

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes del cultivo

En las últimas décadas el cultivo del amaranto se ha difundido de manera importante en varios países del mundo. India es uno de los países que ha adoptado el amaranto más decididamente. La gran cantidad y variedad de platillos preparados con semilla y con hojas de amaranto que se encuentra en la comida hindú, demuestran el arraigo que éste tiene entre la población. Hoy día, India es uno de los principales productores de amaranto en el mundo y se ha convertido en un centro secundario de diversificación. En el National Bureau of Genetic Resources en Shimla, se encuentra el segundo banco de germoplasma de amaranto más importante del mundo. En 1995 la colección constaba de 3 000 registros.

En Estados Unidos el interés por el amaranto se incrementó a mediados de la década de los 70 con la creación de la Rodale Foundation y el Rodale Research Center, ambos fundados por Robert Rodale. Aunque la extensión de amaranto sembrada en este país no ha alcanzado grandes dimensiones, el interés por el producto ha ido en aumento y actualmente Estados Unidos, junto con Japón, se encuentran a la vanguardia en la investigación, tanto desde el punto de vista agronómico como en el desarrollo de nuevas tecnologías para el uso del grano en productos novedosos. En Iowa, en la North Central Regional Plant Introduction Station, se encuentra la colección de germoplasma de amaranto más importante del mundo, que en 1999 ya contaba con 3 380 registros de variedades provenientes de todo el mundo.

Una de las características más importantes del amaranto es, sin duda, su alto valor nutritivo, los amarantos, además, se pueden aprovechar de múltiples formas, como grano, como verdura o como forraje. Técnicamente el grano de amaranto es considerado como un pseudocereal, ya que tiene características similares a las de los granos de cereales verdaderos de las monocotiledóneas. Al igual que éstos, contiene cantidades importantes de almidón, con la diferencia de que éste se encuentra almacenado en el perispermo y el embrión ocupa gran parte del grano, conformando así una buena fuente de lípidos y también de proteínas. Sin embargo, por ser una dicotiledónea, no es considerado como un cereal verdadero. Es importante señalar que estas características de su estructura son importantes en la determinación de las tecnologías a utilizar en el procesamiento del grano.

Existen notables diferencias entre las especies productoras de grano y las de verdura, las plantas que se utilizan por su grano y que han sido también utilizadas como ornamento y como colorante, son generalmente especies cultivadas. El proceso de domesticación de estas especies las ha llevado a alcanzar mayores tallas, con inflorescencias muy grandes y con mayor producción de semillas. Por otra parte, las especies productoras de verdura son generalmente malezas, plantas no cultivadas que dedican gran parte de su energía a la producción de follaje, son de menor tamaño que las cultivadas y presentan flores y frutos más pequeños y de color oscuro. La semilla presenta una gran versatilidad, pudiéndose utilizar en la preparación de diversos alimentos y tiene, además, un prometedor potencial de aplicación industrial,

tanto en la industria de los alimentos como en la elaboración de cosméticos, colorantes y hasta plásticos biodegradables (Alejandre y Gómez, 1986).

2.1.1. Historia

El origen del amaranto se ubica desde el suroeste de Estados Unidos y norte de México (*Amaranthus hypochondriacus*), en el sureste de México y centroamérica (*Amaranthus cruentus*) y en los andes argentinos (*Amaranthus caudatus*), existiendo indicios de que los nativos usaban el amaranto en la alimentación. En México las migraciones hacia el sur lo trasladaron a la Mesa Central en donde alcanzó su máxima relevancia donde el cultivo de *Amaranthus hypochondriacus* estuvo muy extendido con la denominación de “huauhtli”, se dice que igualaba en importancia al maíz y al frijol. El cultivo en esta región fue suprimido por la iglesia católica en su afán por erradicar las ceremonias de los Aztecas que se centraban en torno a esta especie vegetal (Sauer, 1967).

Los primeros indicios del amaranto en México indican que desde mucho tiempo antes de la conquista (5,200 a.C.) esta planta tenía usos alimenticios, ya que se recolectaban las hojas y semillas de las plantas silvestres. En el tiempo del imperio Azteca fue cuando el amaranto cobró gran importancia tanto como cultivo alimenticio como por su carácter ceremonial, al grado de que las provincias que estaban sometidas al imperio enviaban anualmente grandes cantidades de semilla de amaranto a Moc.ezuma como tributo (Casillas, 1977).

Durante el tiempo de la conquista el cultivo del amaranto se extendía desde Jalisco hasta Oaxaca. Este cultivo ha declinado en este siglo y actualmente sólo se practica en lugares aislados y ha quedado reducido a pequeñas áreas, siendo las más importantes; Tulyehualco, D.F. Amilcingo y Huazulco, Mor; San Miguel del Milagro, Tlaxcala, Puebla y Oaxaca (National Academy of Sciences, 1975).

