

54
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

"ESTUDIO COMPARATIVO DE 4 POBLACIONES DE
AMARANTO (Amaranthus spp.) UTILIZADAS COMO
GRANO Y VERDURA EN MEXICO."



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A
MARTHA GALLEGOS REZA

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. CRISTINA MAPES SANCHEZ

000 206993



MEXICO, D. F.,



1994

FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

CIUDAD UNIVERSITARIA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
División de Estudios
Profesionales
Exp. Núm. 55

M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Universidad Nacional Autónoma de México.
P r e s e n t e .

Por medio de la presente, nos permitimos informar a Usted, que habiendo
revisado el trabajo de tesis que realizo la pasante _____
Gallegos Reza Martha

con número de cuenta 7635033-3 con el título: _____
"Estudio comparativo de 4 poblaciones de amaranto (Amaranthus spp.)
utilizadas como grano y verdura en México".

Consideramos que reúne___ los méritos necesarios para que pueda conti-
nuar el trámite de su Examen Profesional para obtener el título de -
Biologa .

GRADO NOMBRE Y APELLIDOS COMPLETOS

FIRMA

M. en C. Cristina Mapes Sánchez
Director de Tesis

M. en C. Eduardo Espitia Rangel

M. en C. Salvador Sánchez Colon

Dra. Margarita Collazo Ortega
Suplente

M. en C. Javier Caballero Nieto
Suplente

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue estimulada, apoyada y financiada por el Programa Universitario de Alimentos (PUAL) y el Jardín Botánico de la UNAM.

Se agradece todo el apoyo recibido para la realización de este trabajo por parte del entonces Director del PUAL, El Ing. Carlos Castañeda Estrada y del Director del Jardín Botánico, el Dr. Robert Bye Boetler. En forma muy especial a la Ing. Cristela Arámbula Villegas, de la entonces Subcoordinación de Apoyo a Investigaciones Interdisciplinarias del PUAL, por su entusiasmo, apoyo logístico e interés para el desarrollo de esta investigación.

A. Cristina Mapes directora de este trabajo por su apoyo y sus sugerencias.

Agradezco a los miembros de mi comité: Dr. Javier Caballero Nieto, Dra. Margarita Collazo Ortega, M. en C. Eduardo Espitia Rangel, M. en C. Cristina Mapes Sánchez, y M. en C. Salvador Sánchez Colón, así como también al Dr. Robert Bye por la cuidadosa revisión de mi trabajo y por sus acertados comentarios y observaciones que mejoraron mucho esta tesis.

De manera muy especial quiero mencionar a Salvador Sánchez , a Javier Caballero, Alejandro Casas y a Patricia Colunga por toda su asesoría estadística.

Un muy especial reconocimiento a la Pas. de Biol. Araceli Carolina Díaz Ortega. Sin su ayuda hubiera sido imposible analizar los datos obtenidos en este trabajo. Gracias a su conocimiento en el uso de varios paquetes estadísticos fue posible concluir este trabajo.

Siempre compartió de manera desinteresada su enorme experiencia.

El Dr. Benjamín Suárez, Director del Rancho San Francisco en Chalco y perteneciente a la Facultad de Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, con gran entusiasmo y la mejor disposición me permitió utilizar el terreno, en donde se llevó a cabo la fase experimental.

El Dr. Daniel Piñero, Director del Centro de Ecología de la UNAM, que facilitó los aparatos que se emplearon en dicho estudio.

A la Biol. Myrna Mendoza, a la Biol. Laura Cortés y al Biol. Jorge Saldivar por su apoyo recibido en computación.

El Lic. Bibl. Raymundo Alcántara, encargado de la Biblioteca del Jardín Botánico quién facilitó el uso de la literatura consultada, así como también a Luz Ma. Rangel.

La Biol. Carmen Loyola Blanco realizó el trabajo de fotografía de esta investigación, el cual fue presentado en diferentes foros.

Un enorme agradecimiento a los agricultores de la región de Chalco y de Amecameca: Don Tomás Palma y Don Federico Valdepeña. Sin su trabajo, no hubiera sido posible el establecimiento de las parcelas experimentales.

DEDICATORIA

A mi madre:
que me dio todo su apoyo y entusiasmo

A mis hermanos

A mis sobrinos

INDICE

RESUMEN	i
I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	4
a) Descripción del Género <i>Amaranthus</i>	4
1. Origen y Distribución	4
2. Taxonomía y Características Botánicas	8
3. Domesticación y Evolución del Género	18
4. Citología	21
5. Fisiología	22
b) Crecimiento	25
c) Estado Cultural de las Poblaciones de Amaranto Utilizadas en este Estudio	27
III. MATERIALES Y METODOS	29
IV. RESULTADOS	44
V. DISCUSION	64
VI. CONCLUSIONES	70
VII. BIBLIOGRAFIA	72
VIII. ANEXOS	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mapa de localización del sitio de estudio.

Figura 2.- Climograma de Chalco, Edo. de México.

Figura 3.- Diseño de las subparcelas de amaranto establecidas en Chalco, Edo. de México.

Figura 4.- Crecimiento en altura (cm) en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

Figura 5.- Área foliar (m^2) en las cuatro poblaciones de *Amaranthus* los puntos son el \bar{X} y las barras el $2S\bar{x}$.

Figura 6.- Peso seco total (g) en las cuatro poblaciones de *Amaranthus* los puntos son el \bar{X} y las barras el $2S\bar{x}$.

Figura 7.- Asignación de recursos (porcentaje de biomasa) en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

Figura 8.- Tasa de Crecimiento Absoluto en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

Figura 9.- Tasa de Crecimiento Relativo en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

Figura 10.- Cociente de área foliar en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

Figura 11.- Tasa de Asimilación Neta en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

Figura 12.- Fenograma de 15 caracteres evaluados en 18 individuos de *Amaranthus*.

Figura 13.- Proyección de 18 individuos de *Amaranthus* en un espacio bidimensional de caracteres.

INDICE DE TABLAS DEL ANEXO

Tabla 1.- Análisis de varianza para altura en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

Tabla 2.- Análisis de varianza para área foliar en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

Tabla 3.- Análisis de varianza para biomasa total en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

Tabla 4.- Análisis de varianza para porcentaje de hojas en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

Tabla 5.- Análisis de varianza para porcentaje de inflorescencia en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

Tabla 6.- Matriz Básica de Datos.

Tabla 7.- Nombre de los caracteres evaluados en la matriz de 15 caracteres x 18 OTU's.

Tabla 8.- Variación explicada por los dos primeros componentes principales y los caracteres con mayor peso en cada uno de ellos. Dentro del paréntesis se anota el número correspondiente del caracter en la matriz de datos.

RESUMEN

El amaranto constituye un ejemplo de recurso genético de alto valor potencial, especialmente en México donde se ubica como uno de los centros de origen y diversidad de sus especies, particularmente para *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus*.

En México además de las formas cultivadas de amaranto usadas como grano se encuentran formas ruderales, arvenses y toleradas. Estas tres últimas formas son generalmente usadas como verdura.

En el presente estudio, se sembraron en Chalco, Estado de México bajo condiciones homogéneas de cultivo cuatro poblaciones: *A. hypochondriacus* 'Mercado', *A. hypochondriacus* 'Azteca', *A. hypochondriacus* 'Mixteco' y *A. retroflexus*. Se realizaron algunas medidas biológicas en las distintas poblaciones, con el objeto de conocer los distintos patrones de variación del crecimiento y del desarrollo. Una vez obtenidos los resultados, se procedió a realizar un análisis de agrupación o de conglomerados y de métodos de ordenación (componentes principales) con el objeto de conocer la variación morfofisiológica de tres de las poblaciones estudiadas.

Los resultados obtenidos en este trabajo, en cuanto al análisis de crecimiento y asignación de recursos, se encuentran totalmente relacionados con las formas de utilización de cada una de las especies.

La población perteneciente a 'Mercado' es cultivada y fue seleccionada para la producción de grano y en este estudio alcanzó una altura promedio de 1.50 m presentando un ciclo de vida de 152

días. Alcanzó 0.576 m² de área foliar a los 96 días y un peso total de 539.156 g. De esta biomasa total, asignó 353.96 g a la producción de estructuras reproductivas, siendo el 65% al final del ciclo de vida.

La población de 'Azteca' fue la de mayor rendimiento biológico de las examinadas. Las plantas llegaron a alcanzar una altura promedio de 2.79 m, un ciclo de vida muy largo, que bajo las condiciones climáticas de Chalco no llegaron a terminar. Presentó datos altos de área foliar (2.097 m² a los 180 días) produciendo 905.45 g de biomasa total. Al final de su ciclo de vida solo destinó el 35% a las estructuras reproductivas. Esto muestra que la población se encontraba mezclada con 'Mixteco'.

'Mixteco' es una población fomentada que se usa a manera de verdura en la Sierra Norte de Puebla, en este estudio alcanzó una altura de 2.21 m, y no terminó su ciclo bajo las condiciones climáticas de Chalco. Presentó una área foliar máxima de 1.911 m² a los 152 días y llegó a producir 779.06 g. Al final asignó sólo el 31 % a las estructuras reproductivas.

Finalmente, la especie *A. retroflexus* mostró claramente su comportamiento como arvense. El área foliar que presentó fue muy baja (0.131 m²). El mayor porcentaje de la asignación de los recursos fue para las hojas, con 67% a los 32 días y al final del ciclo, la mayor asignación fue para las estructuras reproductivas (63%).

Tanto el análisis de agrupación como el de componentes principales mostraron la clara diferenciación morfofisiológica que existe en estas tres poblaciones de *A. hypochondriacus*.

I. INTRODUCCION

México es el centro de origen de varias especies de amaranto y en los últimos años se ha despertado un enorme interés por el estudio de estas especies debido a su potencial productivo y alto valor nutricional, a tal grado que se le considera como una alternativa alimentaria a nivel mundial. Por esta razón, es necesario iniciar o intensificar la búsqueda, conocimiento, conservación y utilización óptima de este valioso recurso genético.

En tiempos precolombinos, el grano de amaranto era uno de los alimentos básicos del Nuevo Mundo, casi tan importante como el maíz y el frijol. Los aztecas, los incas y otros pueblos sembraban miles de hectáreas de esta planta alta, rojiza y de numerosas hojas (Cole, 1979).

Las evidencias arqueológicas confirman el origen americano de las especies cultivadas para grano, ya que las hojas y semillas del género *Amaranthus* fueron utilizadas por los habitantes de América Prehistórica, mucho antes del proceso de domesticación de estas plantas (Sauer, 1967).

La semilla no es el único producto nutritivo del amaranto, también las hojas son ricas en vitaminas y minerales. En gran parte del mundo se hierven las hojas y los tallos del amaranto para ser usada como verdura (Martín y Telek, 1979).

El amaranto constituye un ejemplo de un recurso genético de alto valor potencial, especialmente en México donde se ubica

como uno de los centros de origen y diversidad de sus especies (Sauer, 1950; Sauer, 1967), particularmente para *Amaranthus hypochondriacus* L. y *Amaranthus cruentus* L. (Jain y Kulakow, 1990; Devadas y Malika, 1991). Se puede usar como grano, verdura, forraje, colorante y como ornamental.

En México además de las formas cultivadas de amaranto usadas como grano se encuentran formas ruderales, arvenses y toleradas. Estas tres últimas formas son generalmente usadas como verdura.

Este trabajo está dividido en dos partes, en la primera parte se presentan los resultados de la evaluación de algunas medidas biológicas tanto en el laboratorio como en el campo, así como también los índices de crecimiento de las diferentes poblaciones. En la segunda parte se hizo un análisis de agrupación y uno de componentes principales los cuales se utilizaron los valores máximos de crecimiento de los datos individuales de cada población, lo cual permitió comparar y relacionar a los diferentes grupos que se formaron.

OBJETIVOS

1. Determinar en las condiciones de Chalco, Edo. de México el desarrollo de plantas productoras de grano y de verdura de amaranto provenientes de diferentes regiones de México a partir del crecimiento y de la asignación de recursos en cada una de ellas.

2. Analizar los patrones de variación morfofisiológica en cuatro poblaciones de amaranto tanto productoras de semillas como de verdura, las cuales representan un continuum de estados culturales que van desde formas arvenses hasta cultivadas.

II. ANTECEDENTES

a) Descripción del género *Amaranthus*

1. Origen y Distribución

Grubben y Van Sloten (1981) señalan que probablemente todas las especies para producción de grano del género *Amaranthus* son originarias de América, mientras que las especies para producción de verdura son originarias de Asia, y que se han formado centros secundarios de diversidad en las zonas productoras.

Las evidencias arqueológicas confirman el origen americano de las especies cultivadas para grano, ya que, las hojas y semillas del género *Amaranthus* fueron utilizadas por los habitantes de América Prehistórica, mucho antes del proceso de domesticación de estas plantas (Sauer, 1967). Las excavaciones realizadas por MacNeish (1964) indican que los indígenas ya cultivaban esta planta durante la fase Coxcatlán (5200 a 3400 A. C.) lo que implica que la domesticación del amaranto tuvo lugar en la misma época que la del maíz.

Las fuentes históricas también indican que el amaranto es uno de los cultivos más antiguos del Nuevo Mundo.

Sauer (1950, 1967) indica que *A. hypochondriacus* es una especie muy importante productora de grano y es originaria de México, ya que se le cultivaba desde el tiempo de los Aztecas. Actualmente se sigue cultivando y se encuentra ampliamente

distribuída en México; también se cultiva en los Himalayas en Nepal y en el sur de la India donde se han formado centros secundarios de diversificación.

A. cruentus, especie usada para la producción de grano, es originaria de América Central, probablemente de Guatemala y sureste de México, donde se cultiva y se encuentra ampliamente distribuida (Grubben, 1975 y Grubben y Van Sloten, 1981).

A. caudatus L., es otra especie para la producción de grano; es de día corto y se adapta mejor que otras especies a bajas temperaturas. Es originaria de los Andes y de ahí se distribuyó a otras zonas templadas y subtropicales (Grubben y Van Sloten, 1981).

El término *huautli* ha sido aplicado de manera indistinta tanto a algunos quenopodios (plantas que pertenecen al género *Chenopodium*) como a los amarantos. Las mejores evidencias acerca de la identidad del *huautli* en la literatura son los dibujos en los escritos del siglo XVI. Los dibujos de Sahagún (1570) demuestran claramente que se aplicaba el nombre de *huautli* a más de una planta. Algunos de los dibujos presentan hojas enteras que parecen ser amarantos, en tanto que otros muestran plantas con hojas dentadas que parecen ser quenopodios. Hernández (1575) utilizó una sola ilustración que aparenta ser un quenopodio, pero su texto explica que considera el término *huautli*, como un nombre que se utilizó para denominar a distintas plantas, algunas de las cuales se usaban como granos, otras como verduras y finalmente otras eran consideradas malezas.

Los mismos nativos probablemente usaban el nombre *huautli* (Sauer, 1950) para una gran variedad de plantas cultivadas con diferentes propósitos. Algunos de los nombres compuestos deben haber estado restringidos a especies particulares. A manera de ejemplo tenemos: el *xochihuautli* (Flor de *huautli*) que debe haberse referido a un quenopodio cuyas inflorescencias se cocinaban en estadio de botón como un vegetal verde de una manera similar a como se come en la actualidad. El *nexhuautli* (*huautli* cenizo) probablemente hacía referencia a la apariencia blanca de algunos quenopodios; el *tlapalhuautli* (*huautli* rojo) debe de haberse aplicado a un amaranto con hojas rojas o a un quenopodio con semillas rojas. Por otra parte, tanto en el pasado como en el presente se han usado términos específicos para el color de las semillas. Así los términos de *michihuautli* (*huautli* pescado) y *tezcahuautli* (*huautli* espejo), probablemente se referían a las semillas pálidas y oscuras respectivamente.

El principal tributo que rendían las 17 provincias pertenecientes al imperio de Moctezuma II eran precisamente los amarantos en grano. Además de ser un cultivo básico, los granos de amaranto eran utilizados para hacer las figuras de los ídolos aztecas (Sandoval, 1989). El *huautli* tenía también un uso ceremonial y religioso entre los antiguos mexicanos y se usaba para ofrendar a Huitzilopochtli y los dioses de la lluvia (Sauer, 1950).

En 1577, la Corona Española aplicó un cuestionario entre la población con el objeto, entre otros, de conocer los cultivos más importantes producidos por cada pueblo. Las respuestas indicaron

que los granos de amaranto eran uno de los cultivos más importantes. Por el contrario, un cuestionario muy similar aplicado en 1890 por el gobierno de México demostró una total desaparición del cultivo (Sauer, 1950). Esta desaparición tuvo que ver con la prohibición de su cultivo por parte de los españoles ya que se dice que éstos lo consideraban como un símbolo de paganismo. Sin embargo, no existen evidencias que prueben dicha prohibición por parte de los españoles (Sandoval, 1989).

En la actualidad, este cultivo ha permanecido como un vestigio y sólo ha persistido entre algunos grupos indígenas de la Sierra Madre Occidental, en Oaxaca, Tlaxcala, Morelia y pueblos cercanos a la ciudad de México. En muchas de estas regiones, el uso ceremonial de estas plantas ha sido incorporado dentro del ritual católico.

Las primeras plantas de amaranto introducidas en Europa fueron utilizadas como ornamentales durante la época colonial y muchos de los especímenes que se introdujeron en una primera etapa produjeron únicamente semillas negras. Posteriormente, en uno de los herbarios más antiguos de Europa y que contiene muchos ejemplares de plantas crecidas en Alemania durante el siglo XVI, se encontró un ejemplar de *A. hypochondriacus* con semillas blancas (Sauer, 1967). Esto demuestra que evidentemente las semillas blancas fueron llevadas a Europa desde tiempos muy antiguos pero no persistieron debido a la competencia existente con las semillas oscuras de las plantas que fueron usadas

preferentemente como ornamentales más que como productoras de grano.

En Asia, los registros más antiguos se encuentran en Ceylán y en la India y datan del siglo XVIII. Se piensa que los holandeses obtuvieron semillas de amaranto de los españoles y las introdujeron a Ceylán. Durante la primera mitad del siglo XIX, el cultivo se diseminó a través de la planicie de Deccan en el sur de la India, y en la cordillera del Himalaya. El cultivo también surgió en el interior de China y en el este de Siberia en el siglo XIX (Sauer, 1967).

En el presente siglo el cultivo se ha incrementado notablemente en la India donde se practica tanto en las partes bajas como en las elevaciones montañosas.

2. Taxonomía y Características Botánicas

La familia Amaranthaceae comprende 60 géneros y cerca de 800 especies de hierbas anuales de origen tropical, que se adaptan bien a climas templados. Sus principales centros de distribución son los trópicos de América y la India, aunque en los trópicos de África y Australia también existe un importante número de especies de la familia (Feine *et al.*, 1979, Sauer, 1967).

