

T

476

2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo

PRODUCCIÓN DE GRANO, ACAME Y BARRENACIÓN
DEL TALLO DE *Amaranthus hypochondriacus* L. EN
TULYEHUALCO (DISTRITO FEDERAL)

TESIS

Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Biológicas

PRESENTA

GUADALUPE TORRES SALDAÑA

DICIEMBRE DE 2003



**“El Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma
Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrado de Excelencia del CONACYT
y además cuenta con apoyo del mismo Consejo, con el convenio PFP-20-93”**

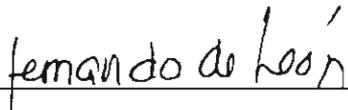
El jurado designado por las Divisiones de Ciencias Biológicas y de la Salud
de las unidades Iztapalapa Xochimilco
aprobó la tesis que presentó.

GUADALUPE TORRES SALDAÑA.

El día 11 de Diciembre del año de 2003.

Comité Tutorial:

Tutor: Dr. Fernando de León González



Asesora Dra. Teresa Reyna Trujillo.



Asesor Dr. Antonio Trinidad Santos



Jurado Dr. Héctor Castillo Juárez



Jurado Dr. Alberto Escalante Estrada





AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Por brindarme la oportunidad la oportunidad de concluir una etapa más en mi desarrollo profesional

A MI DIRECTOR DE TESIS: DR. FERNANDO DE LEÓN GONZÁLEZ

Por sus conocimientos y experiencia profesional, encausado siempre en dirigir y enriquecer este trabajo. Por su comprensión y paciencia cuando fue necesario, por sus valiosos consejos, gran humildad, enseñanzas y amistad incondicional. Para usted mi profundo respeto y sincero agradecimiento.

A LA DRA. TERESA REYNA TRUJILLO

Agradezco su permanente disposición a ayudarme en el desarrollo de la tesis, especialmente en los momentos de mayor dificultad. En la etapa de redacción del manuscrito del artículo, sus observaciones rigurosas fueron de gran utilidad para superar esa etapa. Agradezco su apoyo moral al momento de terminar el manuscrito de la tesis

AL DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

Por su atención en el desarrollo y cumplimiento de cada una de las etapas que integraron esta tesis, por su valioso apoyo cuando los necesité para la realización de este trabajo y por motivarme en todo momento para no detener el paso y seguir adelante. Estoy muy agradecida con usted

AL DR. HÉCTOR CASTILLO JUÁREZ

Por su ayuda en toda la etapa de procesamiento e interpretación de resultados y en la preparación de los manuscritos de artículos científicos y en el de la Tesis. Sus observaciones y sugerencias representaron un apoyo fundamental para el término del programa

AL DR. NÉSTOR BAUTISTA MARTÍNEZ

Por su apoyo en la etapa de identificación de las especies de barrenadores del amaranto y en la incorporación de su experiencia tanto en uno de los artículos como en el manuscrito final.

AL DR. ALBERTO ESCALANTE ESTRADA

Por haberme acompañado en la etapa de corrección de manuscritos y por su disponibilidad incondicional para contribuir en el mejoramiento del trabajo realizado. Agradezco también su aceptación para participar como jurado en el examen de grado

AL PERSONAL DEL LABORATORIO DE FISIOLÓGIA Y TECNOLOGÍA DE CULTIVOS

Tanto el personal técnico (Jorge Esparza) como académico (Mtro. Eduardo Celada, Mtra. Guadalupe Ramos, Mtra. Verónica Nava, Mtro. Fidel Payán, Mtro. Santiago López), agradezco su interés por el desarrollo de mi trabajo de tesis, el cual se llevó a cabo en el seno de este laboratorio entre 1998-2003. Igualmente agradezco el interés y solidaridad de mis compañeros de tesis de doctorado (Dr. Antonio Flores, Mtro. Pedro Gutiérrez).

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)

Guadalupe Torres Saldaña (Registro 114217), agradece la beca de CONACYT para llevar a término el programa de estudios en el Doctorado en Ciencias Biológicas, de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Dedicatoria

Pequeña Mildred (9 años)

A mi hija Mildred, que es la fuerza que me impulsa a enfrentar la vida con valor y determinación, dedico esta tesis como un testimonio de uno de los grandes sueños realizados de mamá, esperando que algún día lo lea al lado de sus hijos y nietos.

A mis padres:

Por tanto amor que he recibido de ustedes a lo largo de mi vida. Por el inmenso tesoro de valores y enseñanzas que me heredaron sólo puedo decirles que están siempre en mi corazón.

A mis hermanos: Arturo Agustín, Ismael, Maria Luisa, Esmeralda, Rubí, Ulises y

Cesar.

Por el gran amor y respeto que nos une y por todo el apoyo que me brindaron para llegar a la meta.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Importancia actual del amaranto en Tulyehualco	1
1.2 Investigación agronómica escasa en la zona de Tulyehualco	1
1.3 El problema de la densidad de siembra	4
1.4 Principales variedades de amaranto en el Centro de México	6
1.5 Variables medidas de las investigaciones experimentales sobre el amaranto en México	7
1.6 Planteamiento del problema	8
2. ANTECEDENTES	10
2.1 La producción de amaranto en México	10
2.2 La producción de amaranto en el mundo	13
2.3 Calidad nutricional del grano	15
2.4 Morfología de la planta de amaranto	17
2.5 Fisiología del amaranto	19
2.6 Técnicas de producción de amaranto	21
2.7 Técnicas de producción en Tulyehualco	22
2.8 Tendencias de la investigación agronómica sobre amaranto	23
2.8.1 Fertilización del cultivo de amaranto	25
2.8.2 Densidades de población y prácticas del cultivo	28
2.8.3 Experiencias con densidades de población de amaranto	29
2.8.4 La alta densidad de plantas de amaranto en México	33
2.9 Plagas del amaranto	37
2.9.1 El complejo de barrenadores del tallo de amaranto	40
2.10 Enfermedades del amaranto	42
2.11 Acame de las plantas de amaranto	42
2.12 Recapitulación sobre la investigación agronómica del amaranto en México	43

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	47
4. MATERIALES Y METODOS	49
4.1 Sitio experimental Las Ánimas	49
4.2 Experimento en el ciclo 1997	51
4.2.1 Siembra y prácticas de cultivo	51
4.2.2 Variables medidas	52
4.3 Experimento 1998	52
4.3.1 Variables medidas	53
4.3.2 Determinación de acame	53
4.3.3 Determinación de daño por barrenador del tallo	54
4.3.4 Determinación de reverdecimiento de la panoja	54
4.4 Análisis estadístico	55
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
5.1 Crecimiento vegetativo y producción de grano	57
5.2 Repartición del grano en panoja principal y en ramas	75
5.3 Barrenación del tallo, número de larvas y su relación con rendimiento en grano	85
6. CONCLUSIONES	95
7. BIBLIOGRFÍA	97

ÍNDICE DE CUADROS

1. Características generales de los dos cultivares de amaranto	59
2. Valores del Cuadrado Medio de los principales efectos sobre la altura de la planta, diámetro del tallo y largo de la panoja	61
3. Valores promedio de altura y diámetro de tallo	62
4. Valores de Cuadrado Medio de los principales efectos e interacción de biomasa, rendimiento e índice de cosecha	64
5. Valores promedio de biomasa aérea (kg ha^{-1}) e índice de cosecha	65
6. Valores de Cuadrado Medio de los principales efectos e interacción de acame y reverdecimiento	71
7. Valores promedio para acame y reverdecimiento	71
8. Promedio y desviación estándar de características vegetativas y reproductivas del amaranto	80
9. Datos equivalentes de rendimiento (t ha^{-1}) para los dos cultivares	82
10. Valores de Cuadrado Medio de los principales efectos sobre características del amaranto. 1998.	88
11. Valores promedio de las principales características del amaranto 1998	91
12. Análisis de regresión. Datos de número de larvas y barrenación	92

INDICE DE FIGURAS

1. Datos de precipitación y temperatura mensuales	60
2. Rendimiento en grano (g planta ⁻¹) dividido en panícula principal y en ramas.	81
3. Número de larvas de barrenadores al momento de la cosecha	89
4. Porcentaje de barrenación en los tallos de amaranto	90
5. Diámetro del tallo y Altura de la planta de amaranto	94

LÁMINA DE FOTOGRAFÍAS

s/n Larvas y adultos del complejo de barrenadores	86
---	----

RESUMEN

El amaranto es un cultivo original del Centro de México y de la Región Andina. Su utilización en la alimentación humana y animal parecen estar asegurados por razones de calidad nutricional y tradiciones culturales. La investigación agronómica en México ha destinado pocos recursos a las zonas marginales en donde se cultiva la especie, de tal forma que es escaso el conocimiento sobre su producción en condiciones ambientales y socioeconómicas restrictivas. Dadas las necesidades de probar nuevos materiales genéticos y de validar nuevas tecnologías basadas en altas densidades de población de plantas, se planteó la presente investigación cuyo objetivo fue comparar durante dos ciclos consecutivos (1997 y 1998) la producción de grano, biomasa aérea, índice de cosecha y acame de dos genotipos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Se probaron dos densidades de plantas; una baja (62 500 plantas ha⁻¹) y una alta (375 000 plantas ha⁻¹). Por los daños observados en la planta durante el ciclo 1997, se estudió durante el ciclo 1998 la presencia de larvas del barrenador del tallo de amaranto, así como el daño que causan. Complementariamente, en 1998 se analizó la repartición de la producción del grano en la panoja principal y en las inflorescencias de las ramas laterales.

Ambos cultivares crecieron y produjeron grano bajo estándares aceptables. El genotipo precoz (Froncosa) alcanzó niveles de producción de grano similares a las parcelas comerciales (500-1000 kg ha⁻¹) cuando se sembró a baja densidad, y con un ciclo de 60 -70 días más corto respecto al cultivar tardío (Tulyehualco). Cuando se

incrementó la densidad de población a 375 000 plantas ha⁻¹, ambos genotipos incrementaron significativamente ($P < 0.01$) la producción de grano, siendo mayor la de Tulyehualco (4 000 kg ha⁻¹). El cultivar precoz (Froncosa) mostró un menor porcentaje de plantas acamadas (10% máximo) y menor reverdecimiento de la panoja.

En cuanto a los insectos barrenadores, se identificó la presencia de larvas de las especies *Hypolixus truncatulus* y *Amauromyza abnormalis*. La primera especie presenta mayores reportes para México, mientras que la segunda es una especie de más reciente identificación en el cultivo de amaranto en México. Los resultados indicaron una infestación de 100% de las plantas muestreadas en ambos cultivares. El cultivar con menor altura de planta (Froncosa) presentó en promedio 70% de la longitud del tallo con barrenación, contra 80% del cultivar local (Tulyehualco), siendo significativas las diferencias ($P < 0.05$). El número promedio de larvas fue significativamente mayor en el cultivar Tulyehualco (18 larvas) respecto al cultivar Froncosa (12.5 larvas). La mayor densidad de siembra se tradujo en una reducción significativa en el diámetro del tallo para ambos cultivares; sin embargo no se observaron diferencias estadísticas en el número de larvas y en el daño por barrenación entre ambas densidades de siembra. Este resultado contradice la hipótesis inicial de que una reducción del diámetro del tallo causada por cambios en la población del dosel vegetal debería traducirse en una reducción de la presencia de larvas y del daño por barrenación. Nuestros resultados sugieren que el número de larvas y el porcentaje de barrenación del tallo no afectaron negativamente el

rendimiento en grano y la producción de biomasa de las plantas de amaranto. La menor duración del ciclo del cultivar Frondosa y su menor altura pudieron contribuir a una menor población y daño causado por las larvas del barrenador.

En cuanto al análisis de la producción de grano en panoja principal y en ramas, se observó que el cultivar seleccionado a partir de semilla criolla de Tulyehualco produjo un promedio de 21 ramas y 30 g de grano planta⁻¹ (equivalente a 1.9 ton ha⁻¹). El cultivar de porte bajo y precoz (Frondosa) tuvo en promedio 12 ramas y 13.2 g de grano (equivalente a 0.8 ton ha⁻¹). El cultivar Tulyehualco produjo un tercio (0.6 ton ha⁻¹) del grano en las ramas mientras que el cultivar pequeño lo tuvo en un cuarto (0.2 ton ha⁻¹) del total del rendimiento por planta. Este resultado indica que a bajas densidades, la producción en las ramas es importante y debe ser considerada en los trabajos orientados a difundir entre los productores sistemas de producción intensivos a altas densidades, bajo los cuales desaparece la ramificación.

En suma, los resultados sugieren que es posible elevar los rendimientos de amaranto en la zona montañosa del Valle de México, utilizando altas densidades de plantas y materiales seleccionados que muestran mayor uniformidad en sus características morfológicas respecto al material criollo. La alta densidad de plantas (375 000 plantas ha⁻¹) implicó un aumento muy fuerte en el rendimiento pero no un incremento en la eficiencia del cultivo. El índice de cosecha no sufrió un aumento en altas densidades. El genotipo de ciclo corto perteneciente al tipo Mercado posee características de precocidad y rendimiento destacadas, así como otros atributos que

favorecen una mayor calidad del dosel vegetal. Es por ello que puede constituir una opción para los productores y para los técnicos interesados en el diseño de nuevos sistemas de cultivo en la zona de Tulyehualco.

ABSTRACT

The amaranth is a culture domesticated in Central Mexico and Andean region. Due to nutritional characteristics and regional traditions, probably the use of amaranth will continue in the next decades. The Mexican agronomic research has invested reduced efforts in amaranth regions having environmental restrictions. In consequence, the knowledge concerning climatic and socioeconomic traits in amaranth regions is limited. New genetic resources and new technologies are needed to ameliorate amaranth production. The aim of this research was to compare in two consecutive years (1997 and 1998) the grain production, ground biomass, harvest index and plant lodging of two amaranth cultivars (Tulyehualco and Frondosa, *Amaranthus hypochondriacus*). Two plant density were tested; a low density (62 500 plants ha⁻¹) and a high density (375 000 plants ha⁻¹). In 1998 complementary parameters were included in the study: number of larvae in the stem, stem length affected by borer tunneling damage, lodged plants, and re-greening in main panicle. Also, in 1998 the grain production in main panicle and secondary branches was analyzed.

Both cultivars showed adequate growth and produced grain according to expected standards. When the early genotype (Frondosa) was sown at low plant density, it reached a grain production comparable to production in commercial plots (500-1000 kg ha⁻¹), with the advantage of a growing period shorter in 60-70 days in relation to period of late genotype (Tulyehualco). Under the higher plant density (375 000 plants ha⁻¹), both genotypes increased grain production significantly ($P < 0.05$), with a

maximum of 4 000 kg ha⁻¹ for Tulyehualco. Besides its shorter growing period, Frondosa presented a lower percentage of lodging at 71 days to sowing (10%, against 30% for Tulyehualco). Also the re-greened panicles at harvest were fewer in Frondosa (6%) than in Tulyehualco (56%).

Concerning the stem borers, larvae of two species were identified: *Hypolixus truncatulus* and *Amauromyza abnormalis*. The first species has been reported frequently in Mexico; in contrast, the second has been recently identified in Mexican amaranth fields. Results indicated that all sampled plants presented larvae borers. The shorter cultivar (Frondosa) showed tunneling in 70% of stem length while Tulyehualco (the tall cultivar) presented 80%; differences were statistically significant ($P < 0.05$). The mean larvae number was significantly higher in Tulyehualco cultivar (18 larvae) in comparison to Frondosa mean value (12.5). The higher plant density resulted in a significant reduction of stem diameter for both cultivars; however, differences in larvae number and tunneling damage were not observed. Our results suggest that the larvae number and percentage of stem tunneling do not have an effect on amaranth grain yield and biomass production. The shorter growing period of Frondosa and its shorter plant height might to contribute to a lower larvae population and fewer tunneling caused by stem borer.

In relation to grain yield in main panicle and secondary branches, it was observed that Tulyehualco cultivar produced 21 branches and 30 g of grain per plant (equivalent to 1.9 ton ha⁻¹). The Frondosa cultivar had 12 branches and 13.2 g of grain (equivalent

to 0.8 ton ha⁻¹). The cultivar Tulyehualco produced one third of the total grain production (0.6 ton ha⁻¹) in branches while Frondosa reached one quarter of the total yield (0.2 ton ha⁻¹) in branches. These results indicate that at low densities the production in branches is important and must be considered in the studies oriented to promote amaranth systems under high densities in which secondary branching disappears.

Taken together, our results suggest that it is possible to increase amaranth yields in the mountain zone of the Valley of Mexico, using high plant density and selected cultivars showing a higher uniformity in comparison to regional genetic resources. The high plant density (375 000 plants ha⁻¹) signified a strong yield increase but not a corresponding increase in harvest index. The early genotype had relevant precocity and yield traits, and other characteristics favoring a higher quality of plant canopy. For these reasons Frondosa might represent an option to producers and to agronomists interested in designing new cropping systems in Tulyehualco area.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia actual del amaranto en Tulyehualco

El amaranto en Tulyehualco conserva una importancia económica y cultural desde tiempos prehispánicos. En esta localidad se encuentra una agroindustria que a pesar de las fluctuaciones en los precios de mercado del grano en bruto y de los diversos productos (desde grano reventado hasta su transformación como dulce de alegría en todas sus variantes, y la harina de amaranto) se ha mantenido incluso en los tiempos de crisis agrícolas de los últimos años. El nacimiento de nuevas empresas de tipo artesanal y familiar indica que el mercado del amaranto tiene bases sólidas entre los consumidores del Valle de México y también a nivel nacional. La presencia de productos de amaranto en los anaqueles de los grandes centros comerciales del país, y en tiendas naturistas, son dos indicadores muy claros de la existencia de este mercado.

1.2 Investigación agronómica escasa en la zona de Tulyehualco

En los años anteriores al inicio de la presente tesis, los reportes científicos y técnicos sobre aspectos agronómicos, ecológicos y fisiológicos del amaranto son escasos. El trabajo más relevante ha sido el realizado por Alejandre y Gómez (1990) en un experimento de campo en junio de 1980. En este trabajo se probó la respuesta de la variedad criolla de la localidad a la fertilización nitrogenada (N), fosfatada (P) y a

densidades de siembra. Los autores evaluaron la respuesta midiendo características morfológicas del cultivo (altura de la planta, largo y diámetro de la panoja), y rendimiento en grano. Este trabajo tuvo la virtud de comunicar a la comunidad científica las técnicas que los agricultores de Tulyehualco empleaban en su producción, así como las condiciones ambientales prevalecientes y en las cuales la presencia de periodos de déficit de humedad en el suelo son frecuentes año con año. En esta investigación se incluye una colección fotográfica, la cual documenta el proceso productivo en forma completa. El estudio de Alejandre y Gómez (1990) pone de relieve la complementariedad entre la zona baja del ex-lago de Xochimilco (zona de chinampas) y la zona alta (zona del Cerro) para la producción de amaranto. Los agricultores del cerro contratan la producción de planta de amaranto con productores chinamperos que manejan la técnica de producción de almácigos en condiciones de lodos orgánicos llamados chapines (Alejandre y Gómez, 1990). Las plantas crecidas en los almácigos son llevadas al cerro y transplantadas en la temporada de inicio de las lluvias. De acuerdo con la opinión de los agricultores (Alejandre y Gómez, 1990; comunicaciones directas de productores locales a Guadalupe Torres), el objetivo del trasplante es dotar a la planta de una resistencia a la sequía en las primeras semanas al trasplante. Las fechas de trasplante pueden ir de principio de junio a finales de julio, dependiendo del inicio del temporal, juzgado por la persistencia de lluvias efectivas consecutivas. En el trabajo de Alejandre y Gómez, se consideró la densidad de población; sin embargo, el rango de las densidades probadas pertenece a la categoría de baja densidad. Fueron los trabajos pasados y actuales conducidos

por Estrada (1997) a través de la Fundación Produce-INIFAP del Distrito Federal, los que introdujeron el enfoque de siembra directa y altas densidades de población.