2.1. 2. Estudios en México

Casillas (1977) calcula que hoy en día se cuenta con una producción de 150 Toneladas comercializables por año y su uso se limita a la elaboración de dulces de alegría. Su cultivo en diez años prácticamente desapareció de la zona metropolitana; Xochimilco, Tulyehualco, Mixquic y Tepozotlán, Cuautitlán y Zumpango; circunscribiéndose al área comprendida de la franja; Taxco, Cuautla y Tlaxcala.

Sánchez (1980) afirma que la planta entera, puede utilizarse en la obtención de pastas para la alimentación de rumiantes y otros animales. La semilla se incorpora principalmente a dietas para monogástricos. Con respecto al amaranto se sabe que en la actualidad el consumo de esta semilla es principalmente en forma de dulces (alegrías) en cuya elaboración se utiliza semilla tostada.

Casillas (1981) reconoce que el alto valor nutritivo de la semilla de amaranto que se produce en México, ha despertado gran interés por este

cultivo en varias partes del mundo, por lo que en México esto ha provocado el inicio de trabajos de investigación sobre diferentes tipos de esta especie, sin embargo éstos son aislados y en algunas ocasiones repetitivos.

Valdés (1984) ha considerado como una de las principales causas de la falta de adopción del cultivo en regiones con agricultura mecanizada en México, a que no se cuenta con semilla seleccionada genéticamente, por lo que con las variedades criollas actuales, se observan dentro de una misma parcela muchas plantas fenotípicamente diferentes.

Early (1986) encontró que algunos campesinos de los alrededores del Lago de Texcoco, utilizan el amaranto como remedio para disenterías.

Espitia (1986b) demostró que la precipitación pluvial es muy importante en las primeras cinco semanas del crecimiento vegetativo del amaranto.

Espitia (1991a) estudió la transformación, producción y comercialización de *A. hypochondriacus* en el estado de Morelos como una alternativa rentable para la siembra de este cultivo en la región.

Espitia (1991b) relacionó la precipitación pluvial con el crecimiento secundario en amaranto, encontrando una relación directamente proporcional del crecimiento secundario con la alta precipitación.

Pena (1995) evaluó 21 genotipos de amaranto y su uso en la industria alimenticia, encontrando mayor calidad en el reventado de grano en los genotipos de *A. hypochondriacus*.

Peña (1996) encontró que genotipos de *A. hypochondriacus* presentaron interacción genotipo x ambiente cuando se siembran en el estado de Tlaxcala antes del mes de mayo.

Peña (1996) determinó el uso consuntivo del agua, considerando que para *A. cruentus* se necesitan 12 riegos en la mesa central del Valle de México cuando no hay precipitaciones.

Martínez (1996) probó dos especies de amaranto en tres densidades de población en Oaxaca y encontró que el máximo rendimiento de 2110.8 kg ha⁻¹ fue para *A. caudatus*.

Peña (1996) varió la densidad de población en cuatro genotipos de amaranto y encontró que a densidades de población alta, el rendimiento de grano por planta decrece.

Trinidad (1997) analizó el efecto de la fecha de siembra en amaranto y encontraron que para la mesa del valle Central en México la mejor fecha de siembra es la comprendida del 16 de abril al 29 de junio para *A.*

hypochondriacus para una densidad de población de 99 mil plantas ha⁻¹ y rendimientos de grano de 900 kg ha⁻¹

Peña (1997) utilizó ensilado de *A. hypochondriacus* en la finalización de Ovinos Suffolk, en la cual obtuvo ganancias de 200 gramos por día en peso.

Peña (1998) realizó selección de genotipos sobresalientes de amaranto por rendimiento y estabilidad para siembras de temporal en tres ambientes del estado de Tlaxcala, encontrando que los *A. hypochondriacus* fueron los más productivos para esa región en rendimiento de grano.

Peña (1998) utilizó las dosis de nitrógeno de 0, 80, 160 y 240 kg ha⁻¹ encontrando rendimientos de grano de 3860 kg ha⁻¹.

Gómez y Tena (1986) elaboraron pan tostado enriquecido con harina de amaranto y encontraron que el valor nutricional del pan de trigo se eleva cuando se combina con harina de amaranto.

Orozco y González (1998) evaluaron 15 genotipos de *A. cruentus* en Salta, Chihuahua bajo condiciones de secano y encontraron rendimientos de 2881 kg ha⁻¹ con una densidad de población de 500 mil plantas ha⁻¹ para la variedad NC 40.

Flores (1998) analizó ocho genotipos de amaranto en Zacatecas bajo condiciones de secano, encontrando que la colecta 653 de *A. hypochondriacus* rindió 3.48 ton ha⁻¹.

Bárrales y López (1992) analizaron la capacidad de reventado del grano de *A. hypochondriacus* producido en dos ambientes bajo condiciones de secano, encontrando mayor calidad en el reventado de grano cuando la planta se somete a menor cantidad de lluvia.

Martinez (1999) evaluó seis variedades de amaranto en el Valle del Guadiana, Durango y determinó que para esa región, la especie *A. hypochondriacus*, colecta 653, rindió 4.13 ton ha⁻¹.

