempos para terminar su ciclo de vida (cuadro 2). La matriz fue estandarizada en el sentido de las hileras por el método de transformación lineal usando como factor de sustracción el valor medio de cada carácter y como opción de división la desviación estándar del carácter respectivo. Para el análisis de conglomerados se calculó una matriz de correlación entre columnas o colectas y luego se obtuvo un fenograma mediante el método de Ligamiento por Promedio Aritmético no Ponderado (el cual es conocido por sus siglas en inglés como UPGMA). Para el análisis de componentes principales se calculó una matriz de correlación entre caracteres.

La descripción taxonómica de las especies y razas objeto de este estudio está reseñada en Mapes (1997).

Resultados y discusión

Investigación etnobotánica

Antes de hacer este estudio se carecía de información sobre los materiales que se encuentran presentes en la región de la Sierra Norte de Puebla (SNP). Cuando se inició la exploración etnobotánica se pensó que el único "quintonil" en el área era el "chichiquilit" y que este era una sola especie. Posteriormente se en-

contró que bajo la categoría de "quintoniles" se agrupan varias especies y razas de amaranto. En la SNP no existen especies y razas de amaranto cultivadas ni usadas a manera de grano. Las especies y razas fomentadas son: *A. hypochondriacus* razas Mixteco y Azteca (las dos reciben el nombre de "chichiquilit") y *A. cruentus* razas Mexicano ("iztaquelit") y Africano ("quintonil rojo"). La raza Mixteco es muy similar a la Azteca y es difícil identificarlas en su etapa reproductiva, además de que las especies parecen presentar infiltración genética o hibridación con *A. hybridus*, lo cual hace aún más difícil la identificación acertada de los materiales. Las especies arvenses son: *A. hybridus* y *A. spinosus*.

Las razas que se usan a manera de verdura en la SNP (con excepción de *A. hybridus* y *A. spinosus*), son desde el punto de vista taxonómico, las mismas que se usan a manera de grano en otras regiones del país. La diferencia es que las poblaciones usadas para verdura presentan una mayor producción de follaje, semillas negras, un menor desarrollo de la inflorescencia central y un aspecto malezoide probablemente debido a la infiltración o hibridación con *A. hybridus*.

El amaranto en la SNP es muy apreciado como alimento. Tiene gran demanda tanto por mestizos como por indígenas. Se vende en los mercados locales y su precio varía con la época del año y dependiendo de si son plántulas o retoños los que se venden. Los mercados son abastecidos con los productos obtenidos en las milpas de tierra fría y en los chilares. El amaranto arribeño (proveniente de las milpas de tierra fría), llega al mercado entre febrero y julio mientras que el amaranto abajeño (proveniente de los chilares) lo hace entre septiembre y febrero, de modo que el amaranto está presente en los mercados prácticamente todo el año. Las hojas se venden en montones y el volumen de los mismos varía notablemente, dependiendo de si son plántulas o retoños. Las semillas también se venden o se intercambian entre la gente de los diferentes pueblos.

Las hojas del "chichiquilit" (*A. hypochondriacus* raza Mixteco) son guisadas en un caldo que queda teñido de rojo, aspecto o atributo muy apreciado por la gente del lugar (Martínez, en prensa), además del buen sabor que presentan. Sus semillas también son utilizadas para hacer atole junto con la masa del maíz durante la fiesta de semana santa.

Las plantas del "quintonil" muestran una gran capacidad de rebrote ya que la gente corta continuamente la parte apical de la planta. Cuando las plantas dejan de ser plántulas, las hojas ya no se preparan en caldo, sólo se cuecen, se exprimen y se fríen. Una vez que las plantas florecen ya no se consumen las hojas.

En la SNP los "quintoniles" se consideran de naturaleza "fría" y los niños y ancianos deben de evitar su consumo en exceso porque contienen mucha fibra (Villalobos, 1994). Sin embargo, el color rojo en la SNP es considerado de naturaleza "caliente".

Es importante señalar que en la SNP los "quintoniles" siempre están asociados a cultivos múltiples (generalmente el maíz es el cultivo principal, siendo la raza Tuxpeño la que se encuentra mejor representada) y las semillas se riegan cuando se abre un terreno nuevo para iniciar un cultivo. Esto contrasta con el cultivo del amaranto para producción de grano en otras regiones del país, el cual se practica en monocultivos, mediante la técnica de trasplante o de siembra directa para cada ciclo agrícola.

Los sistemas agrícolas en que se fomentan o recolectan los "quintoniles" son milpas, chilares, frijolares, huertos familiares y parcelas con hortalizas; en ellos la producción de amaranto tiene lugar en distintos tiempos, dependiendo del calendario de las prácticas agrícolas, determinado esto a su vez por factores ambientales y culturales. Para la caracterización de los agroecosistemas en que se produce amaranto véase Mapes *et al.* (1997).