En Estados Unidos fueron varios los investigadores que desarrollaron en forma temprana sus investigaciones sobre la relación entre densidad de siembra y rendimiento (Putnam, 1977). Ya en los años 80 se tenían los primeros resultados. El interés de las investigaciones consistía en encontrar densidades óptimas para incrementar los rendimientos y para adaptar la producción de amaranto a las técnicas intensivas aplicadas en cereales como sorgo y otras especies de porte bajo (Hass y Kauffman, 1984). Se buscaban variedades de porte bajo, sin ramificaciones y con el menor acame. Se verá en la revisión bibliográfica que para EU y también para Europa, las densidades de población óptimas se ubicaron entre 300 000 y 400 000 plantas ha⁻¹. En años más recientes, varios investigadores (Henderson *et. al.*, 2000) han profundizado en sus trabajos sobre densidad de población, a través de experimentos factoriales que incluyen el espaciamiento entre surcos, la fertilización nitrogenada y fosfatada y el efecto de localidad. Se ha encontrado que si bien es cierto que al aumentar la densidad de población se incrementa el rendimiento, este último crece a una tasa muy lenta y se estanca en densidades inferiores a 1 000 000 de plantas ha⁻¹. Se ha concluido que estos incrementos son menores a los encontrados en experimentos de la misma naturaleza con maíz.

1.3 El problema de la densidad de siembra

El amaranto es un cultivo cuya producción de grano es mucho menor a la de los cereales de mayor importancia en el mundo (maíz, trigo y arroz). Se ha subrayado que el interés por el amaranto radica en la calidad de las proteínas del grano (Sánchez M.A., 1983; Teutónico y Knorr, 1985, Paredes L. *et al.*, 1988). De todas maneras la investigación agronómica pretende mejorar el rendimiento en grano del amaranto mediante mejoras en la calidad del dosel vegetal. El cultivo presenta serias desventajas que vuelven difícil la tarea de aumentar los rendimientos, ubicados mundialmente debajo de los 1000 kg ha⁻¹. El primero de ellos es la caída del grano; puesto que una misma panoja existen diferentes tiempos de maduración del grano, la caída es un proceso permanente una vez que se inicia su maduración. Los movimientos de la panoja causados por el viento o la presencia de aves en el dosel, contribuyen a esta caída. Otro problema es la debilidad del tallo de la planta; con ello las plantas tienden a caerse total o parcialmente.

La investigación agrícola ha fincado sus objetivos en aumentar el rendimiento en el manejo de las poblaciones de plantas. En México, en el trabajo de Gómez y Alejandre (1990) se reporta que al aumentar la densidad de siembra y de población de plantas en el dosel de amaranto, se alcanza un aumento en el rendimiento en grano. Para la época en que se realizó el estudio, no existía en México información fundamentada en estudios experimentales formales sobre las altas densidades de siembra (igual o superior a 300 000-400 000 plantas ha⁻¹). El intervalo de densidades de plantas en el trabajo de Gómez y Alejandre (1990) fue de 20 000 a 50 000 plantas

ha⁻¹, y los aumentos en el rendimiento llevaron a promedios de 2 000 kg ha⁻¹. Por su parte, Trinidad *et al.* (1990) también trabajaron con un intervalo cerrado de densidades de planta en su trabajo sobre el efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en tres localidades de la parte central de México. En este estudio se lograron incrementos en los rendimientos al aumentar la densidad. La respuesta del amaranto fue positiva al N y en algunos casos negativa al P. Los incrementos logrados con las densidades de 50 000 plantas ha⁻¹ en el trabajo de Alejandro y Gómez (1990) representaron casi dos veces el rendimiento promedio de la zona de Tulyehualco, ubicado alrededor de 1 000 kg ha⁻¹.

Las altas densidades que parecen prometer un aumento en el rendimiento implican cambios radicales en el proceso productivo, cuando menos para localidades como las de Tulyehualco en donde está muy arraigada la técnica de trasplante de plantas y la preferencia de los productores por plantas de porte alto y tallos gruesos.

Debido a que al acame contribuye a la disminución en el rendimiento, los estudios de mejoramiento del dosel vegetal deben contemplar la medición de variables que están relacionadas con la caída de la planta, como son las características de altura y diámetro del tallo (Trinidad *et al.*, 1990). Así mismo, deben atenderse otros fenómenos que afectan la calidad del dosel vegetal del amaranto, como son el daño de plagas (principalmente barrenadores; Espitia, 1990; Aragón *et al.*, 1997) y la aparición de enfermedades como el reverdecimiento de la panoja (Espitia, 1990) la cual consiste en el reinicio del crecimiento vegetativo en la panoja, a costa de la producción de frutos maduros y llenado de grano.

1.4 Principales variedades de amaranto en el centro de México

A pesar de que México es centro de origen del amaranto, la disponibilidad de material genético es bastante limitada. La principal colección de amaranto, en nuestro conocimiento, la posee el INIFAP y fue desarrollada por Espitia (1994).

Respecto a *Amaranthus hypochondriacus* en el centro de México y de acuerdo con Espitia (1994) parecen existir dos grandes modelos de planta: la de color rojo, porte alto y ciclo de intermedio a largo (tipo Azteca), y la de color verde, porte bajo y de ciclo corto (tipo Mercado). El primer tipo se ha desarrollado recientemente bajo el nombre registrado de Nutrisol, la cual es descrita por Estrada y Sahagún (2001) como de ciclo intermedio con granos de color blanco; plantas de porte alto (hasta 2.5 m de altura), con tallos vigorosos; las hojas y las panojas son de color púrpura, y con un ciclo de entre 160 y 180 días a la cosecha. El rendimiento potencial de esta variedad es de 2.5 ton ha⁻¹ de grano (Estrada y Sahagún, 2001). El segundo tipo corresponde al tipo Mercado y se ha registrado una variedad denominada Revancha. De acuerdo con Estrada y Sahagún (2001) se trata de un material de ciclo corto que produce grano de color blanco cremoso; el porte de la planta es de 1.70 m; las hojas y las panojas son de color verde; esta variedad madura entre los 125 y 135 días después de la siembra. Su rendimiento potencial es de 1.8 ton ha⁻¹ de grano. Puede observarse que en un período de tiempo menor en casi 60 días, esta variedad produce una cantidad de grano por arriba de los materiales criollos sembrados en el centro de México, de ciclo largo.

A pesar de los trabajos de difusión que ha venido realizando la Fundación Produce-INIFAP en el DF entre los productores, la investigación experimental sobre el comportamiento de estos dos tipos de amaranto es escasa.

1.5 Variables medidas de las investigaciones experimentales sobre el amaranto en México

Hasta muy recientemente la mayor parte de la investigación agronómica y ecofisiológica en México estuvo dominada por las dosis de fertilización y las densidades de siembra. En estos trabajos se evaluaron parámetros del crecimiento vegetativo y el rendimiento en grano. Ya hemos señalado los aportes de estos trabajos los cuales figuran en las principales publicaciones sobre amaranto. Los trabajos estaban centrados en la respuesta del cultivo a las tecnologías aplicadas. Pocos trabajos habían explorado variables fisiológicas y de eficiencia (Índice de Cosecha, entre otros). Para México tampoco se cuentan con estudios sobre las tasas de asimilación de CO₂. En cambio, una novedad reciente se refiere al efecto del corte de la inflorescencia en la producción de follaje para consumo humano de *A. cruentus* y *A. hypochondriacus*. (Martínez et. al., 1999). En lo que toca a los insectos, el trabajo de Aragón constituye un aporte básico sobre la gran variedad de insectos que están relacionados con los doseles vegetales de amaranto en una región del centro de México. La evaluación del daño por el complejo de barrenadores es un aspecto que apenas está reportado en la literatura internacional y que en México se carece de estudios. De igual forma, el acame, a pesar de ser un fenómeno que afecta

directamente la calidad del dosel, no ha sido evaluado con detalle en las investigaciones sobre amaranto.

1.6 Planteamiento del problema

La producción de amaranto en Tulyehualco se mantiene debido a la fuerza de las tradiciones en la siembra del cultivo y de su consumo en muy diversas modalidades. El impulso reciente de la agroindustria local se ha visto pobremente correspondido por esfuerzos de investigación agronómica que conduzcan a tecnologías mejoradas del amaranto en la localidad. Ello se debe, en buena medida, a las precarias condiciones en que trabajan los organismos de investigación y de enseñanza-investigación.

La siembra de amaranto en Tulyehualco se lleva a cabo predominantemente con plantas de transplante, materiales criollos de gran variabilidad genética, bajas densidades de siembra y técnicas aplicadas manualmente. Con el presente trabajo se planteó llevar a cabo una investigación formal que cubriera simultáneamente varios aspectos que representan modificaciones en los sistemas locales de producción. El enfoque comparativo de sistemas (tradicional vs innovador) quedó descartado desde un inicio debido a lo limitado de los recursos materiales y técnicos con que contó el proyecto de tesis. La propuesta consistió en observar en la localidad de Tulyehualco la adaptación de dos variedades seleccionadas mejoradas, la viabilidad de la siembra directa, los efectos de la alta densidad de siembra en el desarrollo vegetativo y en el

rendimiento y en su eficiencia (índice de cosecha), la calidad del dosel juzgada por el acame de plantas, y el daño en los tallos causado por los insectos barrenadores.

2. ANTECEDENTES

2.1 La producción de amaranto en México

Existen evidencias arqueológicas y botánicas que indican que México es uno de los centros primarios de origen, domesticación y diversidad de *Amaranthus hypochondriacus*, cuyo grano era utilizado por las civilizaciones locales principalmente para la alimentación humana (Mapes, 1996). El amaranto es un cultivo tradicional en México que en tiempos anteriores a la llegada de los españoles formaba parte del abanico de cultivos tradicionales junto con maíz, frijol y chía (Sauer, 1950). En la conquista, una parte de los religiosos españoles buscaron la forma de prohibir el cultivo, pues para ellos este grano estaba relacionado con los ritos paganos-religiosos practicados por los aztecas. Por otra parte, el amaranto fue considerado como uno de los cuatro tributos básicos que los aztecas recibían (Sánchez, *et al*, 1990). En la localidad de Tulyehualco existen evidencias históricas de que fueron los mismos religiosos los que promovieron la recuperación del cultivo del amaranto, proponiendo el uso de miel o jarabe azucarado en el proceso de fabricación del "*la alegría*", dulce regional que perdura hasta nuestros días. En la iglesia de Tulyehualco aparece un reconocimiento a Fray Martín De Valencias, como promotor del dulce de amaranto llamado "*alegría*", en el año de 1524.

En la actualidad, el amaranto se cultiva principalmente en la Mesa Central del país con una superficie aproximada de 1,500 ha (Espitia, 1990) distribuida en los estados de Morelos, Puebla, Tlaxcala, Estado de México y Distrito Federal. En esta parte del país existe una tradición de fabricación y consumo del amaranto transformado en dulce, especialmente en forma de palanqueta. Esta transformación del grano de amaranto le da un valor agregado al producto (Casilla, 1980). Un elemento muy importante en la continuidad del cultivo de amaranto lo constituye el consumo popular y la difusión de los productos a través de ferias (por ejemplo la de La Alegría en Tulyehualco, el mes de febrero; en San Miguel del Milagro en Tlaxcala, el mes de marzo; Tlaxcala, en el mes de abril). Su consumo es muy apreciado por los habitantes del centro del país.

A raíz de la difusión de las propiedades nutricionales del grano y de la difusión de la investigación a través de reuniones internacionales y nacionales (Firth Amaranth Seminar, Pennsylvania, 1997; Primer Seminario Nacional de Amaranto, Chapingo, 1984; Coloquio Nacional de Amaranto, Querétaro, 1987; 1er. Congreso Internacional de Amaranto, Oaxtepec, 1991; II Seminario Nacional de Amaranto, Torreón, 1997), otras regiones del país han mostrado interés por incluir el amaranto en las rotaciones de cultivos. De esta forma, el amaranto se ha difundido hacia otros estados del país como Oaxaca, Jalisco, Sinaloa, Tamaulipas, San Luis Potosí, Durango (Mapes *et al.*, 1995). Actualmente puede decirse que el interés por el amaranto se ha incrementado con el auge de productos alimenticios de origen natural con un alto valor nutritivo. Además, en determinados años se han presentado incrementos en los precios del grano lo cual asegura temporalmente una mayor rentabilidad del

cultivo en relación con los cultivos básicos (Sánchez, *et al*, 1990). Sin embargo, los empresarios del amaranto reunidos en el II Seminario Nacional de Amaranto (Torreón, 1997) afirmaron que su más rápida expansión e importancia en tonelaje no se ha logrado debido a que la oferta de volúmenes de producción es muy restringida. De esta forma, México ha dejado de ser competitivo en los mercados internacionales debido a la oferta reducida de tonelaje de amaranto. Por otro lado, los productores del campo, en su mayoría de economía campesina, no cuentan con los recursos para ampliar superficies de producción ni están en posición de correr fuertes riesgos económicos. De esta forma, el amaranto parece que continuará en México como un producto ligado al mercado de productos orgánicos y alternativos, y los productores serán mayoritariamente de tipo campesino tradicional.

La alta rusticidad del amaranto y su gran capacidad de adaptación a climas y suelos, especialmente en lo relativo a regímenes de temperaturas y bajos requerimientos de humedad, han favorecido la ampliación del amaranto hacia zonas diferentes de las tradicionales. En México el cultivo de amaranto siempre ha estado presente como parte de una agricultura de subsistencia, sobre todo en aquellas regiones agrícolas marginadas concentradas principalmente en el centro del país y, que por lo general, constituyen zonas de temporal con suelos de poca profundidad y frecuentemente alta pedregosidad. El amaranto se produce en pequeñas superficies (<0.5 ha) con el uso de bajos insumos externos y tecnologías adaptadas a las condiciones ambientales y a la alta disponibilidad de mano de obra familiar (Alejandre y Gómez, 1990).

En estudios anteriores se reporta que en México el amaranto se cultiva en zonas con altitudes muy diversas, ya que lo mismo se le encuentra muy bien adaptada a los 100 que a los 2800 msnm; respecto a las latitudes aptas para este cultivo van de los 16 a 28° Norte; en cuanto a temperatura, se reportan rangos de 14-32° C, sin embargo esta planta tiene un mejor desarrollo en lugares muy cálidos, con temperaturas altas (29°) y uniformes todo el año como en Atoyac (Guerrero.); hasta las localidades templadas (Tulyehualco y Milpa Alta, D.F.) con una temperatura media anual de 14° C, con inviernos definidos y presencia de heladas. Respecto a la precipitación, se han reportado cultivos en sitios de menos de 400 mm de lluvia al año. Pero también es factible encontrar cultivos en lugares donde la precipitación anual es superior a los 1300 mm. Por lo tanto se concluye que el amaranto se adapta bien y llega a la producción satisfactoria en climas cálidos, pero también en los climas templados y aún más en climas secos. La mesa central del país es una región en la que con más frecuencia se ha cultivado amaranto, por su importancia étnica, agroindustrial y comercial. Dichas localidades son: en el Distrito Federal, Tulyehualco, San Gregorio, Milpa-Alta, y Tetelco. En Tlaxcala: San Miguel del Milagro y Apizaco. En Morelos, Huazulco y Amilcingo (Reyna, 1990).

2.2 Producción de amaranto en el mundo

Las tres principales especies que producen grano comestible son *A. hypochondriacus*, *A. caudatus* y *A. cruentus* (Alejandre y Gómez, 1990). Las

diversas investigaciones agrícolas de este cultivo indican que existen evidencias sobre la gran plasticidad de la planta a diversas condiciones climáticas. Esta característica ha permitido que las especies más comunes de *Amaranthus* se encuentren distribuidas en muchas partes del mundo, por ejemplo Centroamérica, Sudamérica, Asia, África, Europa, Oceanía, Estados Unidos y México. Se dice que cada región del mundo cuenta con una especie muy adaptada a sus condiciones ambientales y que los campesinos muy difícilmente la cambiarán. Por ejemplo, *Amaranthus cruentus*, en Guatemala; *Amaranthus caudatus*, en Perú y Bolivia; *Amaranthus edulis* en Argentina, *Amaranthus hypochondriacus*, en México y el Sudoeste de Estados Unidos. (Sánchez, 1980).

En los últimos años, el cultivo de amaranto ha tomado gran importancia debido a su valor nutritivo y a su potencial agrícola y de industrialización (Bressani, *et al*, 1992). En un periodo que va de 1970 a 2000, países como China, India y Pakistán se interesaron por ampliar sus colecciones de amaranto (Teutónico y Knorr, 1985). Más tarde, Rusia y otros países de Europa Central volcaron su interés por el cultivo (Aufhammer, 1995). En todos estos casos, el amaranto se vio favorecido por la calidad proteica de su grano y por la intención de introducirlo en las rotaciones de cultivo a fin de que los productores pudieran contrarrestar los efectos negativos del monocultivo a base de maíz, sorgo, trigo o soya (Myers y Putnam (1988). En este auge del cultivo del amaranto, tuvo una cierta influencia el hecho de que en un vuelo espacial el amaranto fue incluido como parte de la dieta de los astronautas y en los

experimentos sobre germinación en condiciones de microgravedad (Vilches *et al*, 1997).

En los sub-apartados que siguen se recogen las principales investigaciones realizadas en México y en otros países sobre distintos aspectos del amaranto, partiendo de las características nutricionales y finalizando con el problema de la calidad agronómica del cultivo de amaranto, con énfasis en los factores que afectan dicha calidad y que son materia de trabajo de la presente tesis.

2.3. Calidad nutricional del grano otros usos alimenticios del amaranto

El grano de amaranto de las principales especies cultivadas del género *Amaranhtus* (*cruentus*, *hypochondriacus*, *caudatus*), y que se utilizan como alimento humano. Es de color blanco-crema (Sánchez, 1980). Los valores nutricionales se mantienen con poca variación entre cultivares (Teutónico y Knorr, 1985). Los especialistas en nutrición clasifican la proteína de las semillas de amaranto como una proteína vegetal de alta calidad y rica en lisina, este aminoácido es lo que realza nutricionalmente al amaranto (Bourgues, 1990).

Es importante mencionar que a diferencia de otros cereales las proteínas en el grano de amaranto se encuentran en el germen y cáscaras. El endospermo del grano del amaranto contiene 30% de la proteína total del grano y las cáscaras y el germen el 65%. Esta distribución es muy diferente en las que se encuentra el maíz, sorgo y

arroz, en las cuales el germen proporciona el 12.5% a 18.5 % y el endospermo el 87% de la proteína total.

El valor nutritivo de una proteína debe estar expresada por el perfil total de aminoácidos y referenciado a algún estándar (Liener, 1980). La semilla de amaranto contiene aproximadamente de 13 a 18% de proteínas crudas y los análisis de composición indican que los contenidos de aminoácidos, proteínas, grasas, fibra y cenizas son generalmente más altos que en los cereales más comunes como trigo y maíz (Soriano, 1993). Por lo tanto, se dice que la proteína del grano de amaranto cumple satisfactoriamente con los requerimientos de los aminoácidos esenciales de acuerdo con los estándares para adulto reportados por FAO/WHO/ONU. (1985).

El grano de amaranto también se ha utilizado para obtener concentrados proteínicos como un gran potencial alimenticio. El uso de concentrados se ha incrementado a partir de 1940, y actualmente se le extrae de diversas fuentes como levaduras, hongos, cereales, etc. (Myers, *et al*, 1988). Se utilizó grano de *Amarantus hypochondriacus*, para obtener un concentrado proteínico, por el sistema de clasificación neumática, obteniendo resultados muy alentadores, pues se pudo observar que alcanzó una concentración de las proteínas alrededor del doble ($24.31 \text{ g}^{-1}/100 \text{ g}^{-1}$) respecto al material original ($14.1 \text{ g}^{-1}/100 \text{ g}^{-1}$; Soriano, 1993). El sistema de clasificación neumática es uno de los más recomendados para la obtención de concentrados proteínicos a partir del grano de amaranto, así como una de las técnicas más eficientes en cuanto a la preservación de la estructura de las proteínas y para obtener una sustancia pura (Soriano, 1993). Sin embargo se ha reportado que hay una mejor utilización y aumento en la relación de eficiencia de las proteínas

(REP) hasta de 84% en relación a la caseína, cuando el grano es sometido a algún proceso como nixtamalización y reventado (Sánchez, 1983).

Además del grano de amaranto, en muchos lugares se acostumbra comer las hojas, tallos e inflorescencias del amaranto y existe información de que 100 g de hojas contienen 267 mg de calcio, 67 mg de fósforo, 3.9 mg de hierro y 2 mg de vitamina A, y 0.15 mg de riboflavina, 1.4 mg niacina y 80 mg de ácido ascórbico y casi 3.5% de proteína (Sánchez, 1983).