Stordahl y Dicostanzo (1999) estudiaron la digestibilidad in vitro de *A. hypochondriacus*, encontrando menor digestibilidad en comparación con maíz y trigo.

2.1.3. Botánica del cultivo

El amaranto es una planta perteneciente a la familia de las amarantáceas, la cual posee 70 géneros y más de 850 especies (Cuadro 1). El género *Amaranthus* tiene más de 60 especies, siendo las más importantes y conocidas las siguientes: a) *Amaranthus caudatus* L. cuyos sinónimos son: *Amaranthus edulis* Spegazzini, *Amaranthus mantegazzianus* Passerini.; b) *Amaranthus hypochondriacus* L. cuyos sinónimos son: *Amaranthus leucocarpus* S. Wats y *Amaranthus flavus* L.; c) *Amaranthus cruentus* L. cuyo sinónimo es *Amaranthus*

paniculatus L.; d) *Amaranthus hybridus* L. cuyo sinónimo sería *Amaranthus quitensis* S.; e) *Amaranthus tricolor* L. cuyos sinónimos serían *Amaranthus gangeticus* L., *Amaranthus tristis* L., *Amaranthus mangostanus* L. y *Amaranthus melancholicus* L. f) *Amaranthus blitum* L. sinónimo de *Amaranthus lividus* L.; g) *Amaranthus dubius* L. y h) *Amaranthus virides* L., sinónimo de *Amaranthus gracilis* Desf.

El amaranto es una especie anual, herbácea o arbustiva de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias. La raíz es pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes, la raíz principal sirve de sostén a la planta, permitiendo mantener el peso de la panoja. Las raíces primarias llegan a tomar consistencia leñosa que anclan a la planta firmemente y que en muchos casos sobre todo cuando crece algo separada de otras, alcanza dimensiones considerables. En caso de ataque severo de nemátodos se observan nodulaciones prominentes en las raicillas.

El tallo es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 m de longitud, cuyo grosor disminuye de la base al ápice, presenta distintas coloraciones que generalmente coinciden con el color de las hojas, aunque a veces se observa estrías de diferentes colores, presenta ramificaciones que en muchos casos empiezan desde la base o a media altura y que se originan de las axilas de las

hojas. El número de ramificaciones es dependiente de la densidad de población en la que se encuentre el cultivo

Cuadro 1. Clasificación botánica del amaranto cultivado.

Reino	Vegetal
División	<i>Embryophyta Siphonogama</i>
Subdivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Dicotyledonae</i>
Subclase	<i>Archicloromidae</i>
Serie	<i>Centrospermae</i>
Familia	<i>Amaranthaceae</i>
Género	<i>Amaranthus</i>
Especies cultivadas	<i>Hypochondriacus, cruentus y caudatus</i>
Variedades cultivadas	<i>Leucocarpus</i> diversos

Tapia (1997) menciona que las hojas son pecioladas, sin estipulas de forma oval, elíptica, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando borde entero, de tamaño variable de 6.5-15 cm.

La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 50 a 90 cm.

Las plantas por el tipo de polinización son predominantemente autógamas, variando el porcentaje de polinización cruzada con los cultivares.

El amaranto presenta flores unisexuales pequeñas, estaminadas y pistiladas, estando las estaminadas en el ápice del glómulo y las pistiladas completan el glómulo, el androceo está formado por cinco estambres de color morado que sostienen a las anteras por un punto cercano a la base, el gineceo presenta ovario esférico, súpero coronado por tres estigmas filiformes y pilosos, que aloja a una sola semilla.

El glómulo es una ramificación dicasial cuya primera flor es terminal y siempre masculina, en cuya base nacen dos flores laterales femeninas, cada una de las cuales origina otras dos flores laterales femeninas y así

sucesivamente. Un glómérulo puede contener 250 flores femeninas, la flor masculina luego de expulsar el polen se seca y cae.

Brenner (1990) menciona que el fruto es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, la que a la madurez se abre transversalmente, dejando caer la parte superior llamada opérculo, para poner al descubierto la inferior llamada urna, donde se encuentra la semilla, siendo dehiscente por lo que deja caer fácilmente la semilla

Sánchez (1980) menciona que existen algunas especies de amaranto que tienen pixidios indehiscentes, característica que puede ser transferida a cultivares comerciales de amaranto.

Irving *et al.*, (1981) indican que la semilla es pequeña, lisa, brillante de 1-1,5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos, dorados, rojos, rozados, púrpuras y negros; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo.