El género *Amaranthus*, aunque cosmopolita, es predominantemente tropical e incluye cerca de 50 especies nativas de los trópicos y de las regiones templadas de todo el mundo (Feine *et al.*, 1979). Su clasificación taxonómica ha sido difícil, debido a que se han considerado para tal efecto, características como la pigmentación, la cual segrega demasiado entre las

poblaciones; el tamaño de la planta que está ampliamente influido por la longitud del día y otras variables ambientales, cabe mencionar que la planta del amaranto es altamente plástica (Espitia, 1986.). Debido a esto se han buscado otros caracteres más constantes que faciliten la identificación de las especies, tal como es el caso de algunos caracteres reproductivos y vegetativos (Sauer, 1950; 1967; Walton, 1968 y Pal, 1972). Entre los rasgos reproductivos que son de valor taxonómico se encuentran las peculiaridades de la inflorescencia, de la flor estaminada y de la flor fructificada, destacando en esta última la relación de las brácteas con los tépalos y el gineceo fructificado, la forma y el tamaño de los tépalos de los frutos, y por último, cuanto concierne al grado de cobertura del gineceo fructificado, y a la forma y tamaño de sus ramas estilo-estigmáticas. Los caracteres vegetativos de interés taxonómico son, por ejemplo el ápice de las láminas y la longitud del peciolo de las hojas (Hunziker, 1987).

El género se ha dividido en dos secciones con base en el sistema de cultivo y detalles morfológicos de la inflorescencia y la flor (Khoshoo y Pal, 1972). En la sección *Amaranthus* se incluye entre otras a *A. cruentus*, *A. hypochondriacus*, *A. caudatus* y *A. edulis* Spegazz.. Son plantas con flores pentámeras e inflorescencias terminales de crecimiento indeterminado (excepto *A. edulis*; Pal, 1972); que se utilizan para producción de grano. Además de éstas en esta sección se incluye también los amarantos colorantes, la mayoría de los ornamentales, muchos de los tipos para verdura y varios de los que se

consideran como maleza (Grubben y Van Sloten, 1981). Dentro del grupo para producción de grano, Kauffman (1981) incluye también a *A. hybridus* L., debido a que está siendo utilizado en los programas de mejoramiento genético para aprovechar algunas de sus características como precocidad y altura.

La sección *Blitopsis* incluye plantas con inflorescencias de crecimiento determinado y flores bímeras o trímeras, cuando existe una inflorescencia terminal es muy pequeña. Esta sección incluye especies para verdura tales como *A. gangeticus* L., *A. tricolor* L., y *A. blitum* L. (Grubben y Van Sloten, 1981).

En la América precolombina se cultivaron tres especies para producción de grano *A. caudatus* en los Andes, *A. cruentus* en América Central y *A. hypochondriacus* en México. Todas estas especies fueron descritas y nombradas por Linneo a partir de formas ornamentales cultivadas en los jardines Europeos durante el siglo XVIII (Sauer, 1950; Sauer, 1977).

Debido a la amplia variabilidad que existe dentro de las especies, ha sido necesario hacer subdivisiones dentro de éstas, es así como Sauer (1950) subdividió a *A. hypochondriacus* L. en tres razas: común, arizona y aberrante, para *A. cruentus* L. distinguió las razas común y mexicana.

Más recientemente, Hass (1979) hizo una clasificación de algunas especies de *Amaranthus* en tipos agronómicos, con base, en a) características morfológicas de la planta, (en general altura de la planta, tamaño de la inflorescencia central, patrón de ramificación, número de flores pistiladas por glomérulo); b) caracteres fenológicos (en general tiempo de floración y tiempo a

la maduración); c) el origen geográfico; d) así como al uso que tengan. De esa manera para *A. hypochondriacus* propuso los tipos enano de Nepal y el alto de floración tardía, para *A. cruentus* los tipos Mexicano y Africano, para *A. hybridus* el tipo bajo de floración temprana y para *A. caudatus* los tipos Edulis y Típico.

Esta clasificación ha sufrido algunas modificaciones para incluir tipos que en un principio no se habían considerado o porque algunos tipos han cambiado de nombre. De esta manera, Kauffman (1981) distingue los tipos Nepal, el arbustivo tardío, el alto tardío, el Azteca y el Picos en *A. hypochondriacus*; los tipos Mexicano, Africano y Guatemalteco en *A. cruentus*; el tipo Precoz en *A. hybridus* y los tipos Sudamericano y Edulis en la especie *A. caudatus*.

Kauffman y Reider (1984 in Espitia, 1986a.) mencionan en *A. hypochondriacus* los tipos Nepal, Mercado, Mixteco, Azteca y Picos; para *A. cruentus* los tipos Mexicano, Africano y Guatemalteco; para *A. hybridus* el tipo Prima y, para *A. caudatus*, los tipos Sudamericano y Edulis. Esta última clasificación es la que se ha venido utilizando por mucho tiempo. Cabe precisar que los nombres de *A. hypochondriacus* tipo Azteca y *A. hypochondriacus* tipo Mixteco fueron sugeridos por el M. en C. Eduardo Espitia del Centro de Investigaciones de la Mesa Central (CIAMEC) en Chapingo, México, para diferenciar las poblaciones de *A. hypochondriacus* procedentes del D. F., Estado de México, Tlaxcala y Puebla (tipo Azteca) a las poblaciones procedentes del Estado de Oaxaca (tipo Mixteco). Los nombres aluden a las

civilizaciones que florecieron en estos sitios durante la época precolombina.

En 1992, Kauffman propuso el término de grupos morfológicos. En los campos experimentales del Centro de Investigaciones de Rodale ubicado en Estados Unidos, se sembraron accesiones de especies con semillas de color claro (*A. caudatus*, *A. cruentus* y *A. hypochondriacus*) y se observaron similitudes y diferencias entre características fenotípicas muy obvias así como la respuesta que tuvieron a la longitud del día. Las accesiones que presentaron características similares se consideraron como un "grupo morfológico".

Los grupos morfológicos representan una parte del espectro de la variación genética dentro de cada especie. Las accesiones dentro de un grupo morfológico realmente son cultivares o "landraces" en el sentido de Hoyt (*in* Kauffman, 1992), es decir son razas locales del cultivo desarrolladas a través del tiempo por la selección natural y humana en sistemas agrícolas primitivos. Han permanecido relativamente poco modificados a partir de las especies silvestres; sin embargo, han sido seleccionados a través de muchas generaciones de agricultores que en algunas ocasiones las trasladaron a nuevas tierras a grandes distancias. Manejados por una selección natural inconsciente así como una selección natural, los cultivares se encuentran totalmente adaptados a las influencias de los humanos y del medio donde se encuentren.

Los grupos morfológicos son clasificaciones preliminares. Es necesario realizar una caracterización adicional para definir cada grupo morfológico de manera más clara. Espitia (1994) propuso

que los tipos de grano o grupos morfológicos representan una parte del espectro de la variación genética dentro de las especies. Las accesiones dentro de un grupo morfológico pueden ser consideradas como variedades nativas; éstos son individuos domesticados de reproducción sexual con características que les permiten ser distinguidas de otros grupos. Consecuentemente, la designación más apropiada para los tipos de grano sería el de raza. Cada raza tiene una distribución definida y ha sido desarrollada bajo diferentes condiciones agroclimáticas que hacen que la evolución de cada raza sea diferente (Espitia, 1994).

En esta investigación se considera que faltan todavía por realizarse estudios genéticos y de biología molecular para poder comprobar si se les da esta categoría. De tal manera que únicamente las denotaremos como categorías infraespecíficas sin tomar la posición de si son razas, grupos morfológicos o tipos agronómicos.

Ubicación taxonómica de las plantas estudiadas:

Orden: Caryophyllales

Familia: Amaranthaceae A. L. Jussieu

Género: *Amaranthus* L.

Sección: *Amaranthus*

Especies: *Amaranthus hypochondriacus* L. 'Mercado'

Amaranthus hypochondriacus L. 'Azteca'

Amaranthus hypochondriacus L. 'Mixteco'

Amaranthus retroflexus L.

A continuación se hace una descripción de las especies que se analizaron en este estudio.

Amaranthus hypochondriacus L.

Plantas anuales; herbáceas. Tallo simple o ramificado, alcanzan alturas hasta de tres metros. Hojas simples alternas; elípticas u ovado-oblongas, ápice agudo acuminado y base cuneada o aguda. Inflorescencia de gran tamaño con espigas y panículas laterales; muy densa, erecta y espinosa. Flores pentámeras, tépalos ligeramente curvados y más largos que los tépalos de las otras especies para producción de granos. Semillas que presentan son de color blanco, dorado, café y negro.

Esta especie también es utilizada como ornamental por sus inflorescencias que son muy vistosas (Grubben y Van Sloten, 1981).

Amaranthus hypochondriacus L. 'Mercado'

Comprende el germoplasma más valioso para el desarrollo de variedades mejoradas (Espitia, 1994). Presenta excelentes cualidades culinarias y el potencial para producciones altas. Su lugar de origen es México, principalmente en las regiones cálidas de los estados de Morelos y Puebla donde se le cultiva como una especie productora de grano. La planta puede alcanzar una altura en la madurez, de 1.5 a 2.2 m con ramificación en el tallo superior. La inflorescencia principal presenta de 42 a 75 panículas erectas, cada una con tres a nueve ramas. Los

glomérulos tienen un promedio de 44 flores pistiladas y las brácteas son más pequeñas que el utrículo. La caída de la semilla es de ligera a moderada. Las semillas son blancas, doradas y cafés y de tamaño mediano a grande.

Es sensible al fotoperíodo y madura en 135 días en Chapingo, Méx. y 15 días más tarde en Kutztown en Pennsylvania, Estados Unidos.

Amaranthus hypochondriacus L. 'Azteca'

Comprende las plantas de mayor tamaño del género. Alcanza hasta tres metros de altura, su ciclo biológico es tardío (170 días en Chapingo, Méx.), su tallo es verde con estrías de color púrpura, las hojas son elípticas y de diversos colores. Las inflorescencias pueden alcanzar hasta un metro de longitud y su color puede ser verde, rosa, rojo o púrpura; las brácteas son largas y puntiagudas por lo que la inflorescencia puede producir un efecto espinoso al tacto. Las semillas son blancas, cafés o negras; se pueden producir más de 100 gramos de semilla por planta, por lo que es considerada como de las de mayor potencial de rendimiento. Es originaria de México y se cultiva en zonas de clima templado como Tulyehualco, D. F., San Miguel del Milagro, Tlaxcala y algunas zonas aledañas a los volcanes en los estados de Tlaxcala y Puebla. Es sensible al fotoperíodo, puesto que en condiciones de 40° N (Pennsylvania, E.U.A) su ciclo es muy tardío y en la mayoría de los casos no lo completa. Este tipo presenta los menores grados de ramificación lateral (Kauffman y Reider, 1984; Weber et al., 1985 *in* Espitia, 1986; Espitia, 1987).

Amaranthus hypochondriacus L. 'Mixteco'

De acuerdo con Espitia (1994). Incluye plantas que alcanzan de dos a tres metros de altura, de tallo grueso. El ciclo biológico es de 10 meses en Chapingo y en Oaxaca; no maduran en Pennsylvania. En las partes altas de Tailandia maduran en seis meses. La ramificación es variable. Las hojas son de color variable, verdes o bien una mezcla de colores, algunas veces con manchas distintivas. Al describir estos materiales, Espitia (1994) comenta que son muy promisorios como fuente de forraje, por su alta producción de follaje. Las flores son de color rojo, rosa o verde. Las semillas pueden ser negras, cafés o amarillas.

En 1988 Mapes realizó una serie de visitas a la Sierra Norte de Puebla y encontró muy bien representado este material en la región, siendo ampliamente utilizado a manera de verdura, principalmente por indígenas Nahuas y Totonacos. Esta especie recibe el nombre de Chichiquelitl, quintonil rojo o quelite rojo. Es ampliamente consumido como verdura cuando las hojas se encuentran tiernas. Las semillas también son utilizadas, mezcladas con la masa de maíz, para hacer atole (Mapes, 1993).

Esta especie crece a una altitud promedio de 1500 msnm. Es una planta muy erecta que llega a alcanzar hasta 2.5 m de altura, y presenta un ciclo muy largo (Febrero a Diciembre). Se le considera protegida porque las plantas reciben algún cuidado por parte del ser humano (Bye, 1993). Generalmente la gente arroja las semillas en el campo de cultivo y siempre está asociada a policultivos, en particular a la milpa con maíz. En estos

policultivos se encuentran maíz, frijol (*Phaseolus coccineus* L. *P. polyanthus* y *P. vulgaris* L.), calabaza (*Cucurbita ficifolia*), y árboles frutales caducifolios como ciruela, durazno y manzana. *A. hypochondriacus* 'Mixteco' siempre se encuentra asociado a estas milpas-huertos (Mapes, 1993)

Amaranthus retroflexus L.

Amaranthus retroflexus es una de las malezas más abundantes y ampliamente distribuidas en Norteamérica. Ha sido colectada casi invariablemente en hábitats perturbados en la mayor parte de Estados Unidos. Tellung (1914 *in* Sauer 1950) cita numerosas colecciones hechas en Europa.

Inflorescencia es extremadamente gruesa, tiesa y erecta; numerosas espigas laterales relativamente cortas y todas se encuentran amontonadas; tépalos usualmente más largos que el fruto, recurvados cerca de las puntas y ovobados o ligeramente espatulados, endurecidos en la base de las flores maduras; tépalos internos e incluso casi siempre los exteriores, definitivamente obtusos o emarginados en las puntas; ramas de los estilos erectas o ligeramente recurvadas; bases moderadamente gruesas y usualmente forman una hendidura poco profunda. Brácteas largas con venas centrales usualmente gruesas; puntas de las brácteas, a pesar de no ser largamente decurrentes dentro de las láminas, comúnmente se extienden más allá de las flores dándole un aspecto áspero y tieso a la inflorescencia.

De acuerdo con la descripción de Sauer (1950) Linneo le dió como lugar de origen a esta especie Pennsylvania; los especímenes de Linneo fueron crecidos en terrenos a partir de semillas colectadas por Peter Kalm (1753 *in* Sauer 1950). Se sugirió este nombre por "un ejemplar deformado con ramas encorvadas dirigidas hacia atrás". La descripción original fue ambigua, sin embargo, fue ampliada por Tellung (1914 *in* Sauer 1950). En la actualidad existe un buen acuerdo en la descripción de esta especie tanto en la literatura como en las determinaciones de herbario. Sin embargo, es muy común que exista confusión con otras especies, sobre todo con *Amaranthus hybridus*.

Taxa analizados:

De los taxa analizados en este estudio, *A. hypochondriacus* 'Azteca' y 'Mercado' son cultivados y apreciados por su semilla.

A. hypochondriacus 'Mixteco' fomentada y usada a manera de verdura.

A. retroflexus arvense asociada al cultivo del maíz y usada a manera de verdura.

3. Domesticación y Evolución del Género

Originalmente las plantas de este género se encontraban en hábitats abiertos como pioneras de bancos de ríos, en márgenes de las costas y en aluviones de dunas y desiertos. Muchas de estas especies se preadaptaron a multiplicarse y a diseminarse como malezas en hábitats perturbados por el hombre. En tiempos prehistóricos, muchos grupos indígenas aprendieron a cosechar

las semillas de amarantos silvestres y ruderales para usarlas como grano. Esto se encuentra bien documentado en los registros arqueológicos.

La domesticación de los amarantos para producción de grano tuvo lugar en América tropical. Se desarrollaron tres especies de cultivo para grano en la América precolombina: *Amaranthus caudatus* (incluyendo una variante: *A. maranthus mantegazzianus* Passarini o *Amaranthus edulis* Spegazzini) en los Andes, *A. cruentus* en América Central y *A. hypochondriacus* en México. Todas estas especies fueron descritas y nombradas por Linneo a partir de formas ornamentales cultivadas en los jardines europeos durante el siglo XVIII.

Uno de los pasos cruciales en la evolución de los granos de amaranto domesticados fue la selección llevada a cabo en las formas mutantes, en donde el tipo normal de semillas negras fue cambiado por las blancas por los antiguos agricultores. Esta mutación es extremadamente rara. Asociado al cambio de color los granos presentaron un mejor sabor y una mejor calidad en el reventado y por otra parte facilitó que los indígenas eliminarán las semillas negras del cultivo limitando el entrecruzamiento entre las plantas cultivadas y las malezas; de esta manera se favoreció la evolución divergente de las plantas domesticadas.

La selección artificial actuó en la dirección de favorecer un tamaño más grande de las inflorescencias y por lo tanto una mayor producción de semillas, a pesar de que el tamaño individual de las semillas no se incrementó. También se produjeron formas rojas brillantes. Los primeros agricultores apreciaron tanto la

belleza de las plantas como su utilidad. La coloración roja presumiblemente ha tenido una connotación mágica y religiosa; particularmente los grupos indígenas Zuñi y Hopi, en el suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica, cultivan los amarantos como una fuente de pigmentos para colorear las hostias de maíz que ofrecen a la gente en sus fiestas tradicionales.

Por otra parte, los amarantos silvestres y las malezas llegaron a ser verduras muy comunes en los trópicos y en los subtrópicos. La conversión en cultivos verdaderamente domesticados ocurrió en muy pocas regiones del mundo. En el sureste de Asia, se domesticó *Amaranthus tricolor* como verdura y también se seleccionaron otras razas ornamentales.

En la historia de los amarantos, los dos colores de semillas han tenido un papel muy importante. Las semillas negras provienen de las plantas que son apreciadas como ornamentales, como fuente de obtención de colorantes y como hierbas que se comen a manera de verdura. Las semillas blancas, por otro lado, provienen de un número pequeño de especies que han sido desarrolladas y domesticadas como fuentes de pseudocereal con granos ricos en proteínas y carbohidratos los que, por sí mismos, pueden aportar elementos nutricionales esenciales.

Los móviles de selección fueron muy diferentes en Eurasia en comparación con América. En Eurasia, los amarantos se domesticaron principalmente como vegetales. En muchas regiones de la India, China y Japón los amarantos han sido los vegetales preferidos. Se han cultivado por cerca de mil años y a la fecha se han desarrollado muchos cultivares, algunos con hojas

brillantemente coloreadas. En América se seleccionaron las distintas especies para ser usadas como grano o como pseudocereales.

4. Citología

El género *Amaranthus* comprende aproximadamente 50 especies (Feine *et al.*, 1979 y Sauer 1977) y a la fecha se han hecho 192 reportes de números cromosómicos.

El género se caracteriza por presentar la mayor homogeneidad en número cromosómico y los cromosomas más pequeños de la familia Amaranthaceae (Behera y Patnaik, 1974). El tamaño pequeño de los cromosomas dificulta su conteo presentándose discrepancias respecto al número reportado de cromosomas de las diferentes especies. Se menciona que *A. caudatus*, *A. hypochondriacus* y *A. hybridus* tienen un número cromosómico de $2n=32$, en tanto que *A. cruentus* presenta $2n=34$ (Singh, 1961; Pal y Koshoo, 1972)). Sin embargo, Auquier y Renard, (1975) y Dmitrieva, (1986) encontraron en *A. cruentus* var. *cruentus* un $2n=32$. Así mismo Tandon y Tawakley (1970) reportaron para *A. hypochondriacus*, un número cromosómico de $2n=34$. Finalmente, Pal *et al.* (1982) reportaron para *A. hybridus* proveniente de África, un número cromosómico de $2n=34$.

Grant (1959), comenta que el tamaño pequeño y la relativa uniformidad morfológica de los cromosomas, aunado a su número elevado, hace difícil el análisis cariotípico de las especies del género.

