

DESARROLLO DE CINCO RAZAS DE AMARANTO (*AMARANTHUS* SPP.) EN CHALCO, ESTADO DE MÉXICO

CRISTINA MAPES*
ARACELI DÍAZ-ORTEGA*
MARGARITA COLLAZO**
ROBERT BYE*

RESUMEN

Se cultivaron bajo condiciones homogéneas de cultivo en Chalco Estado de México cinco colectas de amaranto utilizadas para producción de grano, correspondientes a *Amaranthus hypochondriacus* L. de las razas Azteca, Mercado, Nepal y Mixteco y *Amaranthus cruentus* L. de la raza Mexicano). Se hizo una evaluación del crecimiento de las plantas tomando como variables altura, área foliar, biomasa total y biomasa de raíz, tallo, hojas e inflorescencia. A partir de los datos de biomasa y área foliar se calcularon diferentes tasas de crecimiento. Mercado, Nepal y Mexicano alcanzaron su altura máxima en un periodo más corto que Azteca y Mixteco. El área foliar total de las cinco razas fue significativamente diferente entre ellas, siendo Mixteco la que alcanzó el valor más alto (1.249 m² por planta). Mixteco asignó únicamente 25% de materia seca a las estructuras reproductivas mientras que las otras cuatro razas asignaron 50% de materia seca a las estructuras reproductivas a los 149 días. La tasa de crecimiento relativo en peso seco (RGR) fue comparable entre todas las razas declinando a lo largo del tiempo. Los cocientes de área foliar (LAR) fueron similares alcanzando los valores máximos al principio del cultivo declinando a cero a los 149 días con excepción de Mixteco. La tasa de asimilación neta (ULR) muestra dos comportamientos diferentes al compararlo entre razas. El primero está representado por Azteca, Mexicano y Mixteco que alcanzan un valor máximo entre los 45 y 78 días y el segundo por Mercado y Nepal que alcanzan su valor máximo al final del ciclo de vida (149 días). El patrón de asignación de materia seca indica que con excepción de Mixteco, estas razas presentan un alto esfuerzo reproductivo. Este hecho coincide con el uso que el hombre les ha dado a través del tiempo.

* Jardín Botánico, Instituto de Biología, UNAM. Apdo. postal 70-614, Del. Coyoacán, 04510 México D.F.

**Facultad de Ciencias, UNAM. Apdo. postal. 70-399, Del. Coyoacán, 04510 México D.F.

Palabras clave: *Amaranthus*, especies productivas de grano, Chalco, Estado de México, crecimiento relativo, cociente de área foliar, tasa de asimilación neta.

ABSTRACT

Five races of edible grain amaranths (*Amaranthus hypochondriacus* L. Azteca, Mercado, Nepal and Mixteco and *Amaranthus cruentus* L. Mexicano) were cultivated for 149 days under uniform conditions in Chalco, Valley of Mexico. Plant height, leaf area, biomass, biomass allocation, growth rate were measured periodically. Mercado, Nepal and Mexicano reached their maximum height more rapidly than Azteca and Mixteco. The total leaf area of the five races was significantly different among them with Mixteco producing the greatest (1.249 m²) Mixteco allocated (25%) of the standing biomass to reproductive parts 149 days after germination while the others allocated 50%. The relative growth rate (RGR) was comparable for all races with a general decline over time. The leaf area quotients (LAR) for all five races were at their maximum at the beginning of the cultivation and declined to zero at the end except Mixteco. The net assimilation rate (ULR) was similar for Azteca, Mixteco and Mexicano although the maximum rate for each was achieved at different times during the cultivation period. On the other hand, Mercado and Nepal attained their maximum net assimilation rates at the end of the experiment. The pattern of early biomass allocation for reproductive parts coincides with that of plants selected for grain production rather than for edible leaves. Of five races, Mixteco did not complete its life cycle due to the shorter growing period than that in its area of origin. Also, its growth behavior with later biomass allocation to reproduction may reflect contemporary selection pressure for multiple use including both grain and vegetable.

Key words: *Amaranthus*, grain, Chalco, Estado de México, plant growth, relative growth rate, leaf area ratio.

INTRODUCCIÓN

El amaranto (*Amaranthus* spp.), también conocido como "alegría", fue uno de los cultivos básicos de los aztecas. Se utilizaba como alimento y al mismo tiempo jugaba un papel ceremonial y religioso. El cultivo fue casi suprimido por la iglesia católica durante la conquista española en su esfuerzo por erradicar las ceremonias paganas que se celebraban alrededor del amaranto. En la actualidad, su cultivo en México se ha reducido a pequeñas zonas, de las cuales las principales se ubican en el Distrito Federal y en los estados de Tlaxcala, Morelos y Puebla que constituyen el área actual más importante del cultivo (Espitia, 1992). En los últimos cinco años se siembra en grandes extensiones en muchas partes del mundo como en Estados Unidos, Canadá, Europa y Nueva Zelanda (Williams y Brenner, 1995).

Tomando en cuenta la importancia alimenticia del amaranto, que lo coloca como un cultivo alternativo para la obtención de proteínas, se han venido desarrollando una serie de investigaciones a nivel nacional e internacional en los últimos años con el objetivo de lograr su introducción en zonas donde no se cultiva y de aumentar su productividad en zonas donde tradicionalmente se cultiva. El presente trabajo tiene como antecedente inmediato el proyecto Plantas Comestibles de México, realizado como parte de las investigaciones del Laboratorio de Et-nobotánica del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (1982-1985).

A principio de 1987, esta investigación se inscribió dentro de las actividades del Programa Universitario de Alimentos (PUAL), a través del proyecto Jardines de Introducción. Durante cinco años se sembraron parcelas experimentales con diferentes especies de amaranto, productoras tanto de grano como de verdura en el Rancho San Francisco en Chalco Estado de México. En este trabajo, se presentan únicamente los resultados del experimento de 1990 con las especies productoras de grano.

El objetivo de esta investigación fue determinar y comparar el desarrollo de cinco razas de amaranto productoras de grano bajo condiciones homogéneas de cultivo en Chalco, Estado de México, a partir del crecimiento y la asignación de materia seca a lo largo de su ciclo de vida.

SITIO EXPERIMENTAL

El presente estudio se realizó en el Rancho San Francisco (propiedad 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 los 19°16' de latitud norte, 98°54' longitud oeste y a una altitud de 2236 m (Fig. 1).

Con base en el estudio de clima de la región, Reyna (1989) propone que el clima de Chalco es del tipo C (W₁)b de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1988). Este clima corresponde a los templados subhúmedos con lluvias de verano. La temperatura media anual es de 15°C. En mayo se registran las temperaturas más altas, pero no alcanzan 22°C, por lo que aún el verano es fresco (Fig. 2). Las lluvias ocurren en verano, ya que de 620 mm. de precipitación que se reciben al año, más del 90% se concentran en esta estación (junio-septiembre, siendo el mes de julio el más lluvioso). Las heladas se presentan en los meses de enero, febrero y diciembre durando en promedio 17, 10 y 13 días respectivamente en cada mes, con una temperatura media mínima de 3°C en diciembre y enero y de 5°C en febrero. Normalmente, pueden ocurrir heladas antes de diciembre y cuando se presentan antes de que el cultivo termine pueden ocasionarle graves perjuicios.