Nieto (1990) estudió que las especies silvestres presentan granos de color negro con el epispermo muy duro. En el grano se distinguen cuatro partes importantes: epispermo que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas, endospermo que viene a ser la segunda capa, embrión formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada perisperma rica en almidones

2.1.4. Regiones productoras de México

La nueva valoración que ha tenido el amaranto en el mundo también despertó el interés de agrónomos e investigadores mexicanos. En la década de los 80 el impulso a la producción del grano llegó a elevar la superficie sembrada de 500 ha en 1983 a 1500 ha en 1986. Diversas instituciones nacionales como el Colegio de Posgraduados de Chapingo, el Instituto Nacional de la Nutrición, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma Chapingo y el Instituto Nacional de Antropología e Historia, entre otras, han apoyado trabajos de investigación de muy diversa índole que han contribuido a aumentar nuestro conocimiento y las potencialidades de tan importante recurso. Actualmente en el INIFAP se encuentra un importante banco de germoplasma; en 1993 este banco contaba con 495 registros. Sin embargo el apoyo para el cultivo y la investigación del amaranto parece haber disminuido durante la última década. Según datos de la SAGARPA en 1997 se sembraron 817 ha de amaranto y se obtuvo una producción de 1,089 toneladas, la producción por estados en México se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Principales estados productores de amaranto en México.

Estados	Superficie (Ha)		Prod (Ton)	Rend (Ton ha ⁻¹)	Precio (\$/Ton)	Valor de la producción (\$)
	sembrada	cosechada				
Baja						
California	8	3	8	2.667	2,500.00	20,000
Sur						
D. F.	161	161	152	0.944	2,500.00	380,000
Morelos	202	202	306	1.515	2,490.20	762,006
Puebla	286	286	346	0.860	2,183.00	755,318
Tlaxcala	160	160	277	1.371	3,992.50	1,105,922
Total						
Nacional	817	812	1089	1.218	2,733.10	3,023,246

Fuente: Cristina Barros y Marco Buen Rostro. (1997).

2.1.5. Primeras variedades desarrolladas y niveles de rendimiento en México

2.1.5.1. Primeras variedades

Con base en sus características morfológicas tales como la altura de la planta, tamaño de la inflorescencia, patrón de ramificación y patrones fenológicos como tiempo de floración y maduración, se han descrito diferentes tipos de amarantos de grano. Los distintos tipos representan complejos adaptativos a diferentes localidades bajo condiciones ambientales y culturales diferentes.

Espitia (1991a) considera que la designación más adecuada para estos tipos es la de razas, ya que cada una tiene una distribución definida y ha sido desarrollada bajo condiciones agro climáticas distintas, lo cual las ha llevado a evolucionar por diferentes caminos. Las razas más importantes desarrolladas en México son: Mexicana, Guatemalteca, Azteca, Mercado y Mixteca. Otras razas importantes desarrolladas en otros países son: Africana, Nepal, Picos, Sudamericana y Edulis. Cabe señalar que no todas las poblaciones coinciden completamente con las características de una raza o tipo, pues existe una gran hibridación entre ellas.

Espitia (1991a) en México, desarrolló la variedad mejorada Revancha que corresponde a *Amaranthus hypochondriacus* y derivada de la raza Mercado

cuyas principales características son: alto potencial de producción de grano (4518 kg ha¹), precoz con 131 días de período vegetativo, altura de planta adecuada para la mecanización del cultivo (137 cm) y uniformidad de maduración, además de otras características importantes como color verde de la planta, panoja erecta con pocas ramificaciones cortas, grano de color blanco y adaptación a zonas templadas de 1400 - 2400 msnm.

También se tienen las líneas experimentales Durango-HI, Durango-CI, obtenidos en el CIIDIR-IPN-Durango, cuyos potenciales de producción son bastante elevados, con precocidad adecuada, amplio rango de adaptación, de grano grande, blanco y características agronómicas y nutricionales sobresalientes (Alejandre, 2000). Se tienen líneas y ecotipos sobresalientes en producción y otras características desarrolladas por investigadores del INIFAP, entre ellas se tienen a: INIFAP-653, INIFAP-654, INIFAP-655 e INIFAP 153-5-3

2.5.1.2. Potencial del rendimiento de grano

Ruttle (1976) menciona que en la granja experimental del Organic Gardening Farming E.U.A. encontró que un metro cuadrado plantado con amaranto puede producir un kg de semilla.

Martínez (1996) menciona que en Tlaxcala los genotipos 653 y 153-5-3 de *A. hypochondriacus* alcanzó rendimientos medios de 1.51 y 1.25 ton ha⁻¹

superando al genotipo # 656 tipo mexicano de *A. cruentus* en un 85 y 60% en el rendimiento de grano, respectivamente.

Cunard (1977) encontró que a 40,000 plantas ha⁻¹ para *Amaranthus cruentus* y *A. hypochondriacus* rindieron 0.925 y 1.12 ton ha⁻¹ respectivamente, y que *A. hypochondriacus*, a 80,000 plantas ha⁻¹, bajo riego produjo 2.5 ton ha⁻¹.

Early (1977) señala que en sitios productores como Tulyehualco, Milpa Alta y San Gregorio, mismos que desde hace varios años fueron considerados como primordiales en la producción de grano de alegría, se llegaron a obtener más de 800 kg ha⁻¹ en condiciones de temporal. En Hauzulco, Mor., en años particulares, se han llegado a producir entre 1,500 y 2,200 kilogramos de semilla por hectárea.