Los estudios sobre la genética del género se han centrado en la hibridación interespecífica, la expresión del sexo, la poliploidía (Feine *et al.*, 1979) y la herencia de algunos caracteres. Se ha encontrado que, al menos en la mitad de las especies del género, está involucrada la hibridación interespecífica natural y es, precisamente éste uno de los factores que han causado la amplia variación dentro de las especies y la consecuente complejidad en la taxonomía del género *Amaranthus* (Sauer, 1957).

5.1 Fisiología

El amaranto se encuentra dentro del grupo de plantas que realizan su fotosíntesis a través de la ruta especializada C₄. Esta es una modificación del proceso fotosintético normal, que hace más eficiente la utilización del CO₂ disponible en el aire, concentrándolo en los cloroplastos de células especializadas que rodean las vainas vasculares de las hojas. La fotorrespiración, proceso mediante el cual se elimina CO₂, que es la unidad básica para la producción de carbohidratos, no se presenta en las plantas C₄ (National Research Council, 1984; Hauptli, 1977; Aguilar y Alatorre, 1978).

5.2 Fotoperíodo

Muchos de los amarantos son sensibles a la duración del día. Por ejemplo, algunos materiales de *A. hypochondriacus* originarios del sur de México no florecen en el verano en Pennsylvania; sin embargo, en invernadero y en condiciones de

día corto, sí maduran de forma normal. Con algunos materiales de *A. cruentus* originarios de Nigeria sucede lo contrario ya que, en su lugar de origen, permanecen por un largo período en crecimiento vegetativo y cuando se siembran en Pennsylvania producen semilla en un período muy corto (National Research Council, 1984).

Fuller (1949 *in* Espitia, 1986) encontró que *A. caudatus* floreció bajo un fotoperíodo de 8 h mientras que, cuando fue sometido a condiciones de iluminación continua y fotoperíodo natural (12 a 14 h), no floreció. Por su parte, Zabka (1961 *in* Espitia, 1986) menciona que, para que *A. caudatus* pueda florecer bajo condiciones de día corto, deberá alcanzar una cierta edad o período inductivo el cual se alcanza aproximadamente 30 días después de la germinación.

5.3 Altitud

La elevación no es una limitante muy severa, ya que el amaranto puede cultivarse desde el nivel del mar hasta los 3200 msnm, aunque únicamente *A. caudatus* ha sido encontrado en altitudes superiores a los 2500 msnm (National Research Council, 1984).

Grubben y Van Sloten (1981) señalan que *A. caudatus* se cultiva en Nepal a una altitud de 3000 msnm.

5.4 Temperatura

El amaranto presenta un mejor desarrollo cuando la temperatura máxima diaria alcanza cuando menos 21°C. Muchos

materiales han mostrado una germinación óptima cuando la temperatura es de 16 a 35 °C. La emergencia es más rápido cuando las temperaturas se encuentran cercanas al límite superior de este intervalo. *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* son tolerantes a altas temperaturas, pero no resisten las heladas. El crecimiento cesa a temperaturas cercanas a 8°C y las plantas sufren daños por debajo de los 4°C (National Research Council, 1984).

A. caudatus es una especie con requerimientos ecológicos un poco diferentes; debido a que es originaria de zonas altas está mejor adaptada a condiciones de baja temperatura, y por consiguiente es más resistente a heladas que las otras especies (Grubben y Van Sloten, 1981).

5.5 Suelo

El amaranto puede cultivarse en una amplia variedad de suelos. Así, por ejemplo, en los Estados Unidos se le ha cultivado con éxito en suelos francos, suelos de pradera y en suelos salinos. El mejor tipo de suelo para el cultivo del amaranto es el franco bien drenado (Kauffman *et al.* 1984; Weber *et al.*, 1985 *in* Espitia, 1986). Parece ser que se desarrolla mejor en suelos neutros o básicos (pH arriba de 6). Sin embargo, esto no ha sido bien estudiado. Aunque el género no es conocido por su alta tolerancia a la salinidad, se ha visto que algunas especies de amaranto presentan cierta tolerancia a la salinidad y a la alcalinidad (National Research Council, 1984).

5.6 Precipitación

Para que las semillas de amaranto germinen necesitan buena humedad en el suelo pero, una vez que las plántulas se han establecido, pueden crecer bien aún con limitación de agua. De hecho, el amaranto crece mejor en condiciones de baja disponibilidad de agua y altas temperaturas (National Research Council, 1984).

El amaranto es tolerante a la sequía. Si bien se dice que este cultivo no es para zonas desérticas, sí tiene un excelente potencial en áreas de baja precipitación, que tradicionalmente se han venido sembrando con sorgo y mijo (Kauffman y Hass 1984; Kauffman *et al.*, 1984; Weber *et al.*, 1985 *in* Espitia, 1986).

b) Análisis de crecimiento

La medida a intervalos consecutivos de la distribución de recursos por las plantas, energía, materia orgánica, minerales, permite distinguir varios comportamientos que reflejan la adecuación morfológica a condiciones ambientales específicas. El desarrollo y crecimiento de una planta muestran relaciones cuantitativas que permiten comprender su capacidad de producción de materia orgánica (Medina, 1977).

Se puede definir el crecimiento de una planta como el incremento en el tiempo de ciertos parámetros característicos, como tamaño o peso. La distribución de recursos se estudia por lo general mediante el peso seco, o contenido de energía y su

distribución en las raíces, hojas, flores, frutos y semillas (Medina, 1977).

El análisis de crecimiento es una técnica empleada en la actualidad, de gran utilidad para los investigadores de diversas disciplinas. Un índice de crecimiento permite alcanzar la productividad de la planta en función de su crecimiento. Producto de las dificultades que se presentan en la integración matemática de los índices del crecimiento, y que de forma general, el muestreo de plantas diferentes en los distintos intervalos de tiempo hace que se obtengan líneas quebradas, debido fundamentalmente a errores en el muestreo y la variabilidad existente entre plantas, que hacen difícil la interpretación de los resultados y la comparación entre tratamientos. Se ha elaborado un nuevo enfoque del análisis del crecimiento que emplea el método de regresión para el ajuste de los datos primarios de P (peso) y A (área foliar) en relación con el tiempo, por medio de funciones matemáticas. En la actualidad se reconocen los dos métodos de cálculo de los índices de crecimiento, denominándose clásico al que utiliza los valores medios de los índices; y funcional o de regresión, al que emplea las funciones matemáticas para el ajuste de los datos primarios y deriva los índices de esta (Torres, 1984).

Hunt (1979, *in* Torres, 1984) puntualiza una serie de ventajas que se logran en el ajuste de las curvas del crecimiento por medio de funciones matemáticas; entre las que se pueden señalar entre otras: a) la comparación equitativa de grupos de datos de orígenes diferentes, pero tratados de forma similar; b) la

información de todos los momentos de muestreo se tienen en cuenta para el cálculo de las variables que se derivan de las curvas de crecimiento; c) el procedimiento no depende de un gran número de plantas y en cada muestreo la cantidad de información a riesgo es mínima.

El método funcional ha probado ser útil en diferentes trabajos y constituye una herramienta que facilita en gran medida la comprensión del proceso de crecimiento de la planta y la influencia de diversos tratamientos externos sobre el mismo (Torres, 1984).

En este estudio se emplea el método funcional para el análisis de los datos para lo cual se utilizó el programa de Hunt y Parsons 1981.

Es importante señalar que como antecedentes a este trabajo se encuentran los trabajos de Elenes-Buelna y Castellanos (1991) que realizan un análisis de crecimiento en cinco especies de amaranto y el de Díaz (1994) que también hace un análisis de crecimiento comparativo en tres poblaciones de *A. hypochondriacus* también establecidas en Chalco, Edo. de México.

c) Estado cultural de las poblaciones de amaranto usadas en este estudio

En diferentes regiones de México existe una amplia gama de relaciones entre el agricultor y las especies vegetales, presentandose diferentes intensidades en el grado de manipulación de las plantas, encontrandose desde las plantas silvestres recolectadas hasta las claramente domesticadas. En el transcurso

del tiempo, entre las plantas silvestres y domesticadas, han surgido una amplia gama de fases intermedias que están constituidas por especies con un grado de manipulación variable (Harlan, 1975; Hawkes, 1983); por lo tanto, es complejo establecer diferencias claras en ciertas especies sometidas a un manejo continuo ya que no pueden ser incluidas en ninguno de los dos extremos.

En el presente estudio, de acuerdo a las diferentes fases biológicas y grados de manipulación al que han sido sometidas las plantas se utilizó la clasificación propuesta por Bye (1993):

Cultivada.- son aquellas plantas que durante su ciclo de vida reciben manejo y cuidado por parte del ser humano. Es importante mencionar que todas las plantas domesticadas son cultivadas pero no todas las cultivadas son domesticadas.

Arvenses.- se encuentran en un terreno cultivado como una planta que aparece espontáneamente en hábitats antropogénicos.

Protegidas.- reciben algún cuidado por parte del ser humano.

III. MATERIALES Y METODOS

Localización del sitio experimental

El trabajo se realizó en los terrenos de las instalaciones del Centro de Investigación, Enseñanza y Extensión del Altiplano "Rancho San Francisco" de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (UNAM), ubicado en Chalco, Estado de México (Fig. 1)

Chalco esta ubicado a los 19°16'N, 98°54' W, a una altitud de 2235 a 2238 msnm (Reyna y Carmona, 1991). El clima de la región, de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1988) corresponde al tipo Cb (w1)(w)(i')g, templado, con temperatura media anual de 15°C, en mayo se registran las temperaturas más altas, pero no se alcanzan 22°C, por lo que aún el verano es fresco. Las lluvias son de verano, ya que de 620 mm que se reciben al año, más del 90% se concentran en esta estación, (junio, julio, agosto, septiembre, siendo el mes de julio el más lluvioso) (Fig. 2). Las heladas tempranas son el siniestro más común y cuando se presentan desde septiembre ocasionan pérdidas considerables (Reyna y Carmona, 1991)

El suelo del área experimental es de textura arenosa con 76 a 95% de arena, lo que favorece el drenaje, el pH es de 7.4 a 8.8 esto es, de ligero a fuertemente alcalino (Reyna y Carmona, 1991). Los suelos de Chalco son del tipo Fluvisol-Eútrico. Los fluvisoles se caracterizan por estar formados siempre por materiales acarreados por agua. Están constituidos por materiales

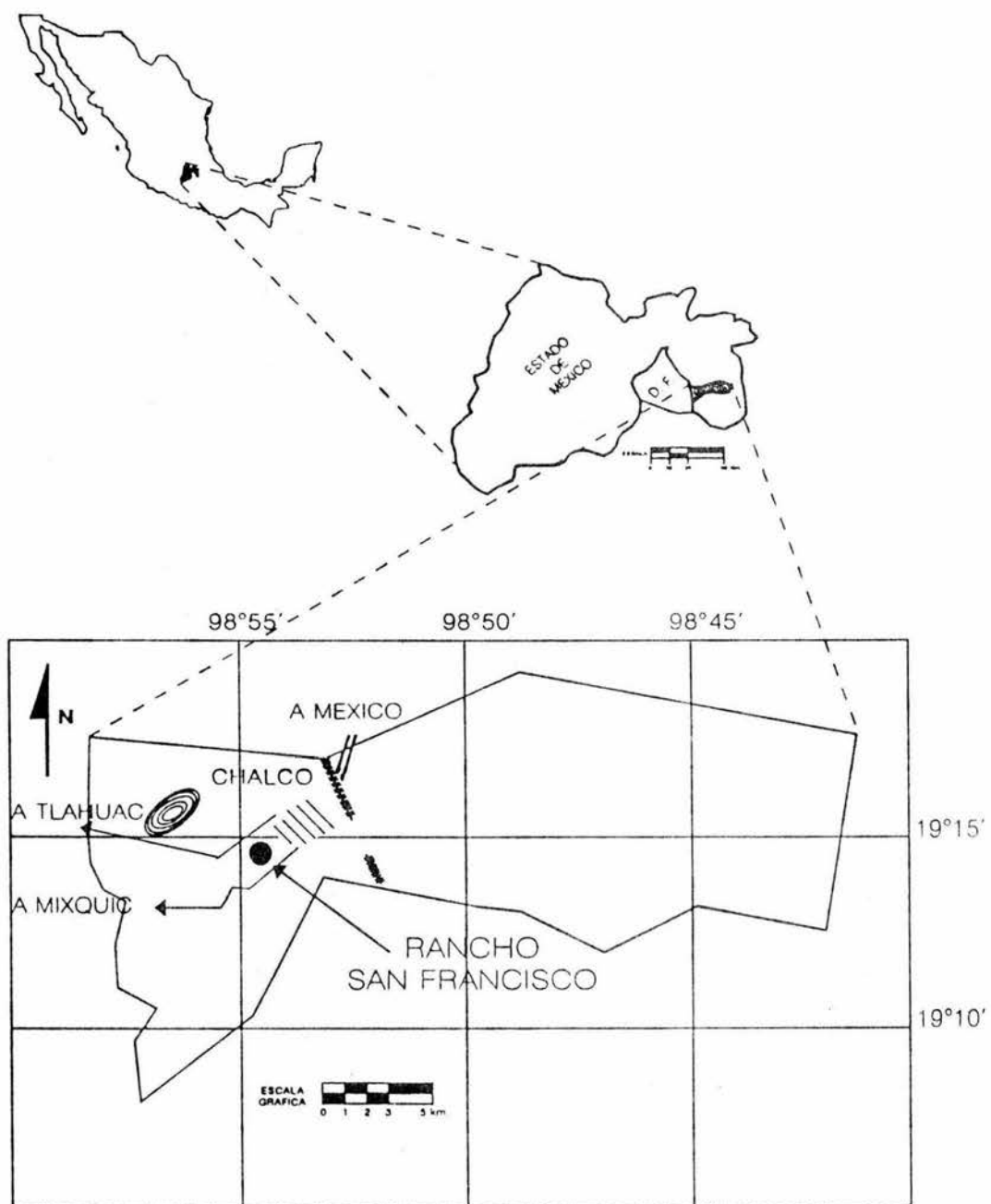


Figura 1. Mapa de localización del sitio de estudio.

disgregados que no presentan estructura en terrones, es decir, son suelos muy poco desarrollados. Estos suelos presentan muchas veces capas alternas de arena, arcilla o gravas, que son producto del acarreo de dichos materiales por inundaciones o crecidas no muy antiguas. Pueden ser someros o profundos, arenosos o arcillosos, fértiles o infértiles. Los fluvisoles eútricos son los más abundantes en México. Tienen una gran variedad de usos; bajo riego dan buenos rendimientos agrícolas de cereales y leguminosas. Sus rendimientos varían en función de su textura y profundidad y del agua disponible en cada caso (Reyna y Carmona, 1991).

Material Biológico Utilizado

El material biológico que se utilizó fueron las colectas siguientes:

Amaranthus hypochondriacus L. 'Mixteco' , Xilotzingo, Mpio. de Zacatlán, 1700 m.s.n.m. suelo arenoso, en un policultivo con maíz, cempoalsuchil, frijol, calabaza, chilacayote, hortensia, carrizo, plátano; planta rojiza de 3 m de altura con tallo muy rojo y semillas negras. l Mapes 796. MEXU. Noviembre de 1990.

Amaranthus retroflexus. Mpio. de Guachochic, Chihuahua. Nombre tarahumara Wasori, en español quelites. Bye 15948. MEXU. Noviembre de 1987.

Amaranthus hypochondriacus L. 'Mercado' y *Amaranthus hypochondriacus* L. 'Azteca' Espitia 153-5-3. Banco de Germoplasma del INIFAP.

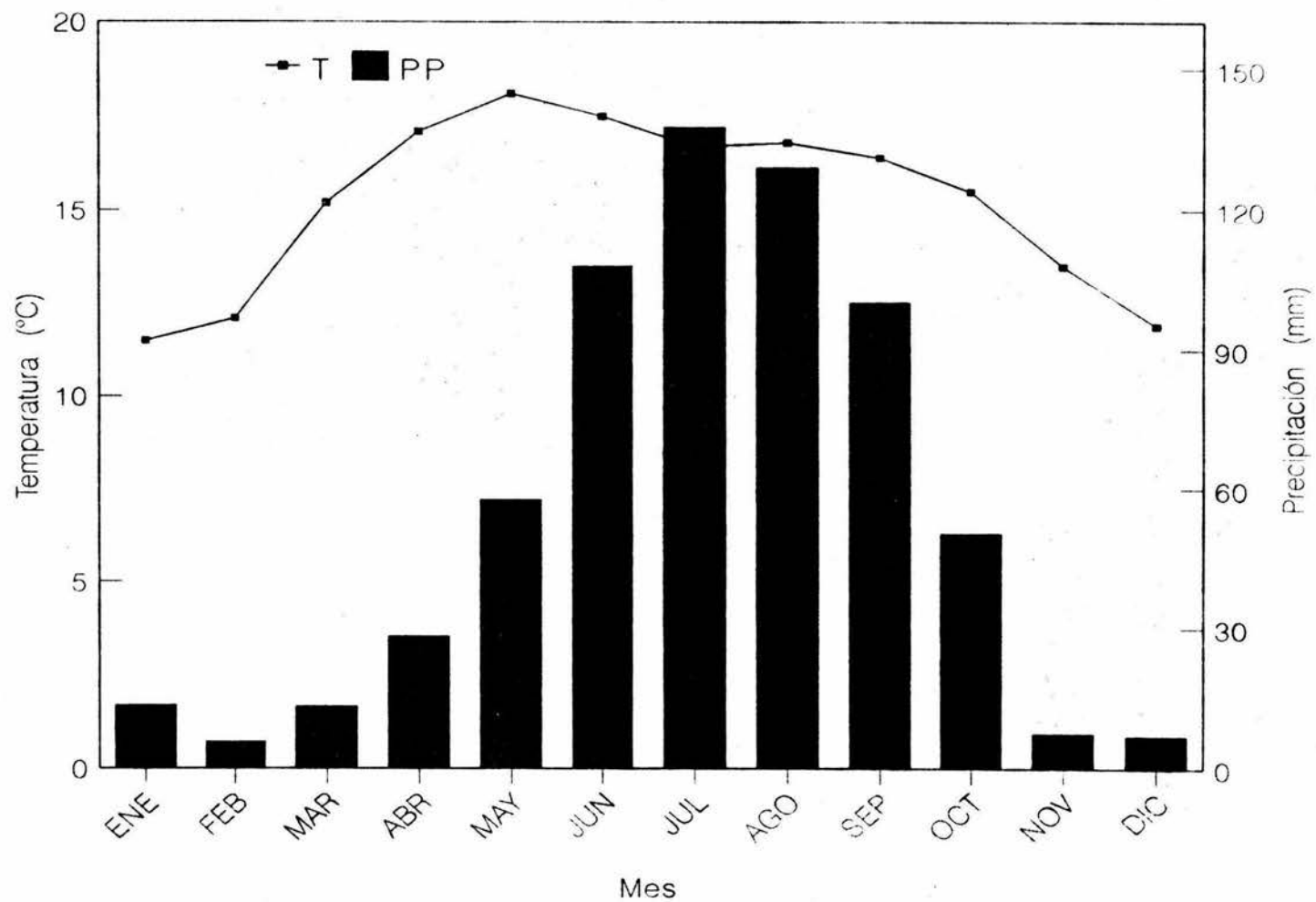


Figura 2. Climograma de Chalco, Edo. de México.