Los suelos en esta zona son fluvisoles eútricos, los cuales son poco desarrollados, constituidos por materiales disgregados que no presentan estructuras en terrones. La textura es típicamente arenosa con 76 a 95% de arena, lo que fa-

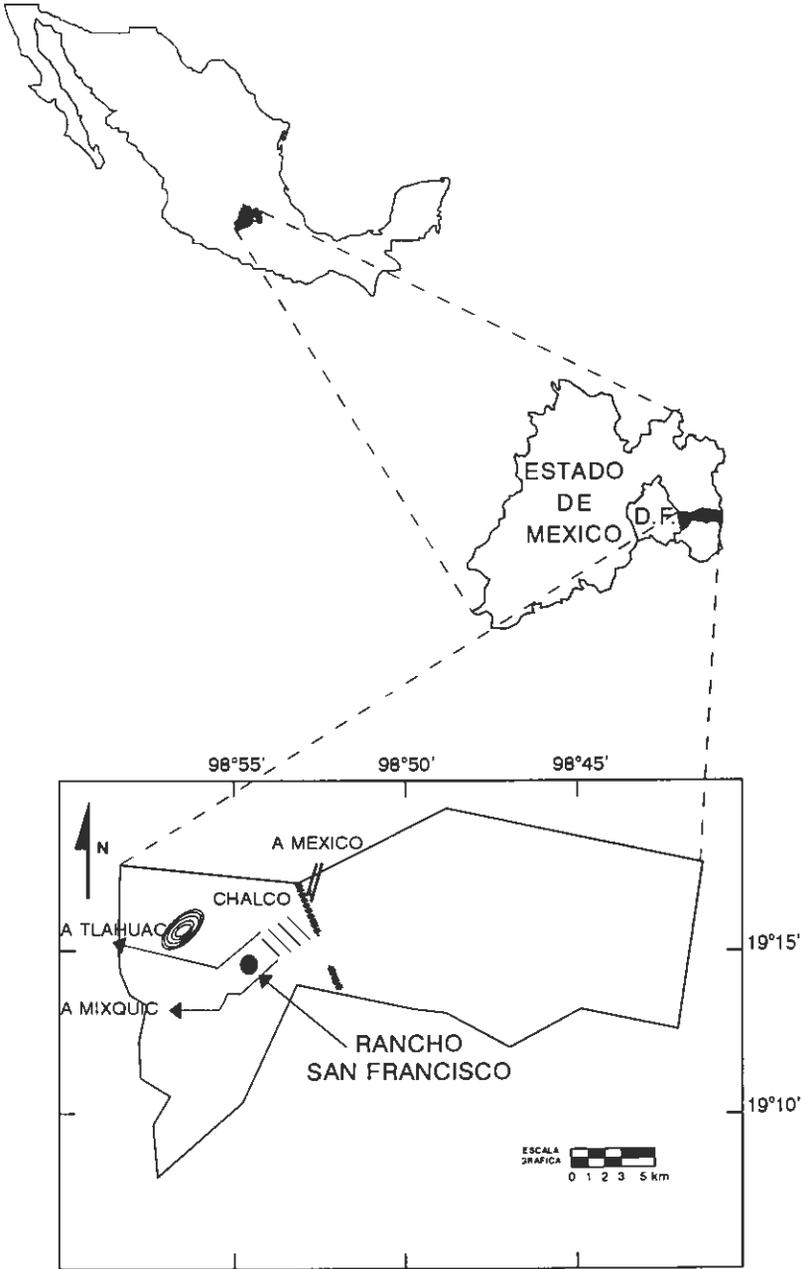


Fig. 1. Localización del Municipio de Chalco, Estado de México, donde se ubica el sitio experimental del presente estudio (Rancho San Francisco).

vorece el drenaje. En promedio el pH es de 7.4 a 8.8, esto es, de ligero a fuertemente alcalino (Reyna y Carmona, 1991).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron semillas en el campo y también se contó con colectas del Banco de Germoplasma de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Se utilizaron cinco colectas de amaranto utilizados para producción de grano (817, 153-5-3, AG 67, 786) correspondientes a la especie *A. hypochondriacus* L. y a las razas Azteca, Mercado, Nepal y Mixteco respectivamente y la 1018 C-3 correspondiente a la especie *A. cruentus* L., raza Mexicano. En el Cuadro 1 se describen la principales características de las cinco razas empleadas en este estudio de acuerdo con Espitia (1994) y Kauffman (1992).

El área total de la parcela experimental fue de 4140.48 m² la cual fue dividida en 32 subparcelas de 80 m² cada una, separadas entre sí por pasillos de 1.12 m (Fig. 3).

En total se sembraron 32 diferentes colectas de amaranto. En este estudio sólo se presentan los resultados de cinco de las productoras de grano.

Las subparcelas designadas para la siembra de las cinco razas de amaranto utilizadas en este estudio fueron seleccionadas al azar, como se muestra en el diseño de la parcela experimental (Fig. 3). La preparación del terreno para la siembra se realizó dos semanas antes con tractor y rastra de discos. Se realizó barbecho y dos rastreos. Cuatro meses antes se fertilizó el terreno con abono orgánico (estiércol de borrego). La siembra se realizó el 15 de mayo de 1990. En el terreno se hicieron pequeños hoyos a una distancia de 80 cm. Se depositaron diez semillas a una profundidad de 2 cm. Se realizaron deshierbes manuales y aclaró a los 30 días después de la germinación dejando una planta en cada hoyo, con el objeto de poder hacer las medidas. De esta manera quedaron 80 plantas por subparcela. Al hacer un aclareo se trasplantaron plantas a lugares de la misma subparcela donde no habían germinado e incluso se volvieron a sembrar algunas colectas. Antes del establecimiento de las lluvias se realizaron varios riegos manuales. A partir del 19 de mayo se llevó a cabo la primera labranza (aporque).

Durante el ciclo de cultivo se llevaron a cabo diez deshierbes y cinco labranzas. Se hicieron varias aplicaciones de insecticida (Foley) ya que en las cinco subparcelas las plantas fueron severamente atacadas por insectos. El 10 de noviembre se presentó una helada muy severa que terminó con el cultivo.

Evaluación del crecimiento de las plantas

Se hizo una evaluación del crecimiento de las plantas tomando como variables la altura, el área foliar, la biomasa total de la planta y la biomasa de raíz, tallo, hoja e inflorescencia. A continuación se describe el procedimiento de medición correspondiente a estas variables.

Cuadro 1. Principales características del material biológico estudiado

Características	<i>A. hypochondriacus</i> Azteca	<i>A. hypochondriacus</i> Mercado	<i>A. hypochondriacus</i> Nepal	<i>A. hypochondriacus</i> Mixteco	<i>A. cruentus</i> Mexicano
Lugar de origen	México: partes altas de Tlaxcala, Puebla, Estado de México y D.F.	México: regiones cálidas de los estados de Morelos y Puebla	Asia: principalmente India y Nepal.	México: estados de Oaxaca y Michoacán.	México: regiones cálidas de los estados de Morelos, Puebla y Guerrero
Altura en la madurez	3.0 m	1.5 a 2.2 m	0.8 a 2.2 m	Alcanza hasta 3 m	1.5 a 2.5 m
Días a maduración	160 a 180	135	80 a 150	180 a 220	80 a 145
Inflorescencia	80 a 150 panículas erectas, cada una con 5 a 13 ramas. Color: verde, rojo y rosa	42 a 75 panículas erectas, cada una con 3 a 9 ramas. Color: verde y rojo.	36 a 56 panículas erectas, cada una con 1 a 4 ramas. Color: verde, rosa y rojo.	100 a 170 panículas erectas, cada una con 5 a 7 ramas. Color: rosa, rojo y verde	32 a 56 panículas colgantes, cada una con 1 a 2 ramas. Color: verde, diferentes tonos de rosa y rojo, jaspeadas y algunas anaranjadas.
Estructura floral	Glómérulo con 30 flores pistiladas; brácteas más grandes que el utrículo	Glómérulo con un promedio de 44 flores pistiladas; brácteas más cortas que el utrículo.	Glómérulo con 47 flores pistiladas; brácteas más grandes que el utrículo.	Glómérulo con 18 flores pistiladas; brácteas más grandes que el utrículo	Glómérulo con 50 flores pistiladas; con brácteas más cortas que el utrículo.
Semilla	Tamaño medio a largo. Color: blanco o pardo oscuro	Tamaño medio a largo. Color: blanco, dorado y pardo	Tamaño mediano a largo. Color: pardo oscuro, algunas de color blanco	Tamaño pequeño a mediano. Color canela o pardo oscuro.	Tamaño medio a largo. Color: la mayoría de blancas y algunas de color pardo.