Es interesante hacer notar que a pesar de que son las mismas razas de amaranto las que se encuentran en las milpas y en los chilares, las plantas de amaranto en los chilares no alcanzan la altura ni la biomasa que presentan en la milpa. Las diferencias en talla y tamaño podrían explicarse debido a que:

- 1] La gente de SNP ha seleccionado ecotipos o morfotipos dependiendo del cultivo con el que los "quintoniles" se asocian.
- 2] El amaranto presenta plasticidad genética y se adapta a condiciones ambientales distintas según se trate de tierra caliente o tierra fría. En tierra caliente hay menos humedad, el termoperíodo y el fotoperíodo son distintos y existe mayor luminosidad.
- 3] En los chilares el ciclo agrícola es más corto mientras que en las milpas es más largo, permitiendo que en estas últimas el ciclo de crecimiento vegetativo de la planta se alargue.
- 4] El efecto de la competencia con maíz es diferente al que se presenta con el chile.

En resumen, podemos decir que el amaranto es aprovechado como verdura hasta antes de que florezca, ya que después de la floración las hojas no son buenas para consumirse porque presentan un sabor

Figura 2. Crecimiento comparativo en altura total entre *Amaranthus cruentus* raza Africano, *A. hypochondriacus* raza Mixteco, *A. cruentus* raza Mexicano y *A. hybridus*.

amargo. Por otra parte, el amaranto se aprovecha mientras los cultivos principales terminan su ciclo. En el momento en que el maíz, el chile y el frijol producen frutos se eliminan por completo los "quintoniles" de los terrenos. Esto coincide generalmente con la aparición de las inflorescencias en los amarantos.

Otro aspecto importante es que cuando los agricultores observan que los "quintoniles" causan problemas al cultivo principal, debido a la competencia, ellos no dudan en eliminar las poblaciones de amaranto del terreno. Lo más importante para ellos son sus cultivos principales. Las observaciones indican que los agricultores manejan la densidad adecuada de las poblaciones de amaranto con el objeto de no afectar sus cultivos principales. Así tenemos que el mayor aprovechamiento de "quintoniles" en la milpa se da al inicio del ciclo y antes de la primera labra, cuando la planta de maíz se encuentra muy pequeña. Una vez que crecen más las plantas de maíz y que la densidad de amaranto es muy alta, se elimina a éste. Esto se hace cuantas veces sea necesario.

Los "quintoniles" son una fuente de ingreso muy importante mientras se cosecha el cultivo principal. En un día se llegan a obtener 10 pesos por su venta, lo que resulta significativo si se compara con el salario mínimo establecido en la SNP que es de 15 pesos.

Fase experimental

Los resultados de análisis de crecimiento de las especies productoras de grano fueron publicados anteriormente (Mapes *et al.*, 1995). En este artículo se discutirán algunos datos comparativos entre algunas de las razas productoras de verdura (*A. hypochondriacus* Mixteco; *A. cruentus* Mexicano y Africano y *A. hybridus*) y algunas de las razas productoras de grano (*A. hypochondriacus* Azteca, Mercado, Nepal y *A. cruentus* Mexicano)

Dinámica del crecimiento. Se presentaron diferencias en la altura total/planta promedio entre las tres razas y en *A. hybridus* (figura 2) de mayor a menor: *A. hypochondriacus* Mixteco, *A. hybridus*, *A. cruentus* Mexicano y Africano y (255.9 ± 37.84 ; 217.7 ± 38.21 ; 192.1 ± 37.84 y 178.2 ± 12.53 cm respectivamente, $X \pm 2Sx$, con $n = 10$).

El análisis de covarianza (ANCOVA), para los datos de altura transformados logarítmicamente indica que las diferencias son significativas ($p < 0.05$), así como en la covariable tiempo ($p < 0.05$). El valor máximo de altura fue alcanzado en tiempos distintos. La raza Mixteco lo alcanzó a los 164 días, la raza Africano a los 145 días, *A. hybridus* a los 129 días y la raza Mexicano a los 123 días.

Figura 3. Incremento comparativo en área foliar entre *Amaranthus cruentus* raza Africano, *A. hypochondriacus* raza Mixteco, *A. cruentus* raza Mexicano, y *A. hybridus*.

En términos generales, el ciclo de vida de las razas Mixteco y Africano que se usan a manera de verdura es largo comparado con las razas destinadas a la producción de grano (139 días como promedio para *A. hypochondriacus* razas Mercado, Azteca, Nepal y *A. cruentus* raza Mexicano; Mapes *et al.*, 1995).