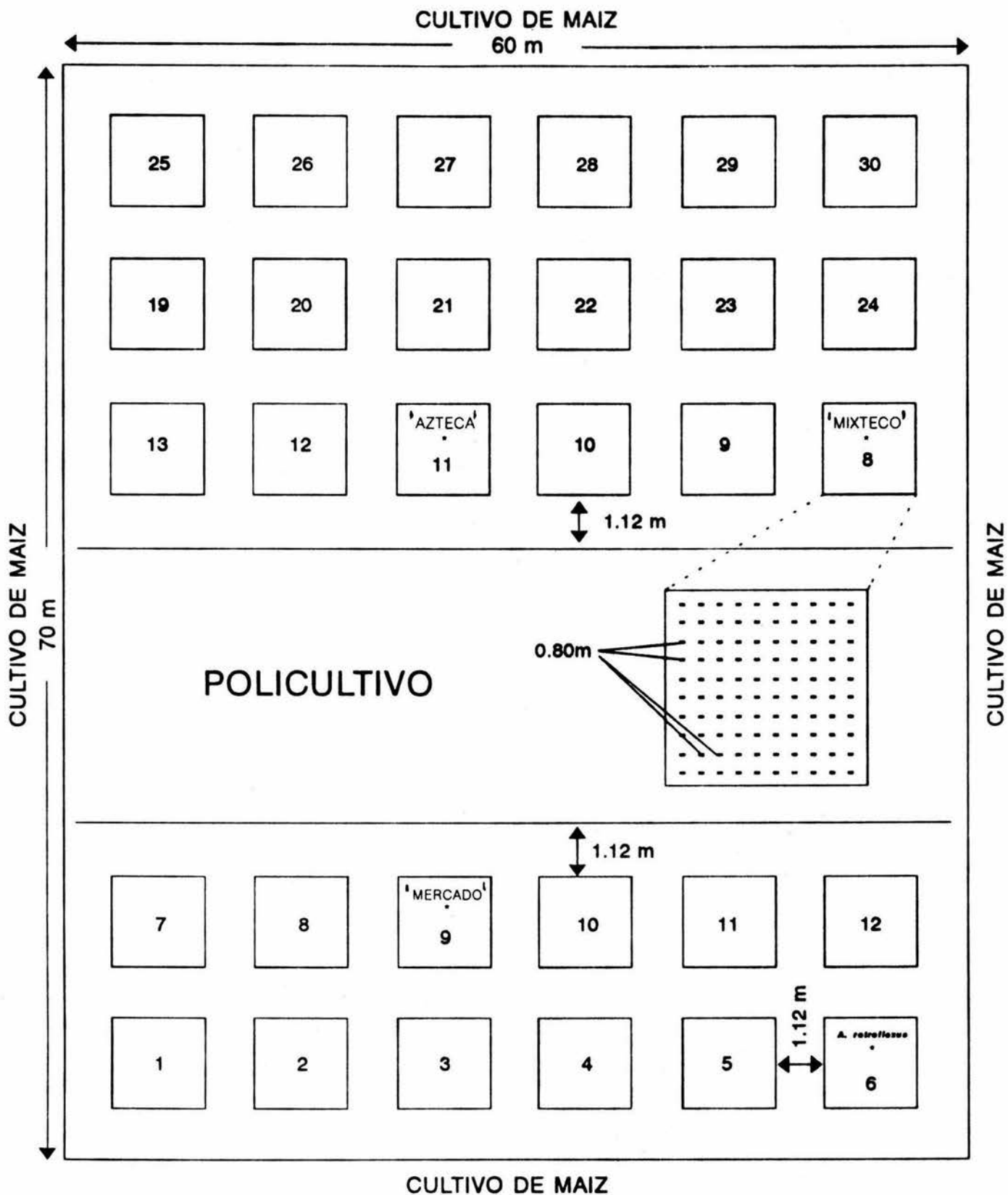
Siembra y Labores Culturales

La preparación del terreno se realizó dos semanas antes con tractor y rastra de discos. Se realizó barbecho y un rastreo. Cuatro meses antes se fertilizó el terreno con abono orgánico (estiércol de borrego).

Debido a que se contaba con riego, se sembró el 13 de Mayo de 1991. Se hicieron pequeños hoyos separados 80 cm. entre sí y en cada uno se depositó un puño de semillas a una profundidad de 2 cm. Se sembraron 30 diferentes poblaciones bajo condiciones homogéneas de cultivo y a una baja densidad de siembra (100 plantas por 0.80 m²) (Fig. 3), con el objeto de permitir la expresión de las diferencias genotípicas y que las plantas pudieran expresar su potencialidad biológica. Alrededor del cultivo experimental se sembró maíz, como una barrera contra el viento.

A los 30 días después de la germinación se realizaron deshierbes manuales y aclareos dejando una planta en cada hoyo, quedando 100 plantas por cada 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 (Fig. 3).

Antes del establecimiento de las lluvias se realizaron varios riegos manuales. A partir del 19 de mayo se llevó a cabo el primer aporque. En total a lo largo del ciclo del cultivo se realizaron alrededor de siete deshierbes, ocho aporques y siete aplicaciones de insecticida Foley, ya que las plantas fueron muy atacadas por insectos, también se aplicó fungicida. El día 11 de



SUBPARCELAS 1-6 ARVENSES Y RUDERALES
 SUBPARCELAS 7-12 PRODUCTORAS DE GRANO CULTIVADAS
 SUBPARCELAS 13-30 PRODUCTORAS DE VERDURAS SEMICULTIVADAS
 * MATERIALES EVALUADOS

Figura 3. Diseño de las subparcelas de Amaranth establecidas en Chalco, Edo. de México.

noviembre se presentó la primera helada que terminó con el cultivo. Una vez establecido el cultivo se hicieron algunas medidas biológicas en las distintas poblaciones.

Las plagas que se presentaron fueron las siguientes:

Barrenador del tallo (*Sciara* sp). Las larvas de este insecto hacen una serie de galerías en la base del tallo, impidiendo la traslocación de sustancias nutritivas que trae como consecuencia un debilitamiento de la planta

Pulga saltona (*Disonycha melanocephala* Jacoby). El estado larvario de este insecto es el que causa el daño principal, se le encuentra en los ápices de crecimiento, alimentándose de las hojas jóvenes -en ocasiones muy pequeñas todavía- las que al crecer, presentan una reducción considerable del área foliar, lo cual obviamente se refleja en el rendimiento.

Gusano verde (larva de Lepidóptero). Otra plaga es una larva de color verde de un Lepidóptero que se presenta en los primordios florales, a los que encierra con las hojas superiores, e impide el desarrollo normal de la panoja, debido a que en ocasiones troza total o parcialmente el ápice de crecimiento.

En cuanto a las enfermedades que se presentaron son las siguientes:

Pudrición del cuello *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Pythium*.- Esta enfermedad se presenta cuando la humedad del suelo es muy alta. se inicia con la pudrición del cuello, extendiéndose luego a la raíz, ataca desde el estado de plántula hasta cuando la planta alcanza un metro de altura.

Enverdecimiento de la panoja o crecimiento secundario.- Esta se presenta cuando la planta esta llegando a la madurez. La panoja, en lugar de secarse, se enverdece nuevamente e inicia un segundo crecimiento, las brácteas y los tépalos se convierten en pequeñas hojas y aún el utrículo se elonga y forma una especie de bolsa y el grano se reabsorbe. Este segundo crecimiento no es solo en la inflorescencia, también se tiene elongación de ramas y aparecen brotes laterales nuevos.

Mancha parda del tallo (*Phoma longissima*).- Ataca desde floración hasta madurez en regiones templadas.

Otra enfermedad que se presentó fue el achaparramiento de las plantas acompañado de arrosamientos y clorosis de las hojas. No se conoce todavía el agente causal, aunque por la sintomatología parece ser un micoplasma (Espitia, 1992).

Determinaciones

Una vez establecido el cultivo se hicieron algunas mediciones biológicas en las distintas poblaciones, con el objeto de conocer los distintos patrones de variación del crecimiento y desarrollo. Se hicieron nueve muestreos destructivos al azar, primero cada semana, luego cada quince días y, por último, cada mes. El primer muestreo fue a los 25 días después de la germinación, el segundo muestreo a los 32 días, el tercero a los 39 días, el cuarto a los 46 días, el quinto muestreo se hizo a los 60 días, y los siguientes muestreos a los 96, 124, 152 y 180 días.

En todos los muestreos se seleccionaron al azar seis plantas de cada subparcela, las que se extrajeron completas y se transportaron dentro de bolsas de plástico al laboratorio. Posteriormente, se midió el área foliar, el largo, ancho, distancia a la parte mas ancha y largo del pecíolo de cada una de todas las hojas de cada individuo. Finalmente, se separaron las raíces, tallos, hojas e inflorescencias de cada individuo y se pusieron a secar a 60-65 °C hasta peso constante. Se determinó entonces el peso seco y la asignación de recursos e índices de crecimiento.

Para la evaluación del crecimiento en altura se midió en el campo la altura de diez plantas de cada subparcela (las cuales siempre fueron las mismas), desde el suelo hasta el ápice de la inflorescencia (cuando esta se presentó) primero cada tercer día, después cada semana, luego cada quince días y por último cada mes después de la germinación hasta la cosecha del cultivo.

Análisis de resultados

Debido a la variabilidad que presentaron las plantas, para el análisis de crecimiento en altura se hizo un ajuste de curvas, en la cual se utilizó el método funcional o de regresión que es el que emplea las funciones matemáticas para el ajuste de los datos. La función utilizada fue la autocatalítica o logística simple (Hunt, 1982). El ajuste de curvas se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$W = a / (1 + b e^{-cT})$$

donde:

W = altura

a, b y c= constante

e= base de los logaritmos

T= tiempo

A partir del peso seco de raíz, tallos, hojas e inflorescencias se obtuvieron los siguientes atributos:

Asignación de recursos.- La asignación de recursos se evaluó mediante la siguiente fórmula:

$$P.R/Pt \times 100 = \% \text{ de asignación}$$

$$P.T/Pt \times 100 = \% \text{ de asignación}$$

$$P.H/Pt \times 100 = \% \text{ de asignación}$$

$$P.I/Pt \times 100 = \% \text{ de asignación}$$

en donde:

P.R= peso seco de la raíz

P.T= peso seco del tallo

P.H= peso seco de las hojas

P.I= peso seco de las inflorescencias

Pt = peso total de la planta

Biomasa total/planta. Esta se obtuvo sumando los pesos secos de las diferentes partes de la planta.

Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC).- Representa el incremento del material vegetal por unidad de tiempo y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$P_2 - P_1 / t_2 - t_1 = TAC$$

en donde:

P2= Peso seco total del segundo muestreo

P1= Peso seco total del primer muestreo

t2= tiempo del segundo muestreo

t1= tiempo del primer muestreo

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 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 P y A (materia seca y área foliar, respectivamente) y t (tiempo) como variable independiente (Díaz, 1994).

Tasa Relativa de crecimiento (TRC). Representa el incremento de material vegetal por unidad de material vegetal por unidad de tiempo y se obtuvo de acuerdo con:

$$1/P \cdot dP/dt = TRC$$

en donde:

P= peso seco por planta

t= tiempo

Cociente de Area Foliar (CAF). Expresa la proporción de material asimilativo por unidad de material vegetal presente en un instante de tiempo, de acuerdo con:

$$\text{CAF} = A/P$$

en donde:

P= peso seco por planta

A= área foliar por planta

Tasa de Asimilación Neta (TAN). Es el incremento de material vegetal por unidad del sistema asimilativo por unidad de tiempo. Este índice es una medida del balance que existe entre la actividad fotosintética y la respiratoria de la planta. Este índice se obtuvo con la siguiente ecuación.

$$\text{TAN} = 1/A \cdot dP/dt$$

en donde:

P= peso seco por planta

A= área foliar

t= tiempo

Análisis estadístico

Para los valores obtenidos de biomasa total, biomasa parcial, área foliar y altura, se efectuaron análisis de varianza de dos

vías, para evaluar las diferencias entre las cuatro poblaciones consideradas.

Análisis con estadística multivariada

Una vez ya obtenidos todos los resultados, se procedió a realizar un análisis de agrupación o de conglomerados y métodos de ordenación (componentes principales) con el objeto de conocer la variación morfofisiológica de las tres poblaciones estudiadas. En primer lugar se construyó una matriz básica de datos (tabla 6), en ésta se utilizaron los valores máximos de crecimiento de los datos individuales de las 6 plantas de cada población de los caracteres evaluados, también se incluyeron datos de tipo morfológico como: largo, ancho y distancia a la parte más ancha de la hoja y largo del pecíolo. Los individuos de las poblaciones quedaron en las columnas (OTUS= unidad taxonómica de organización) y los caracteres en las hileras.

Solo se evaluaron los caracteres con el máximo valor de crecimiento porque las plantas presentaron diferentes tiempos para terminar su ciclo de vida, por eso se tomaron los valores máximos de crecimiento para cada población considerando que desde el punto de vista biológico este momento resulta importante para la planta, excluyendo *A. retroflexus* porque fue una población en la cual no se pudieron tomar los datos completos. La lista de caracteres considerados en la matriz básica de datos consta de 15 caracteres cuantitativos continuos (tabla 7). Se hicieron estas medidas durante la fase experimental, porque el

trabajo de investigación realizado por Mapes (1993) indicaba que estas eran importantes para poder diferenciar a las poblaciones.

Con base en lo anterior se les asignaron los números 1, 2, 3, 4, 5 y 6 para las formas cultivadas que corresponden a 'Mercado', 7, 8, 9, 10, 11 y 12 para las formas cultivadas y que pertenecen a 'Azteca', y 13, 14, 15, 16, 17 y 18 para las fomentadas y que correspondieron a 'Mixteco'.

Las variables fueron estandarizadas por hileras (caracteres) para eliminar la desigualdad de los valores debido a las diferentes unidades utilizadas y posteriormente se obtuvieron dos matrices de similitud, para indicar la similitud o disimilitud entre cada par de individuos y entre cada par de variables. En el primer caso se utilizó como coeficiente de similitud la distancia euclidiana. En el segundo caso, se utilizó el coeficiente de correlación del momento-producto de Pearson para analizar la similitud de las variables estudiadas. Se utilizaron estos coeficientes porque dicha matriz esta constituida por datos cuantitativos continuos.

Con la matriz de similitud de los individuos se efectuó el análisis de agrupación utilizando el método del ligamiento promedio no ponderado (UPGMA). Con la matriz de correlación de las variables se realizó un análisis de componentes principales. Se estimaron las matrices de valores y vectores en dos dimensiones. Se utilizó la raíz cuadrada de los valores característicos como coeficiente de la longitud de los vectores característicos. La primera matriz indicaría el porcentaje de la variabilidad que explican cada uno de los componentes

principales. La segunda matriz indicaría el peso de cada variable de los dos componentes principales.

El análisis de componentes principales jerarquiza las variables y nos indica que variables son las que agrupan a los OTUs.

IV. RESULTADOS

1. Dinámica del crecimiento

1.1 Crecimiento en altura

En cuanto a los datos obtenidos a partir del crecimiento y de la asignación de recursos se obtuvieron los siguientes resultados.

La dinámica de crecimiento en altura en las diferentes especies se muestra en la figura 4. Al hacer el ajuste de curvas para la variable altura se observa que la velocidad de crecimiento para la población de 'Mercado' fue de -0.087, para 'Azteca' fue de -0.055, para 'Mixteco' de -0.046 y para *A. retroflexus* -0.07.

A. retroflexus y 'Mercado' fueron las poblaciones que tuvieron una velocidad de crecimiento más alta que 'Azteca' y 'Mixteco'. Sin embargo al mismo tiempo, fueron las que alcanzaron una altura menor.

Para los análisis de varianza (ANOVA) de dos vías (tabla 1) para estos valores de altura se obtuvieron diferencias significativas tanto entre poblaciones ($p < 0.05$) como entre cosechas ($p < 0.05$).

1.2 Area foliar

La Fig. 5 muestra la gráfica del área foliar (m^2) de las diferentes poblaciones a los diferentes tiempos.