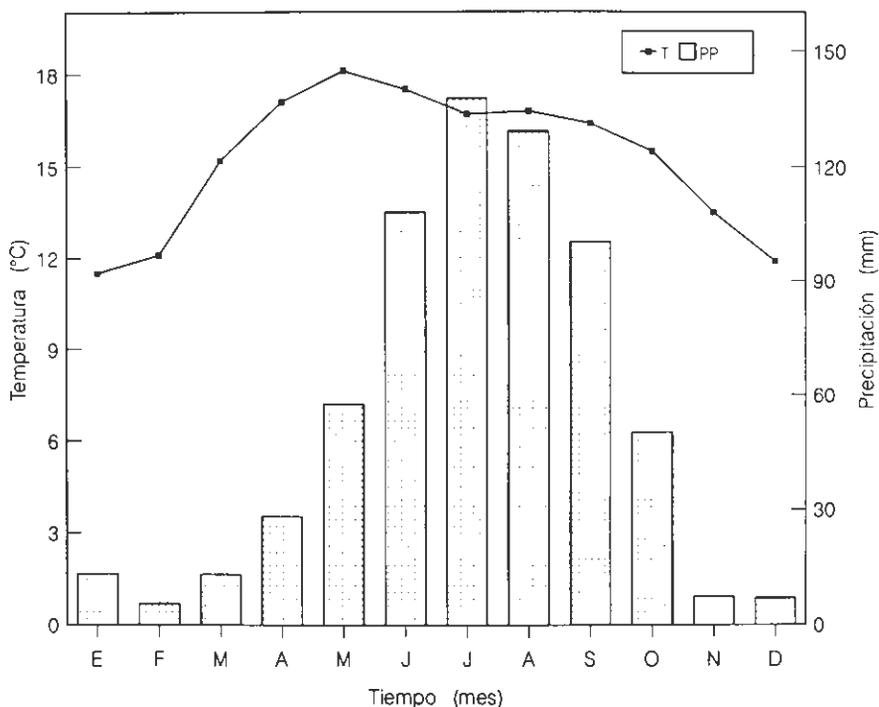


Fig. 2. Climograma obtenido a partir de los datos de temperatura y precipitación de la estación meteorológica de Chalco, Estado de México (con 14 y 20 años de registro respectivamente, anterior a 1990).

Muestras no destructivos. En cada subparcela se seleccionaron al azar 10 plantas. Para ello se hizo un sorteo numerando las plantas de la subparcela, se marcaron y se midió su altura cada 10 días a partir de la emergencia desde la cicatriz del primer par de hojas.

Muestras destructivos. A partir de la siembra de las semillas se hicieron cinco muestreos destructivos o cosechas, a intervalos de 30 días aproximadamente (Cuadro 2), de seis plantas completas (incluyendo raíz) seleccionadas al azar en cada una de las subparcelas. Las plantas fueron llevadas en bolsas de plástico negro al laboratorio (Jardín Botánico, UNAM), donde se separaron en sus diferentes componentes: raíz, tallo, hoja e inflorescencia. Se obtuvieron los siguientes datos: a) Área foliar. Se utilizó el medidor de área foliar Delta TRS 232 C en el Centro de Ecología UNAM para medir las hojas de cada individuo antes de ponerlas a secar; b) Biomasa. Las raíces, tallo, hojas e inflorescencias se secaron en estufa a 60-65 °C durante 64 hrs. La biomasa total de la planta se obtuvo sumando estos valores, y c) Asignación de biomasa. Para conocer la asignación de biomasa de las plantas se consideraron los porcentajes de peso seco de raíz (R), tallo(T), hoja

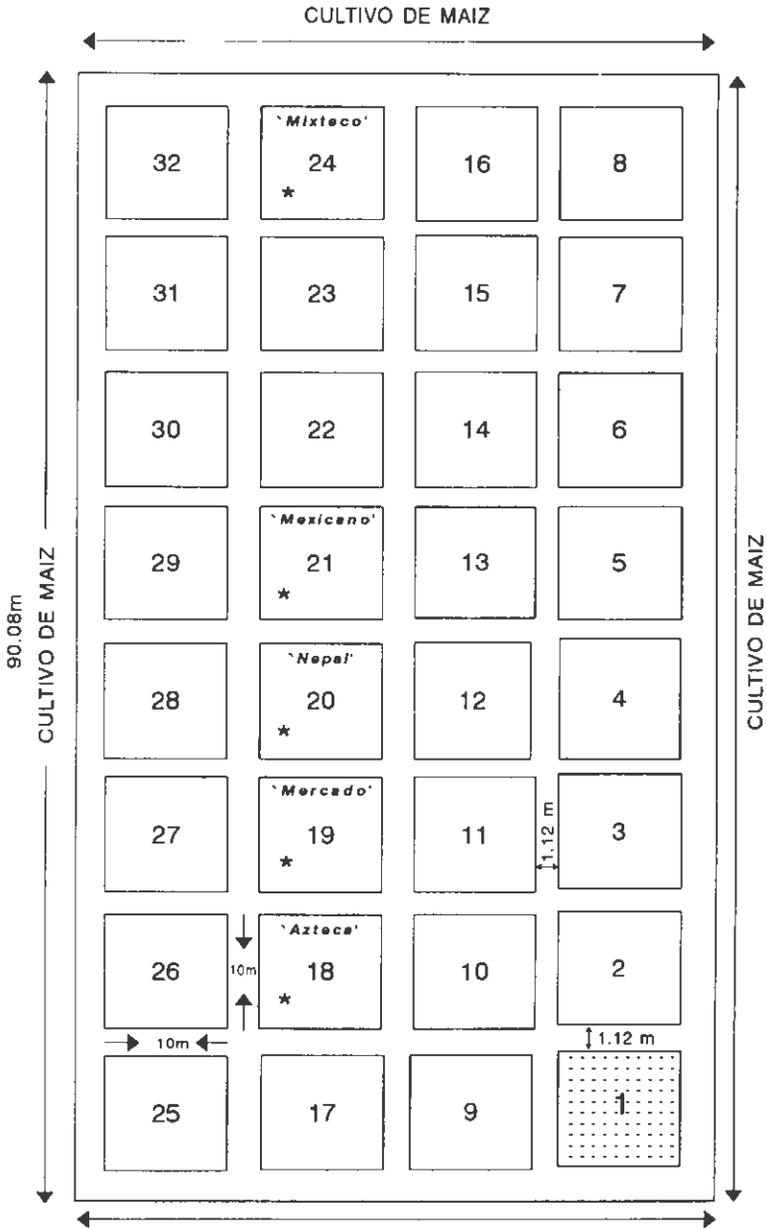


Fig. 3. Ubicación de las subparcelas del cultivo experimental de amaranto: 1-6, productoras de verduras; 17-24, productoras de granos; 25-32, especies arvenses ruderales. Área total: 4140.48 m.