2.4 Morfología de la planta de amaranto

El material genético utilizado en la zona de Tulyehualco corresponde a una variedad criolla (*Amaranthus hypochondriacus L.*). Se trata de una planta herbácea anual que mide de 1.5 a 3.0 m de altura, con tallos ramificados desde la base y tallos longitudinales con estrías de color púrpura muy marcadas. Las hojas son largas, lanceoladas y ovaladas que miden aproximadamente 15 cm de largo y 10 cm de ancho. Presenta inflorescencias en panículas terminales o axilas muy ramificadas de aproximadamente 90 cm con numerosas flores rojas o púrpuras de 4 a 5 mm, masculinas y femeninas. El amaranto pertenece a la familia Amaranthaceae; esta familia está compuesta por 60 géneros (Feine, 1979). Para la clasificación de las especies se considera la forma y proporción de la estructuras pistiladas (Feine, 1979). La inflorescencia en *Amaranthus* es terminal compuesta; las unidades

básicas son glomérulos, una flor estaminada inicial y un número indefinido de flores pistiladas, sobre un eje central de hojas llamadas espigas (Sauer, 1950).

El fruto se caracteriza por tener una sola semilla, blanca, lisa, brillante y dehiscente (Sánchez, 1980). El cultivo del amaranto en Tulyehualco fue estudiado por Alejandre y Gómez (1990), quien realizó una investigación con el fin de documentar detalladamente el sistema de cultivo basado en producción de plántula en vivero (producción de chapines) y transplante en los suelos pedregosos del perímetro del volcán Tehutli. Se encontró que se cultivan semillas criollas que presentan plantas con una variación de altura de 1.5 a 2.90 m, longitud de la panoja de 44 a 60 cm, número de hojas de 36 a 66, longitud de la hoja de 13 a 30 cm, ancho de la hoja de 12 a 18 cm, color verde del tallo con estrías muy marcadas, color rojo-púrpura de la panoja y verde; la ramificación de las plantas fue reportada por este autor, bajo los sistemas de producción de baja densidad.

El amaranto es una planta monoica y tiene dos tipos de arreglos florales: los estaminados y los pistilados; son autofértiles), la floración ocurre entre los 57 y 120 días después de la siembra y la cosecha se realiza entre los 129 y 240 días, lo cual indica la gran variedad en madurez que presenta la diversidad genética del amaranto (Espitia, 1994). Las plantas producen grandes cantidades de semillas, hasta 20 g de semillas por planta. El peso de 1000 semillas varía entre 0.6-1.0 g (Irving *et al.*, 1981; Bressani, 1992); el tamaño de la semilla de amaranto varía de 1.1 a 1.4 mm de largo por 1.0 a 1.3 mm de ancho; también se ha reportado que el amaranto tiene un peso de 76.9 kg helectrolítico (Paredes *et al.*, 1988). Los tipos de amaranto cultivado para

grano contienen una sola capa de testa y otra de tegumento, además de la cutícula; ambas capas constituyen la cubierta protectora del embrión, el cual presenta un diámetro de 1.5 a 2.0 mm (Irving *et al.*, 1981). En el embrión encuentra la mayor parte de las proteínas.

Las plantas de amaranto son muy frágiles durante los primeros cinco semanas posteriores a su de emergencia (Barrales *et al.*, 1992). Especialmente si esta etapa coincide con períodos de sequía. y a altas densidades de población el número de ramificaciones en las plantas disminuye, presentándose una sola inflorescencia en el ápice de la planta, lo cual favorece la cosecha mecánica (Estrada, 1997; Henderson *et al.*, 1993 y Henderson *et al.*, 1998); sin embargo, la comercialización del amaranto requiere mejores variedades para cosecharlo de forma mecánica lo cual requiere a su vez de plantas con una gran uniformidad en altura, madurez del grano, color, tamaño del grano e inflorescencia (Paredes, *et al.*, 1990). En relación al potencial de producción de biomasa, se han reportado de 720 a 11,320 g/m². El rendimiento en grano también puede ser alto ya que algunos autores han reportado rendimientos de 7 a 8 t/ha⁻¹ (Aufhammer, 1995).

2.5 Fisiología del amaranto

Sin ser un pasto o cereal, el amaranto presenta un mecanismo fotosintético tipo C₄, el cual se caracteriza por bajas concentraciones internas de CO₂ (C_i) lo cual permite gradientes y flujos de CO₂ que aseguran tasas de fotosíntesis altas incluso cuando

se presentan bajas conductancias estomatales (por cierre de estomas; Kigel, 1994). Las plantas C_4 presentan altas tasas de fotosíntesis bajo altas temperaturas y alta intensidad de luz, con baja fotorespiración y alta eficiencia en el uso del agua (Espitia, 1994). Algunos autores atribuyen esta eficiencia en el uso del agua a la profundidad del enraizamiento (2 m de acuerdo con Espitia, 1994) y a la abundancia de raíces laterales. Se ha reportado para *A. hypochondriacus* que la longitud de sus raíces adventicias supera la longitud de la suma de la raíz principal y raíces laterales (De León *et al.* 1997).

La fotosíntesis neta en muchas especies de amaranto casi se satura a valores de concentración interna de CO_2 (C_i) de 120-150 $\mu\text{l l}^{-1}$. Este rango de C_i es similar al de otras plantas C_4 y es inferior a las de C_3 las cuales normalmente operan por arriba de 200 $\mu\text{l l}^{-1}$. Por otro lado, se reporta que en condiciones de crecimiento óptimo el amaranto presenta una tasa de fotosíntesis de 0.050 y 0.053 $\text{mol } CO_2 \text{ mol fotones}^{-1}$, similar a lo reportado para plantas C_3 e inferior respecto a otras plantas C_4 (Kigel, 1994). La eficiencia de las plantas C_4 se debe a que sus hojas poseen la anatomía de la hoja tipo Kranz; sus células están acomodadas en manojos de espigas dispuestos en forma centripeta y es por eso que es una de las pocas especies que sin ser pasto utiliza la ruta C_4 para la fijación de altas tasas de acumulación de carbono (60 a 80 $\text{mg } CO_2$ de materia seca por hoja).

El amaranto puede crecer en climas calientes y templados donde el suministro de agua es limitado y en algunas ocasiones es la única opción de producción de alimentos para algunas zonas de temporal y además es altamente tolerante a

condiciones áridas y suelos pobres; condiciones bajo las cuales los cereales tienen pocas opciones de desarrollarse (Alfolabi *et al*, 1981).

Las plantas de *Amaranthus hypochondriacus* parecen tener una combinación un tanto única de las vías de fotosíntesis C₄, lo que ha incentivado el interés científico sobre todo en el amaranto para producción de grano porque presenta una ventaja en relación a otros cultivos, la cual consiste en la eficiencia en la utilización de agua bajo condiciones de escasez (Espitia 1994.). Sin embargo la planta en las primeras 4 semanas después de la siembra necesita una gran cantidad de agua ya que las tasas de crecimiento son muy rápidas. Se estableció que con un menor potencial de agua, se mostraba una tasa fotosintética disminuida. A pesar de que dicha planta es C₄, ésta mostró tendencia a ser C₃ en lo que a su requerimiento de agua concierne para *A. hypochondriacus*.

2.6 Técnicas de producción de amaranto

Early (1977) describió la técnica del cultivo en dos regiones (Tulyehualco y Morelos); hace mención que en Tulyehualco el cultivo atraviesa por dos etapas: uso de almácigo que se hace en la parte baja del cerro o en las chinampas para que se realice posteriormente el trasplante en el cerro que tiene un clima semiárido. Respecto a Morelos las siembras se hacen de forma directa. Hauptli (1977) indica que el amaranto es útil en la diversificación de cultivos para interrumpir las extensiones de cereales en EU. Cunard (1977) publicó resultados de un experimento

que se realizó en Pennsylvania, con (*A. hypochondriacus*,) obteniendo rendimientos de grano de 1.1 ton ha⁻¹ a una densidad de 400 000 plantas ha⁻¹. En 1980, Duncan realizó ensayos de densidad de población, encontrando que con una densidad mayor de 60 000 plantas por hectárea se incrementa significativamente el rendimiento en grano.

Con una fertilización adecuada el amaranto puede crecer con dosel de buena calidad bajo altas densidades de población, superiores a 400 000 plantas ha⁻¹. En caso de que la temporada de lluvias en Valles Centrales (Oaxaca) no incluya fuertes sequías intra-estivales, las densidades intermedias y altas resultan en altos rendimientos, usando esquemas adecuados de fertilización. En las principales zonas productoras de amaranto en México, a los 20 días de la siembra se fertiliza la planta; algunos agricultores utilizan fertilizantes químicos, otros, abonos orgánicos. Si se usa estiércol de vaca, se distribuye en montones alrededor de la planta con el arado, con lo cual se cubre parte de la planta con el suelo (aterrar) y con esta práctica se logra un mayor soporte para la planta Alejandro y Gómez (1990).

2.7 Técnicas de producción en Tulyehualco

El proceso de producción de amaranto se inicia con la preparación de almácigo, a cargo de productores chinamperos en la zona baja de Xochimilco. El lodo se deja a un lado de la parcela y se revuelve con estiércol. Se coloca una capa de lodo de 6 cm y se deja secar, se coloca un hilo a lo largo de la superficie del almácigo para

medir el tamaño de los chapines (cuadros de 5 cm.). En el centro del chapín se hace un hoyo donde se colocan las semillas y después se cubre con estiércol. Simultáneamente se arranca la etapa en las parcelas del Cerro. Se hace la limpia del terreno para posteriormente barbecharlo con yunta. El trasplante se hace junto con el surcado. La plántula de amaranto se traslada en pencas de maguey hasta el terreno, cuando ésta ya tiene una altura de 25-30 cm. Aproximadamente después de 60 días de la siembra se procede a dar montón, practica muy usual en la región, que consiste en acercar tierra al tallo para que la planta tenga un mayor soporte.

Una de las plagas mas comunes al iniciar el crecimiento de la planta es el ataque de las tuzas (*Geomys sp*) que roe las raíces de la planta y la tira. El corte de la planta se realiza muy temprano (fin de noviembre) para evitar la caída de la semilla. Una vez cortadas las plantas se forman montones de 15-20 plantas, colocándose en el suelo. Los montones de plantas se trasladan a una lona, para golpearlas con un palo o pisarlas para extraerles el grano. Al ser extraído de la planta, se mezclan grano y tamo por lo tanto es necesario que se pase por un tamiz donde únicamente pasará el grano y posteriormente la semilla se termina de limpiar con un abanico. Por ultimo se envasa en costales de 50 kg.

2.8 Tendencias de la investigación agronómica sobre amaranto

Los trabajos recientes sobre amaranto están enfocados a resolver algunos problemas agronómicos para que el cultivo de amaranto sea practicable. Dichos

problemas son mejoramiento genético de las variedades, germinación homogénea, altura homogénea, técnicas de siembras, incremento en el rendimiento, reducción en las pérdidas de grano antes, durante y después de la cosecha, obtención de cultivares sanos con un modelo de distribución de materia seca a favor del grano. Se requieren variedades precoces que toman entre 110 y 150 días para el periodo vegetativo, dadas las condiciones climáticas de Europa (Aufhammer, 1995).

Es por eso que algunos centros de investigación y casas comerciales agrícolas en E.U. y Europa se orienten a producir semillas de *A. cruentus*, por ser considerada como la mejor posibilidad de adaptarse a climas fríos. Estos países buscan que las hojas tengan un color rojo borgoña, las semillas sean totalmente blancas, la altura intermedia y que al cultivo muera con las primeras heladas, para después cosechar mecánicamente. Posteriormente la limpieza de la semilla debe de ser mecánicamente a través de un molino previsto de un tamiz de abanico y de un separador por gravedad. La semilla ya limpia se almacena a 25% de humedad relativa (Johnson, *et al*, 1990).

En México diversos autores (Alejandre y Gómez, 1990; Trinidad, 1990; Espitia, 1990), han hecho diversas contribuciones sobre la respuesta del amaranto a la fertilización nitrogenada y fosfatada, y a la densidad de población, principalmente. El estudio más importante que se ha realizado previamente en la zona de estudio corresponde al de Alejandre y Gómez (1990). Estos autores diseñaron un experimento con tres factores (N, P y densidad de plantas) en las inmediaciones de la zona agrícola de Tulyehualco, denominada Cerro (volcán Teuthli). En su trabajo se

estudió un intervalo de dosis de N de 0 a 90 kg ha⁻¹. Para el fósforo se probaron dosis de 0-90 kg ha⁻¹. En cuanto a densidad de siembra, se trabajó un intervalo entre 20 000 y 50 000 plantas ha⁻¹. De acuerdo con la literatura revisada, esta variación de densidades de planta corresponde a bajas densidades. Para 1997, año en que se inició el presente trabajo, no se contaban con reportes formales de ensayos agronómicos en los que se hayan probado densidades de planta más elevadas.

2.8.1 Fertilización del cultivo de amaranto

El N tiene un lugar especial en la nutrición de las plantas no sólo por su alto requerimiento, sino porque está casi completamente ausente en la roca madre de la cual se forman los suelos; por lo tanto, la presencia del N en el suelo proviene de la acción biológica, abono artificial o fertilización natural (Kauffman, 1984). Varios trabajos pioneros señalan la capacidad del amaranto para responder a las aplicaciones de los fertilizantes en el incremento del rendimiento en grano y la producción de proteína (Trinidad, *et al*, 1990). Sin embargo, las últimas investigaciones sobre fertilización indican que las aplicaciones de fertilizante, y especialmente de nitrógeno (N) pueden tener efectos adversos en la producción de grano. Myers (1994) indica que una muy alta fertilización nitrogenada favorece la ramificación del dosel vegetal de amaranto y una reducción de los incrementos en la producción de grano. Si bien el amaranto es conocido como un cultivo altamente extractor de N del suelo, debe considerarse la respuesta diferenciada de la planta

ante altas cantidades de N, las cuales favorecen el crecimiento de ramas y follaje. Consistente con esta información, Espitia (1990) no recomienda tasas altas de N y en cambio indica la inclusión de P en la fórmula. De tal manera que para los Valles Altos en México recomienda trabajar con una la fórmula de 80-40-00. Esta fórmula debe ser adaptada a las condiciones nutrimentales del suelo las cuales son altamente cambiantes dependiendo de las rotaciones recientes así como de las aplicaciones de fertilizantes y abonos orgánicos.

En un experimento realizado durante 2 años consecutivos sobre fertilización nitrogenada se observó que el mayor rendimiento de grano en el primer año se obtuvo con 150 kg N ha^{-1} , la cual fue la dosis más alta evaluada, y para el segundo año, con una dosis de 300 kg N ha^{-1} , los promedios de rendimiento fueron respectivamente de 1796 y $2055 \text{ kg de grano ha}^{-1}$ mientras que el testigo fue de $1357 \text{ kg de grano ha}^{-1}$ (Trinidad *et al.*, 1990).

Respecto al tema de fertilización, se concluye que el amaranto requiere elevadas cantidades de N y P y absorbe sólo unas pequeñas cantidades de fósforo por tonelada de grano y rastrojo. Se dice que una tonelada de grano y rastrojo extraen al suelo 45.5 kg ha^{-1} de N; 5.6 de P y 49.0 de K; por lo tanto, se puede afirmar que el amaranto es una planta exigente de nutrientes que requiere de una buena fertilización y reposición al suelo de los elementos mencionados, para conservar la sustentabilidad del suelo (Trinidad, 1999).

Los altos costos que tienen los sistemas tradicionales de cultivo de amaranto en la región Sur del D.F es el elevado precio de los fertilizantes químicos, que aunado al uso de mano de obra, la superficie cultivada de amaranto ha disminuido de 6000 a

1000 hectáreas en 10 años (Arellano *et al*, 1999). En un trabajo realizado en Tulyehualco se demostró que la aplicación de composta en un intervalo de dosis de 0-20 ton ha⁻¹, con contenidos equivalentes de N que variaron entre 0-42 kg, no produjo diferencias significativas en el rendimiento en grano (Payan y De León, 1997). Dicho rendimiento varió entre 0.9 y 1.1 ton ha⁻¹ (para 0 y 20 ton ha⁻¹ de composta, respectivamente). La falta de diferencias significativas pudo deberse a que en el suelo existían reservas de N por arriba de 195 kg ha⁻¹. Las aplicaciones suplementarias de N contenido por la composta no favorecieron diferencias en los resultados experimentales.

El uso de abonos orgánicos para mantener y mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y obtener mayores rendimientos con el cultivo de las cosechas se conoce desde la antigüedad (Trinidad, 1999). Entre los abonos orgánicos se incluyen los estiércoles, compostas, vermicompostas, abonos verdes, residuos de cosecha y residuos orgánicos industriales. Los abonos orgánicos son muy variables en sus características físicas y composición química, principalmente en el contenido de nutrientes; pero la aplicación constante de ellos mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Trinidad, 1999).

La fertilidad del suelo puede verse afectada por el estado estructural del mismo. En un estudio sobre compactación del suelo se observó que el desarrollo y rendimiento del cultivo se vieron afectados (De León *et al*, 1997). La compactación superficial del suelo (10-15 cm) estuvo asociada a una reducción en los parámetros de crecimiento vegetativo de la parte aérea (área foliar, longitud de raíces). La producción de grano

de las plantas de amaranto que crecieron en áreas compactadas también se vió reducido (De León *et al*, 1997).

2.8.2 Densidad de población y prácticas del cultivo

Puesto que el amaranto es una planta con gran plasticidad morfológica (Hauptli, 1977) los cambios en su manejo en campo se traducen en cambios en el patrón de crecimiento. La densidad de población es el principal factor de manejo que afecta el tipo de dosel vegetal de amaranto. En los países con agricultura altamente tecnificada (Estados Unidos y países de Europa) se ha buscado desarrollar el cultivo de amaranto a través de altas densidades de plantas y reducción del espacio entre surcos. Esto significa que los esfuerzos de introducción de un nuevo cultivo a estas agriculturas se realizan mediante la adaptación de la tecnificación de otros cultivos de grano pequeño (cereales, principalmente) cuyo manejo técnico ya está perfectamente controlado. En cambio, en México, siguen predominando bajas densidades; los intentos por aumentar la densidad de plantas se ha realizado en años muy recientes (2000-2004) en regiones con alto potencial productivo (tierras planas y disponibilidad de agua de riego). aunque veremos también que en regiones de temporal y con terrenos marginales también se ha buscado modificar el sistema de siembra y cultivo.

Los límites de altas y bajas densidades no están fijados con precisión. Henderson *et al.* (1998) señalan que 470 000 plantas ha^{-1} corresponde a una alta densidad. En México se han probado incluso densidades más altas (por arriba de 800 0000 plantas ha^{-1}) a escala de parcelas demostrativas o experimentales (Estrada, 1997). Ha prevalecido en nuestro país el intento por intensificar el número de plantas sembrando más semillas en surcos con espaciamientos anchos (mayores a 40 cm), mientras que en EU y Europa se busca reducir el espacio entre surcos además de aumentar el número de plantas dentro de las líneas. Enseguida se revisan los trabajos más relevantes respecto a densidad de población.

2.8.3 Experiencias con densidades de población de amaranto

Varios autores han abordado la respuesta del crecimiento y de la producción de grano de amaranto en relación con cambios en el espaciamiento entre surcos y la densidad de plantas. Aufhammer *et al.* (1995) realizaron un estudio con el objetivo de determinar las combinaciones más deseables del espacio entre líneas, población de plantas y tipo de cultivar para maximizar la producción de grano de Amaranto en Alemania. Este trabajo se realizó en 1992 y 1993 con *A. cruentus* y se compararon tres fechas de siembra (mayo, junio, julio) y dos densidades de siembra (40 y 100 plantas m^{-2}). Aufhammer *et al.* (1995) concluyeron que en relación a la fecha de siembra para Alemania, el mes de mayo es el más adecuado y la densidad de plantas óptima es 30-40 plantas m^2 lo que corresponde a una alta densidad; el

rendimiento obtenido con esta densidad fue de 140-300 g m² de grano. Los resultados en Alemania indicaron que el rendimiento en grano aumenta al aumentar la densidad de plantas. Peiretti *et al.* (1998), en un estudio en Argentina, estudiaron el efecto del espacio entre surcos (0.3, 0.45, 0.60 y 0.70 cm) y las densidades correspondientes de 1 100 000, 740 000, 550 000 y 470 000 plantas ha⁻¹. Los autores midieron el largo de panoja y rendimiento en grano. Encontraron que al aumentar la densidad de plantas disminuyeron los valores promedio de dichos parámetros, lo cual coincide con los trabajos pioneros realizados por Haupli (1977). La variedad de resultados sobre el efecto de las distancias entre hileras y de las densidades de siembra no aporta conclusiones definidas reportadas en la literatura. Por ejemplo, en Minnesota, Robinson (1986) encontró que el rendimiento en grano del amaranto fue similar cuando se utilizaron 15, 30 y 76 cm de espaciamiento y una densidad común de 180 000 plantas ha⁻¹. Desde este trabajo se notó que entre mayor sea el espaciamiento, mayor facilidad existe para el control mecánico de malezas. Incluso en las agriculturas tecnificadas, esta observación es muy importante si se toma en cuenta que hasta hace poco no existían herbicidas específicos para el control de malezas en el cultivo de amaranto (Henderson, 2000). En el mismo estudio se encontró que al aumentar la densidad de plantas a 470 000 plantas ha⁻¹, el rendimiento fue mayor a un espaciamiento de 15 cm comparado con el espaciamiento de 76 cm. Misra *et al* (1996) encontraron una reducción del rendimiento a medida que se incrementó el espaciamiento de hileras más allá de 30 cm.