2.1.6 Valor Nutritivo y utilización del grano y forraje

2.1.6.1. Proteína y aminoácidos

Downton (1973) menciona que el grano del amaranto es rico en proteína (14 a 17%) con un buen balance de aminoácidos.

Casillas (1977) ha obtenido la composición bromatológica de la semilla de alegría, la cual se presenta en el cuadro 3.

Aguilar y Alatorre (1978) mencionan que la importancia alimenticia del grano radica en su balance y contenido proteico ya que se acerca a la proteína

ideal, es rico en aminoácidos básicos, triptofano y lisina, que es comparable con la soya y la leche de vaca. El grano procesado con calor tiene una energía metabolizable de 3,475 kcal EM/kg de materia seca.

Cuadro 3. Resultado del análisis bromatológico de la semilla de alegría

Contenido	%
Carbohidratos asimilables	50.0
Proteínas	14.0
Extracto etéreo	6.50
Fibra cruda	15.70
Cenizas	2.70
Humedad	10.25

Sanchez (1980) encontró que existen algunas diferencias en la composición química de diversas especies de alegría. Sin embargo, si se comparan los datos obtenidos para las dos especies de más amplio cultivo en la región central de México, se deduce que tales diferencias no son muy pronunciadas, lo que se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Composición de las semillas de dos especies mexicanas de amaranto*.

Análisis	<i>A. hypochondriacus</i>	<i>A. cruentus</i>
	(Tulyehualco)	(Huazulco)
	%	%
Humedad	14.30	13.9
Cenizas	3.28	3.0
Proteínas	13.41	14.0
Extracto etéreo	-	-
Fibra cruda	5.16	-

Fuente: Sánchez (1980) * por cada 100g.

Sánchez (1980) ha descrito en el balance de aminoácidos en la proteína ideal en las semillas, de *A. hypochondriacus*, respecto a cereales y a la leche de vaca, encontrando que la semilla de amaranto posee un buen balance de aminoácidos. (Cuadro 5).

Betschart y Murray (1979) compararon la composición nutricional de las semillas de amaranto contra la leche de vaca, trigo entero y soya, encontrando que el amaranto los supera en calidad de proteína y sus resultados se observan en el Cuadro 6.

Cuadro 5. Comparación de aminoácidos del amaranto con otros cereales y la leche de vaca

Gramos por 100 gramos de aminoácidos esenciales en cada alimento

Proteína	Treo	Val	Leucina	Isoleu	Lisina	Metionina	Fenil		Calidad proteica
							Alanina	Triptofano	
ideal	11.1	13.9	19.4	11.1	15.5	9.7	16.7	2.6	100.0
Trigo									
entero	8.9	13.5	20.4	10.0	8.7	12.3	22.9	3.3	56.9
Soya	9.8	12.2	19.8	11.6	16.2	6.6	20.6	3.3	68.0
Leche									
de vaca	9.4	12.3	20.2	10.0	16.5	7.0	21.5	3.0	72.2
Semilla de									
Amaranto	11.4	10.6	14.8	10.2	16.6	11.2	23.1	2.1	75.0

Fuente: Análisis de laboratorio efectuados por Indigenous Food Consultation Inc. Ann Arbor, Michigan (datos de Sánchez, 1980).

Cuadro 6. Comparación del valor alimenticio del amaranto con relación a otros cereales

Constituyentes del alimento (g por 100 g de peso seco)

	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Fibra	Cenizas	Ca	P	Fe
Cereales	11.0	2.7	73.0	2.1	1.7	0.03	0.33	0.0034
Amaranto	14.5	7.5	60.4	7.5	2.7	0.37	0.48	0.0034

Fuente: Análisis de laboratorio efectuados por Indigenous Food Consultation Inc. Ann Arbor, Michigan (datos de Sánchez, 1980).

Elías (1977) señala que el grano de amaranto es relativamente alto en proteína, grasa y minerales, y que es una fuente de proteína más completa por tener un mejor balance de aminoácidos, los valores de aminoácidos esenciales por cada 100 gramos de proteína para *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus retroflexus* son de 75 y 77% respectivamente en comparación con Maíz (44%), Trigo (57%), Sorgo (48%) y Cebada (62%).

2.1.6.2. Contenido de minerales en el grano de amaranto

Santín y Lazcano (1986) encontraron que la semilla de amaranto contiene cantidades importantes de sodio, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, níquel y hierro, aunque este último probablemente es de baja digestibilidad por el contenido de fitatos (sustancia que se encuentra en las plantas y que “atrapa” al hierro haciéndolo inaccesible al organismo), ver Cuadro 7.

Cuadro 7. Contenido de minerales en el grano de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y otros cereales de uso común.