En 'Mercado' se observa que el área foliar al inicio a los 25 días fue de $0.000125 \pm 0.00002 m^2 (\bar{X} \pm 2S\bar{x})$, y al final a los 152

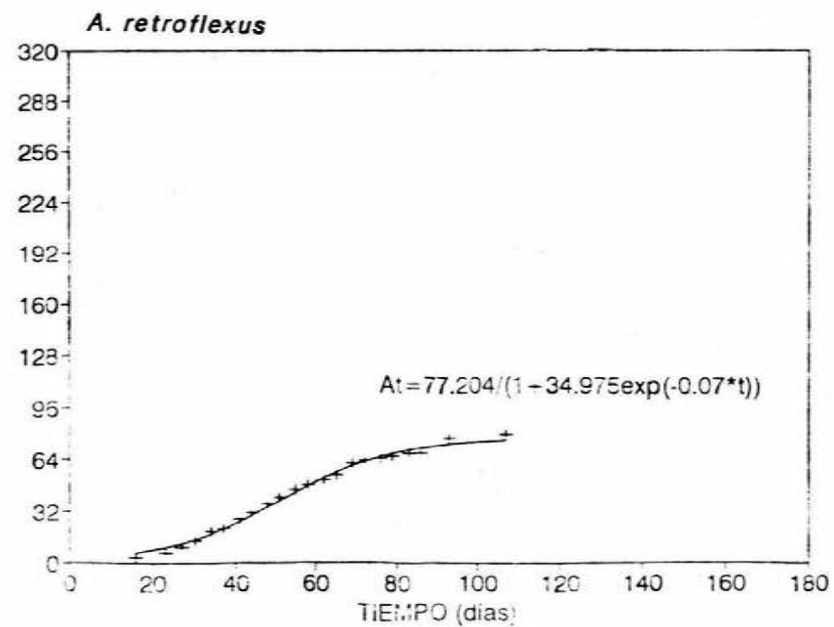
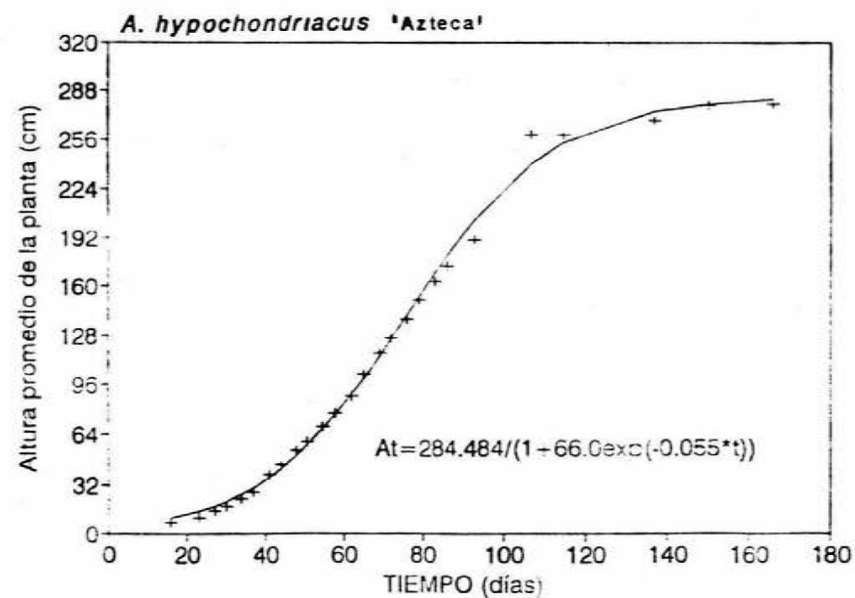
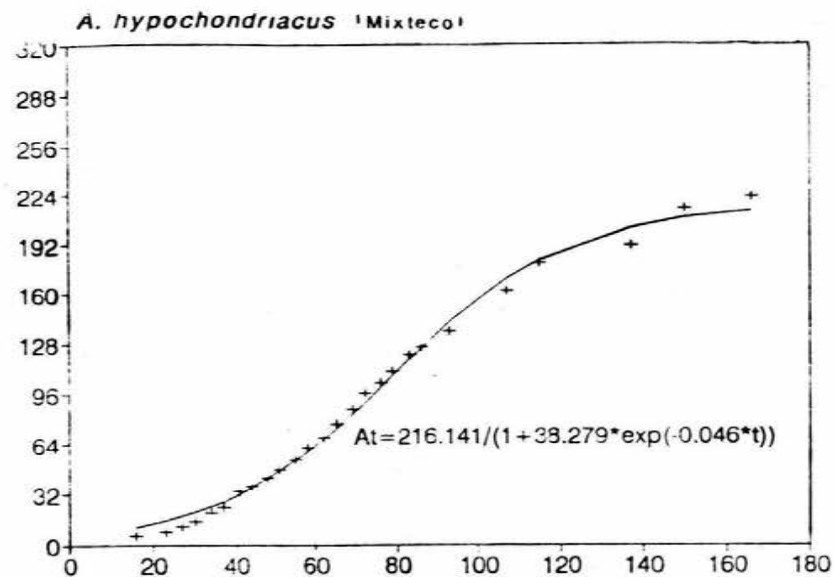
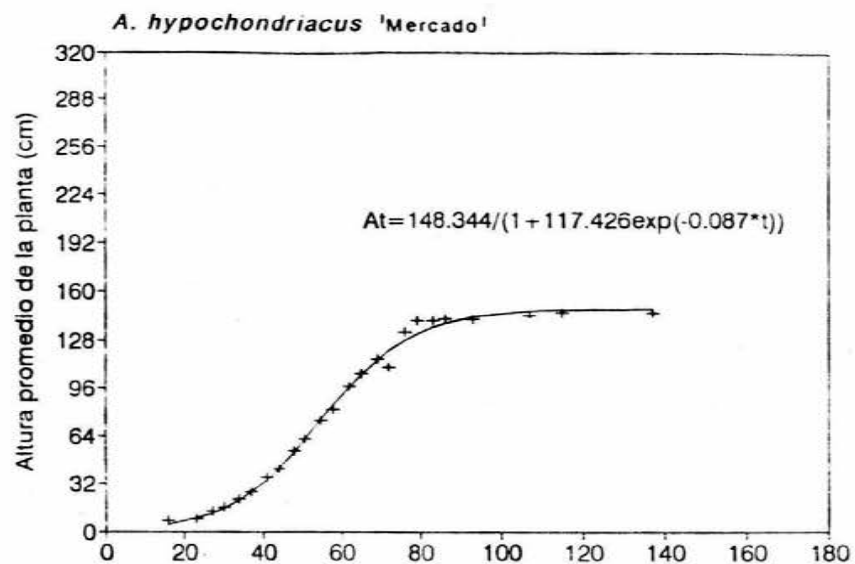


Figura 4. Crecimiento en altura (cm) en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

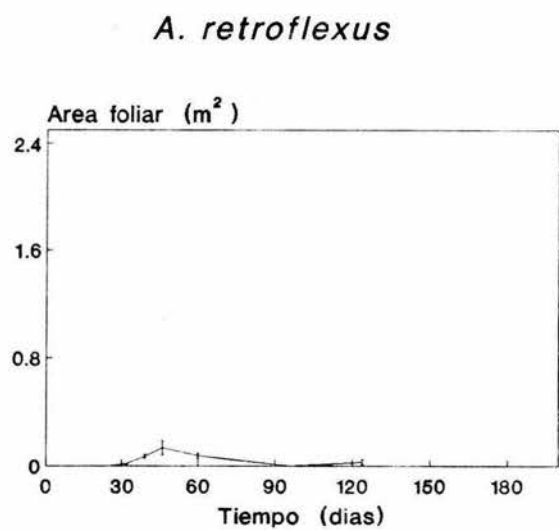
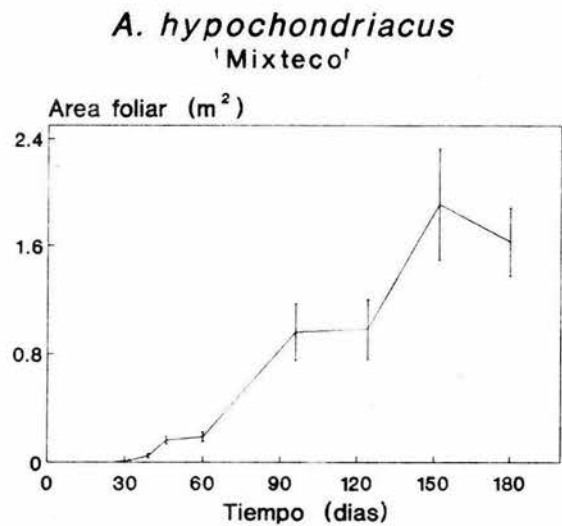
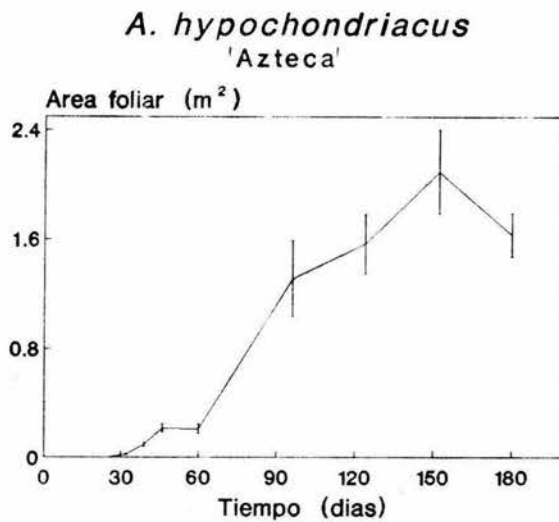
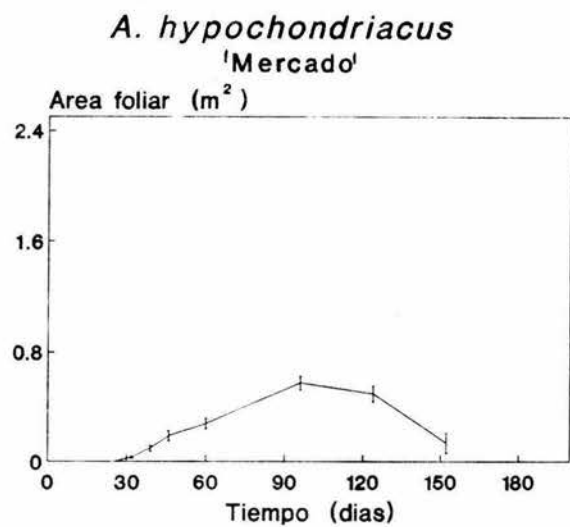


Figura 5. Area foliar (m²) en las cuatro poblaciones de *Amaranthus* los puntos son el \bar{X} y las barras el $2S\bar{x}$.

días fue de $0.135 \pm 0.072 \text{ m}^2$, alcanzando su valor máximo de área foliar a los 96 días con $0.576 \pm 0.05 \text{ m}^2$.

'Azteca' al inicio presenta un área foliar de $0.00006 \pm 0.000006 \text{ m}^2$ que fue a los 25 días y al final a los 180 días $1.634 \pm 0.1 \text{ m}^2$, el valor máximo de área lo alcanzó a los 152 días con $2.097 \pm 0.3 \text{ m}^2$ notándose en la curva que de los 60 a los 96 días hubo un aumento en el área foliar de 0.211 a 1.313 m^2 que se observa muy marcado en la gráfica, después se va observando que la curva sigue aumentando para después descender y llegar a la etapa final.

En 'Mixteco' al inicio a los 25 días presenta un área foliar de $0.000067 \pm 0.00001 \text{ m}^2$ y al final a los 180 días $1.629 \pm 0.25 \text{ m}^2$ de área foliar, alcanzando su valor máximo de área a los 152 días con $1.911 \pm 0.4 \text{ m}^2$, se observa que de los 60 a los 96 días hubo un aumento en el área foliar de 0.18 a 0.96 m^2 , después la curva vuelve a ser lenta para que después a los 152 días se vuelva a disparar este aumento del área foliar, y llegar a su máximo y descender.

Amaranthus retroflexus se observa que a los 25 días el área foliar fue de $0.000068 \pm 0.000008 \text{ m}^2$ que es al inicio y observándose que al final a los 125 días el área fue de $0.028881 \pm 0.01 \text{ m}^2$ alcanzando su valor máximo de área foliar a los 46 días con $0.1319 \pm 0.05 \text{ m}^2$. Se observa que en esta curva el aumento del área foliar fue aumentando y descendiendo muy lentamente.

Para los análisis de varianza (ANOVA) de dos vías (tabla 2) para estos valores se obtuvieron diferencias significativas tanto entre poblaciones ($p < 0.05$) como entre cosechas ($p < 0.05$).

2. Asignación de recursos

2.1.- Biomasa total

La Fig. 6 muestra el incremento en biomasa por planta (g de peso seco) a través del tiempo.

En 'Mercado', al inicio la biomasa total a los 25 días fue de 1.151 ± 0.09 g ($\bar{X} \pm 2S\bar{x}$) y al final de 539.156 ± 68 g a los 152 días que es el momento en donde esta población alcanzó su valor máximo.

En 'Azteca' la biomasa total al inicio (25 días) fue de 0.513 ± 0.04 g y la biomasa total al final a los 180 días de 772 ± 74 g alcanzando su valor máximo de 905.45 ± 115 g a los 152 días.

La biomasa total que presentó 'Mixteco' al inicio (25 días) fue de 0.541 ± 0.08 g y la biomasa total al final fue de 779.06 ± 104 g que es en donde se alcanzó su valor máximo a los 180 días.

La biomasa total de *A. retroflexus* a los 25 días fue de 0.352 ± 0.06 g y al final fue de 70.12 ± 20 g a los 124 días, alcanzando su valor máximo a los 96 días que fue de 99.18 ± 18 g.

Para los análisis estadísticos (ANOVA) de dos vías (tabla 3) para estos valores se obtuvieron diferencias altamente significativas tanto entre poblaciones ($p < 0.05$) como entre cosechas ($p < 0.05$).

2.3 Asignación de biomasa

Los datos de asignación porcentual de recursos a las diferentes partes de la planta se presentan en la Fig. 7 para cada población.

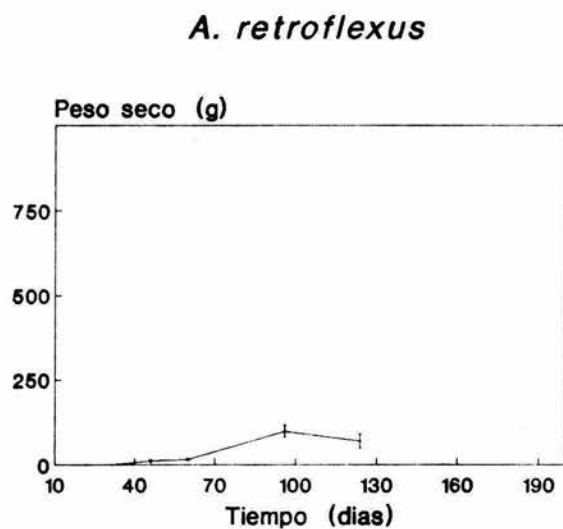
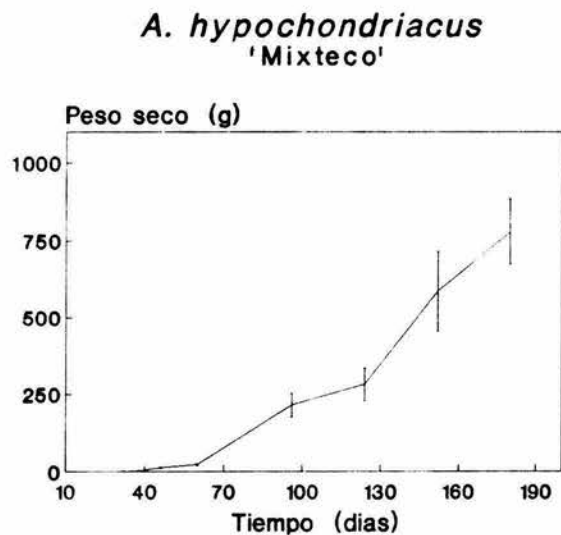
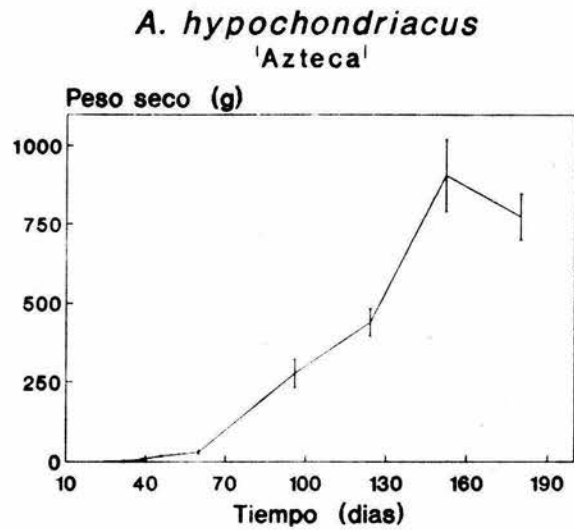
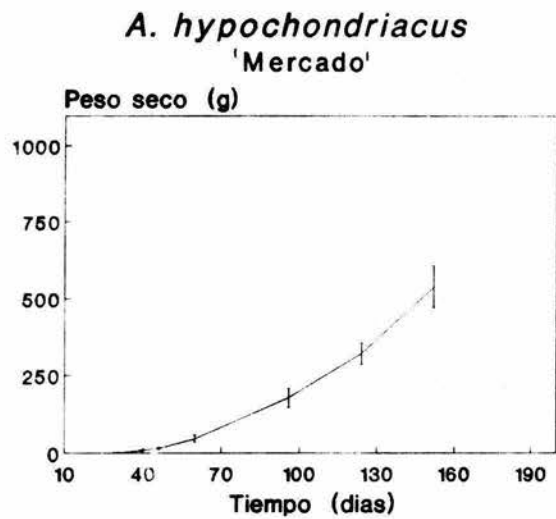


Figura 6. Peso seco total (g) en las cuatro poblaciones de *Amaranthus* los puntos son el \bar{X} y las barras el $2S\bar{x}$.

Al inicio de su ciclo de vida 'Mercado' asigna cerca del 68% a la producción de hojas, un 18% a la producción de tallos y 12% a la producción de raíz. Al final de su ciclo este patrón de asignación se modifica de la siguiente manera: 2% a la producción de hojas, 25% a la producción de tallos, 65% a la producción de estructuras reproductivas y 8 % a la producción de raíz.

Al inicio de su ciclo de vida, 'Azteca' asigna cerca del 64% a la producción de hojas , un 21% a la producción de tallos y 15% a la producción de raíz. Al final de su ciclo este patrón se modifica de la siguiente manera: 16% a la producción de hojas, 40% a la producción de tallos, 35% a la producción de estructuras reproductivas y 9% a la producción de raíz.

Al inicio de su ciclo de vida, 'Mixteco' asigna cerca del 70% a la producción de hojas, 21% a la producción de tallos y 10% a la producción de raíz. Al final del ciclo de esta población el patrón de asignación se modifica de la siguiente manera: 14% a la producción de hojas, 43% a la producción de tallos, 31% a la producción de estructuras reproductivas y 12% a la producción de raíz.

Amaranthus retroflexus, al inicio de su ciclo de vida, asigna 47% a la producción de hojas, 31% a la producción de tallos y 22% a la producción de raíz. Al final del ciclo de vida el patrón de asignación se modifica de la siguiente manera: 5% a la producción de hojas, 26% a la producción de tallos, 63% a la producción de estructuras reproductivas y 6% a la producción de raíz.

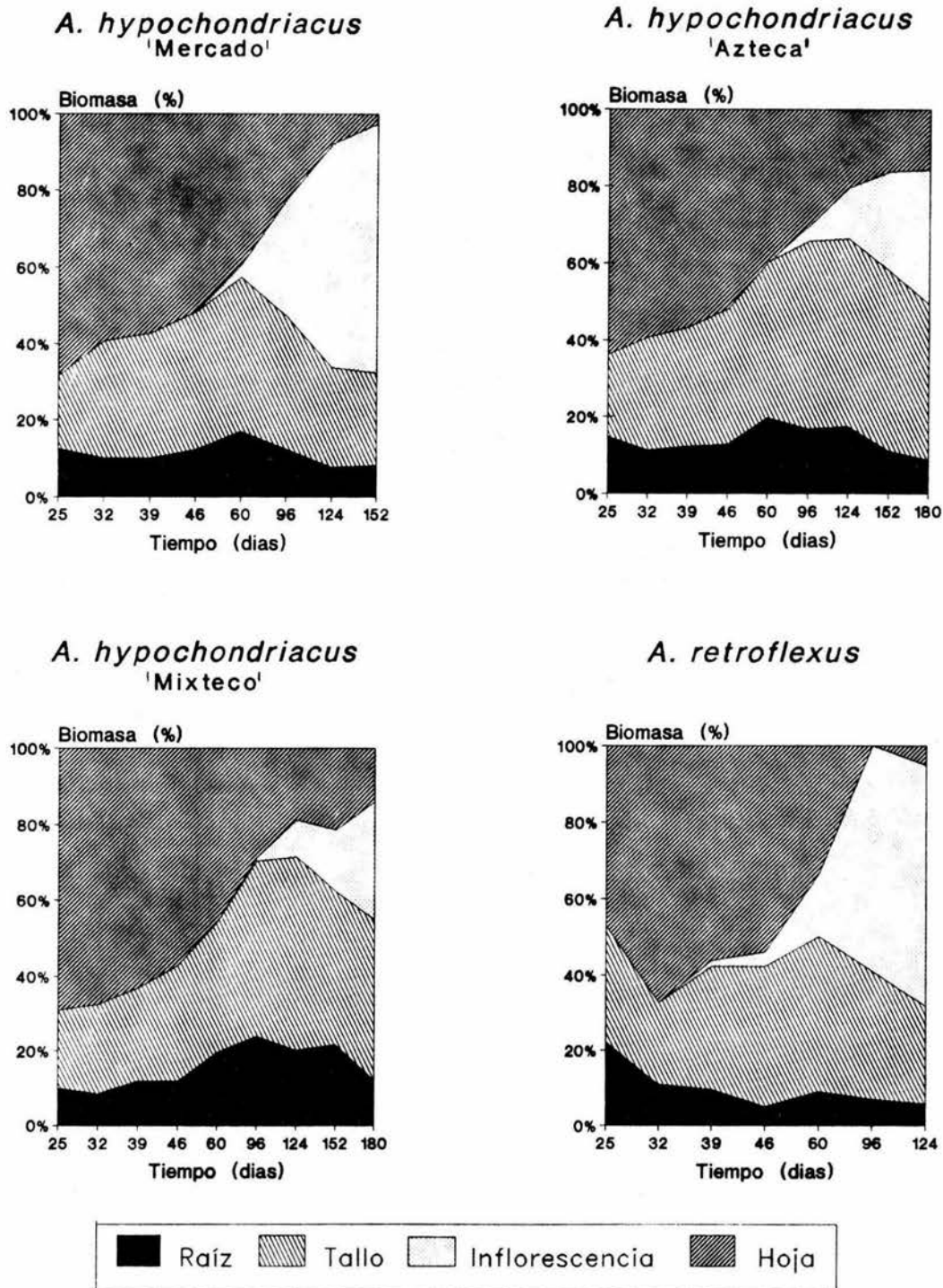


Figura 7. Asignación de recursos (porcentaje de biomasa) en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

En los análisis estadísticos (ANOVA) de dos vías (tabla 4) para el porcentaje de hojas las diferencias fueron altamente significativas entre poblaciones y entre cosechas ($p < 0.05$).