Cuadro 2. Fecha y tiempo correspondientes a cada una de las cosechas realizadas en las subparcelas experimentales de las razas de amaranto estudiadas

Cosecha	Fecha	Tiempo (días)
I	18-Jun-90	21
II	12-Jul-90	45
III	14-Ago-90	78
IV	25-Ago-90	120
V	24-Oct-90	149

(H) e inflorescencia (I). Se obtuvo también el cociente raíz/vástago o R/S (root/shoot).

Tasas de crecimiento. Los parámetros de crecimiento por planta fueron obtenidos a partir del programa en computadora descrito por Hunt y Parsons (1974 y 1981). Adoptando una forma de análisis de crecimiento funcional mediante el cual se obtienen tasas de crecimiento instantáneas en diferentes tiempos (generalmente más de dos cosechas), a partir de funciones matemáticas ajustadas a los valores observados del peso seco y el área foliar.

En general, este programa transforma los datos observados en logaritmos naturales y ajusta curvas de crecimiento a las variables dependientes *Y* y *Z* (materia seca y área foliar) y *X* (tiempo) como variable independiente. Proporciona datos ajustados del $\ln Y$ y Z , y parámetros como la tasa de crecimiento relativo del peso seco (RGR), el cociente de área foliar (LAR) y la tasa de asimilación neta (ULR con su error estándar y 95% de confiabilidad; Díaz-Ortega, 1994), cuyas fórmulas son las siguientes:

$$\text{Tasa de crecimiento relativo del peso (RGR)} = (1/Y) * (dY/dX)$$

$$\text{Cociente de área foliar (LAR)} = Z/Y$$

$$\text{Tasa de asimilación neta (ULR)} = (I/Z) * (dY/dX)$$

Análisis estadístico. Para los valores obtenidos de altura, biomasa parcial y área foliar, se efectuaron análisis de covarianza para evaluar las diferencias entre las cinco razas. Las variables independientes fueron, en todos los casos, las razas (como factor estadístico), y el tiempo (como covariable del factor). Para los valores de altura, biomasa y área foliar se hizo una transformación logarítmica utilizando la función matemática de $y = \text{Log}(x+1)$ mientras que para los datos porcentuales de

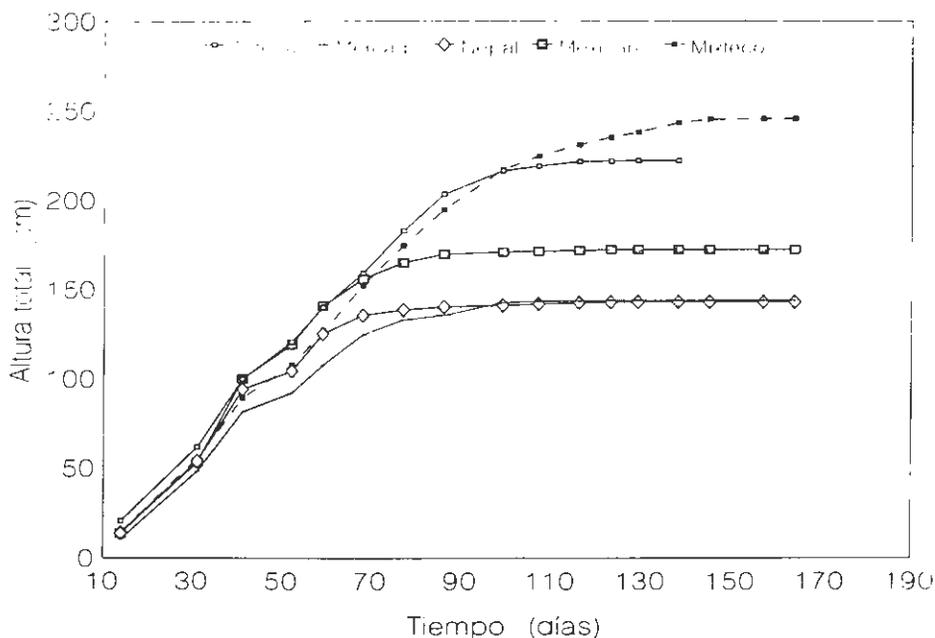


Fig. 4. Crecimiento comparativo en altura total en las cinco razas a lo largo del ciclo de vida de las plantas.

biomasa se utilizó la siguiente fórmula matemática: $y = \arccos(x/100)^{0.5}$, donde y es el valor transformado y x es el porcentaje de biomasa (raíz, tallo, hoja e inflorescencia).

RESULTADOS

Dinámica del crecimiento

Altura. Se presentaron diferencias en la altura total/planta promedio entre razas (Fig. 4) de mayor a menor: Mixteco, Azteca, Mexicano, Mercado y Nepal (245.7 ± 9.1 ; 222.3 ± 11.4 ; 172.6 ± 6.9 ; 144.1 ± 5.6 y 143.2 ± 6.0 cm respectivamente, $\bar{X} \pm 2S\bar{x}$, con $n=10$). El tiempo al que fue alcanzado el valor máximo fue distinto, Mercado, Mexicano y Nepal lo alcanzan a los 123 días mientras que Azteca a los 129 días y Mixteco a los 149 días. Cabe señalar que entre los 14 y 51 días después de la emergencia el crecimiento en altura fue muy rápido. El análisis de covarianza (ANCOVA), para los datos de altura transformados a logaritmos indica que las diferencias son significativas ($p < 0.05$), así como en la covariable tiempo ($p < 0.05$). Cuadro 3.

Área foliar total. Al comparar el área foliar entre las cinco razas (Fig. 5) se observan diferencias en los valores máximos. Mixteco ($1.249 \text{ m}^2 \pm 0.413$; $\bar{X} \pm 2S\bar{x}$),

Cuadro 3. Resultados del ANCOVA para los valores del logaritmo de altura total

F	P	Prueba de Tukey (P<0.05)
A = 13.09	0.0000	<u>Mercado Nepal Mexicano Azteca</u>
B = 822.54	0.0000	_____

A = Razas, B = Tiempo (covariable)

Cuadro 4. Datos de área foliar total (m²) ± error estándar, en las cinco razas de amaranto

Tiempo (días)	Azteca	Mercado	Nepal	Mexicano	Mixteco
21	0.0587 ± 0.0094	0.0193 ± 0.003	0.045 ± 0.011	0.07 ± 0.011	0.05 ± 0.004
45	0.3471 ± 0.0707	0.257 ± 0.041	0.511 ± 0.069	0.26 ± 0.07	0.37 ± 0.10
78	0.4260 ± 0.1412	0.649 ± 0.119	0.74 ± 0.09	0.45 ± 0.05	0.77 ± 0.16
120	0.9120 ± 0.3132	0.405 ± 0.232	0.396 ± 0.0201	0.195 ± 0.11	1.09 ± 0.33
149	0.7104 ± 0.2909	—	0.399 ± 0.138	0.06 ± 0.06	1.24 ± 0.41

Cuadro 5. Resultados del ANCOVA para los valores del logaritmo del área foliar total

F	P	Prueba de Tukey (p<0.05)
A = 4.66	0.0014	<u>Mexicano Mercado Nepal Azteca Mixteco</u>
B = 13.48	0.0003	_____

A= Razas, B= Tiempo (covariable)

Cuadro 6. Datos promedio de peso seco total (g) ± error estándar, en las cinco razas de amaranto