Mineral (mg/ 100 g)	Amaranto	Maíz	Arroz	Trigo
Fósforo	600			
Potasio	563	284	214	370
Calcio	303	158	32	58
Magnesio	344	147	106	160
Hierro	5.3	2.3	1.4	0.9

Fuente: (Santín y Lazcano, 1986) pasado, presente y futuro del amaranto.

2.1.6. 3. Amaranto como forraje

Sepúlveda (1989) menciona que el género *Amaranthus* se caracteriza por presentar un alto contenido de proteína principalmente en sus hojas y, en un nivel inferior, en sus tallos, además de ser la materia seca altamente digestible. La planta entera puede utilizarse para la obtención de pastas para la alimentación de rumiantes y el grano a sido empleado en dietas de aves y porcinos. En *Amaranthus hypochondriacus*, de 45 a 48% del peso de la planta corresponde a las hojas y de éstas, el 80 al 85% son comestibles; puede utilizarse desde el primer mes de cultivo e irse cortando a intervalos regulares hasta la madurez completa o bien, cosecharse toda la planta para obtener una pasta con 13% de proteína para su uso directo como forraje.

Cheeke y Bronson (1980) encontraron que las hojas y tallos del amaranto comparativamente con la alfalfa tienen contenidos altos de hemicelulosas y cenizas pero que tienen bajos niveles de fibra detergente ácida, encontraron que la proteína se encuentra ligada a la pared celular por lo que el amaranto tiene proteína de paso. La toxicidad puede darse por nitritos en los forrajes de amaranto, su acumulación resulta alta en plantas que crecen bajo condiciones de estrés, especialmente cuando el nitrato no es absorbido por la planta, en bovinos de leche el nitrato es convertido a nitrito y luego a amonio por las bacterias del rumen, la intoxicación por nitritos ocurre cuando la capacidad de conversión de nitrato a nitrito es mas alta que la conversión de nitrito a amonia, ocurriendo que el nitrito se ligue a la hemoglobina de la sangre formando metahemoglobina que dificulta el transporte eficiente del oxígeno y el animal

muere por sofocamiento, esto ocurre principalmente cuando el ganado consume grandes cantidades de forraje que contienen más del 1.76% del ion nitrato en materia base seca (Vough *et al.*, 1991).

Odwongo y Mugerwa (1980) compararon harina de hoja de *Amaranthus hybridus* contra harina de alfalfa a niveles de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40% como ingredientes en raciones para terneros, las ganancias en peso fluctuaron entre 0.4 y 0.5 kg día⁻¹ incluyendo a la harina de *Amaranthus hybridus*, comparable a la harina de alfalfa en dietas para destete precoz de terneros.

Cheeke y Bronson (1980) analizaron muestras de *Amaranthus hypochondriacus* y encontraron que la proteína de este forraje es de baja digestibilidad en no rumiantes ya que se liga a la fibra durante el proceso de secado.

Carlisle y Misra (1980) trabajando con plantas inmaduras de malezas entre las que se encontraba *Amaranthus retroflexus* encontraron un contenido de 14% de proteína cruda y 2,690 kcal de energía digestible y un 63% de digestibilidad de materia seca, concluyendo que muchas de las malezas estudiadas contienen mucho más proteína cruda y minerales esenciales y no esenciales que muchos de los forrajes que comúnmente son usados para pastoreo.

Teutónico y Knor (1985) encontraron que las hojas de amaranto son un importante recurso de betacarotenos con niveles de oxalatos de calcio del 0.2 a 11.4% en la materia seca, lo cual depende de la especie, pudiendo reducir sus niveles si se somete a calor el forraje por ebullición durante 10 minutos sin que existan problemas en la reducción de nutrientes.

Walters *et al.*, (1988), encontraron que la fibra detergente neutra (NDF) en siete colectas estudiadas de amaranto tiende a decrecer linealmente, a medida que se incorpora nitrógeno como fertilizante, esto puede ser un indicativo para tener una opción de manejo en la obtención de forraje en la alimentación de becerros de engorda, aunque altos valores o excesos de fertilizantes nitrogenados trae como resultado altos valores de acame en la planta, posicionamiento de los nitratos e incremento en el tallo de NDF.

Byron *et al.*, (2001) encontraron que en *A. cruentus* variedad PI 482049 tiene un alto potencial para la alimentación de rumiantes, esto basado en su alto contenido de proteína, baja cantidad de celulosa y la ausencia de sustancias tóxicas en la etapa de crecimiento vegetativo de la planta.

Adams *et al.*, (1992) reportaron que el contenido de nitratos del 1 al 3% en la materia base seca puede causar severas intoxicaciones en animales; encontraron que para *A. hybridus* y *A. hypochondriacus* no se alcanzaron niveles del 3% después de 90 días de establecido el cultivo.

Byron *et al.* (2001) encontraron cantidades de 210 g kg⁻¹ y 255 g kg⁻¹ de NDF en *A. hybridus* y *A. cruentus* respectivamente.