La siembra en hileras estrechas favorece la conservación del suelo, el cierre temprano del dosel y el incremento en la facilidad de la cosecha (Kauffam, 1984).

Las hileras anchas tienen la ventaja de que las labores culturales pueden servir, para el control de malezas. Las recomendaciones en EU sugieren que el amaranto debe ser sembrado en hileras anchas utilizando equipo de cultivo estándar (Myers y Putnam, 1988).

El amaranto ha sido descrito como una planta plástica, capaz de ajustarse a una amplia gama de condiciones ambientales (Hauptli, 1977). Las plantas individuales tienden a ramificar y llenan de esta manera el espacio disponible en las parcelas cuando los doseles son de altura pequeña (Putnam, 1990; Hass y Kauffman, 1984).

El grado de ramificación varía entre cultivares, ambientes y densidades de planta. En general, las altas densidades de planta son más adecuadas que las bajas densidades para fines de cosecha mecánica del amaranto para grano.

La cosecha mecánica en altas densidades se facilita porque bajo estas poblaciones se promueve una menor ramificación, menos panojas secundarias en las ramas, diámetro del tallo más pequeño y madurez del dosel más uniforme (Hass, 1984).

Altas poblaciones de plantas de amaranto son menos adecuadas en climas más áridos, debido a la mayor competencia de las plantas por la humedad disponible (Hass y Kauffman, 1984). Este hecho debe ser seriamente considerado para la producción de amaranto en México, en donde prevalecen condiciones de sequía intraestival en la mayoría de las regiones productoras de amaranto. En estas áreas la humedad del suelo puede disminuir drásticamente durante las primeras etapas del ciclo vegetativo (Putnam, 1990). Mnzava y Reuben (1982, citados por Henderson *et*

al, 2000) observaron competencia entre plantas tan solo a las 5 semanas posteriores a la emergencia del amaranto. En México en general y en Tulyehualco en particular, los productores de amaranto saben que la extensión de períodos secos en los meses de julio y agosto, ponen permanentemente en peligro la viabilidad del cultivo, generándose plantas de muy bajo porte, aceleración de la fructificación o bien pérdida total del cultivo. Putnam (1990) reportó que las densidades de siembra afectan en menor medida el rendimiento en grano del amaranto respecto a lo que ocurre en maíz.

Edwards y Volak (1980) encontraron que en cultivares de amaranto no seleccionados, la densidad de plantas no tuvo efecto en el rendimiento en grano. Sin embargo, en líneas seleccionadas se produjeron rendimientos más altos conforme la densidad aumentó pero hasta 60 000 plantas ha^{-1} . Hass (1984) encontró que los rendimientos más altos para cuatro especies de amaranto se produjeron a densidades de 320 000 y 360 000 plantas ha^{-1} . Este dato representa una referencia importante para la producción de amaranto en altas densidades. Se ha visto que al aumentar excesivamente en número de plantas por ha, se tiene un dosel dominado por una multitud de plantas de porte muy pequeño y panoja reducida. Aunque no se cuentan con estudios detallados, es de suponerse que las pérdidas de grano debido a la características morfológicas que permiten la caída paulatina del grano, deben ser altas y ello podría explicar este estancamiento del rendimiento o su caída a densidades superiores a 350 000 plantas ha^{-1} .

En Minnesota, Putnam *et al.* (1990) probaron dos cultivares (cruzas entre *A. hypochondriacus* y *A. hybridus*; K343 y K432) con poblaciones en campo de 62 000 a 1 975 000 plantas ha⁻¹. La densidad óptima para ambos cultivares fue de 272 000 plantas ha⁻¹. El cultivar K432 mostró una mayor respuesta a la densidad de plantas que la K343. En un estudio anterior Robinson (1986) observó los mayores rendimientos a poblaciones entre 180 000 y 210 000 plantas ha⁻¹. El rendimiento se redujo a poblaciones mayores de 350 000 plantas ha⁻¹ en Maryland (Wall, 1986, citado por Henderson, 2000). Este resultado coincide con el de Hass (1984) en ubicar la densidad óptima para condiciones de las planicies de EU en 350 000 plantas ha⁻¹.

La reducción en el rendimiento a altas densidades muchas veces se asocia con un aumento en el acame (Schmidt, 1977; Wall, citado por Henderson, 2000, 1986, Putnam *et al.* 1990). Sin embargo, Robinson (1986) notó un mayor acame a bajas densidades, debido a tallos más anchos y pesados.

Una ventaja importante en el uso de altas densidades es la reducción la erosión por la protección del suelo que ofrece el cierre más rápido del dosel de la planta.

2.8.4 La alta densidad de plantas de amaranto en México

El cultivo del Amaranto se realiza en pequeñas regiones de México, en las cuales han persistido a través de los años y Tulyehualco es considerado como el principal centro del cultivo en el centro de México. Early (1977) señaló que su producción se

realiza todavía con técnicas ancestrales de chapines (plantas con cepellón; Alejandre y Gómez, 1990) y que son sembradas a 1 m de distancia entre plantas y la misma distancia entre surcos dando una densidad aproximada de 40-45 000 plantas ha^{-1} .

Alejandre y Gómez (1990) realizaron un experimento en Tulyehualco en un predio del cerro del Teuhtli. El trabajo se llevó a cabo en el ciclo de verano de 1980. El objetivo fue estimar los efectos que tienen diferentes tratamientos de densidad de plantas y dosis de fertilización en relación al rendimiento de grano en el cultivo de Amarantho. Esta investigación tiene la virtud de haberse realizado en condiciones de parcelas de los productores, utilizando las técnicas tradicionales dominantes a base de planta de transplante y bajas densidades de población. En la investigación se trabajó con densidades de 20, 30, 40, 50 y 60 mil plantas por hectárea. Los niveles de fertilización variaron: 0, 30, 60 y 90 kg ha^{-1} de N y P respectivamente. Los autores concluyeron que para esta zona la mejor densidad fue de 50,000 plantas ha^{-1} . Se obtuvo con dicha densidad un rendimiento de 2 250 kg ha^{-1} , el cual es superior al promedio obtenido por los productores de la zona (800-1000 kg ha^{-1}). Se confirmó la hipótesis de ese trabajo de que al aumentar la población de plantas aumenta el rendimiento. Debe tomarse en cuenta que los autores trabajaron dentro de un intervalo de densidades de población que cae en la categoría de baja densidad. En cuanto a la fertilización, se mostró que el amaranto respondió bien a la fertilización N en dosis de 30-60 kg ha^{-1} . Por otra parte, no hubo respuesta a la fertilización con fósforo (Alejandre y Gómez, 1990).

En el estudio de Alejandre y Gómez (1990) se trabajó con el material criollo de la zona. En cuanto a los resultados de crecimiento vegetativo, los autores encontraron promedios de altura entre 1.72 y 1.77 cm en la etapa de madurez, con una densidad de plantas de 20 000 y 30 000, respectivamente. La Longitud de la panoja fue de 91 cm y no mostró diferencias significativas para los cuatro tratamientos; el Perímetro de la panoja varió entre 33 y 53 cm. Estos datos muestran que el cultivar criollo presenta una gran inflorescencia, típica de los materiales de color púrpura de *A. hypochondriacus*. La altura no corresponde con los valores que llega a alcanzar el cultivar, y ello puede deberse a un efecto de la sequía que se presenta año con año en el Cerro de esa localidad. De acuerdo con los autores, el análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas para rendimiento en grano. Se observó que los más bajos rendimientos fueron para las parcelas que no recibieron fertilización, sin embargo se observó que los más altos rendimientos correspondieron a los tratamientos de más alta densidad. Se obtuvo un rendimiento de 822 kg ha⁻¹ para parcelas con una densidad de 20 000 plantas ha⁻¹ y 2554 kg ha⁻¹ para parcelas con densidades de plantas de 50 000 plantas ha⁻¹. En este trabajo pionero sobre el amaranto en Tulyehualco, Alejandre y Gómez (1990) sugieren iniciar líneas de investigación para ampliar los conocimientos botánicos y fisiológicos del amaranto. Señalan también la necesidad de caracterizar con precisión las especies y variedades de (*Amaranthus*) de cada región, así como realizar estudios para conocer las técnicas de siembra directa y altas densidades.

El estudio de la densidad de siembra está muy ligado a las técnicas de producción y al costo de la producción de amaranto. Hemos visto que a bajas densidades, los

materiales criollos tienden a producir plantas muy robustas, de tallos gruesos. Con estas características la cosecha casi invariablemente tiene que ser manual, debido a la alta resistencia que oponen los tallos al corte, y por otro lado, las plantas acamadas tienen que ser manualmente levantadas para su cosecha. Alejandre y Gómez (1990) señalaron que se requiere de mucha mano de obra para cosechar el amaranto bajo estas condiciones, lo cual eleva los costos de la producción.

Con el objetivo de que el amaranto sea mecanizado en su cosecha, Estrada (1997) realizó un estudio en el Valle de México con pruebas de siembras de altas densidades de población. Este autor es uno de los principales promotores de la siembra directa de la semilla y de altas densidades de población. Con este enfoque se busca disminuir los costos de producción, reducir el tamaño de la planta y las pérdidas de caída de grano, y con ello aumentar el rendimiento del amaranto. Estrada (1997) propuso densidades de 800 000 plantas ha^{-1} y con ello reducir el porte de la planta, impedir las ramificaciones en los tallos y reducir el acame para que la cosecha se haga de forma mecánica. Esta densidad supone siembra a chorrillo de 6-8 kg de semilla ha^{-1} .

En el trabajo de Estrada (1997) se probó un material de porte bajo de *A. hypochondriacus* (color verde de hojas y de inflorescencia). Los resultados de este trabajo fueron: respecto a la altura total de la planta, se redujo a 1.30 m, lo cual permite la cosecha mecánica con una cosechadora combinada de cereales; el largo de la panoja se modificó en relación con plantas en baja densidad y se obtuvieron inflorescencias más pequeñas (35cm de largo en promedio). Respecto al diámetro

del tallo que es factor importante para el manejo del corte de la planta, las altas densidades también redujeron el grosor del tallo a 1.2 cm (Estrada, 1997).

2.9 Plagas del amaranto

En las zonas de producción en México se ha encontrado que las plagas y enfermedades están limitando el rendimiento de grano de amaranto y esto se debe a que no existe un adecuado control de éstas. La información sobre el tema es muy escaso en el mundo y aún más en México (Espitia, 1990). De acuerdo con Aragón *et al.* (1997), En su estudio exploratorio sobre los insectos presentes en los cultivos de amaranto en el Valle de Puebla y Tehuacan, también hay insectos que dañan el follaje y la panoja como son el gusano soldado (*Spodoptera exigua*) que daña un 64% de la planta, el defoliador (*Pholisora catullus*) con una infestación del 57% y el chapulín (*Sphenarium*), y no menos dañino aún es el ataque del pulgón negro (*Macrosiphum sp*).

De acuerdo con Aragón *et al.* (1997) los daños que ocasionan los insectos plaga en amaranto no son del todo conocidos debido principalmente al desconocimiento de las especies que están presentes en el cultivo. Para realizar un control adecuado de las plagas sin dañar el medio ambiente de cualquier región es importante conocer lo mejor posible al insecto que se quiera combatir, por lo que es importante realizar estudios encaminados al conocimiento taxonómico de las especies, conocer su biología, hábitos y ciclos biológicos (Aragon *et al.*, 1997).

A nivel mundial es muy escasa la información sobre la entomofauna asociada al amaranto y hasta 1997 solo se han confirmado cinco especies de insectos que causan daños importantes al cultivo de amaranto en la Mesa Central de México: el barrenador del tallo (*Lixus truncatulus* Fabricius, *Coleoptera: Curculionidae*), la pulga saltona *Disonycha melanocephala* Jacoby (*Coleoptera: Chrysomelidae*), el gusano verde (*Lepidoptera*, sin identificación de la especie) y un pulgón negro (*Homoptera: Aphididae*, no identificado).

Espitia (1990), y González y Alejandre (1986) citan que la planta de amaranto es dañada por *Hilicoverpa zea*, además del *Estigmene acrea* y *Sodoptera sp* que causan daño al follaje. Por otro lado Barrales (1992) cita que las especies *Herpetogramma bipunctalis* (F) y *Conotrachelus sp.* ocasionan daños importantes en *Amaranthus hybridus* L.

Aragón *et al.* (1997) realizaron una investigación sobre la entomofauna en amaranto en la región productora del Valle de Puebla, en 1996 y 1997. Se seleccionaron cuatro parcelas en donde se trasplantó el amaranto, con las prácticas agrícolas regionales. La temperatura media es de 12° a 18°C y precipitaciones de 1200 a 2200 mm; el tamaño de la parcela varió entre 550 a 860 m². A partir de la fecha de trasplante y hasta la cosecha se realizaron muestreos quincenales en cada una de las parcelas, se seleccionaron 20 plantas para los muestreos y con un aspirador entomológico se recogieron todos los insectos que estaban presentes sobre de cada planta. Para obtener los barrenadores se abrieron los tallos, para capturar las larvas principalmente.

Aragón *et al* (1997) reportan que se recolectaron un total de 2414 ejemplares que representan 239 morfoespecies de insectos en el cultivo de amaranto, de las cuales 33 fueron abundantes; se han identificado 26 géneros y 19 especies comprometidas en 18 familias de 8 ordenes. Las especies que se encontraron ocasionando daños importantes en el cultivo fueron: *Spehnarium sp*, *Lygus lineolaris*, *Disonychna melanocephala*, *Lixus truncatulus*, *Herpetogramma bipunctalis*, *Pholisora catullus*. Como puede observarse, estos resultados confirman los datos citados por Espitia (1990), quien menciona que las especies que mas daño causan a el cultivo de amaranto son: *Lixus*, *Disonychna* y *Ligus* en la zona central de México.

La producción de amaranto en las Ánimas se inició en 1994 con los trabajos de Payán, Z.F. En los años de cultivo los insectos que han mostrado los principales daños corresponden a la chinche del haba (aparentemente del género *Ligus* reportado por Espitia, 1990; Aragón *et al.*, 1997) y al barrenador o complejo de barrenadores del tallo. Este último grupo de insectos se presenta invariablemente en los tallos de la planta, dejando galerías las cuales presumiblemente contribuyen con la caída de la planta (acame). Por su importancia en la calidad del dosel y de la producción de amaranto, se presenta enseguida una revisión detallada de este grupo de insectos.

2.9.1 El complejo de barrenadores del tallo de amaranto

Se ha mencionado por Espitia (1990) que el barrenador del tallo (*Lixus truncatulus*) y la chinche (*Lygus linealaris*), son las plagas que mayor daño producen en el cultivo de amaranto. En el caso del barrenador, afecta tan severamente a la planta que el daño se calcula hasta en un 96% del total del tallo y panoja, pues este insecto hace una serie de galerías desde la base del tallo, hasta la inflorescencia, lo que impide el transporte de sustancias nutritivas. Grubben, citado por Espitia (1990) señala que el ataque del barrenador trae como consecuencia el debilitamiento de la planta afectando con esto hasta un 25% la producción del grano. Espitia (1990) señalaba que existía otro barrenador diferente del género *Lixus*, pero que no se contaba con su descripción e identificación.

Varios autores han venido señalando la presencia de barrenadores en el cultivo del amaranto en México. Los trabajos reunidos en el libro dedicado al amaranto y editado por Trinidad, Gómez y Suárez (1990) se recogen trabajos realizados previamente, como es el caso de los trabajos de Alejandre y Gómez (1990) en Tulyehualco. Espitia (1990) hace mención del barrenador del tallo y lo atribuye principalmente a la especie de *Lixus truncatulus*. Sin embargo, son los trabajos especializados los que parecen ofrecer la información más sólida sobre el complejo de barrenadores. De este modo, Aragón *et al.* (1997) señalan que en su estudio en Puebla y Tehuacan las plantas que se sospechaban que estaban barrenadas se trasladaron a macetas y se colocaron en una jaula de tela para que estos

continuaran su desarrollo hasta obtener el adulto (Aragón *et al.*, 1997). Estos autores describen la larva del barrenador del tallo (*Lixus truncatulus* (Coleoptera: Curculionidae) y señalan que se encuentra barrenando los tallos de la planta, hace galerías a lo largo del tallo evitando que los nutrientes que absorbe alcancen a llegar a las células vegetales, ocasionando un debilitamiento general de la planta, y muchas veces llegan a romperse los tallos a la altura de las galerías. Esta observación coincide con la experiencia obtenida entre 1994 y 1997 (inicio de la presente tesis) en la producción de amaranto en Tulyehualco. En el trabajo de Aragón *et al.* (1997) las larvas fueron colectadas entre los meses de septiembre y octubre, y el porcentaje de infestación alcanzó el 92% de las plantas muestreadas. De acuerdo con Aragón *et al.* (1997) además de *L. truncatulus*, existen otras especies las cuales no fueron descritas e identificadas en el trabajo citado. De todas maneras, Aragón *et al.* (1997) citan la posible presencia de *Amauromyza abnormalis* en el complejo de barrenadores. El daño de los barrenadores se localiza en la base del tallo, cerca de la raíz, y en los tallos y en la panoja (Aragón *et al.*, 1997).

Bautista *et al.* (1997) reportó la descripción de una segunda especie perteneciente al complejo de barrenadores, presente en los cultivos de amaranto del centro de México. Este barrenador correspondió a *Amauromiza abnormalis* y produce galerías similares al de *Hypolixus truncatulus*. Para cuando se iniciaron los trabajos de la presente tesis (1997) la presencia del díptero identificado por Bautista (1997) no se encontraba plenamente difundida entre los investigadores de amaranto

2.10 Enfermedades del amaranto

Una de las enfermedades que se suscitan en el cultivo del amaranto es la pudrición del cuello, la cual se produce por una combinación de hongos formados por *Fusarium sp*, *Rhizoctonia sp* y *Pythium sp*. Esta pudrición se presenta cuando la humedad del suelo es alta. Los síntomas en la planta es que ésta se torna clorótica, pues se inicia una pudrición del cuello del tallo y se extiende a la raíz Espitia, (1990). Otra enfermedad muy común en México y en el mundo y que actualmente es poco estudiada es el reverdecimiento, también conocido como reverdecimiento de la panoja o crecimiento secundario (Espitia, 1990). Esta enfermedad es un problema muy serio en el cultivo ya que se presenta cuando la planta está llegando a la madurez y 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 se supone que el grano se reabsorbe. Se piensa que este fenómeno se debe a que la planta responde rápidamente a condiciones de humedad, luz y temperatura, condiciones que son propias para su crecimiento, pero esto sucede cuando la planta está a punto de llegar a la madurez (Espitia, 1990).

2.11. Acame de las plantas de amaranto

El cúmulo de labores que exige la cosecha del amaranto contribuye significativamente al costo total del cultivo. La mano de obra a la cosecha se señala

como un problema importante dentro del proceso de producción de esta planta. En México, por las características de tenencia de la tierra (pequeña propiedad < 0.5 ha.) ha propiciado que el cultivo hasta la fecha no se haya tecnificado, pero además, las variedades utilizadas en México son plantas que no florecen uniformemente, lo que resulta en semillas con diferente grado de madurez al momento de la cosecha y que además contienen diferentes cantidades de agua, o granos no del todo llenos. Ello favorece pérdidas en el periodo de recolección.

2.12 Recapitulación sobre la investigación agronómica del amaranto en México

En los últimos años en México ha existido un renovado interés en el cultivo de amaranto debido al potencial que tiene en la alimentación humana (16% de proteína en el grano). La planta presenta una adecuada tolerancia a la sequía y gran facilidad de establecimiento, lo cual permite un crecimiento vigoroso y adaptación a nuevos ambientes (Reyna, 1997).