Área foliar total. Al comparar el área foliar entre las cuatro poblaciones (figura 3) se observan diferencias en los valores máximos ($\bar{X} \pm 25\bar{x}$, respectivamente con $n=6$): Mixteco ($2.91 \text{ m}^2 \pm 1.06$); Africano ($1.44 \text{ m}^2 \pm 0.74$); *A. hybridus* ($1.26 \text{ m}^2 \pm 0.456$) y finalmente Mexicano ($.38 \text{ m}^2 \pm 0.353$). El ANCOVA para los datos de área foliar transformados a logaritmos indica que las diferencias son significativas ($p<0.05$), así como en la covariable tiempo ($p<0.05$). El tiempo al que alcanzaron el valor máximo todas las razas y *A. hybridus* fue el mismo: a los 149 días. Si se comparan estos valores con las productoras de grano se tiene que estas últimas alcanzan su valor máximo mucho más temprano (a los 138 días) y tienden a tener un valor de área foliar más bajo (Azteca $0.912 \text{ m}^2 \pm 0.313$; Mercado $0.649 \text{ m}^2 \pm 0.119$; Nepal $0.742 \text{ m}^2 \pm 0.094$ y Mexicano $0.452 \text{ m}^2 \pm 0.053$; Mapes *et al.*, 1995).

Biomasa total. Se observan diferencias en el máximo

de producción de biomasa total por planta (figura 4). Los valores máximos, respectivamente con $n=6$ en orden decreciente son: *A. hybridus* ($647.09 \text{ g} \pm 186.06$); Mixteco ($549.29 \text{ g} \pm 228.96$); Africano ($483.28 \text{ g} \pm 120.78$) y finalmente Mexicano ($475.57 \text{ g} \pm 285.67$). *A. hybridus* y las tres razas alcanzan el valor máximo a los 149 días. El ANCOVA para los datos de peso seco transformados a logaritmo indica que las diferencias entre razas y *A. hybridus* no son significativas ($p>0.05$), aunque las diferencias son significativas en la covariable tiempo ($p<0.05$).

Asignación de biomasa. En el patrón porcentual de asignación de biomasa en las diferentes colectas (figura 5), las estructuras vegetativas presentan el mayor porcentaje de biomasa asignado en el período de 21 a 45 días después de la germinación, del cual el 85 % está distribuido entre tallo y hoja en las tres razas y *A. hybridus*. Después de este período, en el caso de *A. hybridus* y Mexicano se inicia la etapa reproductiva, mientras que las razas Mixteco y Africano la inician hasta los 120 días. Estas dos últimas razas presentan valores máximos de asignación a inflorescencias muy bajos (6.8 % y 3.0 % respectivamente) mientras que *A. hybridus* y la raza Mexicano asignan a las inflorescencias 42.8 % y 22.6 % respectivamente.

Figura 4. Incremento comparativo en biomasa (gramos de peso seco total) entre *Amaranthus cruentus* raza Africano, *A. hypochondriacus* raza Mixteco, *A. cruentus* raza Mexicano y *A. hybridus*.

te. Al mismo tiempo, se observa que las estructuras vegetativas disminuyen su porcentaje de asignación de biomasa en este período, principalmente las hojas que bajan de 66% a 24 % en el caso de *A. hybridus* y de 66 % a 21.5 % en el caso de Mexicano,

mientras que en el caso de Mixteco baja de 68 % a 38 % y en Africano de 65% a 36 %. En estas dos últimas razas los datos anteriormente mencionados se mantienen hasta el final del período experimental. Los resultados de ANCOVA para los valores porcentuales

Figura 5. Cambios de porcentaje de asignación de biomasa entre *Amaranthus cruentus* raza Africano, *A. hypochondriacus* raza Mixteco, *A. cruentus* raza Mexicano, y *A. hybridus*.

de las estructuras vegetativas y reproductivas de las plantas muestran diferencias significativas entre las razas y *A. hybridus* en los porcentajes de biomasa de raíz, tallo, hoja e inflorescencia ($p < 0.05$). La covariable tiempo fue significativa ($p < 0.05$) en todos los casos excepto en la raíz.

En este estudio se encontraron tres patrones de asignación: a) el que presentaron las razas productoras de grano; b) el que presentaron las razas productoras de verdura que mostraron que ha habido una mayor selección por el hombre para producción de hojas y tallos y c) las razas productoras de verdura que mostraron tener algunos caracteres malezoides.