En el caso de lignina detergente ácida (ADL) fue de 48 y 35 g kg⁻¹ para los mismos amarantos y Byron *et al.* (2001) reportaron 60 g kg⁻¹ en alfalfa de ADL por lo que estos valores indican que es posible utilizar el amaranto como forraje. En cuanto a los nitratos estos decrecen de 7.7% a 0.94% de los 42 a los 112 días después de la siembra, por lo que no son un riesgo en la alimentación animal.

En cuanto a la fibra detergente neutra (NDF), esta tiende a incrementarse a medida que crece la planta de 330 a 400 g kg⁻¹ al pasar de 42 a 112 días de la siembra, en comparación con la alfalfa la que en los mismos tiempos la NDF se incrementa de 330 a 550 g kg⁻¹

Stordahl *et al.*, (1999) encontraron que el valor nutritivo del forraje de amaranto es igual o mejor que los forrajes comúnmente usados en cuanto a NDF, ADF, ADL, CP, y UIP, y que las cantidades de nitratos pueden ser altas cuando el amaranto es utilizado como fuente de forraje fresco antes de 84 días; por otra parte, ensilando el forraje puede ser una alternativa para reducir la concentración de nitratos y tener alta digestibilidad.

Putnam (2001) ha publicado que en amaranto durante el estado vegetativo, se obtienen de 10 a 11 ton ha⁻¹ de materia seca con una cantidad de proteína cruda del 19%, en *A. retroflexus* se ha encontrado 24% de proteína cruda y un 79% de digestibilidad in vitro de la materia seca, asimismo se obtienen hasta 120 ton ha⁻¹ de ensilado con un 80% de humedad.

2.1.7. Manejo del cultivo antes y al momento de la siembra

2.1.7. 1. Fechas de siembra

Peña (1996) indica que en la región del valle central de México la mejor fecha de siembra esta comprendida del primero al 31 de mayo para *A. hypochondriacus* a fin de evadir las heladas tempranas y para *A. cruentus* del 16 de mayo al 15 de junio.

García y Valdés (2002) en el norte-centro de México, recomiendan para el amaranto como fecha de siembra del primero al 15 de junio para las dos especies mencionadas, debido a la presencia de las primeras lluvias y permitir un escape a las heladas tempranas que normalmente se presentan en la región a principios del mes de octubre

2.1.7. 2. Preparación de suelo en riego y secano

La preparación del terreno debe ser lo más eficiente posible, ya que el tamaño muy pequeño de la semilla requiere una buena cama de siembra; ello se consigue pasando un arado de disco o vertedera, luego se mulle el suelo con

una cruz de rastra de discos o de dientes rígidos o flexibles, de tal manera que la cama de siembra esté en condiciones de recibir la semilla. En zonas donde exista fuerte incidencia de malezas, es conveniente efectuar previamente un riego por inundación después de la preparación de suelo, para que las semillas de malezas germinen y emerjan; luego pasar una rastra y matar dichas plántulas antes de efectuar la siembra del amaranto, o bien efectuar una aplicación de herbicida que no tenga efectos residuales.

a) Escarda

Granados (1990) recomienda que dependiendo de la ocurrencia de las lluvias, si el cultivo presenta arvenses se deshierba, si no, se pasa la cultivadora con el objeto de arrimar tierra y quitar las pocas arvenses; realizándose a los 15 o 20 días después de la emergencia de las Plantas.

b) Deshierbe

Trinidad *et al.*, (1990) han indicado que el deshierbe se lleva a cabo una o dos veces durante las primeras etapas de crecimiento del cultivo, dependiendo de la cantidad de arvenses presente, se efectúa en forma manual, debido a que la mayoría son de hoja ancha.

c) Rotación de cultivos

Frantzen (1993) señala que es conveniente efectuar una rotación adecuada de cultivos para evitar una alta incidencia de plagas y enfermedades

y el uso particular de nutrientes, en especial de algún elemento por el mismo tipo de planta. El efecto del amaranto en la rotación de cultivos ha sido estudiado en Estados Unidos donde se ha observado un efecto negativo en maíz sembrado después de amaranto. La disminución en crecimiento y rendimiento final no pudo ser explicada por diferencias nutricionales o hídricas, sin embargo los niveles de Ca y Mg en el maíz que seguía al amaranto en la rotación eran menores que para el maíz que seguía a la soya en la rotación; por lo que la rotación de cultivos donde interviene el amaranto deberá estudiarse para algunas especies altamente demandantes de Ca y Mg.

2.1.7.3. Densidad de población y método de siembra

El cultivo puede establecerse en forma directa o por trasplante.

a) Siembra de trasplante

Early (1977) menciona que en Tulyehualco el cultivo es de temporal y pasa por dos etapas; el almácigo y el trasplante que se realiza en las faldas de los cerros cercanos. El almácigo, generalmente se prepara a fines de abril o principios de mayo, para efectuar el trasplante en el inicio de la temporada de lluvias, que habitualmente ocurre a partir de junio.