Como hemos constatado, la investigación en México sobre aspectos agronómicos del amaranto ha conocido cierto progreso expresado en los trabajos antes citados. Sin embargo, apreciamos que esta investigación ha sido insuficiente en varios sentidos. En primer lugar, se nota una seria limitación en materia de conocimiento y difusión de materiales genéticos. Los grupos de investigadores (principalmente en el INIFAP) se han reducido, sin que exista un relevo por parte de otros organismos e investigadores. Aun cuando en México se ha desarrollado la tecnología para la mecanización en la producción del amaranto a partir de la principal colección de

amaranto del INIFAP en el Valle de México, se aprecia un número muy reducido de pruebas, experimentación y publicación de resultados. Ello ha repercutido en un abanico muy pequeño de materiales genéticos mejorados disponibles para las zonas productoras y para las empresas emergentes que se han propuesto incrementar el volumen de producción con fines industriales. La caracterización morfológica y agronómica de dichos materiales deberá hacerse en el futuro, de acuerdo con criterios y temas que resulten de interés para el conocimiento y su aplicación. Por otro lado, la investigación sobre el amaranto se ha retrasado debido a la poca inversión en investigación que logran retener las regiones productoras, las cuales son en sí mismas marginales.

Se ha señalado por Espitia (1990) que el amaranto presenta restricciones intrínsecas para elevar su rendimiento en grano y en general, para mejorar la calidad del dosel. Debido a su gran plasticidad de respuesta a condiciones ambientales, en un cultivo pueden coexistir variaciones importantes en altura de la planta, color y tamaño de la panoja, número de ramas y fecha de floración, lo cual repercute en las condiciones de su cosecha y finalmente en el rendimiento. Es por ello que cualquier proyecto de rescate o mejoramiento agronómico del amaranto debe tomar en cuenta esta situación. Los materiales criollos si bien presentan una excelente adaptación global a las condiciones de las regiones, también muestran características que pueden ser indeseables para el mejoramiento del dosel vegetal. Destaca, por ejemplo, el problema de la altura de la planta.

Existe poca investigación acerca del rendimiento del cultivo del amaranto bajo enfoques experimentales; predominan más bien datos aproximativos de

rendimientos regionales de amaranto sembrado con cultivares locales (Estrada, 2001). En general, los cultivares locales presentan características agronómicas poco deseables como lo es el porte muy alto de las plantas (>2.8 m). Esta característica ya ha sido señalada por varios autores (Trinidad *et al.*, 1998 ;y Misra *et al.*, 1997) y es referida como la causante principal que provoca el acame. Trinidad (1998) señala que el acame es un problema agronómico que se presenta en el cultivo del amaranto por efecto de vientos, lluvia, altura >2.80 m de la planta, poca resistencia del tallo por el ataque del barrenador (*Lixus truncatulus*) además de altos niveles de fertilización nitrogenada afectando el rendimiento, ya que este fenómeno ocurre en la etapa de formación y llenado de grano. Por otra parte, subsisten los materiales de porte alto, los cuales no facilitan la cosecha mecánica. Este problema es común en México y en otros países.

Debido a la abundante producción de materia seca localizada en los órganos vegetativos, el amaranto presenta índices de cosecha (IC) muy bajos; aparte de que estas variedades presentan plantas muy susceptibles a plagas y enfermedades. Otro aspecto importante es que los cultivares presentan dehiscencia del grano en la inflorescencia, lo cual ocasiona que las plantas presentan bajo rendimiento por superficie.

Las investigaciones que predominan acerca del cultivo de amaranto son estudios descriptivos sobre la botánica y recopilaciones de técnicas del cultivo. Existen escasos datos sobre parámetros más específicos tales como índice de cosecha (IC) que indica la eficiencia de los fotosintatos destinados a la producción. Faltan, en

suma, trabajos sobre calidad del dosel vegetal, densidad de población, y materiales resistentes a plagas.

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

OBJETIVOS

1. Conocer la adaptación de dos variedades seleccionadas de Amarantho a las condiciones del área experimental Las Ánimas, Tulyehualco, bajo la técnica de producción de siembra directa.
2. Analizar el efecto del factor genotipo y el factor densidad de población en las características morfológicas del amaranto, el rendimiento en grano, la repartición del rendimiento en panoja principal y en ramas, el índice de cosecha, el açame de las plantas y el daño de la barrenación.

HIPÓTESIS

1. Las dos variedades seleccionadas para las condiciones de Texcoco pueden desarrollar su potencial productivo en las condiciones de Tulyehualco (Objetivo 1)
2. La variedad de ciclo corto puede representar una opción para los productores al momento de decidir sobre materiales genéticos con características de mayor precocidad que los locales (Objetivo 1).

3. Al aumentar la densidad de plantas se incrementará la producción de grano así como la eficiencia medida por el índice de cosecha (Objetivo 2).

4. El factor cultivar y el factor densidad de plantas tiene un efecto en el grado de acame de las plantas de amaranto (Objetivo 2).

5. La reducción del hábitat de las larvas de los barrenadores a través de una reducción del tallo de las plantas de amaranto influirá en una reducción de número de larvas y de daño por barrenación en las plantas (Objetivo 2)

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de tesis se desarrolló durante tres ciclos agrícolas: 1997, 1998 y 1999. Los trabajos en 1997 y 1998 consistieron de dos experimentos de campo llevados a cabo en el área experimental Las Ánimas, perteneciente a la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. En 1997 y 1998 se llevaron a cabo dos experimentos bifactoriales en los cuales se probaron dos cultivares mejorados sembrados a dos densidades de población. Los datos de 1999 no se presentan en esta tesis.

4.1 Sitio experimental las ánimas

El sitio experimental Las Ánimas se localiza en Tulyehualco, Delegación Xochimilco (19° 15' 36" latitud norte y 99° 01' 41" longitud oeste; 2280 m de altitud). Este sitio se encuentra en la frontera de la zona montañosa y el antiguo valle lacustre de Xochimilco-Tlahuac. El clima presenta lluvias en verano (Cuadro 1); las principales restricciones para los cultivos son la sequía intraestival y las heladas tempranas (Reyna, 1990). De acuerdo con el sistema USDA el suelo se clasifica como Typic Ustifluent (De León *et al.* 2000). El suelo es de origen volcánico, dominado por partículas minerales basálticas y un bajo contenido en pómez; la textura es arenosa, y su contenido de materia orgánica se ubica entre 1.5 y 2% (Cuadro 1). En 1997 y 1998 se desarrollaron dos experimentos similares (Cuadro 1) aunque con algunas diferencias en la medición de variables, lo cual se precisa en los apartados que siguen.

El objetivo general de la experimentación en 1997 y 1998 se centró en la adaptación agronómica de los cultivares mejorados en la localidad de Tulyehualco. Dicha adaptación fue evaluada a través de parámetros de crecimiento vegetativo, producción de grano y otros indicadores de calidad del cultivo. En esta experimentación se introdujo como segundo factor de variación la densidad de población (baja y alta). En el capítulo de Antecedentes se hizo notar que la producción de amaranto en la zona se caracteriza por bajos rendimientos y fuertes problemas del dosel vegetal relacionados con la caída de la planta y la pérdida del grano. De esta forma, las variables agronómicas medidas en los dos ciclos se dirigieron hacia la producción de grano y la calidad de las plantas en el dosel. A pesar de la escasa oferta de cultivares de amaranto en las zonas productoras, algunos investigadores han desarrollado materiales mejorados a partir de selección masal; tal es el caso del Dr. Antonio Trinidad Santos (Colegio de Postgraduados) quien ha trabajado en la selección de un material de porte alto, panoja roja y ciclo productivo largo, cuyo origen fue el mismo material genético predominante entre los productores de amaranto en Tulyehualco. También se ha seleccionado un material de porte bajo, panoja verde-amarilla y ciclo productivo de mayor precocidad. Se decidió trabajar con estos materiales debido a sus características de mayor uniformidad morfológica y fenológica. Dichos materiales sirvieron para contrastar las hipótesis de trabajo de la presente tesis.

4.2 Experimento en el ciclo 1997

Se probaron dos cultivares obtenidos mediante selección masal en el Colegio de Postgraduados de México; Mercado y Tulyehualco (Cuadro 2) y dos densidades de población, 62 500 y 375 000 en 1997. Los cuatro tratamientos tuvieron cuatro repeticiones y el arreglo del diseño experimental correspondió a bloques al azar con 16 subparcelas experimentales. Cada una de las 16 subparcelas consistió de 4 surcos de 10 m de largo, separados 0.80 m. Los datos de precipitación y temperatura mensuales aparecen la Figura 1.

4.2.1 Siembra y practicas de cultivo

En 1997 el experimento se sembró el 23 de mayo de 1997. La siembra se realizó en forma directa y manual. El terreno experimental fue preparado con barbecho y rastra de discos. Los surcos se hicieron con tracción animal. La semilla se depositó en el costado superior del surco a una profundidad aproximada de 1 cm. Se aplicó estiércol a una dosis de 3.5 t ha⁻¹ (50 kg N). Posterior a la siembra se presentó un periodo de sequia, por lo que fue necesario aplicar riegos de auxilio en las primeras dos semanas del cultivo. El cultivo sufrió un ataque de pulgón negro del haba (*Aphis fabae*) controlado con una solución de jabón y tabaco en agua. Se realizaron tres limpiezas de malezas de manera manual (con azadón), de tal forma que se evitó la

competencia de estas plantas con el cultivo. La cosecha se realizó manualmente el 4 de Noviembre a los 118 días a la siembra.

4.2.2 Variables medidas

En 1997 se midió altura de la planta y diámetro de tallo a la cosecha, en 20 plantas de cada subparcela, seleccionadas aleatoriamente. Se determinó producción de biomasa aérea y producción de grano mediante método gravimético y en base seca. Para ello se cortaron las plantas en la base del tallo (Cuadro 1) y el grano se cosechó manualmente. Las muestras vegetales fueron secadas en estufa (70° C; 48 h). Con los datos de producción de biomasa y de producción de grano se procedió a calcular el índice de cosecha, la variable más usada como indicador de eficiencia en la distribución de fotosintatos hacia el grano (Henderson, 1997). La fórmula usada para índice de cosecha fue:

$$IC = \text{Peso seco del grano} / (\text{peso seco del rastrojo} + \text{peso del grano}) \times 100$$

4.3 Experimento 1998

En 1998 se repitió el mismo experimento de efecto de la densidad de siembra con los mismos materiales genéticos, a fin de analizar si las tendencias observadas en cuanto a producción de biomasa y de grano se mantenían. El experimento se sembró el día 12 de Junio; este retraso respecto al año anterior se debió a la falta de lluvias.

De igual forma como ocurrió en 1997, este año se presentó una sequía posterior a la siembra y también se aplicaron riegos de auxilio en las dos primeras semanas del cultivo.

4.3.1 Variables medidas

Tomando en cuenta la experiencia de 1997, se amplió el espectro de variables medidas. Además de diámetro del tallo y altura de la planta, se midió la longitud de la inflorescencia a la cosecha. Para la determinación de biomasa aérea y peso de grano se cortaron las plantas en la base del tallo (Cuadro 1) y se cosechó el grano manualmente. Las muestras vegetales fueron secadas en estufa (70° C; 48 h). Se calculó en índice de cosecha (IC) y rendimiento de grano m² del modo descrito anteriormente. En el experimento de 1998 se registró el porcentaje de plantas acamadas por surco a los 61 y 71 días a la siembra. A partir de las observaciones de la planta en 1997, se determinó en 1998 el daño por barrenador de tallo así como las plantas que sufrieron reverdecimiento (Espitia, 1990).

4.3.2 Determinación de acame

En el experimento de 1998 se registró el porcentaje de plantas acamadas por surco a los 61 y 71 días a la siembra. Se consideró como acame la caída de la planta completa o bien de la mitad superior de la planta. Ambos tipos de caídas contribuyen a la disminución del rendimiento por la caída de grano que implican.

4.3.3 Determinación de daño por barrenador del tallo

Para determinar el daño por barrenador del tallo (*Lixus truncatulus*), Aragón-García, *et al.* 1997) se tomaron al azar 10 plantas de cada parcela y se seccionaron longitudinalmente con una navaja con el fin de observar la presencia de galerías del gusano barrenador del tallo. En nuestro estudio se calculó el porcentaje de galerías por planta dividiendo la longitud de galerías entre la longitud del tallo. Para calcular la longitud de la barrenación del tallo se siguió un procedimiento estándar reportado por Shultz *et al.* (1997). Se dividió la longitud barrenada del tallo entre la longitud total del mismo. Se contó el número de larvas presentes a la cosecha y observables a simple vista (longitud superior a 0.4 cm, aproximadamente), sin distinguir a qué especie correspondieron las larvas. Bautista, M.N. (Colegio de Postgraduados) identificó las muestras de larvas tomadas de tallos barrenados. Las especies correspondieron a *Hypolixus truncatulus* y *Amauroyza abnormalis* (Bautista *et al.* 1997).

4.3.4 Determinación de reverdecimiento de la panoja

El reverdecimiento de la panoja consiste en un reinicio del crecimiento vegetativo de la panoja; los órganos florales se convierten en pequeñas hojas y el grano aparentemente se reabsorbe (Espitia, 1990b). Se trata de un fenómeno poco estudiado en la literatura internacional, aunque en las reuniones de especialistas es

referido constantemente. Por ejemplo, en el II Congreso Nacional de Amaranto celebrado en Torreón el mes de octubre de 1997, Luis Sumar Kalinowski, investigador peruano sobre amaranto, relató que en su país también se observa este fenómeno, cuyo origen no está determinado. Las observaciones de campo durante el experimento de 1998 indican que el fenómeno se inicia del exterior de la panoja hacia el interior, de tal forma que en una misma panoja puede coincidir el crecimiento vegetativo con órganos florales aún sin reverdecir. Espitia (1990) refiere que la humedad ambiental, y luz y temperatura pueden influir en la aparición de este fenómeno. En 1998 nosotros constatamos que el reverdecimiento se presentó en los meses de septiembre y octubre, los cuales fueron lluviosos (Fig. 1). Se contó el número de plantas reverdecidas por parcela a los 74 d para los dos cultivares, y a los 126 d solamente para la variedad aún en pie (Tulyehualco).

4.4 Análisis estadístico

Para todos los datos experimentales y variables analizadas se realizó el análisis de varianza mediante el procedimiento GLM usando el programa Statistical Analysis System (SAS) en forma separada para cada año y cada fecha de muestreo. Los promedios de cada tratamiento fueron comparados mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). En el caso del número de larvas y de barrenación se realizó un análisis de regresión con el programa estadístico antes citado.

El modelo lineal general fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + c_i + d_j + cd_{ij} + B_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta (grano, biomasa aérea, índice de cosecha, acame, número de larvas, barrenación y reverdecimiento)

μ = media general

c_i = efecto del cultivar i ($i=1,2$)

d_j = efecto de la densidad de plantas j ($j=1,2$)

cd_{ij} = efecto de interacción del efecto i de cultivar con el efecto j de la densidad de plantas

B_k = efecto del bloque k

ε_{ijkl} = error residual

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la presente tesis están organizados en tres sub-capítulos:

- (1) Crecimiento Vegetativo y Producción de Grano;
- (2) Repartición de la producción de grano en panoja principal y en ramas, y
- (3) Número de Larvas y Barrenación del tallo.

La información de estos sub-capítulos provienen de los dos experimentos de campo realizados en el sitio Las Ánimas en 1997 y 1998. En 1999 se obtuvieron resultados de un ensayo realizado en una parcela de productor en la zona El Cerro. Estos datos no se incluyen en el presente documento.

5.1 CRECIMIENTO VEGETATIVO Y PRODUCCIÓN DE GRANO

La características generales de los dos genotipos aparecen en el Cuadro 1. En 1997 y 1998 los dos genotipos tuvieron un buen desarrollo vegetativo y producción de grano en ambos años. En la Fig. 1 aparecen graficados los valores promedio mensuales de precipitación y temperatura. Los días a la cosecha para Frondosa fueron diferentes en 1997 y 1998 debido a una mayor precipitación en el mes de septiembre de 1998(> 200 mm; Fig. 1) así como al retraso en la fecha de siembra. Ambos genotipos mostraron un buen desarrollo vegetativo y alcanzaron la producción de grano. Ello confirma que estos materiales seleccionados en las condiciones de Texcoco pudieron desarrollar su potencial productivo en las

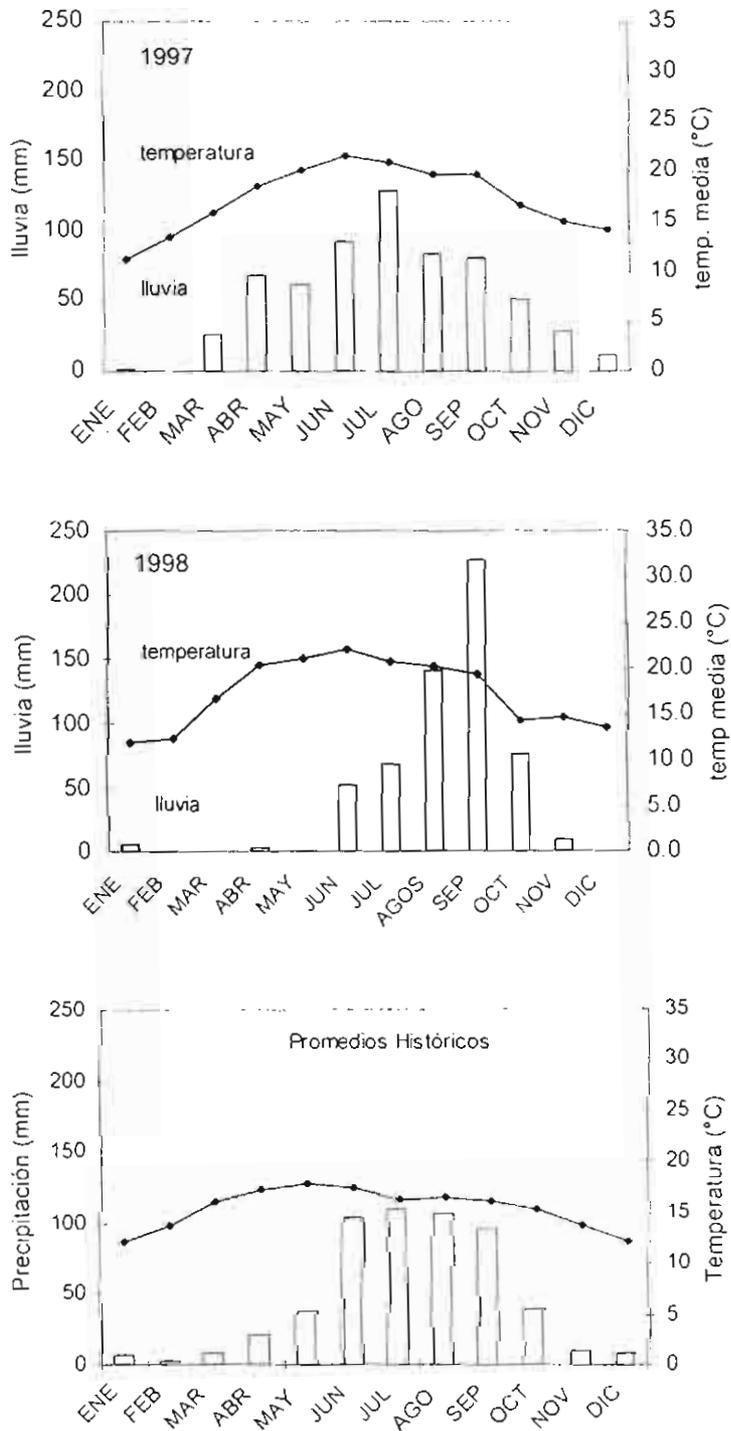
condiciones de Tulyehualco, en donde la precipitación histórica es menor a la de Texcoco, la temperatura ligeramente más elevada y los suelos poseen una menor fertilidad en general. La buena adaptación del genotipo precoz indica que puede ser un cultivar alternativo a los materiales de tipo Azteca (Espitia, 1990; Estrada y Sahagún, 2001) a los que pertenece el cultivar Tulyehualco. Al sembrar Frondosa, los productores cosecharían el grano a fines de octubre o principios de noviembre, mientras que con Tulyehualco lo deben hacer a finales de diciembre.