En el caso de las razas productoras de grano (*A. hypochondriacus* razas Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal; *A. cruentus* raza Mexicano) se tiene que, con excepción de la raza Mixteco, en la etapa reproductiva la asignación a estructuras reproductoras fue mayor de 50 % del total de materia seca. Esto indica que Azteca, Mercado, Nepal y Mexicano poseen un alto esfuerzo reproductivo dado por la alta proporción de biomasa de inflorescencia en relación a la biomasa total/planta. Este patrón de asignación se encuentra relacionado con la forma de utilización de estas cuatro razas para la producción de semilla (Díaz, 1994). La colecta originaria del Lago de Pátzcuaro de la raza Mixteco usada a manera de grano, presentó un mínimo esfuerzo reproductivo y una mayor asignación a tallo y hoja. Sin embargo, si se hubiera completado el ciclo (la helada terminó con el cultivo) probablemente hubiera alcanzado un valor similar de asignación a las estructuras reproductoras, ya que esta raza presenta un ciclo biológico largo.

En cuanto a las razas productoras de verdura (*A. hypochondriacus* raza Mixteco; *A. cruentus* razas Mexicano y Africano; *A. hybridus*), durante el estadio reproductivo la asignación de biomasa a órganos reproductivos fue menor del 20 % del peso seco total. Las razas Mixteco y Africano mostraron un comportamiento similar en el patrón de asignación de recursos en la etapa reproductora. La aparición de estructuras reproductoras se presentó hasta los 120 días. En términos generales estas dos razas retardaron la reproducción y prolongaron la producción de follaje. A los 140 días, la asignación a estructuras florales fue baja (7 y 1 % respectivamente) mientras que la mayor asignación fue a tallos (47 y 43%, respectivamente) y a hojas (34 y 32%, respectivamente). Durante la fase de investigación etnobotánica se observó que las plantas de la raza Mixteco presentaron una mayor altura, una alta producción de hojas las cuales presentaron una fina textura, un color rojo intenso cuando jóvenes y un sabor agradable, atributos que son apreciados por la gente.

Las colectas que terminaron su ciclo de vida bajo las condiciones de Chalco fueron *A. hybridus* y la raza Mexicano, este último presentó menor porcentaje de estructuras reproductoras que las productoras de grano. *Amaranthus hybridus* asignó 42 % de biomasa a las estructuras reproductoras. En términos generales la asignación de recursos en la raza Mexicano y en *A. hybridus* mostró un comportamiento característico de las malezas, ya que la mayor proporción de biomasa a hojas fue asignada en las primeras etapas de desarrollo de las plantas (65% y 66%, respectivamente), cuando generalmente se consumen. Cuando las plantas empiezan a asignar biomasa a estructuras reproductoras, la proporción asignada a hojas disminuye de manera significativa (24.4% y 21.5%, respectivamente). Estos datos coinciden con Huaptli (1977), quien encontró que mientras la producción de semillas en las especies cultivadas y en las malezas es muy similar, las malezas asignan una mayor proporción de su energía a la producción de semillas (20 al 50% en malezas y 10 al 15% en las especies cultivadas). Huaptli (1977) encontró además una correlación positiva entre la cantidad de semilla producida en forma individual y la asignación de biomasa a la semilla, así como una correlación negativa con respecto a la asignación de biomasa al tallo.

Muchas especies malezoides y algunos amarantos con domesticación incipiente poseen inflorescencias indeterminadas. El meristemo apical de cada inflorescencia permanece activo y puede continuar diferenciándose y produciendo flores y semillas mediante la polinización, mucho después de que ha comenzado la senescencia de las hojas (Huaptli, 1977). Una característica relacionada con muchas ruderales es la capacidad para tener altas tasas de producción de materia seca (Baker, 1965; Grime y Hunt, 1975), rasgo que parece facilitar la conclusión rápida de su ciclo de vida y maximizar la producción de semillas. En muchas plantas ruderales la floración comienza en una etapa muy temprana del desarrollo y no es raro que en géneros como *Polygonum*, *Atriplex* y *Chenopodium* aparezcan flores y semillas maduras en la misma inflorescencia. Estos rasgos parecen estar directamente relacionados con las condiciones del hábitat ocupado por las plantas ruderales, donde las frecuentes perturbaciones determinan una alta tasa de mortalidad y puede esperarse que la selección natural favorezca la producción y maduración temprana de las semillas. De acuerdo con Grime (1989), las plantas ruderales son de vida corta y, en la mayoría de las especies anuales, la producción de las semillas es seguida inmediatamente por la muerte de la planta madre, pues al agotarse los recursos durante la reproducción en una etapa primaria del ciclo de vida, existe

un mayor riesgo de mortalidad en las plantas progenitoras. Sin embargo, el costo de esta tasa de mortalidad se compensa por el beneficio de una alta fecundidad.

En relación a la historia de vida de las razas estudiadas, los cambios en el patrón de asignación parecen ser el resultado de la selección artificial. En el caso de las razas seleccionadas para la producción de grano, se ha maximizado la asignación de biomasa a estructuras reproductoras mientras que en las razas seleccionadas para la producción de verdura se ha favorecido la asignación de biomasa a estructuras vegetativas y se ha minimizado la asignación a estructuras reproductoras (Díaz, 1994; Mapes *et al.*, 1995).