Tiempo (días)	Azteca	Mercado	Nepal	Mexicano	Mixteco
21	6.438 ± 1.448	1.546 ± 0.263	4.20 ± 1.19	6.59 ± 1.55	5.11 ± 0.44
45	51.672 ± 13.73	25.97 ± 3.84	67.55 ± 9.75	49.24 ± 11.87	48.77 ± 14.89
78	224.604 ± 35.55	174.48 ± 33.40	164.60 ± 8.64	177.62 ± 11.27	176.4 ± 22.05
120	616.731 ± 76.66	334.58 ± 75.67	219.0 ± 40.89	219.31 ± 39.15	341.83 ± 52.83
149	803.59 ± 49.96	312.38 ± 58.05	530.60 ± 76.1	311.21 ± 108.45	530.60 ± 76.1

Cuadro 7. Resultado del ANCOVA para los valores de logaritmo del peso seco total

F	P	Prueba de Tukey ($p < 0.05$)
A = 3.19	0.0000	<u>Mercado Mexicano Mixteco Nepal Azteca</u>
B = 501.43	0.0000	

A = Razas, B = Tiempo (covariable)

Cuadro 8. Porcentaje de peso seco durante la etapa vegetativa en las cinco razas de amaranto

	Azteca	Mercado	Nepal	Mexicano	Mixteco
Raíz	12-21	15-17	9-15	14-15	7-14
Tallo	28-41	22-40	20-37	24-39	24-40
Hojas	50-37	62-41	70-46	61-44	68-44

Azteca ($0.912 \text{ m}^2 \pm 0.313$), Nepal ($0.742 \text{ m}^2 \pm 0.094$), Mercado ($0.649 \text{ m}^2 \pm 0.119$) y Mexicano ($0.452 \text{ m}^2 \pm 0.053$). El tiempo al que alcanzaron el valor máximo fue distinto: Nepal, Mercado y Mexicano a los 78 días, mientras que Azteca a los 120 días y Mixteco a los 149 días. En el Cuadro 4 se presentan los datos promedio de área foliar por planta \pm error estándar. 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 ($p < 0.05$) (Cuadro 5).

Incremento en peso seco total. La tendencia en el incremento o en peso seco total (g), es similar en las razas Mercado y Mixteco (Fig. 6). Después de alcanzar un valor máximo a los 120 días (334.6 ± 75.6 y 341.8 ± 52.8 ; $\bar{X} \pm 2S\bar{X}$, respectivamente con $n=6$) existe una disminución al final, mientras que en Azteca, Nepal y Mexicano alcanzan el valor máximo a los 149 días (803.6 ± 49.9 ; 530.6 ± 76.0 y 311.2 ± 108.4 g; $\bar{X} \pm 2S\bar{X}$ respectivamente con $n=6$) y no hay un decremento. En el Cuadro 6 se presentan los datos promedio de materia seca por planta \pm error estándar. El ANCOVA para los datos de peso seco transformados a logaritmos indica que las diferencias son significativas ($p < 0.05$), así como en la covariable tiempo ($p < 0.05$) (Cuadro 7).

Asignación de recursos

Biomasa. La etapa vegetativa comprende el periodo de las cosechas I a II. En el Cuadro 8 se observa que la asignación de biomasa en todas las razas, presenta mayor porcentaje de peso seco en hojas y tallo, y menor en raíz.

La etapa reproductiva en todas las razas comprende el periodo de la cosecha III a la V (Fig. 7). En Azteca se observa una mayor producción de biomasa a

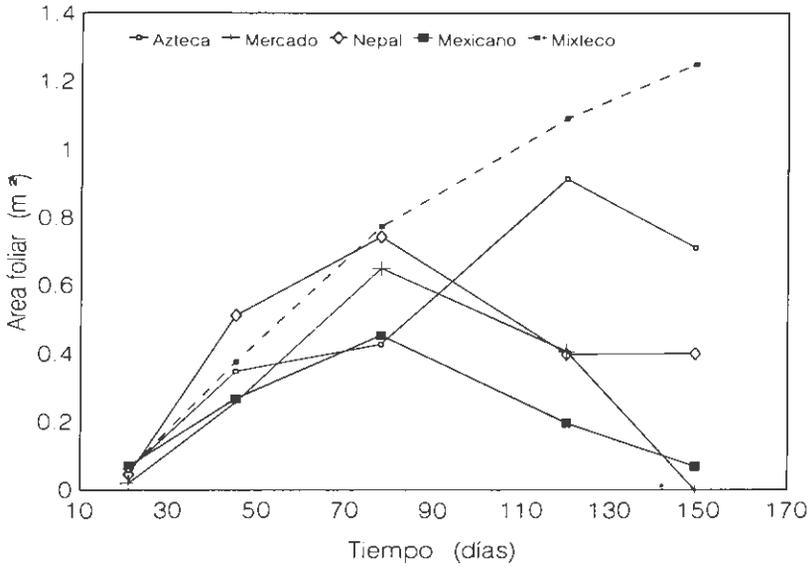


Fig. 5. Incremento comparativo en área foliar en las cinco razas de amaranto a lo largo del ciclo de vida de la planta.

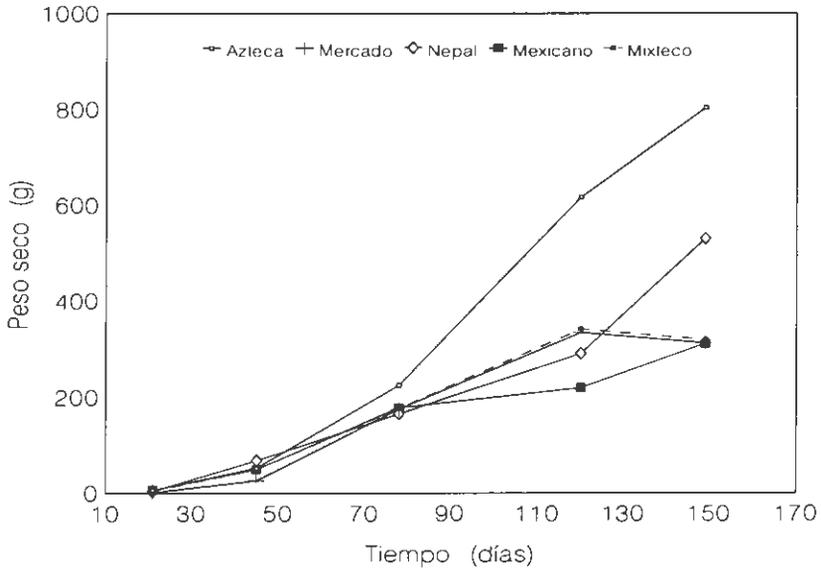


Fig. 6. Incremento comparativo en biomasa (gramos de peso seco total) en las cinco razas de amaranto a lo largo del ciclo de vida de las plantas.