4.1 Altura de la planta, diámetro del tallo. El análisis de varianza (Cuadro 2) indica que tanto el factor genotipo y la densidad de población tuvieron un efecto significativo sobre altura y diámetro del tallo. El genotipo tardío (Tulyehualco) mostró valores promedio más altos respecto a Frondosa para altura de la planta y diámetro del tallo (Cuadro 3), lo que corresponde a las características generales de los dos cultivares (Cuadro 1). Al comparar el efecto de las dos densidades de plantas, Tulyehualco mantuvo alturas estadísticamente iguales, mientras que Frondosa disminuyó la altura al aumentar la densidad (Cuadro 3), lo cual muestra un efecto de la interacción genotipo x densidad (Cuadro 2). Este resultado coincide con lo reportado por Martínez et. al (1999) en el cual se observó que *A. hypochondriacus* presentó una mayor estabilidad en los parámetros de crecimiento vegetativo (respecto a *A. cruentus*) cuando fue sometido a diferentes niveles de remoción del meristemo apical.

Cuadro 1. Características generales de los dos cultivares de amaranto

Característica	Tulyehualco	Frondosa
Especie	<i>A. hypochondriacus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>
Origen	Tulyehualco (D F)	Tlaxcala
Color de hojas	Verde oscuro	Verde claro
Color de inflorescencia	Roja-púrpura	Verde-amarilla
Peso del grano (mg)	0.85	0.75
Altura de la planta (cm)	Alta	Media
Días a la antesis (50%)	114 días	61 días
Días a la cosecha	199 días	116 días

Fig. 1. Datos de precipitación y temperatura mensuales, para 1997, 1998 y registros históricos. San Luis Tlaxialtemalco (Xochimilco, Distrito Federal)



Cuadro 2. Valores del Cuadrado Medio de los principales efectos sobre altura de la planta, diámetro del tallo. Tulyehualco, México. 1997 y 1998.

Año	Efecto	gl	Altura	Diámetro
1997	Bloque	3	3766 **	2.07 **
	Genotipo (G)	1	1026939 **	17.43 **
	Densidad (D)	1	2733 *	2.22 **
	G x D	1	15804 **	0.05
	Error	313	552	0.17
1998	Bloque	3	1634 **	0.14
	Genotipo (G)	1	259371 **	7.33 **
	Densidad (D)	1	990 *	3.28 **
	G x D	1	739	0.21
	Error	153	285	0.14

*, ** Significativo a los niveles de probabilidad de 0.05, 0.01

Cuadro 3. Valores promedio de altura y diámetro de tallo.

Genotipo	Densidad	Altura	Diámetro(cm)
1997.Frondosa	62500	182.1 b	1.47 b
	250000	162.2 c	1.28 c
Tulyehuaco	62500	281.3 a	1.91 a
	250000	289.4 a	1.77 a
MSD _{0.05}		9.5	0.17
1998. Frondosa	62500	133.8 c	1.70 b
	380000	143.1 b	1.49 c
Tulyehualco	62500	218.6 a	2.21 a
	380000	219.3 a	1.85 b
MSD _{0.05}		6.9	0.21

Cuando se incrementó la densidad de plantas, los dos genotipos respondieron con una disminución en el diámetro del tallo de aproximadamente 0.20 cm (Cuadro 3). Resultados en Estados Unidos (Henderson, 2000), indican que el aumento de la densidad de plantas se traduce en disminuciones del diámetro del tallo, lo cual es consistente con la plasticidad morfológica del amaranto reportada por Haupli (1977), Putnam (1990) y Martínez et al. (1999). Los resultados aquí reportados indican que las diferencias entre diámetro del tallo son más pronunciadas entre los genotipos que entre las densidades de siembra probadas en el presente estudio (Cuadro 3). La disminución en el diámetro del tallo es una característica conveniente para la cosecha mecánica pues facilita la operación de corte (Henderson et al, 2000).

4.2 Producción de biomasa, rendimiento en grano e Índice de Cosecha. Ciclo 1997.

El factor genotipo no tuvo un efecto significativo en la producción de biomasa. En cambio, el factor densidad de plantas si afectó esta variable ($P < 0.01$; Cuadro 4), lo cual coincide con los resultados de Díaz et al. (2003) quienes reportaron (para el mismo cultivar de tipo Azteca) un efecto positivo del factor densidad en la producción de biomasa, dentro del intervalo de 12 500-33 000 plantas ha^{-1} .

Cuadro 4. Valores de Cuadrado Medio de los principales efectos sobre biomasa, grano e índice de cosecha.

Efecto	gl	Biomasa Kg ha ⁻¹	Grano kg ha ⁻¹	IC
1997. Bloque	3	21747701	2307115	1.6
Genotipo	1	68970533	3201057 **	58.9 **
Densidad	1	704952945 **	15470062 **	10.1
G x D	1	74426854	926695	26.3
Error I	9	26428878	351542	9.6
1998. Bloque	3	14007863	1055383	0.8
Genotipo	1	1898848166 **	9113794 *	21.2
Densidad	1	2109273254 **	22271025 **	18.1
G x D	1	441200572 **	1279373	17.6
Error I	9	16876736	1291643	12.2

*, ** Significativo a los niveles de probabilidad de 0.05, 0.01.

Cuadro 5. Valores promedio de la biomasa aérea (kg ha^{-1}), grano kg ha^{-1}) e índice de cosecha de amaranto.

Genotipo	Plantas ha^{-1}	Biomasa	Rendimiento	IC
1997				
Frondosa	62500	6811 b	655 c	0.09 a
Frondosa	375000	15773 ab	2140 b	0.13 a
Tulyehualco	62500	6650 b	1068 bc	0.16 a
Tulyehualco	375000	24239 a	3516 a	0.15 a
MSD _{0.05}		11361	1310	0.06
1998				
Frondosa	62500	6829 c	599 c	0.08 a
Frondosa	375000	19290 b	2393 ab	0.13 a
Tulyehualco	62500	18115 b	1543 bc	0.08 a
Tulyehualco	375000	51581 a	4468 a	0.08 a
MSD _{0.05}		9079	2512	0.07

En cuanto a la producción de grano, tanto el factor genotipo como densidad tuvieron efectos significativos ($P < 0.01$). A 62 500 plantas ha^{-1} el rendimiento para los dos genotipos varió entre 655 y 1068 kg ha^{-1} (Cuadro 5), valores muy similares al rendimiento obtenido por los productores locales usando densidades de siembra comparables (Alejandre y Gómez, 1990).

Díaz et al. (2003) obtuvieron rendimientos entre 1.3-2.1 t ha^{-1} para densidades de población más bajas que las del presente estudio. La producción de grano obtenida es comparable con lo reportado por Henderson et al. (2000) para cultivares de *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* probados en las Grandes Planicies de EU, con densidades de población bajas o intermedias. Bansal et al. (1995) obtuvieron en la India, para una variedad de precocidad similar a Frondosa, un rendimiento de 1000 kg ha^{-1} con una densidad de 85 000 plantas ha^{-1} .

Cuando la densidad de siembra se incrementó de 62 500 a 375 000 plantas ha^{-1} , el rendimiento alcanzó más de 3 500 kg ha^{-1} (Cuadro 5). Estos rendimientos son muy superiores a los obtenidos por los productores, y similares a los reportados como rendimientos máximos para un genotipo similar probado por Estrada y Sahagún (2001) en la misma zona.

Debe considerarse que el alto rendimiento obtenido para el cultivar Tulyehualco se hizo en condiciones de cosecha controlada en la experimentación, lo cual tiende a producir valores más elevados de rendimiento. Lee et al. (1996) han señalado que

en la cosecha comercial se presentan pérdidas que representan el 35-40% del grano de amaranto producido en campo.

De acuerdo con el ANOVA el factor genotipo también tuvo un efecto en el Índice de Cosecha (Cuadro 4). El genotipo tardío tuvo los valores más altos de IC (0.15-0.16). Por otra parte, la densidad de plantas no afectó el IC, lo cual concuerda con resultados previos de Aufhammer *et al.* (1995) para *A. cruentus* y una cruce de *A. hypochondriacus* y *A. Hybridus*, y para el mismo cultivar cosechado en Texcoco (Díaz *et al.*, 2003). Este resultado es relevante pues se ha llegado a proponer mejorar en la eficiencia en la producción de grano mediante el aumento de la densidad de población. Nuestros resultados y los de Díaz *et al.* (2003) para México, y la de los autores citados para EU y Europa, indican lo contrario.

Ciclo 1998. De acuerdo con el ANOVA, en este año el genotipo, la densidad de población y la interacción entre ambos tuvieron efectos significativos sobre la producción de biomasa (Cuadro 4; $P < 0.01$). Al aumentar la densidad de plantas se incrementaron los valores de biomasa (Cuadro 5). Por otra parte, el rendimiento en grano se vio afectado por genotipo y densidad de siembra. Los valores promedio de rendimiento en grano por ha^{-1} variaron entre 599 (Froncosa a baja densidad) y 4 468 para Tulyehualco a alta densidad (Cuadro 5). El Índice de cosecha no se vio afectado por genotipo ni por densidad (Cuadro 5; $P < 0.05$) y los valores promedio de este parámetro variaron entre 0.08 y 0.13 (Cuadro 6). Aufhammer *et al.* (1995) obtuvieron en condiciones de Europa, rendimientos casi tan altos a los alcanzados en este ciclo,

con densidades de población similares. Henderson *et al.* (2000) en su trabajo sobre densidades de población y distancia entre líneas de amaranto en Grandes Planicies, encontraron que la densidad de siembra provocó un muy ligero aumento en la producción de grano, principalmente bajo distancia entre líneas de 0.6 m. En el presente trabajo, se constató un efecto mayor de la densidad de población en la producción de grano, respecto a lo reportado por Henderson *et al.* (2000).

4.3 Acame y reverdecimiento. Los factores de genotipo, densidad y la interacción genotipo x densidad, tuvieron un efecto positivo sobre el porcentaje de plantas acamadas a los 71 días (Cuadro 6). A baja densidad, las plantas de Tulyehualco tuvieron el valor más alto de acame (31%), lo cual supera el valor máximo de acame de 16% reportado por Henderson *et al.* (2000) en la campaña de investigación de tres años que llevaron a cabo en EU. En nuestro experimento en 1998 así como en los resultados reportados por Henderson *et al.* (2000) el mayor número de plantas por superficie aparece como un factor que favorece el mantenimiento en pie de las plantas de amaranto. De igual forma, el menor tamaño de la planta parece indicar una menor propensión al acame, como lo muestran los valores de acame entre 4-10% alcanzados por el genotipo Frondosa (Cuadro 7). Al final de ciclo de crecimiento del genotipo tardío (Tulyehualco), las lluvias torrenciales y los fuertes vientos causaron 100% de acame en ambas densidades de plantas. El cultivar Frondosa, por su ciclo más corto, no se vio afectado por estos eventos climáticos, lo cual le confiere una ventaja pues al presentar una menor cantidad de plantas acostadas se facilita su cosecha, ya sea mecánica o manual.

El fenómeno de "reverdecimiento" ha sido previamente citado por Espitia (1990) para materiales de amaranto en México; sin embargo es un fenómeno que ha recibido muy poca atención en la literatura internacional. Este fenómeno se presentó en 1998 para los dos genotipos. El genotipo precoz mostró los valores más bajos de inflorescencias reverdecidas (<7% de las plantas) mientras que el genotipo tardío (Tulyehualco) alcanzó el 56% de las plantas a baja densidad (Cuadro 7). El reverdecimiento en 1998 pudo estar relacionado con un período de mayor humedad al final del ciclo. Se requiere de una investigación específica sobre este fenómeno, el cual sólo se presenta en algunos ciclos.

Discusión

Las dos variedades de amaranto seleccionadas en Texcoco y que sirvieron de base para el presente estudio mostraron una buena adaptación a las condiciones de Las Ánimas, Tulyehualco. Destacan los valores de crecimiento vegetativo y de rendimiento de la variedad temprana y de porte bajo (Froncosa). Los datos relativos a esta variedad vienen a sumarse a los obtenidos en los ensayos realizados por Produce DF. En nuestro trabajo no se buscó comparar sistemas de producción locales basados en transplante, con sistemas alternativos basados en siembra directa. En nuestro estudio los materiales respondieron con crecimiento y rendimiento adecuados respecto a los parámetros de otros estudios (Alejandre y Gómez, 1990, realizados en Tulyehualco) cuando fueron sembrados bajo siembra

directa en el suelo. Este resultado no significa que se haya demostrado plenamente la viabilidad de ésta técnica pues en los dos ciclos se acudió a riego auxilio en las tres primeras semanas del cultivo, a fin de asegurar la emergencia en buenas condiciones y poder medir así el potencial de desarrollo de los cultivos. Es por ello que nuestros resultados no son plenamente concluyentes respecto a la viabilidad de la siembra directa. Existen algunos datos que sugieren que esta viabilidad existe. Por ejemplo, las parcelas demostrativas con cultivares precoces en predios colindantes con Las Ánimas, han alcanzado su madurez fisiológica y niveles altos de rendimiento ya citados aquí, sin recurrir a riegos de auxilio. Otra evidencia a favor es que en el año 2000 en un ensayo (datos no publicados del Proyecto Produce-UAMX; ciclo 2000), la siembra de un ensayo comparativo de tres variedades (Tulyehualco, Frondosa y Criolla) en la parcela de una productora en La Loma (a 2km de Las Ánimas, con suelos y clima similares) indicó para ese año la viabilidad de la siembra directa tanto de Frondosa como de las demás variedades. Si embargo, en el ensayo en El Cerro (mayor altitud que Ánimas) en 1999 la variedad Frondosa no alcanzó la madurez fisiológica. Se requiere un trabajo específico en el cual se observe la emergencia de las plantas y su sobrevivencia en las condiciones de lluvias irregulares en el inicio del temporal. Además, un estudio de este tipo debería incluir una perspectiva de varios años y varias localidades, debido a lo heterogéneo del clima incluso cuando se cambia en la escala de 1-5 km en una zona en la cual influye la altitud y la topografía en las temperaturas y precipitaciones locales.

Cuadro 6 . Valores de Cuadrado Medio de los principales efectos e interacción de acame, y reverdecimiento.

Efecto	Gl	Acame	gl	Reverde
Bloque	3	82.9	3	2.3
Genotipo	1	1823.2 **	1	.0006
densidad	1	3903.1 **	1	24.8 *
G x D	1	1584.0 **	1	0.28
Error	57	40.5	9	2.5

Cuadro 7. Valores promedio para acame, y reverdecimiento. Tulyehualco (México), 1998.

Genotipo	Densidad	Acame (%) 71 días	Rever (%) 74 Frondosa	Rever (%) 126d Tulyehualco
Frondosa	62500	10.1 b	6.6	ya cosechada
Frondosa	380000	4.5 b	2.0	ya cosechada
Tulyehualco	62500	30.8 a	9.8	56.1
Tulyehualco	380000	5.2 b	1.8	10.1
MSD _{0.05}		10.8	3.5	
T _{0.001}				12.5

Por otra parte, el crecimiento vegetativo y el rendimiento del genotipo precoz (Fronrosa) en baja y alta densidad indican que este tipo de materiales pueden representar una nueva opción para los productores (hipótesis 1). Cuando el cultivar Fronrosa se manejó con la misma tecnología local caracterizada por bajas densidades de siembra ($62\ 500$ plantas ha^{-1}), gran espaciamento entre líneas y plantas (0.8 m), fertilización moderada (50 kg N ha^{-1}), se obtuvo un rendimiento modesto (alrededor de 600 kg ha^{-1}), similar al obtenido con el material criollo de la región, pero el cual presenta un ciclo de producción de hasta 40-60 días más largo que el genotipo precoz. Las ventajas de materiales precoces respecto a los tardíos, consisten en la reducción del tiempo de ocupación del espacio, la disminución de costos en mano de obra para labores de cultivo, y menores riesgos de efectos climáticos adversos que impactan en el acame o bien, en el reverdecimiento. La precocidad de los genotipos de amaranto en regiones como Tulyehualco pueden dar la pauta para el diseño de nuevos sistemas de producción en policultivo, a fin de aprovechar la estación de crecimiento entre Octubre-Diciembre cuando el amaranto de ciclo corto ya ha sido cultivado. Esto supone sincronizar el amaranto con otras especies cultivadas tolerantes a baja humedad en el suelo y temperaturas más frías. Su adopción por los productores, sin embargo, depende de factores culturales como la preferencia de plantas de porte alto e inflorescencia grande de color rojo (Alejandre y Gómez, 1986). En el presente trabajo se observó que cuando la humedad en el suelo permanece al final del ciclo (como ocurrió en 1998) la cosecha del genotipo precoz se pospuso respecto a la cosecha de 1997. Este problema no se presenta para materiales tardíos, ya que en este caso la cosecha en el mes de

diciembre ocurre casi invariablemente en condiciones secas lo cual favorece el proceso de cosecha (Henderson *et al*, 2000).

El aumento en la densidad de siembra y de plantas debe considerar las condiciones de la producción de amaranto en Tulyehualco, pues la presencia de sequía intra-estival presenta un serio obstáculo al aumento drástico de población de plantas, pues ello conlleva mayores gastos de siembra (Henderson *et al*, 2000) y/o transplante (Alejandre y Gómez, 1986) y mayores riesgos de pérdidas en caso de sequía severa. Es posible que la tecnología de altas densidades sea adoptada si se presentan mejoras en la infraestructura lo cual permitirá riegos de auxilio en la región productiva.

La experimentación de dos años reportada en este trabajo muestra que las altas densidades de población (>300 000 plantas ha⁻¹) se traducen en incrementos significativos en la producción de grano de amaranto cultivado en condiciones de temporal. Contrario a la hipótesis 3 planteada al inicio de la presente tesis, el incremento en la densidad de plantas no se tradujo en mayor eficiencia medida por el índice de cosecha. Este resultado coincide con lo reportado previamente en las investigaciones en EU y Europa, y en México, en un estudio reciente de Díaz *et. al* (2003).

En alta densidad de población se comprobó una reducción del acame a los 71 días en ambos cultivares y una menor incidencia de plantas reverdecidas.

Conclusiones Parciales

La experimentación conducida durante dos años con dos materiales de amaranto mejorados y con dos densidades de población señala la viabilidad técnica de utilizar en la región productiva de Tulyehualco el genotipo precoz y de porte bajo (Froncosa), así como el genotipo mejorado Tulyehualco. El rendimiento en grano de los dos genotipos se incrementó significativamente al aumentar la densidad de población hasta 375 000 plantas ha⁻¹. El genotipo precoz mostró un menor porcentaje de plantas acamadas en ambas densidades de siembra al final del ciclo. Este dato, junto a la producción de grano, lo convierte en una opción para que los productores cuenten con un más amplio abanico de posibilidades al momento de decidir su siembra y sus sistemas de cultivo.

5. 2 REPARTICIÓN DEL GRANO EN PANOJA PRINCIPAL Y EN RAMAS

Varios estudios han reportado que el amaranto tiende a producir ramas secundarias cuando es sembrado a baja densidad (Hauptli, 1977). Se ha señalado que en la regiones productoras de México los principales cultivares de amaranto corresponden a selecciones locales (criollos; Mapes, 1995), entre las cuales dominan las plantas altas, tallos gruesos y múltiples ramas laterales.

La ramificación ha sido recientemente reportada por Wu *et al.* (2000) para 31 materiales genéticos probados en China. En altas densidades la ramificación desaparece, como lo reportan Aufhammer *et al.* (1995) en un trabajo con una densidad $> 300\ 000$ plantas ha^{-1} . Cuando la cosecha se realiza mecánicamente como ocurre en EU y Europa, se busca eliminar las ramas y por tanto la producción fuera de la panoja principal. Sin embargo, en agriculturas no-intensivas como se presentan en México y en los países andinos, los productores reúnen al momento de la cosecha, los tallos principales así como secundarios para aprovechar toda la producción de la planta. Hasta ahora, han sido los estudios etnobotánicos y fisiológicos los que han evaluado la cantidad de ramas que presentan los materiales con que se trabaja (Mapes *et al.*, 1997). También los trabajos de exploración de materiales genéticos adaptados a nuevas regiones agrícolas (Wu *et al.*, 2000) han reportado la cantidad de tallos laterales en los materiales probados. Sin embargo, no existen estudios que comparen la importancia relativa de la producción grano y en panoja principal y en ramas.

Dado el diseño de los dos principales experimentos de campo desarrollados en la presente tesis (dos variedades contrastantes en morfología y en precocidad, y dos densidades de siembra también opuestas), fue posible, por un lado, eliminar la ramificación en altas densidades, y promoverla en la baja densidad. En este capítulo reportamos la cantidad de ramas presentes en los dos materiales genéticos probados, así como la determinación específica de la producción de grano en panoja principal y en ramas. Se incluyen datos detallados sobre las características de ramas y ramillas productoras de grano en ambos cultivares, así como información de la biomasa de la planta y de la inflorescencia. Los valores de rendimiento en grano y de biomasa se presentan con base en g planta^{-1} .