Se han reportado resultados similares en los patrones de asignación de recursos en dos poblaciones en *Linum usitatissimum* L., donde se ha seleccionado de forma independiente la producción de fibra y la producción de semilla (Khan, *et al.*, 1976, Khan & Bradshaw, 1976 en Antonovics, 1980). Al parecer, entonces, la selección artificial favorece un patrón específico de asignación de recursos maximizando el rendimiento agronómico, de acuerdo al destino utilitario de los recursos que se seleccionan para la producción de fibra o de semilla.

Variación morfofisiológica

Como puede verse en la figura 6, el análisis de conglomerados revela la formación de dos grandes grupos. El primer conglomerado de la parte superior

formado por las colectas VF1, VF5, VF3, VF6, VF2, G11, VF4, VF12 y VF7 agrupa a todos los materiales usados exclusivamente como verdura en la SNP con excepción de la colecta G11 (*A. hypochondriacus* raza Mixteco, forma de grano cultivada y colectada en la región del Lago de Pátzcuaro). El segundo conglomerado de la parte inferior del fenograma agrupa a las colectas G8, G9, G10, VR14 y VA13. Estas incluyen a las variedades cultivadas las cuales son utilizadas únicamente como grano, así como a sus formas relacionadas, las cuales son arvenses y ruderales.

El análisis de componentes principales muestra resultados consistentes con los del análisis de conglomerados. Cuando se proyectan las colectas en el espacio de caracteres definido por los dos primeros componentes principales, se observa que el primer componente discrimina a la colecta G8 (*A. hypochondriacus* raza Azteca) de las demás y coloca a la colecta VF7 (*A. hypochondriacus* raza Mixteco) en un punto intermedio entre G8 y el resto de las colectas. Por otra parte, el segundo componente principal discrimina a las colectas utilizadas como verduras (VF7, VF1, VF2, VF12, VF5, VF6, VF4 y VF3) de las demás. La colecta G11 (la forma usada como grano y que en el fenograma fue colocada junto a las de verdura) se encuentra mas cercana a las que se usan como grano (figura 7).

El cuadro 3 presenta los caracteres con mayor peso en cada uno de los tres componentes principales. Como puede verse, los caracteres más correlaciona-

Figura 6. Agrupamiento de las catorce colectas de amaranto comparadas de acuerdo a un análisis de conglomerados.

dos en el primer componente principal podrían resumirse en un nuevo carácter equivalente a tamaño de la hoja, mientras que en el segundo componente principal, los caracteres de mayor carga revelan un carácter combinado el cual incluye al peso seco de hoja, de raíz, de tallo, proporción de biomasa asignada a la inflorescencia y área foliar. El examen de los valores de estos caracteres para cada una de las colectas en la matriz de datos nos permite explicar los agrupamientos observados tanto en las gráficas del análisis de componentes principales, como en el análisis de conglomerados. De este modo, el grupo formado por las colectas VF7 y G8 a lo largo del primer componente principal, se caracteriza por tener hojas y pecíolos grandes, mientras que todas las demás colectas tienden a presentar hojas y pecíolos pequeños. Por otro lado, el grupo de verduras formado por las colectas VF1, VF2, VF12, VF5, VF6, VF4 y VF3 a lo largo del segundo componente se caracteriza por presentar mayor peso seco de hoja, raíz y tallo; mayor área foliar y menor proporción de biomasa asignada a inflorescencia, mientras que el grupo de las colectas de grano presenta la situación inversa.

Al graficar el segundo contra el tercer componente (figura 8) se observa más claramente la diferencia entre las especies fomentadas usadas como verdura y las demás. Se observa también una separación entre las colectas VF4 y VF12 (*A. hybridus*) y las demás. El carácter que más influye en esto es el porcentaje de biomasa en tallo.

En términos generales, los resultados presentados en este estudio sugieren la existencia de dos vías diferentes de domesticación en amaranto: 1] una asociada al uso de las hojas como verdura y 2] otra asociada al uso de semilla como grano. Como lo indica el análisis de componentes principales, estas dos rutas de domesticación se reflejan en la variación que presentan ciertos caracteres relacionados directa o indirectamente con el uso y manejo de estas plantas.

Las formas arvenses y ruderales, si bien son consumidas como verdura en estado de plántula, parecen estar más relacionadas con las formas de grano. Estas se comportan de manera similar a las plantas cultivadas para grano en cuanto que producen un gran número de inflorescencias, aunque no hay desarrollo de una inflorescencia central vigorosa. Este comportamiento parece probar la hipótesis de algunos autores (Sauer, 1967; Pal y Khoshoo, 1977; Bye, 1981; Kulakow y Jain, 1990), quienes sugieren que las plantas de amaranto productoras de semilla han evolucionado bajo selección humana a partir de las formas arvenses similares a las descritas anteriormente.