Cuadro 9. Resultados del ANCOVA para los valores porcentuales de raíz, tallo, hojas e inflorescencia, de las cinco razas de amaranto estudiadas

F	P	Prueba de Tukey (P<0.05)
		% Raíz
A = 2.58	0.0400	<u>Azteca Mexicano Mercado Mixteco Nepal</u>
B = 41.46	0.0000	
		% Tallo
A = 9.39	0.0000	<u>Mixteco Azteca Mercado Mexicano Nepal</u>
B = 5.09	0.0254	
		% Hojas
A = 8.94	0.0000	<u>Mixteco Nepal Azteca Mexicano Mercado</u>
B = 821.12	0.0000	
		% Inflorescencia
A = 27.62	0.0000	<u>Nepal Mexicano Mercado Azteca Mixteco</u>
B = 1345.49	0.0000	

A= Razas, B= Tiempo (covariable)

estructuras de reproducción (6-42 %) y una disminución en tallo (47-34 %), hoja (28-15 %) y raíz (18-7 %). También se presentaron datos similares en Mercado donde la inflorescencia y el tallo presentan la mayor asignación de peso seco (13-51 %) y (47-37 %) mientras que hoja (24-4 %) y raíz (15-7.3 %) disminuyen al final. Cabe señalar que esta raza se caracteriza porque al final de su ciclo de vida tira casi todas las hojas. Nepal comienza a producir inflorescencias (2 %) desde la segunda cosecha llegando a alcanzar hasta 58 % en la quinta cosecha, mientras que la hoja (46-11 %), el tallo (36-23 %) y la raíz (14-6 %) disminuyen al final. En Mexicano se observa también una mayor asignación de biomasa a inflorescencia (3-23 %) y una disminución en hoja (44-12 %), tallo (39-28 %) y raíz (15-8 %). Por último en Mixteco se observa una mayor asignación de biomasa a inflorescencia (3-23 %) y una disminución en tallo (59-43 %), hoja (32-22 %) y raíz (14-10 %). En esta última raza la producción de inflorescencia es muy baja y la asignación a hoja durante el ciclo de vida desciende en forma más gradual.

En el Cuadro 9 se presentan los resultados del ANCOVA para los valores porcentuales de las estructuras vegetativas y reproductivas de las plantas. Estos resultados indican que las diferencias en los porcentajes de biomasa son significativos entre razas. Estos resultados indican que las diferencias en los porcentajes de biomasa son significativas entre razas; en raíz, tallo, hoja e inflorescencia ($p < 0.05$) así como en la covariable tiempo ($p < 0.05$).

Cociente raíz/vástago. En el Cuadro 10 se observan los cambios en el cociente raíz/vástago. En los primeros 45 días se presentan los valores más altos de este parámetro, lo que indica que el crecimiento de la parte aérea de la planta en re-

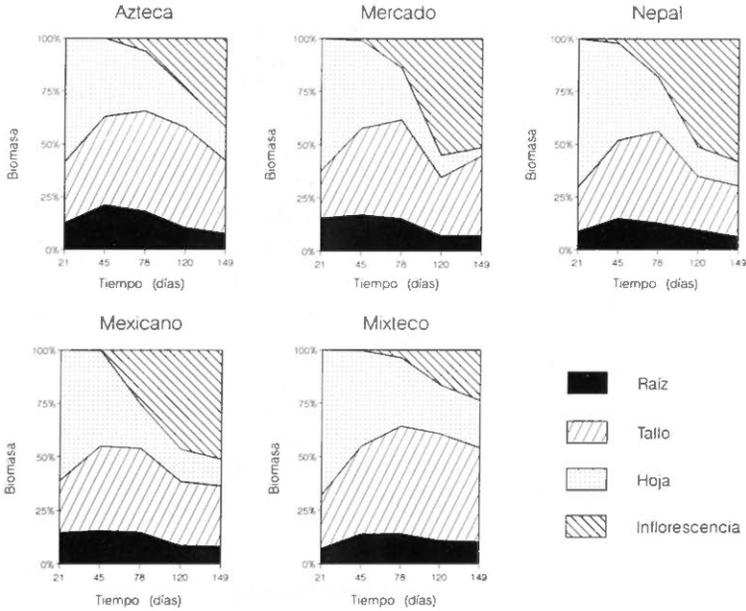


Fig. 7. Cambios del porcentaje de asignación de biomasa en las cinco razas de amaranto a lo largo del ciclo de vida de las plantas.

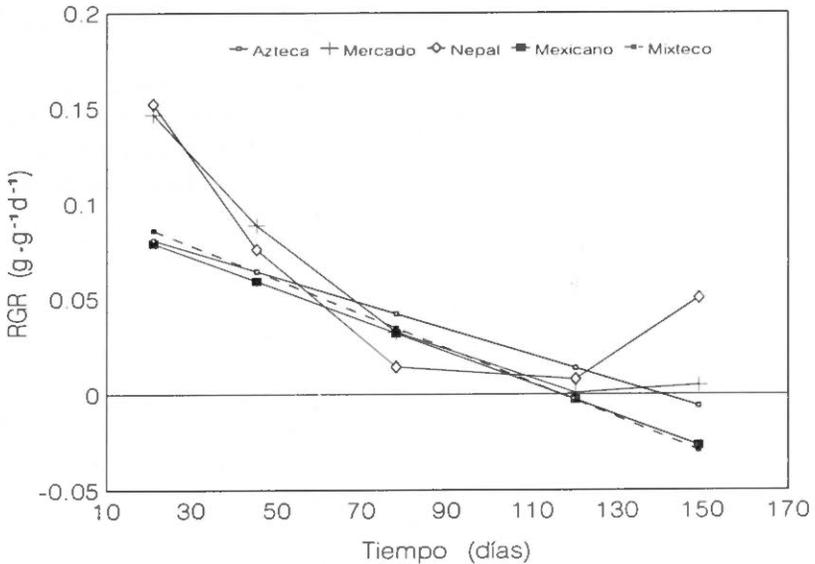


Fig. 8. Comparación de la tasa de crecimiento relativo (RGR) en las cinco razas de amaranto.

Cuadro 10. Datos promedio del cociente raíz/vástago (root/shoot) \pm error estándar, en las cinco razas de amaranto

Tiempo (días)	Azteca	Mercado	Nepal	Mexicano	Mixteco
21	0.1456 \pm 0.0092	0.1986 \pm 0.0578	0.0968 \pm 0.0061	0.1738 \pm 0.0113	0.0773 \pm 0.0056
45	0.2694 \pm 0.0176	0.2059 \pm 0.0129	0.1767 \pm 0.0163	0.1845 \pm 0.0126	0.1701 \pm 0.0379
78	0.2243 \pm 0.0149	0.1839 \pm 0.0186	0.1478 \pm 0.0098	0.1746 \pm 0.0122	0.1646 \pm 0.0063
120	0.1192 \pm 0.0146	0.079 \pm 0.0072	0.1073 \pm 0.017	0.0963 \pm 0.0171	0.1252 \pm 0.0231
149	0.0841 \pm 0.0080	0.0802 \pm 0.0116	0.0678 \pm 0.0069	0.0918 \pm 0.0184	0.1156 \pm 0.0168

lación a la subterránea es menor. Azteca es la raza que presenta el valor más alto en este cociente. Posteriormente este parámetro tiende a decrecer y este hecho coincide con el inicio de la etapa reproductiva.

Análisis del crecimiento

Tasa de crecimiento relativo en peso seco (RGR). La tasa de crecimiento relativo en peso seco (RGR) por individuo (Fig. 8) presenta una tendencia similar al comparar las cinco razas. El valor más alto de este parámetro corresponde a la etapa inicial del crecimiento de la planta y disminuye con el tiempo hasta llegar en algunos casos a valores negativos al final del experimento.

Durante la etapa vegetativa se observa la RGR más alta en cada raza (21 días), presentándose en orden decreciente: Nepal (0.152 \pm 0.016; $\bar{X} \pm 2S\bar{X}$), Mercado (0.147 \pm 0.017), Mixteco (0.086 \pm 0.009) Azteca (0.081 \pm 0.008) y Mexicano (0.079 \pm 0.009) g.g⁻¹d⁻¹. A partir de los 78 días, que comienza la etapa reproductiva, disminuye este parámetro, hasta llegar incluso a valores negativos en Azteca, Mexicano y Mixteco. Después de una RGR baja en Nepal hay un ligero incremento al final del ciclo de vida.