En los análisis estadísticos (ANOVA) de dos vías (tabla 5) para el porcentaje de inflorescencia las diferencias fueron altamente significativas entre poblaciones ($p < 0.05$) y entre cosechas ($p < 0.05$).

3. Tasas de Crecimiento

1.3 Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA)

En la Fig. 8 se muestra la tendencia comparativa de la Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA) de las colectas estudiadas durante su ciclo de vida.

La TCA es el incremento de material vegetal por unidad de tiempo, que no es más que la pendiente de la curva sigmoide en el tiempo.

Se observa que la Tasa Absoluta de Crecimiento (TCA) va aumentando conforme aumenta el tiempo. La TCA al inicio a los 25 días para 'Mercado' fue de (0.0186 ± 0.073) g/día ($\bar{X} \pm 2S\bar{x}$), para 'Azteca' (0.2 ± 0.051) , para 'Mixteco' (0.09 ± 0.027) y para *A. retroflexus* (0.081 ± 0.025) . La TCA se encuentra aumentando progresivamente conforme aumenta el tiempo hasta alcanzar su valor máximo, para después comenzar a disminuir progresivamente con el tiempo.

Al comparar la TCA máxima de las colectas tenemos en orden decreciente a 'Azteca' (16.662 ± 4.29) g/día ($\bar{X} \pm 2S\bar{x}$),

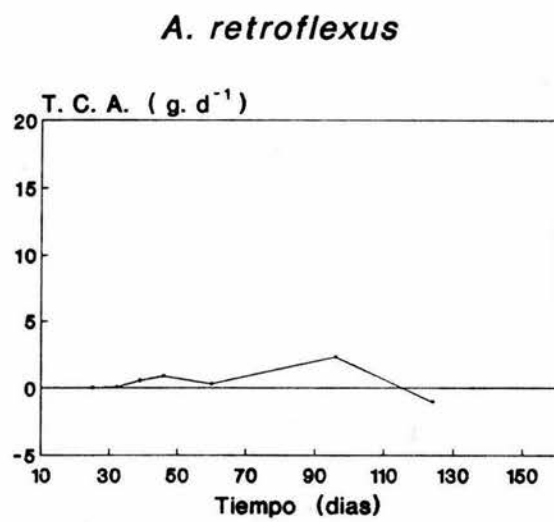
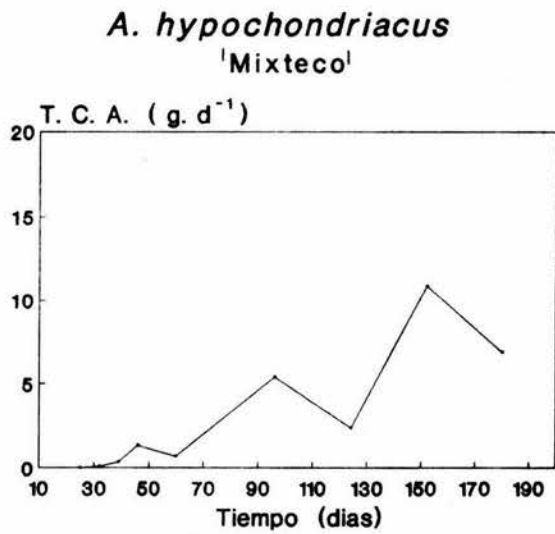
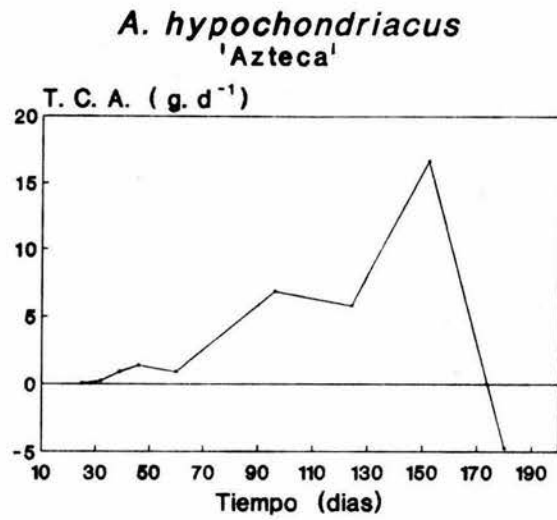
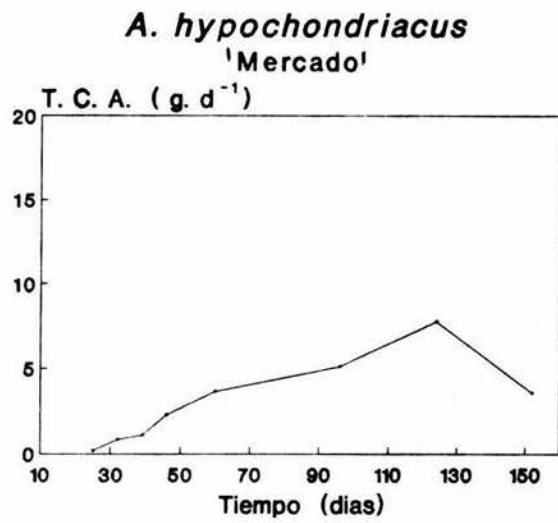


Figura 8. Tasa de Crecimiento Absoluto en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

'Mixteco' (10.848 ± 5.005), 'Mercado' (7.762 ± 2.66) y *A. retroflexus* (2.327 ± 0.45).

3.2. Tasa Relativa de Crecimiento (TRC)

La TRC es el incremento de material vegetal presente por unidad de tiempo y denota la eficiencia de la planta como productora de nuevo material.

Se observa en la Fig. 9 que en todas las cuatro poblaciones inicialmente la TCR es alta. A los 25 días después de la germinación la TCR en 'Mercado' fue de $0.0149 \pm 0.013 \text{ g.g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ($\bar{X} \pm 2S \bar{x}$), para 'Azteca' 0.0156 ± 0.012 , para 'Mixteco' 0.15 ± 0.014 y para *A. retroflexus* 0.144 ± 0.012 .

Hacia el final del ciclo se observa un decremento en la TCR, incluso hasta alcanzar valores negativos en *A. retroflexus*. Por otra parte al comparar la TCR máxima por colecta tenemos en orden decreciente a 'Mixteco' $0.1583 \pm 0.014 \text{ g.g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ($\bar{X} \pm 2S\bar{x}$), 'Azteca' 0.156 ± 0.012 , 'Mercado' 0.149 ± 0.013 y *A. retroflexus* 0.1448 ± 0.012 .

En general, se observa que en las cuatro poblaciones la tasa de crecimiento relativo (TCR) al inicio del ciclo vegetativo es alta disminuyendo paulatinamente hacia el final del ciclo.

3.3. Coeficiente de Area Foliar (CAF)

El Coeficiente de Area Foliar (CAF) expresa la cantidad de material asimilativo por unidad de material vegetal presente en un instante de tiempo.

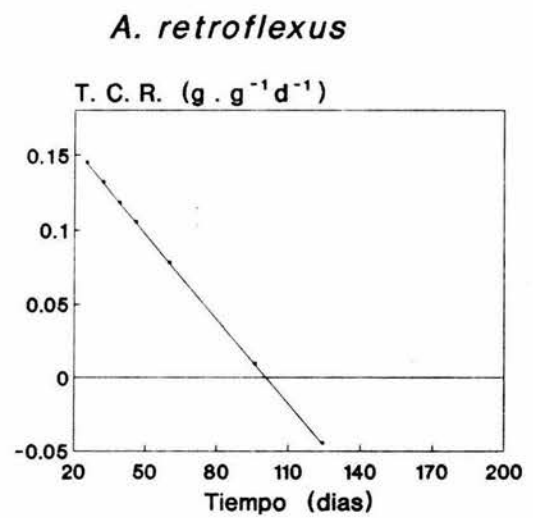
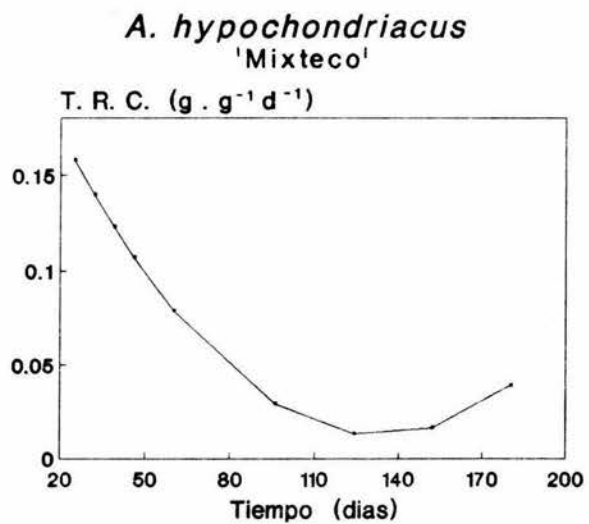
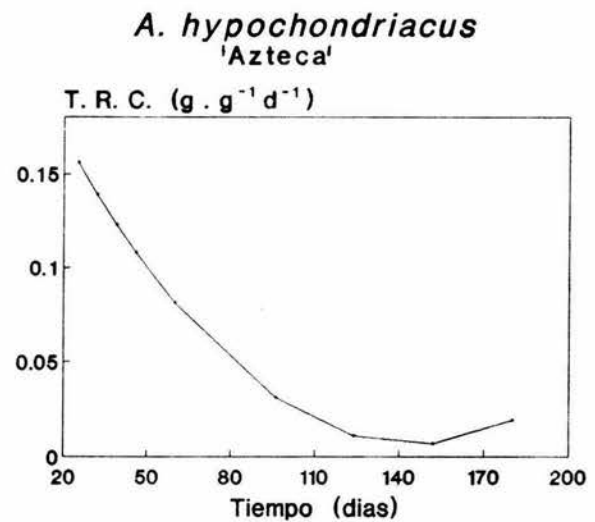
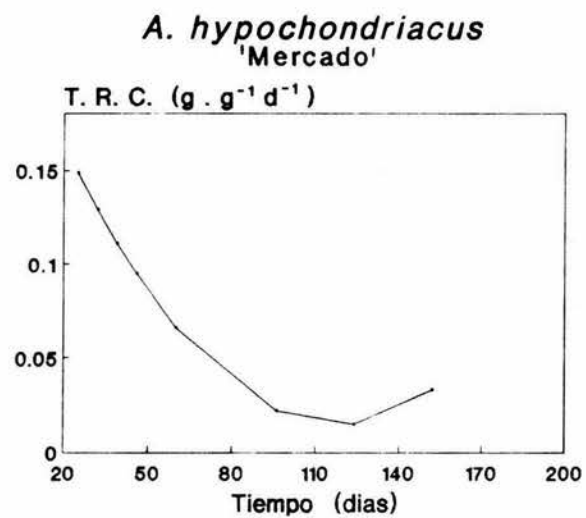


Figura 9. Tasa de Crecimiento Relativo en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

En la Fig. 10 se muestra el comportamiento del CAF entre las poblaciones estudiadas a través del tiempo. En el inicio de la etapa vegetativa, 25 días después de la germinación se observa que el CAF para 'Mercado' fue de $0.0011 \pm 0.008 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ($\bar{X} \pm 2S\bar{X}$), para 'Azteca' 0.008 ± 0.0003 , para 'Mixteco' 0.0009 ± 0.0003 y para *A. retroflexus* 0.0002 ± 0.0001 .

Al inicio de la etapa vegetativa se presentó el valor más alto de este parámetro para cada colecta con una tendencia a disminuir progresivamente hacia el final del periodo experimental. Al comparar los valores máximos del CAF, en orden decreciente, tenemos: *A. retroflexus* 0.0323 ± 0.017 , 'Mixteco' 0.0159 ± 0.005 , 'Azteca' 0.0158 ± 0.004 y 'Mercado' 0.0137 ± 0.007 .

3.4. Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Se muestra en la Fig. 11 la comparación de la Tasa de Asimilación Neta (TAN) en las cuatro poblaciones estudiadas, a través del tiempo.

La TAN denota el incremento de material vegetal por unidad del sistema asimilativo, por unidad de tiempo. Este índice es una medida del balance que existe entre la actividad fotosintética y la respiratoria de la planta.

A los 25 días después de la germinación se observa que la TAN para 'Mercado' fue de $129.26 \pm 93.5 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ($\bar{X} \pm 2S\bar{X}$), para 'Azteca' de 174.96 ± 71.1 , para 'Mixteco' de 162.1 ± 65.8 y para *A. retroflexus* de 591.67 ± 456.8 .

Se observa que la TAN es muy alta en las primeras etapas del desarrollo de la planta y después tiene una marcada tendencia

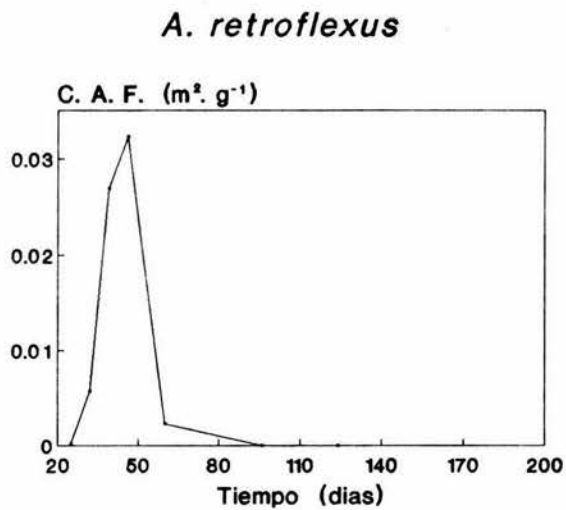
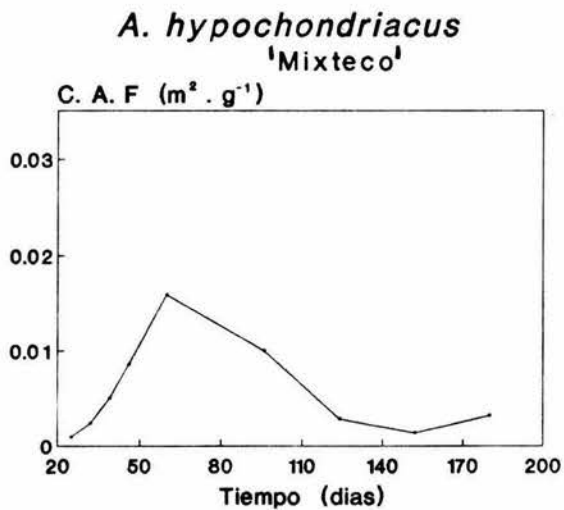
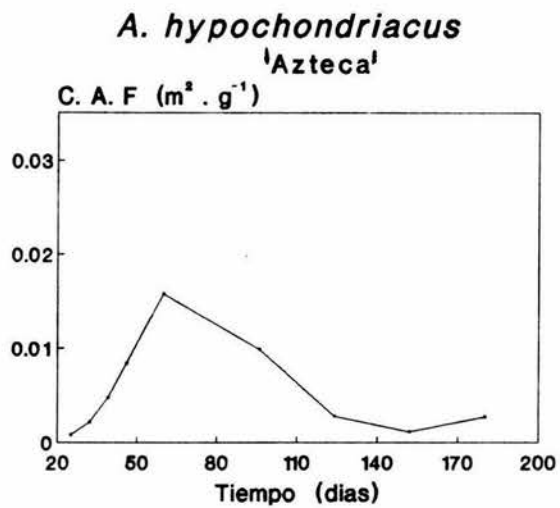
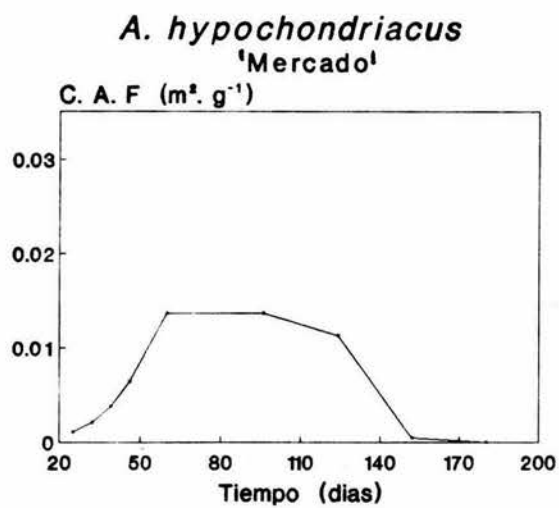


Figura 10. Cociente de Area Foliar en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