Desde una perspectiva metodológica, los resultados presentados sugieren dos ideas centrales. En primer término, los estudios de los procesos de domesticación de plantas usualmente enfatizan los cambios morfológicos que ocurren en las partes deseadas por los seres humanos. Sin embargo, existen muy pocos estudios de caracteres tales como la arquitectura y asignación de recursos que pueden tener tam-

Figura 7. Proyección de las catorce colectas de amaranto en el espacio de caracteres definido por los componentes principales I y II.

bién un papel crítico en el proceso de selección bajo domesticación.

Perspectivas

Inventario y Taxonomía. Además de que el género *Amaranthus* aún presenta problemas taxonómicos, las razas de diferentes especies no han sido descritas desde un punto de vista taxonómico válido. Para contribuir a resolver este problema es importante hacer más colectas botánicas a lo largo del país ya que por el momento y en particular las especies cultivadas, fomentadas y arvenses se encuentran mal representadas en los herbarios.

Etnobotánica. Se tendrán que ampliar los estudios etnobotánicos en los que se logre determinar el papel cultural y económico que tienen los "quintoniles" entre las diferentes comunidades de la región de la SNP.

Se debe investigar el probable papel ecológico que el amaranto puede tener en los diferentes agroecosistemas en donde se asocia. Altieri (1994) demuestra que muchas de las especies no cultivadas o las que se cultivan en menor escala y asociadas a los sistemas agrícolas tradicionales tienen otro papel o uso además del alimentario. Atraen insectos benéficos para el cultivo, funcionan como barreras que detienen enfermedades y pestes, recogen y almacenan nutrientes que posteriormente serán importantes para el cultivo principal, modifican el microclima del sistema agrícola, etc. El amaranto puede estar jugando un

papel muy importante en el manejo y en la sustentabilidad de los agroecosistemas, aspecto que debe de ser investigado en el futuro en forma más amplia.

Es necesario realizar en la región una colecta más sistematizada de las razas de maíz y de otros cultivos presentes en los policultivos donde se encuentran los "quintoniles".

Los resultados obtenidos en este estudio dan ciertos indicios de que la arquitectura que presenta la planta de amaranto se encuentra relacionada con el tipo de cultivo al que se encuentra asociado. Así, las plantas que crecen en los chilares o en los huertos no llegan a crecer de igual manera que las que se encuentran en la milpa. Este aspecto será de gran interés para desarrollar futuras investigaciones por medio de trasplantes recíprocos.

Es importante que en el futuro se haga un estudio de demografía de las plantas arvenses y fomentadas que se encuentran presentes en la milpa asociadas al maíz, con énfasis en los "quintoniles", con el objeto de conocer aspectos de fenología, densidad de población, especies de malezas con las que se encuentran asociados y, saber cómo responden las plantas.

Los "quintoniles" al estar asociados al maíz seguramente estarán en competencia con esta planta, de tal manera que también será importante hacer estudios de competencia bajo condiciones experimentales, tratando de establecer o simular parcelas como las que el agricultor maneja en la región de estudio.

Las observaciones realizadas en SNP muestran que en la milpa a partir de la aterradura o escarda el

Cuadro 3. Variación explicada por los tres primeros componentes principales y caracteres que contribuyen más a explicar la variación. Entre paréntesis se anota el porcentaje de variación acumulada con cada componente.

Componente Principal	Variación Explicada	Carácter	Peso
I	37.8% (37.8%)	distancia de la base a la parte más ancha de la lámina (16)	0.891
		longitud del pecíolo (15)	0.884
		longitud de la hoja (11)	0.860
		peso seco promedio de hoja (14)	0.852
		área de la hoja (13)	0.846
II	29.4% (67.2%)	peso seco de hojas (5)	0.825
		peso seco de la raíz (3)	0.816
		porcentaje de biomasa en inflorescencia (10)	-0.813
		área foliar total (2)	0.733
		peso seco del tallo (4)	0.733
III	11.9%(79.1%)	porcentaje de biomasa en tallo (8)	0.675

amaranto es aprovechado como retoño. Lo mismo sucede en los chilares en donde también se practican cortes a la planta. El corte de retoños o rebrotes de las ramas puede tener un efecto de poda en las plantas de amaranto, incrementando la producción de follaje tierno y retrasando la floración. Para comprobar la hipótesis anterior es importante establecer cultivos experimentales en donde se practiquen cortes a las plantas a diferentes tiempos y a diferentes alturas con el objeto de ver capacidad de rebrote. En cada corte se tomarían muestras de la planta entera, tallos y hojas y se les determinaría el contenido de proteína, ya que existen antecedentes en la literatura que muestran que el contenido de proteína se modifica a lo largo del ciclo de vida.