Cociente de área foliar (LAR). El cociente de área foliar (LAR) tiene un comportamiento similar en las cinco razas durante el ciclo de vida (Fig. 9). El valor más alto se presenta en la etapa vegetativa a los 21 días, presentándose en orden decreciente: Mixteco (0.316 \pm 0.021; $\bar{X} \pm 2S\bar{X}$ con n=6), Mexicano (0.014 \pm 0.021), Mercado (0.013 \pm 0.015), Nepal (0.010 \pm 0.009) y Azteca (0.003 \pm 0.002) m².g⁻¹. Después de este valor el cociente de área foliar disminuye rápidamente (45 días), manteniéndose constante durante la etapa reproductiva (78 días) y descendiendo lentamente a cero al final del ciclo de vida, con excepción de Mixteco.

Tasa de asimilación neta (ULR). En la figura 10 se observa la tendencia de la tasa de asimilación neta (ULR) por planta en las cinco razas. Mexicano y Mixteco alcanzan el máximo valor a los 78 días (56.8, 34.3 g.m⁻² d⁻¹ respectivamente). Posterior a

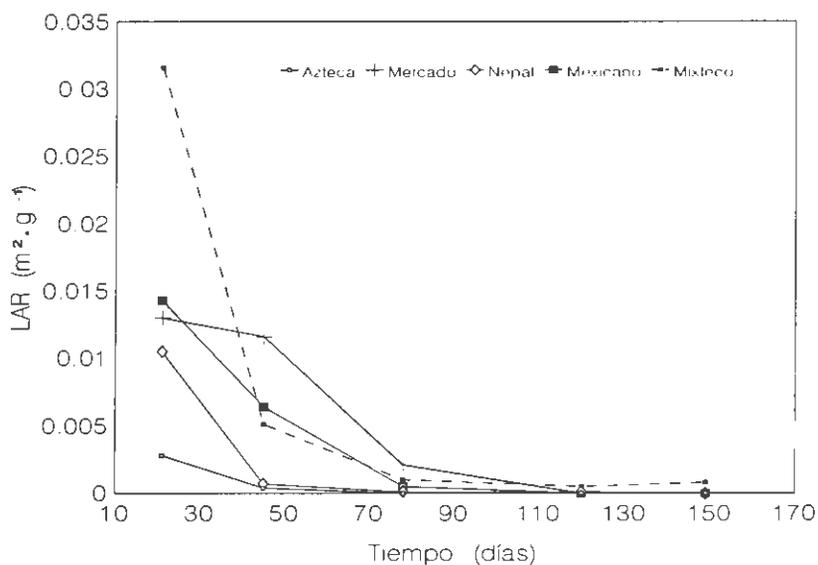


Fig. 9. Comparación del crecimiento de área foliar (LAR) en las razas de amaranto.

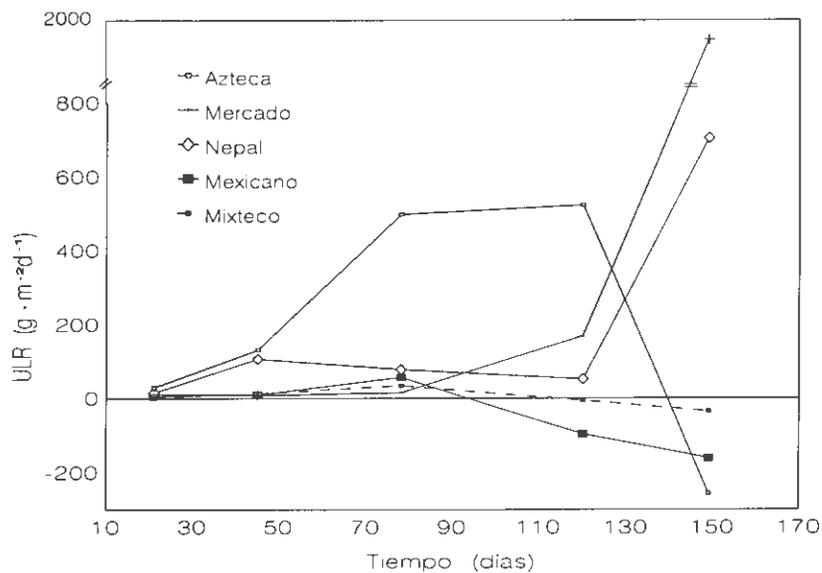


Fig. 10. Comparación de la tasa de asimilación neta (ULR) en las cinco razas de amaranto.

la ULR máxima, durante el resto de la etapa reproductiva, se presentan valores negativos. Mercado y Nepal presentan el valor máximo al final del ciclo de vida (1836.2 y 703.9 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) y finalmente Azteca presenta el valor máximo a los 120 días (522.9 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$).

DISCUSIÓN

Existen diferencias del crecimiento de altura/planta entre las diferentes razas. En términos generales los datos obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los rangos obtenidos por Espitia (1994) bajo las condiciones de Chapingo, México y los obtenidos por Kauffman (1992), en los campos de cultivo del Rodale Research Center en Estados Unidos, localizado a 40° latitud N. Es importante señalar que a bajas densidades de siembra, como en este caso, en condiciones óptimas de humedad y nutrientes, las plantas de amaranto son más vigorosas, presentan mayor altura y gran número de ramas laterales.

Mercado, Nepal y Mexicano llegan a alcanzar a madurar bajo las condiciones climáticas de Chalco mientras que Azteca y Mixteco no lo logran ya que son razas que presentan un ciclo de vida largo (160-180 días y 180-220 días, respectivamente). Debido a la falta de producción de semilla en todas las razas, no se pudo medir el rendimiento tomándose en cuenta únicamente la estructura reproductiva completa.

Mixteco alcanza el máximo valor de área foliar (1.24 m^2) a los 149 días, sin embargo sólo produce 341.83 g de biomasa total mientras que Azteca alcanza el máximo de área foliar (0.91 m^2) a los 120 días llegando a producir 803.59 g de biomasa total. Mercado, Nepal y Mexicano obtienen el máximo de área foliar a los 78 días, siendo Nepal la raza que presenta el valor más alto (0.74 m^2) entre ellas tres obteniendo al mismo tiempo un valor alto de biomasa total (530.60 g).

En relación al patrón de crecimiento de materia seca/planta de Mercado y Mixteco, estas dos razas llegan a alcanzar un valor máximo de producción de materia seca que luego desciende al final del ciclo biológico. Azteca, Nepal y Mexicano presentan el valor máximo de materia seca/planta en la última cosecha; este dato pudiera indicar que la helada que se presentó en Chalco no permitió que las plantas terminaran su ciclo biológico.

Durante la etapa vegetativa, en las cinco razas el patrón de asignación de biomasa a tallo y hoja puede estar relacionado con el crecimiento absoluto de estos órganos en la fase exponencial del crecimiento de las plantas, lo que se explica por la función que realiza el tallo, principalmente como órgano de soporte y de conducción, mientras que la hoja o fuente sintetiza los fotosintatos necesarios para la actividad metabólica de estructuras de demanda y en general del individuo. Con excepción de la raza Mixteco en la etapa reproductiva, la asignación a estructuras reproductivas es 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 de biomasa se encuentra relacionado con la formación de utilización de estas cuatro razas para la producción de semilla (Díaz-Ortega, 1994).

Mixteco presenta un mínimo esfuerzo reproductivo y mayor asignación a tollo y hoja. Sin embargo, si se hubiera completado el ciclo probablemente hubiera alcanzado un valor similar de asignación a las estructuras reproductivas ya que esta raza presenta un ciclo biológico más largo. Otra posible explicación de la obtención de este patrón de asignación de biomasa puede estar relacionado con que ha habido una selección artificial hacia el crecimiento vegetativo y se ha minimizado la asignación a estructuras reproductivas, por su forma potencial de utilización como verdura.