5.2.1 Morfología y producción de grano en los dos cultivares de amaranto crecidos en baja densidad ($62\ 500\ \text{plantas ha}^{-1}$)

Vimos en el sub-capítulo 5.1 que la altura y el diámetro de tallo de los dos cultivares mostraron diferencias significativas. En el Cuadro 8 se muestran otras características morfológicas como el número de ramas, longitud de panícula y número de ramillas de la panícula principal y se observan diferencias estadísticas entre los dos cultivares ($P < 0.05$). Estos resultados son consistentes con el carácter contrastante de ambos cultivares; el de mayor porte muestra valores más altos para estas variables.

El material precoz (Froncosa) mostró un período de crecimiento más corto y las plantas tuvieron una menor biomasa comparada con el cultivar tardío (Cuadro 8). Mapes et al. (1996) han reportado resultados en el mismo sentido cuando comparan el crecimiento de razas mexicanas de amaranto. El material tardío presentó casi el doble de número de ramas (21) comparado con el material precoz (12). Estos valores de ramificación son mayores al rango encontrado por Wu et al. (2000) en su estudio con 31 cultivares de *A. hypochondriacus* probados en China. Respecto a la producción de grano por planta, Tulyehualco produjo casi el doble que Froncosa (Fig. 2). Los valores de rendimiento en grano de Tulyehualco (30 g planta^{-1}) son más altos al promedio reportado por Wu et al. (2000) en las condiciones de dos localidades de China (21.0 y 3 g planta^{-1}), mientras que Froncosa mostró un promedio de $13.2 \text{ g planta}^{-1}$, similar al promedio en las dos localidades de China (Wu et al., 2000).

Esta característica de alta producción de grano por planta para el cultivar Tulyehualco es muy apreciada por los productores de la localidad y podría representar una de las razones de preferencia por materiales altos en lugar de los de porte bajo como Froncosa. Si el productor está decidido a mantener el mismo sistema de producción, con los pasos técnicos acostumbrados (principalmente sembrando bajas densidades de población), los cuales están adaptados a las condiciones de clima (precipitación, principalmente), es muy probable que elija el material alto Tulyehualco. Para inclinarse por materiales de porte bajo y más precoces (caso Froncosa) debería estar convencido de que los cambios hacia altas densidades con este tipo de materiales pueden resultarle en un beneficio económico.

Para ello se requieren más demostraciones en las distintas áreas productivas de la localidad, en la cual se observe el potencial de cultivares como Frondosa.

El principal hallazgo reportado en esta parte de la investigación se refiere a la repartición de la producción de grano. Las ramas produjeron casi el 50% de lo producido en la panoja principal para el cultivar tardío (Tulyehualco; Fig. 2), mientras que en el cultivar precoz la producción en las ramas representó el 36% de lo producido en la panoja principal.

En relación con el índice de cosecha Frondosa tuvo un promedio significativamente más alto ($P < 0.05$) respecto a Tulyehualco (Cuadro 8), lo que indica un mejor desempeño de ese cultivar en la localización de fotosintatos en el grano. Los valores de Índice de Cosecha se encuentran dentro del rango reportado en trabajos previos (Henderson *et. al.*; 1998) para *A. hypochondriacus*.

Los tipos de cultivares de amaranto (precoz o tardío; bajo o alto) presentan cada uno determinadas ventajas que pueden adaptarse mejor a diferentes contextos socioeconómicos de los productores. En la región productiva de Tulyehualco los productores parecen preferir materiales genéticos con plantas altas y su tecnología agrícola está basada en bajas densidades de plantas. Debido a las precarias condiciones económicas, la mayoría de los productores campesinos combinan la actividad de producción de amaranto con otras opciones de ingreso en el comercio y/o los servicios. Su sistema no-intensivo basado en bajas densidades de siembra, requiere de bajos insumos y bajo empleo de mano de obra exterior a la familia, lo cual se adapta bien a su situación socio-económica.

En relación con los usos locales de la biomasa del amaranto localizada en hojas y tallos, la práctica más común es el uso de los tallos secos como leña en los hogares. Plantas de amaranto con ramas muy productivas (grano y rastrojo) además de un tallo grueso parecen ser consistentes con la lógica de este sistema no-intensivo en uso de insumos externos, puesto que los productores pueden obtener grano para venta y combustible para consumo familiar, lo cual satisface necesidades de diferente orden en la reproducción de la familia. A ello habría que sumar los factores culturales de preferencia por determinados tipos de plantas. Este aspecto, sin embargo, va más allá de los objetivos del presente trabajo.

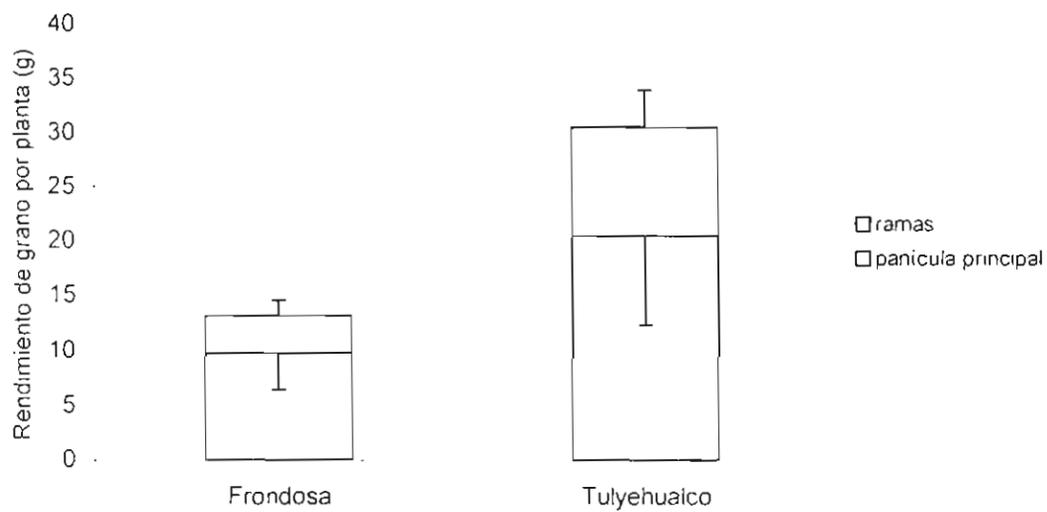
Por otro lado, los resultados de producción por planta confirman la buena adaptación del material precoz a la zona de Tulyehualco, el cual fue capaz de producir un rendimiento aceptable (800 kg ha^{-1}) en un período de 116 días a la siembra. Se confirma que Frondosa puede ser considerada en el diseño de nuevas estrategias de cultivo destinadas a incrementar la tasa de ocupación del suelo y la productividad de la mano de obra. El amaranto precoz puede ser sembrado en poli-cultivo para dejar libre el uso del suelo en los meses de octubre-diciembre. Esta opción supone la selección de especies con altas tasas de crecimiento, incluso en una época en la que disminuye la temperatura, y tolerantes a las bajas humedades en el suelo

Cuadro 8. Promedio y desviación estándar de características vegetativas y reproductivas del amaranto.

	Froncosa		Tulyehualco	
	Promedio	DE	Promedio	DE
Altura (cm)	133.8 b	18.0	218.6 a	20.9
Diámetro tallo (cm)	1.7 b	0.3	2.2 a	0.4
Largo panícula princi. PP (cm)	48.1b	5.7	76.7 a	14.1
Número de ramas	11.9 b	4.1	20.9 a	4.2
Número de ramillas de PP	56.0 b	17.2	115.8 a	29.7
Biomasa de planta ¹ (g)	96.1 b	5.81	259.5 a	42.3
Biomasa panícula (g)	34.7 b	2.34	92.6 a	33.2
Biomasa ramas (g)	18.0 a	2.20	20.7 a	12.4
Peso grano panícula (g)	9.7 b	3.3	20.4 a	8.2
Peso grano ramas (g)	3.5 b	1.3	10.0 a	3.5
Peso total de grano (g planta ⁻¹)	13.2 b	3.7	30.5 a	8.7
Índice de Cosecha	0.13 a	0.05	0.11 b	0.03

¹ sin biomasa del grano. Tulyehualco (Mexico). 1998 n=40. Valores con letra diferente en sentido horizontal indican diferencias estadísticas (P<0.05).

Figura 2. Rendimiento en grano (g planta^{-1} ; promedios y desviaciones estándar; $n=40$) dividido en panícula principal y en ramas, México. 1998



Cuadro 9. Datos equivalentes de rendimiento ($t\ ha^{-1}$) para los dos cultivares creciendo a $62\ 500\ plantas\ ha^{-1}$.

Rendimiento en grano	Frondosa (precoz)	Tulyehualco (tardía)
g planta ⁻¹	13.2 b	30.5 a
ton ha ⁻¹	0.8 b	1.9 a
g panícula principal ⁻¹	9.72 b	20.44 a
ton ha ⁻¹ (panícula pri.)	0.6 b	1.3 a
g ramas ⁻¹	3.5 b	10.0 a
ton ha ⁻¹ (ramas)	0.2 b	0.6 a

Valores con letra diferente en sentido horizontal indican diferencias estadísticas ($P < 0.05$).

Tulyehualco, México 1998

En suma, el sistema de amaranto con bajas densidades de población, muy probablemente se mantendrá en la zona. Los resultados comparativos de la producción en panoja principal y en ramas de dos variedades de ciclos contrastantes se refieren exclusivamente a un sitio y a un año.

Se requiere ampliar la prueba de más materiales lo cual requiere el acceso a colecciones de germoplasma (como el de INIFAP) a otras instituciones interesadas en investigar la producción de amaranto. Las pruebas de estos materiales y de un mayor número de densidades de siembra y combinaciones de cultivo es una línea promisoría. Del mismo modo, la evaluación de las pérdidas en la producción de grano de amaranto de ciclo largo (por acame, ataque de aves, viento) parecen ser temas relevantes para la producción de sistemas en zonas de subsistencia.

5.2.2 Conclusión Parcial

Los dos cultivares mostraron una abundante ramificación a 62 500 plantas ha⁻¹. El cultivar local, Tulyehualco, tuvo un rendimiento más alto tanto en la panoja principal como en las ramas, equivalente a 1.9 ton ha⁻¹. comparado con el rendimiento de Frondosa (0.8 ton ha⁻¹). Las ramas de las plantas de Tulyehualco contribuyeron con 30% de la producción total de la planta, lo que representa a su vez el 50% de la producción de grano en la panoja principal. Las recomendaciones para cambiar la tecnología de producción de amaranto en la zona debe tomar en cuenta la repartición

en la producción de grano en panoja principal y en ramas. Los doseles densos a base de altas densidades son positivos para campos planos y de buen potencial agrícola, pero no se sabe si lo son para terrenos marginales (con pendientes, suelos someros y pedregosos) como los del Cerro en Tulyehualco. En estas condiciones el cultivar local es aprovechado integralmente por los productores, en cuanto a su producción de grano en panoja principal y en ramas, y la biomasa seca de los tallos.

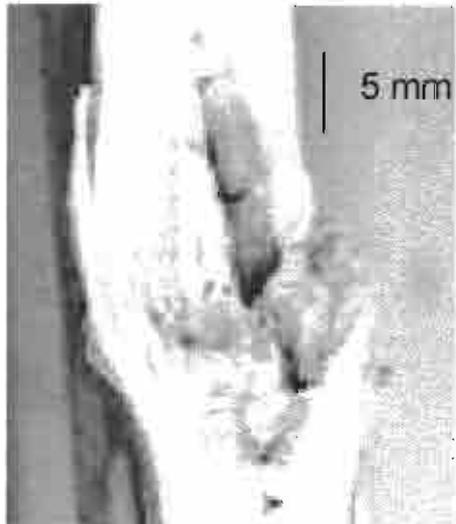
5.3 BARRENACIÓN DEL TALLO, NÚMERO DE LARVAS Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO EN GRANO

5.3.1 Identificación de las especies de insectos barrenadores

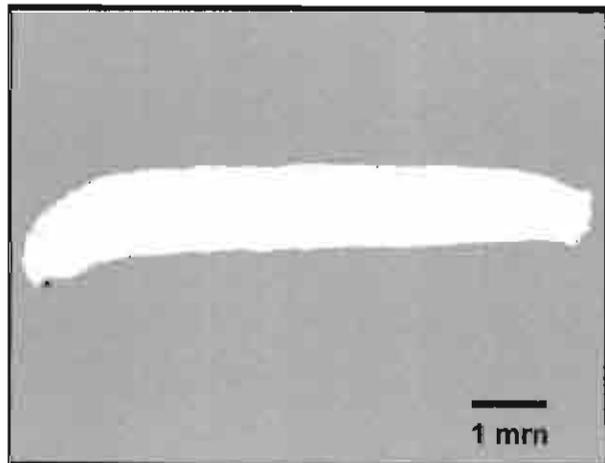
El trabajo de identificación de las especies de las larvas de insectos atacando el amaranto corrió a cargo del Dr. Néstor Bautista Martínez, perteneciente al Colegio de Postgraduados. Se identificó la presencia de larvas de *Hypolixus truncatulus* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae) y *Amauromyza abnormalis* (Malloch) (Diptera: Agromycidae). El trabajo de identificación se realizó con larvas colectadas en plantas de amaranto. En el Esquema 1 aparecen los dibujos y las principales características típicas de ambas especies. El conteo de larvas se realizó sin poder identificar en campo la pertenencia a cada una de las dos especies identificadas *a posteriori*. De igual manera, el daño por barrenación que se determinó y que se reporta en este capítulo de resultados, no distingue el correspondiente a cada una de las especies.

5.3.2 Efecto del cultivar y densidad de siembra en el número de larvas y barrenación del tallo.

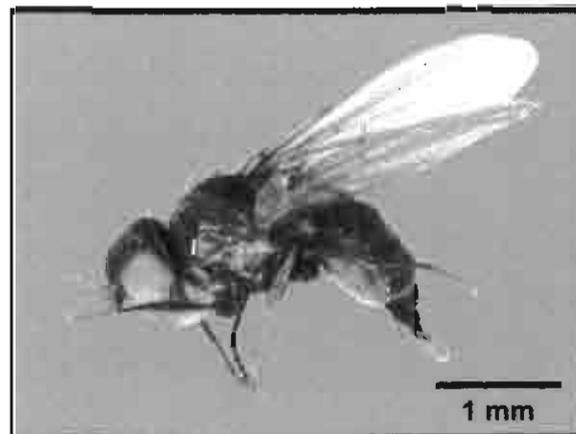
El número de larvas de ambas especies identificadas, encontradas en los tallos al momento de la cosecha fue afectado por el factor cultivar (Cuadro 10). La comparación de medias (Fig. 3) indica que Tulyehualco tuvo el número más alto de larvas comparado con Frondosa. El porcentaje de tallo barrenado por larvas también



Hypolixus truncatulus
(Foto: Guadalupe Torres; 1998)



Amauromyza abnormalis
(Foto: Dr. Néstor Bautista)



fue diferente entre cultivares ($P < 0.05$; Cuadro 11). Tulyehualco tuvo el mayor porcentaje de daño de tallo comparado con los valores de Frondosa (Cuadro 11).

En cuanto al efecto de la densidad de siembra, un resultado sobresaliente fue que para ambos cultivares, la densidad de plantas no afectó el número de larvas (Fig. 3) ni tampoco el daño por barrenación (Fig. 4), lo cual contradice la hipótesis inicial de que una reducción del grosor del tallo (Fig. 5) obtenida mediante el aumento de la densidad de plantas del dosel podría reducir el daño de barrenación. Por otra parte, el análisis de regresión (Cuadro 12) entre el número de larvas y las características morfológicas del amaranto (Fig. 5) indican un efecto positivo ($P < 0.001$) para diámetro del tallo y altura de la planta (Cuadro 12). La barrenación mostró una tendencia muy similar en el análisis de regresión respecto a esos dos rasgos morfológicos de la planta de amaranto (Cuadro 12).

Cuadro 10. Valores de Cuadrado Medio de los principales efectos sobre características del amaranto. Tulyehualco, México, 1998. Niveles de significancia: significativo (*, $P < 0.05$), y altamente significativo (**, $P < 0.01$).

Efecto	gl	Número de larvas	Barrenación de tallo	Producción de grano	Producción biomasa
Bloque	3	39.84*	1338.2**	1055383	14007863
Cultivar	1	1118.30**	4169.8**	9113794*	1898848166**
Densidad	1	1.05	41.41	22271025**	109273254**
Cult x dens	1	2.75	165.5	1279373	441200572**
Error	57	6.79	101.1	1291643	16876736

Figura 3. Número de larvas de barrenadores al momento de la cosecha de amaranto (promedios y desviaciones estándar). Tulyehualco, 1998. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos ($P < 0.05$)

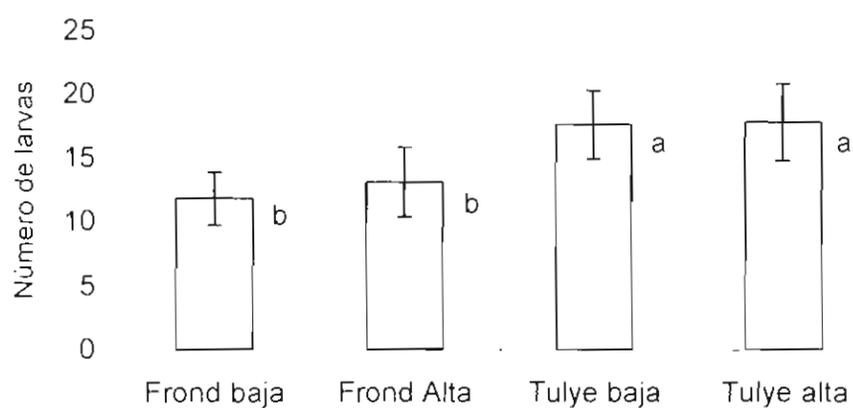
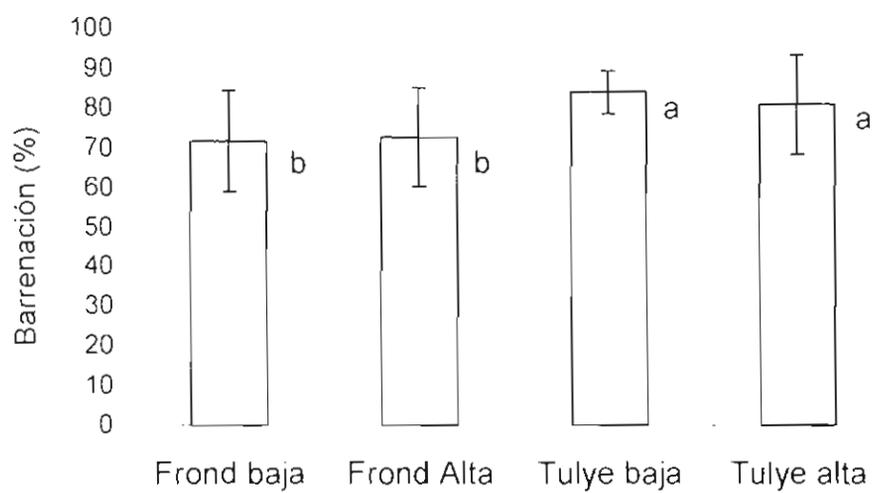


Figura 4. Porcentaje de barrenación en los tallos de amaranto (promedios y desviaciones estándar), Tulyehualco, 1998.



Cuadro 11. Valores promedio de las principales características de amaranto Tulyehualco, México, 1998.

Variable	Frondosa		Tulyehualco		MSD 0.05
	62 500	380 000	62 500	380 000	
Barrenación por tallo (%)	71.6 b	72.6 b	83.9 a	80.8 a	5.8
Larvas planta ⁻¹	11.8 b	13.1 b	17.6 a	17.8 a	1.52
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	599 c	2393 ab	1543 bc	4468 a	2512
Biomasa (kg ha ⁻¹)	6829 c	19290 b	18115 b	51581 a	9079
Índice de Cosecha	8.8 a	13.0 a	8.6 a	8.6 a	7.7

Promedios con letra diferente en sentido horizontal indican diferencias estadísticas ($P < 0.05$). Los datos de Biomasa aérea no incluyen el peso del grano.