Análisis de Crecimiento. Con el objeto de poder tener una mayor robustez en los datos que se obtuvieron en este estudio, es necesario realizar experimentos similares simultáneos en el lugar de origen de los materiales biológicos y en otras zonas ecológicas. Es importante también obtener datos de más de un ciclo agrícola. Se debe sembrar bajo un diseño experimental, establecer subparcelas con repeticiones, muestrear más individuos, más colectas y con intervalos menores de cosecha.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada, apoyada y estimulada por el Programa Universitario de Alimentos

(PUAL), la Coordinación de Estudios de Posgrado (PADEP) y el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM. Se agradece a las familias de las diferentes comunidades de la SNP que siempre nos apoyaron en el trabajo de campo y proporcionaron su valioso conocimiento para la realización de esta investigación. Los agricultores Tomás Palma y Federico Valdepeña se hicieron cargo del establecimiento de los cultivos de amaranto. La Biól. Martha Gallegos participó en el registro de los datos. La Biól. Aracelí Díaz realizó el procesamiento de los datos obtenidos durante la fase experimental. El M. en C. Salvador Sánchez y la M. en C. Mariana Hernández asesoraron la parte estadística del trabajo. El Dr. Eduardo Espitia facilitó semillas para el establecimiento de las parcelas experimentales. El Biól. Jorge Saldívar elaboró los cuadros y figuras de este artículo. La revisión cuidadosa de la Dra. Patricia Colunga, del Dr. Alejandro Casas y del M. en C. Miguel Ángel Martínez mejoraron de manera importante la versión final del manuscrito.

Literatura citada

- Altieri M. A. 1994. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. Food Products Press. The Haworth Press, Inc. New York.
- Antonovics J. 1980. Concepts of resource allocation and partitioning in plants. En: J. E. R. Staddon (ed.) *Limits to action: The allocation of individual behavior*. Academic Press, New York. 1-35.

Figura 8. Proyección de las catorce colectas de amaranto en el espacio de caracteres definido por los componentes principales II y III.