Otra forma de estudiar los patrones de asignación de los recursos es por medio del cociente raíz/vástago (R/S). Durante los primeros 45 días (Cuadro 5), el cociente R/S en las razas estudiadas indica mayor asignación subterránea y menor asignación de biomasa aérea de las plantas. A partir de los 78 días desciende el valor del cociente foliar. Este cociente es sensible a las condiciones de déficit de agua y/o nutrientes (Díaz-Ortega, 1994). En este experimento las condiciones de humedad fueron óptimas, ya que durante la fase experimental (antes del establecimiento de las lluvias) se hicieron riegos manuales. Por otra parte, la respuesta del cociente R/S es el resultado entre luz y nutrientes, no obstante en este estudio, no se evaluó la respuesta a estos factores. Los cambios en el cociente R/S pueden estar relacionados con los mecanismos de asignación de recursos durante el ciclo biológico de las plantas.

En cuanto al comportamiento de la tasa relativa de crecimiento en peso seco (RGR) se presentan dos grupos: Mercado y Nepal presentan valores más altos al inicio del ciclo biológico mientras que Azteca, Mexicano y Mixteco presentan valores muy similares entre sí, siendo en los tres casos menores que los anteriores. Sin embargo, los valores máximos obtenidos están por abajo de los señalados para *A. hypochondriacus* ($RGR = 0.354 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) por Díaz-Ortega *et al.* (1990).

El significado biológico de los valores de la RGR al inicio de la etapa vegetativa, se explican porque existe mayor eficiencia en la producción de la biomasa total por gramo de materia seca/planta, la cual tiende a decrecer al final del ciclo de vida. Los valores también indican que las condiciones ambientales de Chalco fueron favorables para el crecimiento de estas razas procedentes de diferentes regiones.

Por otra parte el comportamiento del LAR es similar en las cinco razas, es decir en la etapa vegetativa se presenta el valor máximo de este parámetro y decrecen al final del experimento. esta tendencia es comparable con los datos obtenidos por Díaz-Ortega *et al.* (1990) en *A. hypochondriacus*. La edad del cultivo es un factor muy importante que determina la variación del LAR el cual esta relacionado con sus dos componentes (área foliar específica y la relación de peso foliar).

Las diferencias iniciales en el LAR de las razas estudiadas, probablemente corresponden a diferencias morfológicas de las plantas determinadas genéticamente. El

significado biológico del LAR puede explicarse porque la proporción de área foliar en relación a la biomasa de la planta es alta, la cual tiende a disminuir al aumentar la biomasa del tejido no fotosintético, así como la disminución de hojas a los 45 días.

Por otra parte, la ULR muestra dos comportamientos diferentes al compararlo entre poblaciones; en el primero se alcanza un valor máximo en las razas Azteca, Mexicano y Mixteco entre los 45 y 78 días de crecimiento y posteriormente decrece hasta valores negativos. El incremento inicial en la ULR se explica por la alta actividad asimilatoria de hojas jóvenes debido a la demanda de fotosintatos por los tejidos en crecimiento y baja actividad respiratoria de las diferentes partes de la planta. La disminución de la ULR con la edad de las plantas ha sido explicada en parte porque la proporción del tejido respiratorio es mayor al tejido fotosintético y porque disminuye la capacidad fotosintética por unidad de área relacionada con la longevidad foliar (Díaz-Ortega, 1994).

En el segundo comportamiento la ULR máximo se presenta en la etapa tardía del ciclo biológico (149 días) y no hay decremento en las poblaciones de Mercado y Nepal al final del experimento (Fig. 10). Este hecho tiene que ver principalmente con el control que ejercen algunos tejidos, en este caso las semillas, al demandar productos para su desarrollo y crecimiento. Es importante mencionar que este valor máximo de la ULR coincide con un ligero aumento de la RGR en las poblaciones de Mercado y Nepal en la etapa final del ciclo biológico de las plantas (Fig. 8).

Por otra parte existen evidencias de que en el área comprendida entre Chalco en el este y Xochimilco en el oeste, la zona chinampera estuvo dedicada exclusivamente durante algún tiempo a *Amaranthus* (González Quintero, 1981). En la actualidad, el cultivo de amaranto en la región se encuentra en franca desaparición. Uno de los factores limitantes para el establecimiento del cultivo en Chalco es la aparición de heladas tempranas, por lo que es necesario la utilización de plantas de ciclo corto y que al mismo tiempo presenten un alto rendimiento.

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. A la Biól. Mariana Hernández Apolinar del Laboratorio Especializado de Ecología, la M en C. Silvia Castillo del Laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias UNAM y el M. en C. Salvador Sánchez Colón de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN quienes asesoraron la parte estadística del trabajo. A los dos árbitros anónimos y al Dr. Fernando Chiang del Instituto de Biología UNAM por sus críticas que mejoraron sustancialmente este trabajo. Al Biól. Jorge Saldívar del Jardín Botánico por su apoyo técnico en cómputo, la edición final del texto, el mapa y el diseño de la parcela experimental por computadora.

LITERATURA CITADA

- DÍAZ-ORTEGA, A., S. IRIARTE y A. CASTELLANOS. 1990. Comparación del patrón de crecimiento de especies silvestres y cultivadas de frijol y amaranto en condiciones de invernadero. *Memorias del XI Congreso Mexicano de Botánica, Oaxtepec, Morelos*. Sociedad Botánica de México, México.
- DÍAZ-ORTEGA, A. 1994. *Análisis de crecimiento comparativo en tres poblaciones de Amaranthus hypochondriacus en el Municipio de Chalco, Edo. de México*. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 141 p.
- ESPITIA, R.E. 1992. Amaranth germplasm development and agronomic studies in Mexico. *Food Reviews International* 8(1): 71-86
- ESPITIA, R. E. 1994. Breeding of grain amaranth *In: O. Paredes-López (ed). Amaranth biology, chemistry and technology*. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 23-38.
- GARCÍA, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 4a ed. Instituto de Geografía, UNAM, México. 217 pp.
- GONZÁLEZ QUINTERO, L. 1981. Análisis polínicos de la porción austral de la cuenca de México. II. Tlaltengo. *Cuicuilco* 1(4) 12-16.
- HUNT, R. y I.I. PARSONS. 1974. A computer program from deriving growth functions in plant growth analysis. *J. Appl. Ecol.* 4: 553-560.
- HUNT, R. y I.I. PARSONS. 1981. *Plant growth analysis. Users' instructions from the stepwise and spline programs*. Natural Environment Research Council Unit of Comparative Plant Ecology, University of Sheffield. pp. 1-48.
- KAUFFMAN, C. 1992. The status of grain amaranth for the 1990's. *Food Reviews International* 8(1): 160-165.
- REYNA T., T. 1989. Aspectos climáticos en la cuenca del valle de México. *In: R. Gío, Y. Hernández y E. Saínez (eds.) Ecología urbana*. Vol. especial. Sociedad Mexicana de Historia Natural, México. pp. 25-39.
- REYNA T., T. y E. CARMONA, 1991. Características edafológicas y el cultivo de 32 tipos de *Amaranthus* en Chalco, Estado de México. *Memorias del Primer Congreso Internacional de Amarantho, Oaxtepec, Morelos*. INIFAP, México. p. 34.
- WILLIAMS, J.T. y D. BRENNER. 1995. Grains amaranth (*Amaranthus* species) *In: J.T. Williams (ed.) Cereals and pseudocereals*. Chapman and Hall, London, pp. 129-186.