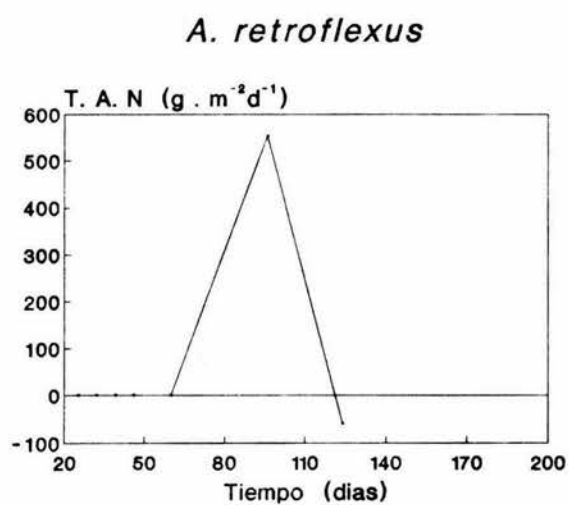
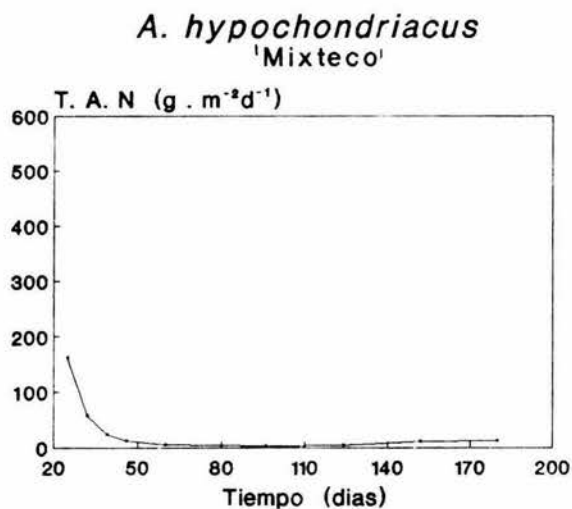
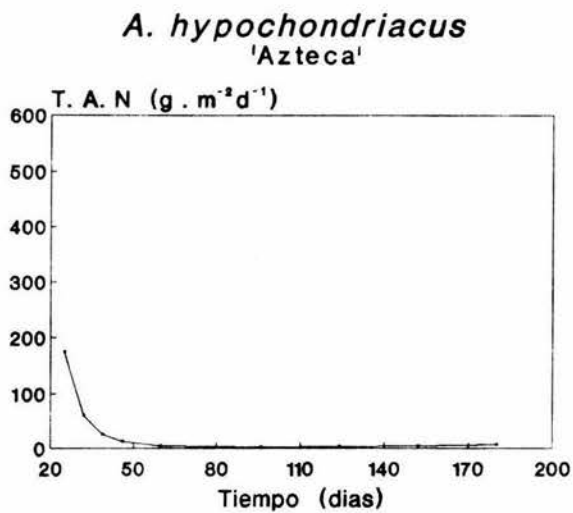
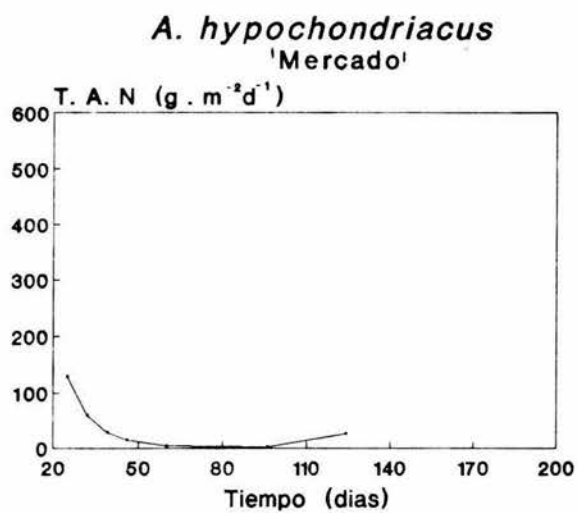


Figura 11. Tasa de Asimilación Neta en las cuatro poblaciones de *Amaranthus*.

a disminuir con la edad de la planta. Sin embargo, se pueden encontrar aumentos de la TAN en etapas finales del desarrollo como se observa en 'Mercado' y *A. retroflexus*, esto es debido, a la demanda de fotosintatos que se ejerce para la formación de las semillas.

Si se comparan los valores máximos de la TAN se observa que para, *A. retroflexus* fue de 591.17 ± 456.8 , para 'Azteca' de 174.96 ± 71.12 , para 'Mixteco' de 162.1 ± 65.8 y para 'Mercado' de 129.26 ± 93.5 .

Resultados del análisis multivariado

En la Fig. 12 se muestra el fenograma resultante del análisis de conglomerados de los 18 individuos (tabla 6) provenientes de las tres poblaciones (6 individuos/población) examinadas; no se pudo incluir en este análisis a *A. retroflexus* porque no se obtuvieron los datos completos.

El fenograma muestra la similitud entre los individuos en cuanto a sus valores máximos alcanzados para cada uno de los 15 caracteres enlistados en la tabla 7. Como puede apreciarse, los tres grupos que se forman corresponden, casi sin excepción, con las poblaciones a las que pertenecen los individuos.

El conglomerado de la parte inferior del fenograma agrupa a los individuos 7 a 18 y este grupo se divide a su vez en dos subgrupos: el primer subgrupo formado por los individuos 7 a 12 que pertenecen a la población cultivada de 'Azteca' y que es productora de grano en tanto que el segundo subgrupo lo integran

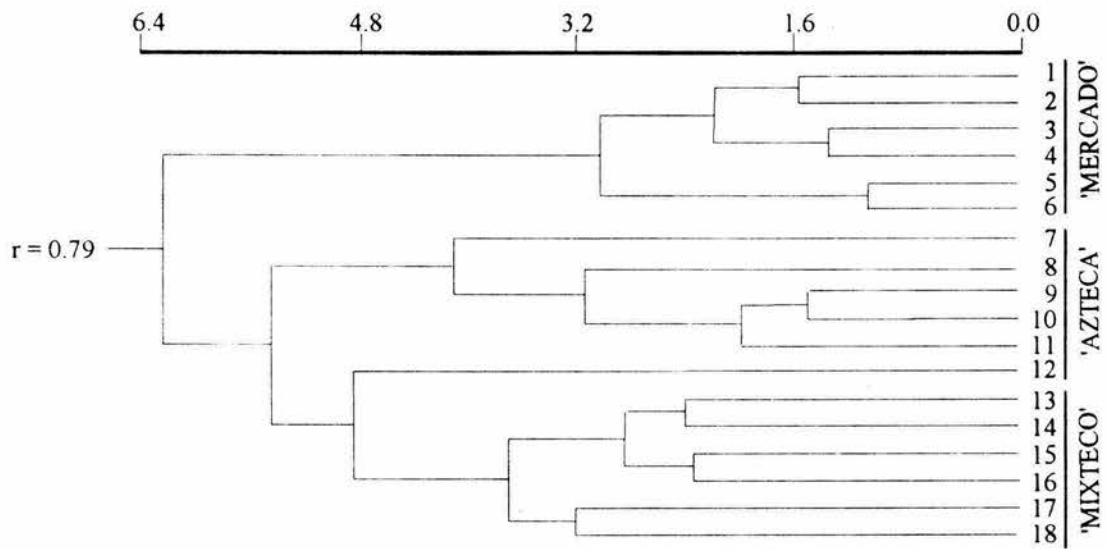


Figura 12. Fenograma de 15 caracteres evaluados en 18 individuos de *Amaranthus*.

los individuos 13 a 18 que corresponden a la población fomentada de 'Mixteco' que es productora de verdura.

El conglomerado de la parte superior agrupa a los individuos 1 a 6 que corresponden a 'Mercado', cultivada y utilizada como grano. Los resultados del análisis de componentes principales (Fig. 13) son altamente consistentes con los de análisis de conglomerados. La Fig. 13 muestra la distribución de los individuos en el espacio definido por el primer y segundo componentes principales. Como puede observarse, el primer componente principal separa a los individuos de 'Mercado' de los que corresponden a 'Azteca' y a 'Mixteco'. En estos resultados se vuelve a mostrar que las dos poblaciones 'Azteca' y 'Mixteco' poseen características morfológicas muy parecidas entre sí. Por otra parte el segundo componente principal, además de separar a la población 'Mixteco' y 'Azteca', discrimina entre los individuos que se emplean para producción de grano (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 12) de aquellas seleccionadas para verdura (13, 14, 15, 16, 17 y 18).

En la Tabla 8 se muestran los caracteres con mayor peso para cada uno de los dos primeros componentes principales, los cuales explican el 78.1 % de la variación total. Como puede verse, el primer componente principal resume la variación relativa al tamaño y biomasa de las hojas. De esa manera, hacia el extremo negativo del primer componente se ubican los individuos de la población 'Mercado' que poseen hojas pequeñas, en la parte central los individuos de la población 'Mixteco' con sus hojas de tamaño medio y, hacia el extremo derecho del eje, los individuos

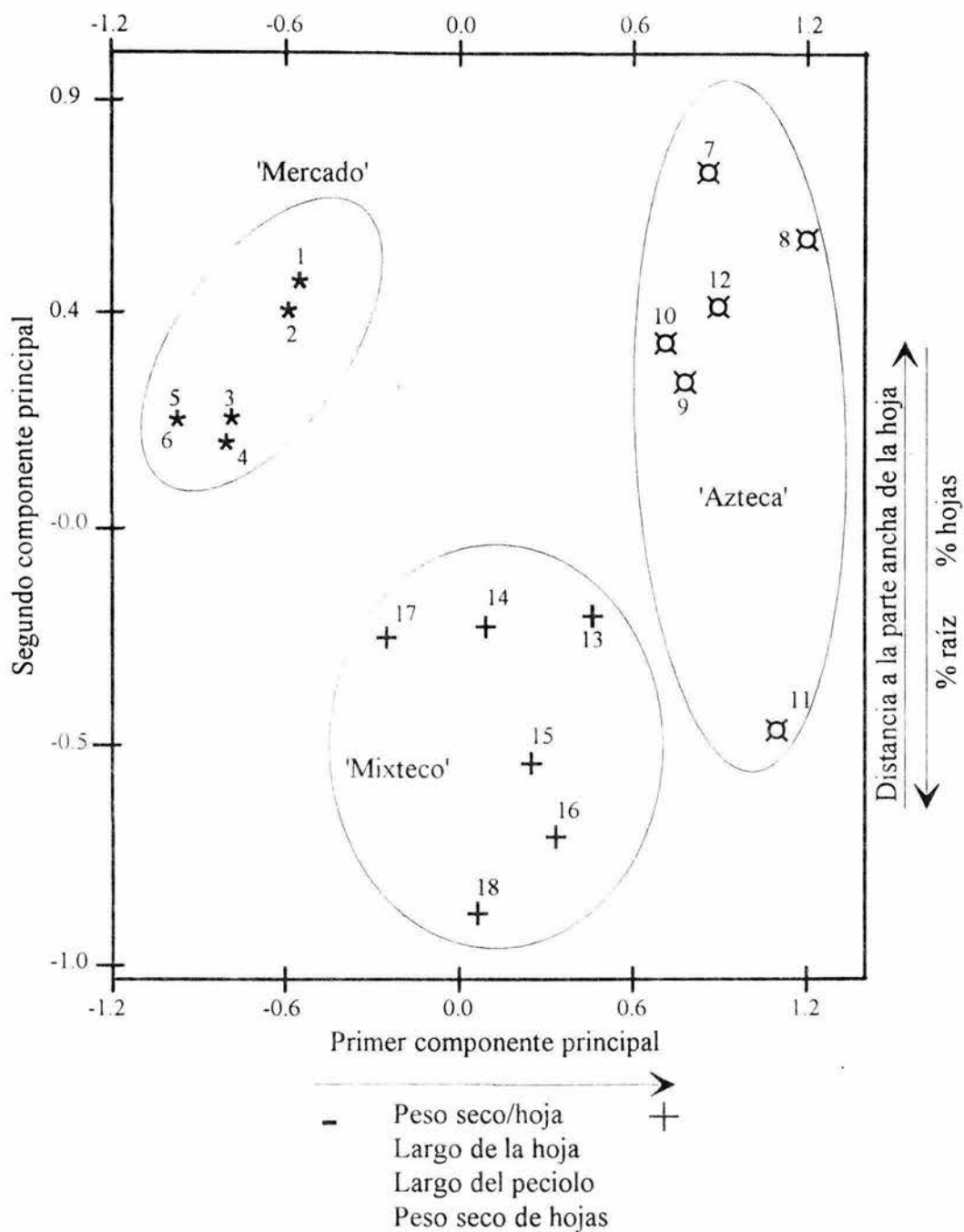


Figura 13. Proyección de 18 individuos de *Amaranthus* en un espacio bidimensional de caracteres.

de la población 'Azteca' con hojas muy largas y pesadas. Por otra parte, el segundo componente principal resume la variación relativa a la proporción de biomasa de raíz, peso seco de raíz, distancia a la parte mas ancha de las hojas y proporción de biomasa de hojas.

De esa manera, hacia el extremo negativo del segundo componente principal se ubican los individuos seleccionados para verdura ('Mixteco') en los que se asigna un alto porcentaje de recursos a la producción de hojas y raíces. Esto los distingue de las poblaciones seleccionadas para grano ('Mercado' y 'Azteca') los cuales asignan pocos recursos a hojas y raíces y los dedican, preferentemente, a la producción de estructuras reproductivas, por lo que caen en el segundo componente principal.

V. DISCUSION

Los resultados obtenidos en este trabajo, en cuanto al análisis de crecimiento y asignación de recursos, se encuentran totalmente relacionados con la formas de utilización de cada una de las especies. 'Mercado' es una población cultivada seleccionada para la producción de grano y alcanzó una altura promedio de 1.50 m y presenta un ciclo de vida de 152 días. Alcanzó 0.576 m² de área foliar a los 96 días y un peso total de 539.156 g. De esta biomasa total, asigno 353.96 g a la producción de las estructuras reproductivas, siendo el 65 % al final del ciclo de vida. Presento valores de TCA y TCR más bajos que 'Azteca' y 'Mixteco' y sus valores de CAF y TAN fueron los más bajos. Es importante señalar, que alcanzó el máximo de área foliar a los 96 días, mucho antes que 'Azteca' y 'Mixteco', aunque al final llego a producir poca biomasa total.

'Mercado' ha sido propuesta por el INIFAP (Espitia, 1991) para establecer una agricultura mecanizada en las zonas productoras de amaranto, ya que es de poca altura y tiene ciclo de vida corto.

'Azteca' resulto ser la población con mayor rendimiento biológico de las examinadas en este estudio aunque cabe señalar que las semillas donadas por el Banco de Germoplasma del INIFAP resultaron ser una mezcla de 'Azteca' con 'Mixteco'. Esto se reflejó en muchos de los datos obtenidos.

'Azteca' es una población cultivada, seleccionada para la producción de grano. Se encuentra totalmente adaptada a la región de Tulyehualco, México. Las plantas llegan a alcanzar una altura de 3 m y tienen un ciclo de vida muy largo (de 160 a 180 días en Chapingo) y, bajo las condiciones climáticas de Chalco, las plantas no llegaron a madurar. Presentó una gran área foliar, alcanzando 2.097 m² a los 180 días y los utilizó de manera muy eficiente al producir 905.45 g de biomasa total. Al final de su ciclo de vida solo destinó el 35 % a estructuras reproductivas. Esto muestra, que la población se encontraba mezclada con 'Mixteco' y, de hecho, en este estudio los datos obtenidos de las dos poblaciones son muy similares. Otra razón pudo haber sido que, como ya dijimos bajo las condiciones de Chalco no llegó a madurar. Presenta los valores más altos de TCA y presentó valores de TCR, CAF y TAN muy similares a los de 'Mixteco' .

En los programas de mejoramiento se están buscando plantas más precoces, con el propósito de evadir la sequía o poder cultivar la alegría en regiones con estaciones cortas de crecimiento; también se está buscando una planta cuya altura permita la cosecha mecánica. Desde este punto de vista, 'Azteca' es el menos adecuado.

En este estudio se demuestra que, a pesar de que 'Azteca' presenta plantas muy altas que no permiten la mecanización y un ciclo de vida muy largo, es altamente eficiente y se encuentra totalmente adaptada a la región de Tulyehualco donde los agricultores desde tiempos prehispánicos la han sembrado. A pesar de que no termina su ciclo bajo las condiciones de Chalco,

por las heladas tempranas, llega a presentar un alto rendimiento biológico.

'Mixteco' es una población fomentada que se usa a manera de verdura en la Sierra Norte de Puebla. Alcanzó una altura de 2.21 m y tampoco alcanzó a terminar bajo las condiciones climáticas de Chalco. Presentó una área foliar máxima de 1.911 m² a los 152 días y llegó a producir 779.06 g. Al final asignó sólo el 31% a las estructuras reproductivas. Los valores de TCA, TCR, CAF y TAN son bastante altos.

Las especies productoras de grano dedican la mayor parte de sus recursos a la producción de estructuras reproductivas. El hombre, a través del proceso de domesticación, ha logrado que estas especies desarrollen una inflorescencia central bastante grande, aumentando así la producción.

Los datos de fenología, biomasa y área foliar obtenidos en este estudio sugieren que la forma fomentada difiere de las formas cultivadas y arvenses en cuanto a la estrategia de retardar la reproducción y prolongar la producción de follaje.

Finalmente, en la especie arvense *Amaranthus retroflexus* se pudieron apreciar características malezoides como fueron la falta del desarrollo de una inflorescencia central y presencia de semillas negras. El área foliar que presentó fue muy baja (0.131 m²), debido a que no se adaptó a las condiciones del cultivo experimental. El mayor porcentaje de la asignación de recursos fue para las hojas, con 67 % a los 32 días y, al final del ciclo, la mayor asignación de recursos fue para las estructuras reproductivas (63 %). La mayor proporción de biomasa a hojas

fue asignada en las primeras etapas del desarrollo de la planta, momento en el cual se consumen.

Una vez pasada esta etapa la planta entra en competencia con el maíz y, debido a esto ya no tiene la misma aceptación por parte de los agricultores siendo arrancadas y pisoteadas. De ahí que tenga que producir un alto porcentaje de inflorescencias para poder diseminar las semillas y asegurar su sobrevivencia.

En el estudio, *A. retroflexus* fue la especie con ciclo de vida mas corto (139 días) y presentó los valores más bajos de altura, área foliar, biomasa total, TCA y TCR, y presentó valores altos de CAF y TAN.

Tanto el análisis de agrupación como el de componentes principales mostraron la clara diferenciación morfofisiológica que existe en estas tres poblaciones de *A. hypochondriacus*.

En cuanto a la metodología empleada cabe destacar que previamente a la realización de esta investigación ya se habían efectuado cuatro ciclos agrícolas. Esto dio como resultado que ya se hubiera tenido experiencia en cuanto a las colectas utilizadas, las prácticas agrícolas y la toma de datos. Los cuatro materiales con los que se trabajó provenían de muy diferentes lugares y se sembraron junto con otras colectas en un total de 32 subparcelas bajo condiciones homogéneas de cultivo. De esta manera, se cumplió también con el objetivo de mostrar en un pequeño espacio la enorme diversidad de germoplasma de amaranto presente en México.

El hecho de que las especies fueran originarias de lugares tan diferentes, donde las condiciones climáticas, ecológicas son

tan distintas a la región de Chalco, hace que se pudieran cuestionar los resultados obtenidos en este trabajo. En este sentido, es necesario señalar que todas las especies fueron establecidas bajo las mismas condiciones de cultivo encontrándose las diferencias que ya se presentaron y discutieron. Sin lugar a dudas, en un futuro será necesario realizar experimentos similares simultáneos en el lugar de origen de los materiales biológicos o en otras zonas ecológicas. Para ello se sembraron poblaciones ruderales, arvenses y fomentadas de amaranto usadas a manera de verdura provenientes principalmente de Sierra Norte de Puebla, región donde se han venido realizando investigaciones etnobotánicas.