- Baker H. G. 1965. Characteristics and modes of origin of weeds. En: H. G. Baker y G. L. Stebbins (eds). *The genetics of colonizing species*. Academic Press, Nueva York. 147-168.
- Bressani R. 1989. The proteins of green amaranth. *Food Review International* 5:13-38.
- Bressani R., Sánchez Marroquín A. y Morales E. 1992. Chemical composition of grain amaranth cultivars and effects of processing their nutritional quality. *Food Review International* 8(1):23-49.
- Bye R. 1981. Quelites-Ethnoecology of edible greens- Past, present and future. *Journal of Ethnobiology* 1(1):109-123.
- Bye R. 1993. The role of humans in the diversification of plants. En: Ramamoorthy T. P., Bye R., Lot A. y Fa J. (eds.) *Biological diversity in Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press. New York, NY. 707-731
- Casas A., Vázquez M. C., Viveros J. L. y Caballero J. 1996. Plant management among the Nahuatl and the Mixtec in the Balsas River Basin, Mexico: An ethnobotanical approach to the study of domestication. *Human Ecology* 24:455-478.
- Colunga P., Hernández X. E. y Castillo A. Variación morfológica, manejo agrícola tradicional y grado de domesticación de *Opuntia* spp. en el Bajío Guanajuatense. *Agrociencia* 65:7-44
- Devadas V. y Mallika V. 1991. *Review of research on vegetables and tuber crops. Amaranths*. Kerala Agricultural University Press, Thrissur-Kerala.
- Díaz A. 1994. Análisis de crecimiento comparativo en tres poblaciones de *Amaranthus hypochondriacus* en el Municipio de Chalco, Estado de México. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 141 pp.
- Espitia E. 1991. Variabilidad genética e interrelaciones del rendimiento y sus componentes en Alegria (*Amaranthus* spp.). Tesis M. en C. Colegio de Posgraduados, Chapingo, Edo. De México. 104 pp.
- Flannery K. V. (ed.). 1986. *Guila Naquitz: Archaic foraging and early agriculture in Oaxaca, Mexico*. Orlando, Florida: Academic Press Inc.
- Grime J. P. 1989. *Estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación*. Editorial Limusa. México.
- Grime, J. P. y Hunt R. 1975. Relative growth rate: its range and adaptive significance in a local flora. *Journal Ecology* 63:393-422.
- Grubben G. 1977. *Tropical vegetables and their genetic resources*. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy.
- Huaplti H. 1977. Agronomic potential and breeding strategy for grain amaranths. Proceedings of the First Amaranth Seminar. Emmaus; PA. 71-79.
- Huaplti H. y Jain S. 1984. Allozyme variation and evolutionary relationships of grain Amaranths (*Amaranthus* spp.). *Theoretical and Applied Genetics* 69:153-165.
- Hunt R. y Parsons I. T. 1974. A computer program for deriving growth functions in plant growth analysis. *Journal of Applied Ecology* 4:553-560.
- Hunt R y Parsons I. T. 1981. *Plant growth analysis. User's instruction from the stepwise and spline programs*. Natural Environment Research Council Unit of Comparative Plant Ecology. University of Sheffield. pp. 1-48.
- Kulakow P.A. y Jain S. 1990. Grain Amaranth-Crop species, evolution and genetics. Proc. Fourth National Amaranth Symposium. Perspectives on production, processing and marketing. University of Minnesota Publication. Minneapolis, Minnesota. 105-114.
- Mapes C. 1997. Etnobotánica del "quintonil". Conocimiento, uso y manejo de *Amaranthus* spp. en México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 153 pp.
- Mapes C., Díaz A., Collazo M. y Bye R. 1995. Desarrollo de cinco razas de amaranto (*Amaranthus* spp.) en Chalco, Estado de México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México Serie Botánica* 66(2): 149-169.
- Mapes C., Caballero J., Espitia E. y Bye R. 1996. Morphophysiological variation in some Mexican species of vegetable *Amaranthus*: evolutionary tendencies under domestication. *Genetic Resources and Crop Evolution* 43:283-290.
- Mapes C., Basurto F. y Bye R. 1997. Ethnobotany of quintonil: Knowledge, Use and Management of Edible Greens *Amaranthus* spp. (Amaranthaceae) in the Sierra Norte de Puebla, Mexico. *Economic Botany* 51(3):293-306.
- Martínez M. A. Importancia del color dentro de la cultura material de los Otomíes, Nahuas, Tepehuas y Totonacos de la Sierra Norte de Puebla. Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM. En prensa.
- National Academy of Sciences (NAS). 1975. *Underexploited tropical plants with promising economic value*. National Academic Press, Washington D. C. 189 pp.
- Pal M. y Khoshoo T. N. 1974. Grain amaranths. En: S. Hutchinson (ed.) *Evolutionary studies in world crops. Diversity and change in Indian subcontinent*. Camb. Univ. Press, England. 129-137.
- Pal M. y Khoshoo T. N. 1977. Evolution and improvement of cultivated amaranths. VIII. Induced autotetraploidy in grain types. *Z. Pflanzensucht* 78:135-148.
- Reyna T. 1989. Aspectos climáticos en la cuenca del Valle de México. En: Gío. R. I. Hernández y Sainz E. (eds.) *Ecología Urbana. Sociedad Mexicana de Historia Natural* Vol. Esp.: 25-39.
- Rohlf F. J. 1993. *Numerical taxonomy and multivariate analysis system for the IBM PC microcomputer (and compatibles). Version 1.8*. Applied biostatistics Inc. New York.
- Sauer J. D. 1950. The grain amaranths. A survey of their history and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 54(2):426-434.
- Sauer J. D. 1967. The grain amaranths and their relatives. A revised taxonomic and geographic survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 54(2):103-137.

- Smith C. E. 1967. Plant remains. In: D. S. Byers (ed.). *The Prehistory of the Tehuacan Valley*, v. 1. Environment and Subsistence. University of Texas Press. Austin. 220-255.
- Smith C. E. 1973. Dietary patterns in Mexico between 6500 B.C and 1580 A. D. In: C. E. Smith (ed.) *Man and his foods*. The University of Alabama Press. Alabama. 29-49.
- Stallknecht G. y Schultz-Schaffer J. 1993. Amaranth rediscovered. En: Janick J. y Simon J. (eds.) *New crops*. John Wiley and Sons. New York. 211-221.
- Suárez G. 1988. Experiencias e inquietudes sobre amaranto. En: Reyna T. (ed.) *Investigaciones recientes sobre amaranto*. Instituto de Geografía, UNAM. México. 11-15.
- Vázquez M. C. 1986. El uso de las plantas silvestres y semicultivadas en la alimentación tradicional en dos comunidades campesinas del sur de Puebla. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 104 pp.
- Villalobos G. 1994. Plantas comestibles en dos comunidades de la Sierra Norte de Puebla: Xochitlán de Vicente Suárez y Zapotitlán de Méndez. Tesis profesional. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México D.F. 315 pp.
- Williams J. T. y D. Brenner. 1995. Grains amaranths (*Amaranthus* species). En: Williams J. T. (ed.) *Cereals and pseudocereals*. Chapman & Hall, London, 129-186.