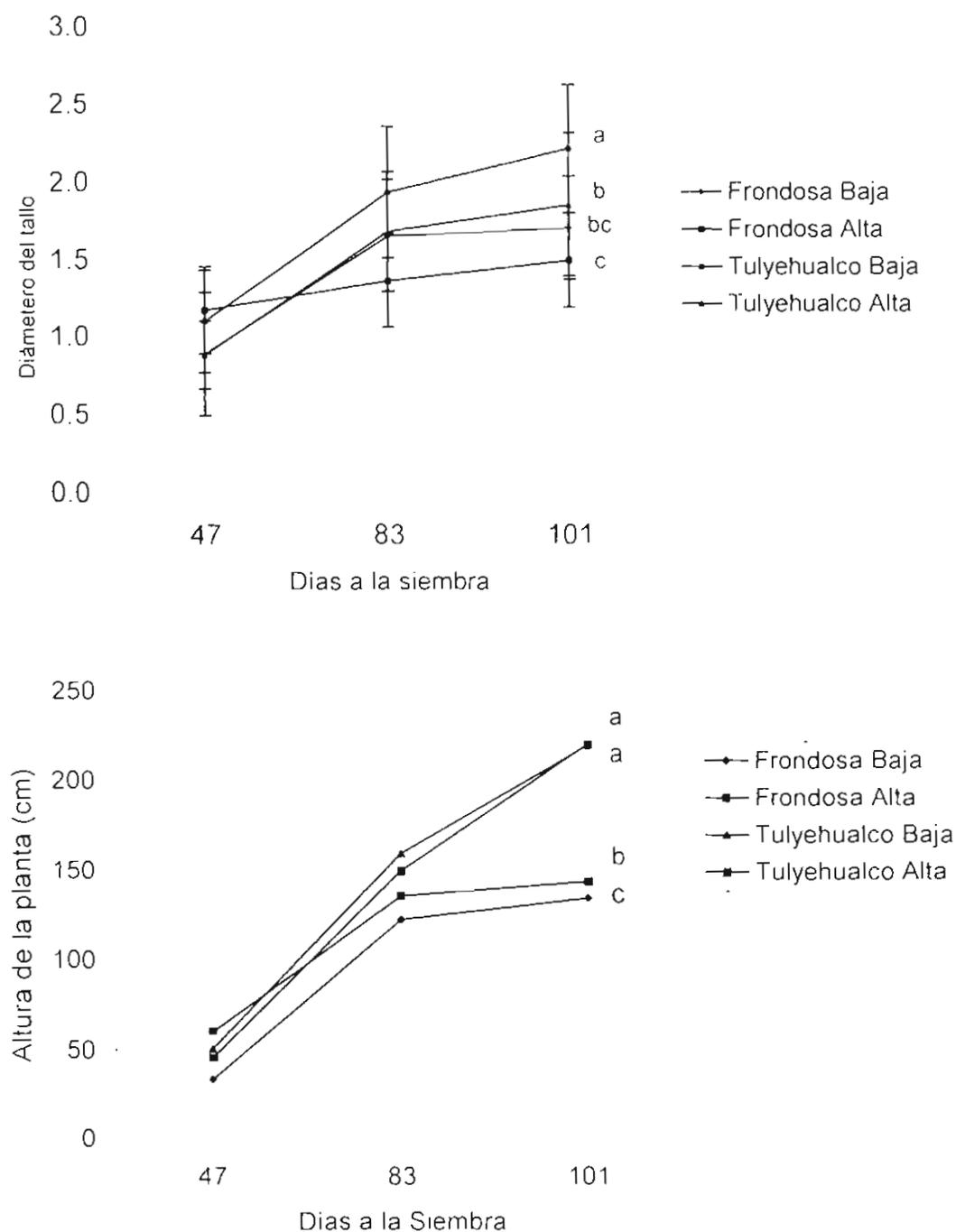
Cuadro 12. Análisis de regresión de variables Y (larvas y barrenación) y variables X (diámetro del tallo y altura de planta). Tulyehualco, México. 1998.

(Y) variable	(X) variable	Fuente	Cuadrado Medio	Intercepto	Coefficiente Regresión	R ²	Significancia
Número larvas	Diámetro tallo	Modelo	370.8	9.08	3.32	0.16	P<0.001
		Error	11.6				
Número larvas	Altura planta	Modelo	1043.6	4.74	0.05	0.47	P<0.001
		Error	7.41				
Barrenación	Número larvas	Modelo	446.7	4.54	0.13	0.20	P < 0.001
		Error	142.4				
Barrenación	Diámetro tallo	Modelo	1350.9	65.73	6.34	0.05	P< 0.01
		Error	142.4				
Barrenación	Altura planta	Modelo	5475.2	53.48	0.13	0.22	P < 0.001
		Error	116.0				

En el presente estudio se analizó la barrenación como producto del daño combinado de las dos especies, sin poder establecer el daño relativo causado por cada una de las especies. Phogat *et al.* (1994) encontraron que *Hypolixus truncatulus*, analizada particularmente, sí tuvo un efecto en la disminución de la producción de grano de amaranto.

Las diferencias más importantes en número de larvas y grado de barrenación fueron debidas al factor cultivar. El cultivar de menor tamaño y mayor precocidad (Froncosa) presentó barrenación en todas las plantas muestreadas, aunque el porcentaje promedio de barrenación fue significativamente menor respecto al cultivar tardío (Tulyehualco). El hecho de aumentar drásticamente la densidad de plantas sí se tradujo en tallos más delgados en ambos cultivares; sin embargo, esta reducción no significó un número de larvas menor ni una disminución en el daño por barrenación.

Figura 5. Diámetro del tallo y altura de la planta de amaranto (promedios y desviaciones estándar). Tulyehualco, 1998. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos ($P < 0.05$).



CONCLUSIONES

1. Los dos genotipos mejorados que fueron sembrados en dos ciclos experimentales en Ánimas mostraron un adecuado desarrollo vegetativo y una producción de grano por arriba del promedio de la región.

2. El genotipo Frondosa de ciclo corto posee características de precocidad y rendimiento destacadas para la localidad de Tulyehualco. Es por ello que puede constituir una opción para los productores y para los técnicos interesados en el diseño de nuevos sistemas de cultivo en la zona.

3. La alta densidad de plantas ($375\ 000$ plantas ha^{-1}) implicó un aumento sustantivo en el rendimiento pero no un incremento en la eficiencia del cultivo. El índice de cosecha de los dos cultivares no aumentó al aumentar la densidad de plantas.

4. La variedad de porte más bajo presentó una reducción significativa en el porcentaje de acame; debido a su precocidad, es capaz de escapar a los eventos climáticos que al final del cultivo contribuyen con la caída de las plantas de amaranto en Tulyehualco.

5. Los doseles con altas densidades mostraron una mayor resistencia al acame, para las dos variedades.

6. La barrenación del tallo causada por dos especies ya reportadas para la parte central de México afectó a ambos genotipos, pero en mayor grado al genotipo de porte alto y madurez tardía (Tulyehualco).

7. El aumento en la densidad de plantas se tradujo en una reducción significativa del diámetro del tallo para ambos genotipos; sin embargo esta reducción de la biomasa vegetal (hábitat de los barrenadores) no implicó una reducción del daño por las larvas del complejo de barrenadores.

BIBLIOGRAFIA

- Alejandre, I. G. y Gómez, L. F. 1986. Cultivo del amaranto en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 70-98.
- Alejandre, I. G. y Gómez, L. F. 1990. Ensayo sobre fertilización y densidad de población en amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) En: Trinidad, S., Gómez, L. y Suárez. R. (Eds.). El amaranto (*Amaranthus spp*) su cultivo y aprovechamiento. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 125-140pp.
- Alejandre, I. G. y Gómez, L. F. 1990. Variabilidad en tipos criollos de amaranto (*Amaranthus spp*) en la región central de México. En: Trinidad, S., Gómez, L. y Suárez. R. (Eds.). El amaranto (*Amaranthus spp*) su cultivo y aprovechamiento. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. pp. 242-261.
- Alfolabi, A., O. y Oke, O. L. 1981. Preliminary studies on the nutritive value of some cereal, like grains. Nutr. Rep. Internat. 24:389-394.
- Arellano, V. J, Espitia, R.E. y Estrada, L.A. 1999. El amaranto un cultivo alternativo de calidad nutritiva. Tecnología de producción agropecuaria para el Estado de México (Eds) Sagar-Inifap-Cevamex. México. pp. 28-34.
- Aufhammer, W., Kaul, H., Herz, P., Nalborczyk, E., Dabiak, A. and Gontarczyk, M. 1995. Grain yield formation and nitrogen uptake of amaranth. European Journal of Agronomy 4: 379-386.
- Aufhammer, W., Czuczorova, D., Kaul, H. and Kruse, M. 1998. Germination and grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* X *A. hybridus*): effects of seed quality, temperature, light, and pesticides. European Journal of Agronomy 8:127-135.

- Aragón, G. A., Tapia, R., A.M y Huerta, S.I.M.T. 1997. Insectos asociados con el cultivo de amaranto *Amaranthus hypochondriacus* L. (Amarantaceae) en el valle de Tehuacan, Puebla, México. *Folia Entomológica. México.* 100:33-43.
- Barrales, D.J.S., García, R.J. y Mestiza, H.C. 1992. Influencia de la distribución de la precipitación pluvial sobre el desarrollo del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura (México)* 7: 66-70.
- Bautista, M.N., Vejar, C.G, and Tschirnhaus, M.V. 1997. First record of the amaranth borer fly *Amauromyza abnormalis* (Malloch) (Diptera: Agromyzidae) in Mexico. *Southwestern Entomologist* 4: 461-463.
- Beker, R. A. 1989. Preparation composition and nutritional implications of amaranth seed oil. *Cereal Food World* 34: 950-953.
- Bourges, R. H. 1990. Perfil bromatológico del amaranto. En: Trinidad, S., Gómez, L. y Suárez, R. (Eds.). *El amaranto (Amaranthus spp.) su cultivo y aprovechamiento.* Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. pp. 331-340.
- Bressani, G.R., Melgar, M. y González, J. 1992. Distribución del peso de tallos, inflorescencias y grano en cuatro variedades de amaranto al tiempo de la cosecha. *El Amaranto y su Potencial (Boletín de la Universidad del Valle de Guatemala, Instituto de Investigaciones).* Guatemala. Boletín 3.
- Casilla, C. F. 1980. Amaranto. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Laboratorio de Farinología, México. pp. 27-29.
- Cunard, A. R. 1977. Amaranth agronomy 1975-1976. In: *Amaranth Round-up.* Rodale, Pennsylvania. USA. 36 pp.

- De León, G. F., Payan, Z. F., Pérez, J. G. y Nava, R. V. 1997. Área foliar, longitud de raíces y producción de grano de *Amaranthus hypochondriacus* en un suelo compactado. *Agro- Sur (Chile)* 24(2): 170-179.
- Díaz, O.A.C., Escalante, E.J.A., Trinidad, S.A., Sánchez, G.P., Mapes, S.C. y Martínez, M.D. 2003. Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra*. Aceptado para publicación.
- Duncan, E.A. 1980. Grain amaranth: characteristics and culture. Rodale Reserch Report. New Crop. Department of Organic Garding and Faming Research Center Rodale Press Inc. Kutztown, PA. USA. Rep 80.
- Early, D.K. 1977. Cultivation and uses of amaranth in contemporary Mexico. *Proc. First Amaranth Sem.*, Emmaus, PA. USA. 39-40 pp.
- Edwards, A.D. and Volak. B. 1980. Grein amaranth: Optimization of field population density. *Proc. 2nd. Amaranth Conf.* 1979, Emmaus: Rodale Press 91-94 pp.
- Espitia, R.E. 1990b Plagas y enfermedades del cultivo de Amaranto (*Amaranthus spp.*) en México. En: Trinidad. S., Suárez, R. y Gómez, L. (Eds). *El Amaranto Amaranthus spp*, su cultivo y aprovechamiento. Colegio de Posgraduados. Montecillos. México. pp 233-239.
- Espitia, R. E. 1994. Breeding of grain amaranth. *In: Paredes L.O.* (Ed.). *Amaranth: biology, chemistry and technology*. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL. 23-38 pp.
- Espitia., R. E. 1990a. Situación actual y problemática del cultivo del amaranto en México. En: Trinidad, S., Gómez, L. Suárez. R. (Eds). *El Amaranto (Amaranthus*

- spp*) su cultivo y aprovechamiento. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. pp. 101-107.
- Estrada, L. A. y Sahagún, C.S. 2001. Guía para cultivar amaranto en el Distrito Federal. Guía para productores No. 1, SAGARPA-INIFAP. México. 14 pp.
- Estrada, L. A. 1997. Sistemas de siembra de amaranto con altas densidades de población. En: Gómez, L. y Almeida. M. (Eds). Amaranto, cultivo promisorio para el siglo XXI. UACH. Chapingo, México México. pp.113-119.
- FAO/WHO/ONU. 1985. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/ONU Meeting. WHO. Genova.
- Feine, L.B. 1979. An ethnobotanical observation collection of grain amaranth in Mexico. In: Proceedings of the Second Amaranth Conference. Rodale Press. Inc., Emmaus, PA.USA 405 pp.
- Hass, P.W. and Kauffman, C.S. 1984. Grain amaranth: An overview on research and production methods. New Crops Dep. Rodale Res. Ctr., Rodale Press. Emmaus, PA. Rep. 83.
- Haupli, H. 1977. Agronomic potential and breeding strategy for gain amaranth. In: Proc. Amaranth Sem., 1st, Maxatawny, PA, 29 July 1977. Rodale Press, Emmaus, PA. 71-81 pp.
- Henderson, T.L., Johnson, B.L. and Schneiter, A. 2000. Row spacing, plant population, and cultivar effects on grain amaranth in Northern Great Plains. Agron. Jour. 92: 329-336.
- Henderson, T.L, Schneiter, A.A. and Riveland, N. 1993. Row spacing and population effects on yield of grain amaranth in North Dakota. In: Janick, J. and Simon, J.E.

- (Eds.). Proceedings of the 2nd National Symposia in New Crops. Indianapolis, New York. John Wiley & Sons. 219-221 pp.
- Henderson, T.L, Johnson, B.L. and Shneiter, A. A. 1998. Grain amaranth seeding dates in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 90: 339-344.
- Irving, D.W, Betschart, A.A. y Saunders, R.M. 1981. Morphological studies on *amaranthus cruentus*. *J. Food Sci.* 46: 1170-1174.
- Johnson, B.L, Schneiter, A. A. and Henderson. T. L. 1990. Amaranth date of planting studies in eastern North Dakota. Proc 4th. Nat. Amaranth Symp. Perspectives on production, processing and marketing. Minneapolis. 199-200 pp.
- Kauffman, C.S. 1984. Grain amaranth: a crop with low water requirements and high nutritional value. In: Locheretz, W. (Ed) Proc. 4th Conf Internat. Federation of Organic Agriculture Movements 299-314 pp.
- Kigel, J. G. 1994. Development and ecophysiology of amaranths. In: Paredes, L.O. (Ed.). Amaranth: biology, chemistry and technology. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL. 39-64 pp.
- Kulakow, P.E. and Jan, S.P. 1987. Genetics of grain amaranths variation and early generation response to selection in (*Amaranthus cruentus* L.). *Theor. Appl. Genetic* 74:13-19.
- Liener, I. E. 1980. Nutritional value of food protein products. In: Soybeans chemistry and technology. (Ed) Shish, A. K. and Circle, S.J. Avid. Publishing Co. Inc. Wetsport. Ct. 203-207 pp.
- Mapes, C. Diaz, A.O, Collazo, M. y Bye, R. 1995. Desarrollo de cinco razas de amaranto (*Amaranthus spp*) en Chalco, Estado de México. *Anales del Instituto de*

- Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica 66(2): 149-169.
- Martínez, M.D., Núñez, F, J., Terrazas, T., Ruiz, P.L., Trinidad, S.A., Trejo, L.C. and Larqué, S.A. 1999. Plastic responses to clipping in two species of *Amaranthus* from Sierra Norte de Puebla, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46: 225-234.
- Mapes, C. Caballero, J., Espitia, E. and Bye, R. 1996. Morphophysiological variation in some Mexican species of vegetable *Amaranthus*: evolutionary tendencies under domestication. *Genetic Resources and Crop Evolution* 43: 283-290.
- Misra, P.N., Tawari, S.K. and Dheer, S. 1996. Growth and productivity of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) as influenced by dates of sowing in the alluvial plains of U.P. *Annals of Agricultural Research* 17(1): 80-82.
- Myers, R. L. 1994. Nitrogen fertilizer effect on grain amaranth. *Agronomy Journal* 90: 579-602.
- Myers, R.L. and Putnam, D. H. 1988. Growing grain amaranth as a specialty crop. AG-FS 3458. Minn. Ext. Serv. Univ. of Minnesota, St. Paul.
- Vilches, A., Juárez, L., Martínez, E., Gómez, R., Breña, L., Torres, J., Solís, G. y Neri, V. 1997. México y el primer experimento espacial de la historia sobre la germinación del amaranto en la microgravedad. En: Gómez, L. y Almeida .M. (Eds). *Amaranto, cultivo promisorio para el siglo XXI*. UACH. Chapingo, México. pp. 15-30.
- Paredes, L.O, Mora, E.R. y Ordorica, F.C. 1988. Isolation of amaranth protein. *Lebensm-Wiss. Technol.* 21: 59-61.

- Paredes, L.O, Barba, De la R., A.P, Hernández, L.D. y Carabez, T. A.1990. Amaranto, características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial. Laboratorio de Biotecnología de Alimentos. (CINVESTAV). Irapuato, Guanajuato. México. pp10-25.
- Payan, Z.F, y De León, G.F. 1997. Producción de amaranto orgánico *Amaranthus hypochondriacus* L. con adición de cinco dosis de composta de residuos municipales. En: Gómez, L. y Almeida. M. (Eds). Amaranto, cultivo promisorio para el siglo XXI. UACH. Chapingo, México. pp121-124.
- Peiretti, E. G. y Gesumaria, J. J. 1998. Influencia de la distancia entre líneas sobre el crecimiento y rendimiento de amaranto de grano (*Amaranthus* spp.). Investigación Agraria Producción y Protección Vegetal 13:139-141.
- Putnam,D.H. 1990. Agronomic practices for grain amaranth. Proc. 4th Nat. Amaranth Symp. Perspectives on production, processing and marketing. Minneapolis.151-162 pp.
- Sánchez, M. A. 1980. Potencial agroindustrial del amaranto. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. México. pp 238-240.
- Sánchez M.A. 1983. Dos cultivos olvidados: el amaranto y la quinoa. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 33:11-32.
- Sánchez, M.A, Pérez, J.L, Kuri, J. y Zavala. L.1990. Potencialidad de la hoja de amaranto en la alimentación. En. Trinidad, S., Gómez, L.F. y Suárez. R. (Eds) El amaranto (*Amaranthus* spp) su cultivo y aprovechamiento. Colegio de Postgraduados, Montecillos. México. pp 307-320.

- Sauer, J.D.1950. The grain *amaranthus*: A survey of their history and classification. In: Annals of the Missouri Botanical Garden 37:561-632.
- Soriano, S.J.1993. Caracterización parcial de un concentrado de proteínico del grano del amaranto. Ciencia (4): 517-552.
- Reyna, T.T. 1990. Requerimientos climáticos para el cultivo de amaranto (*Amaranthus spp*). En: Trinidad, S., Gómez, L., F. y Suárez. R. (Eds.). El amaranto (*Amaranthus spp*) su cultivo y aprovechamiento. Colegio de Postgraduados, Montecillos. México. pp. 81-89.
- Reyna, T.T.1997. Algo más sobre el amaranto. En: Gómez, L. y Almeida. M. (Eds). Amaranto, cultivo promisorio para el siglo XXI. UACH. Chapingo, México México. pp.125-131.
- Robinson, R.B. 1986. Amaranth, quinioa, ragi, tef, and niger: Tiny seeds of ancient history and modern interest. Minnesota Agric. Exp. Stn. Bull. Univ. of Minnesota, St. Paul.
- Teutonico, R. and Knorr. D. 1985. Amaranth: composition, properties, and applications of a rediscovered food crop. Food Technol 39: 49-60.
- Trinidad, S. A. 1999. El papel de los abonos orgánicos en la productividad de los suelos En: Martínez, C., Romero, R., Corlay, L. y Trinidad, S. (Eds) 1^{er} Simposium Internacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. pp. 3-10.
- Trinidad, S.A, Medina, D.E. y Vera, M.F. 1990. Utilización de fertilizantes en el cultivo de Amaranto (*Amaranthus spp.*). En: Trinidad, S., Gómez, L., Suárez, G. (Eds). El

Amaranto (*Amaranthus spp*) su cultivo y aprovechamiento. Colegio de Postgraduados, Montecillos. México. pp.110-112.