De la metodología empleada en el desarrollo de la investigación se tendría que decir lo siguiente:

a) La siembra de los materiales estudiadas no se realizó bajo un diseño experimental.

b) Hubiera sido importante muestrear más individuos, más colectas y con intervalos menores de cosecha.

c) Se obtuvo mucha variación fenotípica en los resultados del análisis de crecimiento debido a que se presentaban plantas de diferentes tamaños. Esto se presentó porque no todas las poblaciones tuvieron la misma respuesta en la fase de establecimiento del cultivo.

d) El área foliar fue medida en el laboratorio. Hubiera sido ideal contar con un medidor de campo.

Los puntos anteriormente mencionados no se cumplieron porque no se contaba con las condiciones de equipo y humanas para llevarlas a cabo.

Por otra parte el amaranto es un cultivo que con un poco de cuidado agrícola da excelentes resultados. Las condiciones del experimento dieron como resultado plantas muy grandes y vigorosas lo que dificultó mucho el trabajo ya que se emplearon muchas horas en hacer el muestreo destructivo y obtener las medidas.

La baja densidad de siembra hizo que las plantas se ramificaran mucho asignando una gran cantidad de recursos a los tallos. Debido a su gran tamaño y ramificación no se pudieron utilizar más de seis individuos de cada población. El muestreo de raíz tampoco fue completo ya que únicamente se arrancaban las plantas completas.

A pesar de todo esto, la metodología empleada en este estudio es novedosa y permitió analizar los patrones de crecimiento a lo largo del ciclo de vida de la planta. Pocos estudios han hecho esto, lo que implicó mucho trabajo durante la fase experimental. La parte de análisis de datos también llevo mucho tiempo puesto que eran muchos los resultados obtenidos además de que implicó el aprendizaje de ciertos programas y técnicas

VI. CONCLUSIONES

1) Existe una estrecha relación en cuanto a los datos obtenidos de análisis de crecimiento y asignación de recursos con las formas de utilización de cada una de las poblaciones estudiadas.

2) La población de 'Mercado' fue seleccionada para la producción de grano, asignó la mayor parte de sus recursos a la producción de estructuras reproductivas. El hombre a través del proceso de domesticación ha logrado que estos materiales biológicos desarrollen una gran inflorescencia central, aumentando de esta manera la producción.

'Mercado' resultó ser una planta de ciclo corto, de baja estatura y con una muy buena producción de semillas.

3) Por el contrario la población de 'Azteca' presentó una mayor altura y un ciclo de vida más largo bajo las condiciones climáticas de Chalco. La producción de estructuras reproductivas fue muy baja comparada con 'Mercado'. Esto pudo haberse debido a que no terminó su ciclo de vida y a que esta población se encontraba mezclada con 'Mixteco'. Cabe señalar que presentó un valor muy alto de área foliar (2.097 m^2 a los 180 días) y una alta producción de biomasa total (905.45 g).

4) La población de 'Mixteco' es originaria de Sierra Norte de Puebla, es fomentada y se usa a manera de verdura. Las plantas

tampoco terminaron su ciclo de vida bajo las condiciones de Chalco. Esta forma difiere de las cultivadas y arvenses en que retarda la reproducción y prolonga la producción de follaje.

5) La especie arvense *A. retroflexus* usada a manera de verdura, no se adaptó a las condiciones climáticas de Chalco, puesto que es una planta del norte, de clima templado. Sin embargo mostró claramente su comportamiento de arvense. El mayor porcentaje de asignación de recursos fue para las hojas, con 67 % a los 32 días, momento en que se consumen éstas, en las primeras etapas del desarrollo de la planta. Una vez pasada esta etapa, la planta entra en competencia con el maíz por lo que es arrancada y pisoteada por los campesinos. En este momento produce una gran cantidad de estructuras reproductivas para poder asegurar su sobrevivencia, diseminando una gran cantidad de semillas.

6) Tanto el análisis de agrupación como el de componentes principales muestra una clara diferenciación morfofisiológica que existe entre las tres poblaciones de *A. hypochondriacus*.

7) En el futuro es importante realizar más estudios de este tipo que complementen los resultados obtenidos en esta investigación.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, J. y G. Alatorre 1978. Monografía de la Alegría. Memoria del grupo de Estudios Ambientales 1(1):156-203
- Auquier, P. y Renard, R. 1975. Nombres chromosomiques des quelques angiospermes du Rwanda Burundi et Kivu (Zaire).I. Bull. Jard.Bot. Nat. Belg. 45: 421-445.
- Behera, B. y Patnaik, S.N. 1974. Cytotaxonomic studies in the family Amaranthaceae. Cytologia. 39: 121-131.
- Bye, R. 1993. The role of humans in diversification of plants in Mexico. En T.P Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y L. Fa (Eds.) Biological Diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford University Press. New York Oxford. pp 707-731.
- Cole, J. N. 1979. Amaranth from the past for the future. Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania.
- Devadas, V. S. y Malika, V. K. 1991. Review of research on vegetables and tuber crops. Amaranths. Tech. Kerala Agricultural University. Bull. # 19.
- Díaz, O. A. C. 1994. Análisis de crecimiento comparativo en tres poblaciones de *Amaranthus hypochondriacus* en el Municipio de Chalco, Edo. de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México D. F. (no defendida).
- Dmitrieva, S. 1986. Chromosome numbers in some species of vascular plants from Byelorussia. Bot. Zurn. 71: 1145-1147.
- Elenes-Buelna, S. y Castellanos, V.A. 1991. Análisis de crecimiento en cinco especies de amaranto. Memorias del Primer Congreso Internacional del Amaranto. Oaxtepec, México. p. 28
- Espitia, R. E. 1986. Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de *Amaranthus*. Tesis profesional. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Espitia, R. E. 1987. Evaluación de 30 genotipos de amaranto en cuatro localidades de la Mesa Central. Primer Coloquio Nacional del Amaranto. Querétaro, Qro. pp. 73-78
- Espitia, R. E. 1991. Variabilidad genética e interrelaciones del rendimiento y sus componentes en alegría (*Amaranthus* spp.). Tesis M. en C. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Méx.

- 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. *En: Paredes-López, O. (Ed.). Amaranth: Biology, Chemistry and Technology. CRC Press. Boca Ratón pp. 23-38*
- Feine, L.B., Harwood, R., Kauffman, S.C. y Senft, J.P. 1979. Amaranth: gentle giant of the past and future. *En: G.A. Ritchie (Ed.). New Agricultural Crops. Westview Press, Boulder, Co. pp. 41-63*
- García, E. 1988. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F.
- Grant, W.F. 1959. Cytogenetic studies in *Amaranthus* III. Chromosome numbers and phylogenetic aspects. *Can. J. Genet. Cytol.* 1: 313-328
- Grubben, G.J.H. 1975. Culture of the amaranth, a tropical leaf vegetable, with special reference to south Dahomey. *Mededelingen* 75(6): 223-228.
- Grubben, G.J.H. and D.H. Van Sloten. 1981. Genetics resources of amaranths. IBPGR, FAO, Rome, Italy. 55 p.
- Hauptli, H. 1977. Agronomic Potential and Breeding Amaranths. Proc. Ist Amaranth Seminar. July 29, Rodale, Maxatawny, Penn. pp. 15-120
- Harlan, J.R. 1975. Crops and Man. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin pp. 83-104
- Hass, P.W. 1979. The Rodale Germoplasm collection. *En: Proceedings of the second amaranth conference. Rodale Press, Inc., Emmaus, Penn. pp. 135-141*
- Hawkes, J.G. 1983. The diversity of crop plants. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts London, England
- Hernández, F. (1571-1576) 1959. Historia general de Nueva España. tomo II. UNAM, México, D.F.
- Hunt, R. and I.I. Parsons 1974. A computer program for deriving growth functions in plant growth analysis. *J. appl. Ecol.* 4: 553-560
- Hunt, R. and I.I. Parsons 1981. Plant growth analysis. User instructions for the stepwise and spline programs. *En: Natural Environment Research Council Unit of Comparative Plant Ecology. University of Sheffield. pp. 1-48*

- Hunt, R. 1982. Plant Growth Curves. The functional Approach to Plant Growth Analysis. Unit of Comparative Plant Ecology (Natural Environment Research Council), University of Sheffield. pp. 126, 168
- Hunziker, A.T. 1987. Taxonomía de las especies de amarantos cultivados y de las silvestres relacionadas. *En: A.D. Actas de las Primeras Jornadas Nacionales sobre Amarantos*. Goldber y Covas G. (Eds). Universidad Nacional de la Pampa. Argentina. pp. 10
- Jain, S.K., H. Hauptli, and K.R. Vaidya. 1982. Outcrossing rates in grain amaranths. *J. Hered.* 73: 71-72.
- Jain, S.K. y Kulakow, P., 1990. Grain Amaranth-crop species, evolution and genetics. *En: Amaranth Perspectives on Production, Processing and Marketing*. Minneapolis. 105-114 p
- Kauffman, C.S. 1981. Grain amaranth varietal improvement: breeding program: Rodale Press. Inc. Emmaus, Penn.
- Kauffman, C.S. and P.W. Hass. 1984. Grain amaranth: An overview of research and production methods. Rodale Research Center. Kutztown, Penn.
- Kauffman, C.S. 1992. The status of Grain Amaranth for the 1990s *Food Reviews International* 8(1): 165-185.
- Khoshoo, T. N. y Pal, M., 1972. Cytogenetic patterns in *Amaranthus*. *Chromosome Today*. 3: 259-267.
- MacNeish, R.S. 1964. Ancient Mesoamerican Civilization. *Science* 143: 531-537.
- Mapes, C., Caballero, J., Espitia, E. y Bye, R. 1993. Variación morfofisiológica en especies mexicanas de *Amaranthus*: tendencias de evolución bajo domesticación. *Memorias del XII Congreso Mexicano de Botánica*. Mérida, Yucatán.
- Martín, F. N., L. Telek. 1979. Vegetables for the hot humid tropics. Part 6. Amaranth and Celosia. *Amaranthus* and *Celosia*. U. S. Dept. Agric., Sci. Educ. Adm., Agric. Res. (Southern Region).
- Medina, E. 1977. Introducción a la Ecofisiología Vegetal. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Departamento de Asuntos Científicos. Serie de Biología. Monografía 16. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos Washington, D.C. pp. 51-59

- National Reseach Council. 1984. *Amaranth: Modern Prospects For an Ancient Crop*. National Academy Press, Washington D.C.
- Pal, M. 1972. Evolution and improvement of cultivated amaranths. I. Breeding system and inflorescence structure. *Indian Nat. Sci. Acad.* 38: 28-27.
- Pal, M. y Koshoo, T.N. 1972. Evolution and improvement of cultivated amaranths V. Inviability weakness and sterility in hibrids. *J. Hered.*, 63: 78-82.
- Pal, M; Pandey, R.M. y Koshoo, T.N. 1982. Evolution and improvement of cultivated amaranths. IX Cytogenetic relationships between the two basic chromosome number. *J. Hered.* 73:353-356.
- Reyna, T.T. y Carmona, J. E. 1991. Características edafoclimáticas y el cultivo de 32 tipos de *Amaranthus* en Chalco, Edo. de México. *Memorias del Primer Congreso Internacional del Amaranto*. Oaxtepec, México. p. 34
- Sahagún, F.B. de (1499-1590) 1970. El manuscrito 218-220 de la colección palarina de la biblioteca médica Laureziana. *Códice Florentino*. Edición Facsimilar. Gobierno de la República, México.
- Sandoval, A.Z. 1989. *Amarantos y Chías. Un estudio etnohistórico*. Tesis de Licenciatura. Etnohistoria. Escuela Nacional de Antropología e Historia. INAH.
- Sauer, J.D. 1950. The grain Amaranths. A survey of their history and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 37: 561-632.
- Sauer, J.D 1957. Recent Migration and evolution of the dioecious amaranths: *Evolution* 11: 11-31.
- Sauer, J.D. 1967. The grain Amaranths and their relatives. A revised taxonomic and geographic survey. *Ann Missouri Bot. Gard.* 54(2): 103-137.
- Sauer, J.D. 1972. The dioecious Amaranths. A new species name and major range extensions . *Madroño* 21(6): 426-434.
- Sauer, J.D. 1977. The history of grain amaranths and their use and cultivation around the world. *En: Proceeding of the First Amaranth Seminar*. Rodale Press Inc. pp. 9-15.
- Singh, H. 1961. Grain amaranths, buckwheat and chenopods. *En: Cereal Crop Ser. No.1 Indian Council Agr. Res. New Delhi, India.*
- Tandon, S.L. y Tawakley, M. 1970. *En: IOBP Cromosome number reports. XXIV. Taxón* 19: 264-269.

Torres de la Noval, W. 1984. Análisis del crecimiento de las plantas. Cultivos Tropicales. Inst. Nac. de Ciencias Agrícolas. Revista del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba.

Walton, P. 1968. The use of *Amaranthus caudatus* in simulating the breeding behavior of commercial *Gossypium* sp. J. Hered. 59(1): 17-18.

ANEXOS

Tabla 1. Análisis de varianza para altura en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	G. L.	CUADRADO MEDIO	F	P
Tiempo	3379768.000	25	135190.700	410.857	0.000
Población	597248.400	3	199082.800	605.030	0.000
Tiempo					
*Población	716426.800	75	9552.358	29.030	0.000
Error	307987.000	936	329.046		

* significativo a un nivel de probabilidad de 0.05

Tabla 2. Análisis de varianza para área foliar en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	G. L.	CUADRADO MEDIO	F	P
Cosecha	309.248	8	38.656	2.186	0.030
Población	211.560	3	70.520	3.989	0.009
Cosecha					
*Población	927.697	24	38.654	2.186	0.002
Error	3182.553	180	17.681		

* significativo a un nivel de probabilidad de 0.05

Tabla 3. Análisis de varianza para biomasa total en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	G. L.	CUADRADO MEDIO	F	P
Cosecha	7225360.0	8	903170.00	71.928	0.0000
Población	1904472.0	3	634824.00	50.557	0.0000
Cosecha *Población	4774064.0	24	198919.30	15.842	0.0000
Error	2260187	180	12556.600		

* significativo a un nivel de probabilidad de 0.05

Tabla 4. Análisis de varianza para porcentaje de hojas en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	G. L.	CUADRADO MEDIO	F	P
Cosecha	8.4690400	8	1.0586300	555.352	0.0000
Población	0.6480740	3	0.2160247	113.326	0.0000
Cosecha *Población	1.5323970	24	0.0638499	33.495	0.0000
Error	0.3431216	180	0.0019062		

* significativo a un nivel de probabilidad de 0.05

Tabla 5. Análisis de varianza para porcentaje de inflorescencia en 4 poblaciones de *Amaranthus*.

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	G. L.	CUADRADO MEDIO	F	P
Cosecha	7.39266100	8	0.9240767	423.019	0.0000
Población	0.2954854	3	0.0984651	45.089	0.0000
Cosecha *Población	6.0981560	24	0.2540898	116.316	0.0000
Error	0.03932061	180	0.0021845		

* significativo a un nivel de probabilidad de 0.05

Tabla 6. MATRIZ BASICA DE DATOS

VAR	1	2	3	4	5	6
1	53.000	34.900	22.100	40.000	53.400	59.900
2	149.600	108.500	104.800	112.300	165.300	174.800
3	49.800	40.600	37.400	28.400	51.200	37.300
4	401.400	271.000	226.700	323.000	501.000	468.500
5	0.720	0.610	0.680	0.500	0.710	0.520
6	0.180	0.170	0.179	0.200	0.180	0.160
7	0.340	0.400	0.390	0.420	0.410	0.430
8	0.660	0.667	0.709	0.710	0.663	0.690
9	0.650	0.630	0.620	0.640	0.670	0.700
10	23.000	21.500	20.500	17.000	15.000	15.000
11	10.000	10.000	9.000	8.500	7.000	7.400
12	9.000	8.000	7.000	7.500	7.000	6.800
13	14.300	15.500	13.500	15.000	11.000	10.700
14	0.950	0.810	0.900	0.800	0.790	0.880
15	118.200	113.100	112.600	112.800	107.600	113.900

VAR	7	8	9	10	11	12
1	98.500	109.500	76.700	96.400	190.000	88.400
2	38.900	407.700	342.200	389.000	674.400	449.500
3	187.500	155.900	128.200	131.800	211.200	115.300
4	505.900	370.600	197.300	233.100	230.600	260.400
5	2.500	2.600	1.400	1.700	3.400	2.000
6	0.180	0.190	0.230	0.199	0.320	0.190
7	0.500	0.560	0.570	0.540	0.510	0.580
8	0.665	0.630	0.636	0.634	0.655	0.590
9	0.410	0.350	0.280	0.420	0.320	0.340
10	32.500	34.500	29.000	30.000	29.000	30.500
11	12.500	10.500	10.400	11.000	9.500	11.400
12	12.500	14.500	11.200	11.000	10.500	11.500
13	20.800	23.700	21.700	19.500	19.300	18.000
14	1.700	2.100	1.560	1.530	1.580	1.600
15	221.000	202.000	195.000	179.000	175.000	190.000

VAR	13	14	15	16	17	18
1	123.400	76.400	185.800	168.300	61.800	151.400
2	356.600	354.900	408.900	400.100	154.100	283.500
3	136.100	135.500	171.300	199.100	70.200	109.500
4	313.200	319.100	281.200	354.600	103.100	128.300
5	3.300	1.700	2.500	2.700	1.100	1.900
6	0.240	0.260	0.240	0.260	0.240	0.350
7	0.550	0.500	0.470	0.640	0.530	0.560
8	0.650	0.690	0.703	0.712	0.675	0.705
9	0.350	0.360	0.280	0.340	0.290	0.250
10	22.500	23.000	22.000	21.500	21.000	20.000
11	10.700	10.000	9.500	9.000	8.600	9.200
12	7.500	7.000	7.300	7.000	6.200	6.500
13	16.000	15.500	14.500	14.300	14.200	13.600
14	1.330	1.140	1.230	1.160	1.030	1.020
15	134.000	131.000	117.000	113.000	123.000	109.000

Tabla 7. Nombre de los caracteres evaluados en la matriz de 15 caracteres X 18 OTU's.

Caracter

1. **Peso seco de raíz**
2. **Peso seco de tallos**
3. **peso seco de hojas**
4. **Peso seco de estructuras reproductivas**
5. **Area foliar total**
6. **Porcentaje de raíz**
7. **Porcentaje de tallo**
8. **Porcentaje de hojas**
9. **Porcentaje de estructuras reproductivas**
10. **Largo de la hoja**
11. **Ancho de la hoja**
12. **Distancia a la parte ancha de la hoja**
13. **Largo del peciolo**
14. **Peso seco/hoja**
15. **Area foliar/hoja**

Tabla 8. Variación explicada por los dos primeros componentes principales y los caracteres con mayor peso en cada uno de ellos. Dentro del paréntesis se anota el número correspondiente del caracter en la matriz de datos.

COMPONENTE PRINCIPAL	% de VARIACION EXPLICADA	% ACUMULADO	CARACTERES CON MAYOR PESO
1º componente principal	54.52	54.52	peso seco/hoja (14) largo de la hoja (10) largo de peciolo (13) peso seco de hojas(3)
2º componente principal	23.57	78.1	proporción de bio- masa en raíz (6) peso seco de raíz (1) distancia a la parte ancha de la hoja (12) proporción de bio masa en hojas (8)