Los chapines, son secciones del almacigo y contienen de 3 a 6 plántulas que miden entre 15 y 20 cm, y las plántulas se separan del suelo para el trasplante, en la parcela los surcos se hacen con arado tirado por caballos o

mulas, a un metro de distancia; se les abre a una profundidad de 30 cm siguiendo el surcado, un sembrador lleva un manojo de chapines en una penca de maguey y con un brazo los arroja dejando una separación de un metro entre matas.

Siguiendo al sembrador, otra persona trasplanta los chapines; para ello cava con rapidez y usando sólo una mano hace un pequeño agujero y coloca un chapin en él; con otro movimiento traslada tierra del surco con ambas manos y la compacta alrededor de las plántulas para su soporte. El trasplante se realiza a mediados de junio.

b) Siembra directa

Early (1977) reporta que otra de las zonas importantes de cultivo de amaranto en la mesa central es el estado de Morelos y describe su cultivo como sistema a campo abierto y consta de las siguientes etapas:

C) Sistema de bandeado

En este sistema un caballo o mula ara los surcos a 60 cm y las semillas se siembran en lo alto del surco. En el sistema de bandeado, el campesino siguiendo al arador arroja estiércol seco sobre lo alto del surco donde irán las semillas. un sembrador lo sigue, dejando caer la semilla de entre sus dedos siguiendo la línea de estiércol, con una cuerda ata una rama de árbol a su cintura, con la cual rastrea detrás de él y la pasa ligeramente sobre el estiércol y las semillas.

Después de 20 días, las plantas se aclaran dejando de tres a cuatro plantas, aproximadamente a cada 33 cm y se le agrega estiércol alrededor de las plantas.

d) Sistema de mateado

En este sistema las semillas se siembran dejando una pizca de semilla cada 30 cm y se cubren arrojándoles tierra con la mano o con el pie, después de 20 días, se coloca el fertilizante alrededor de las plantas, a partir de este punto las técnicas posteriores son las mismas para los dos sistemas.

2.1.7. 4. Siembra

La siembra debe efectuarse de preferencia en suelo húmedo, o regar por aspersión inmediatamente después de la siembra, esta operación se efectúa depositando uniformemente la semilla en el fondo del surco a chorro continuo y teniendo la precaución de dejarla caer a poca altura del suelo ya que el viento hace desviar la semilla fuera del surco por su poco peso. La densidad de siembra utilizada varía de acuerdo a la calidad de la semilla y sistema de siembra empleada, generalmente se utiliza de 4-6 kg ha⁻¹, con lo que se obtendrá de 100,000 a 150,000 plantas por hectárea, después se realiza un aclareo o entresaque, dejando una planta cada 10 cm.

Henderson (1993) señala que la población recomendada según estudios realizados es de 173,000 plantas por hectárea. Para poder distribuir la semilla

uniformemente es necesario mezclarla con arena o estiércol. En algunos lugares tanto del área andina como de la costa peruana se han diseñado tubos con pequeños agujeros que permiten efectuar una mejor distribución de la semilla dado el reducido tamaño de la semilla, después de la siembra se debe tapar la semilla, pasando una rama por el fondo del surco, con lo que se consigue una profundidad adecuada de enterrado de 0.5 a 1.5 cm que es la recomendada. Actualmente para las siembras extensivas del amaranto se regulan las sembradoras de cereales pequeños, dando buenos resultados, solamente teniendo la precaución de no enterrar demasiado la semilla. Ocasionalmente se pueden utilizar sembradoras de hortalizas o forrajes sobre todo en pequeñas áreas.

2.1.8 Manejo durante el crecimiento del cultivo y a la cosecha

2.1.8.1. Requerimientos hídricos en temporal y riego

Aguilar y Alatorre (1978) señalan que el desarrollo del amaranto se logra mejor en condiciones calientes y secas, por ejemplo en zonas poco lluviosas (200 mm al año). En cambio, los amarantos para verdura requieren bastante humedad en la siembra y durante su crecimiento, por lo que se cultiva en regiones con unos (700 milímetros) de lluvia por año, cuando menos, la temperatura para su cultivo varía de 10 a 25 °C y la humedad relativa de 50 a 90%. El amaranto se adapta muy bien a las altas temperaturas y a grandes altitudes, históricamente se ha cultivado tanto en ambientes tropicales como

semiáridos o al nivel del mar, es resistente a la sequía, su crecimiento es rápido durante la época calurosa y requiere mucho menos agua que el maíz.

Reyna (1990) señala en cuanto a la temperatura, que el amaranto ha mostrado buen desarrollo en lugares muy cálidos, con temperaturas altas de 29 °C y uniformes todo el año como en Atoyac, Gro., hasta localidades templadas como Tulyehualco y Milpa Alta, D. F., con temperatura media anual de 14 °C, inviernos definidos y presencia de heladas tempranas que afectan principalmente al follaje, pero poco al grano.

Respecto a la precipitación, se ha observado que se cultiva en condiciones de temporal aún en sitios con menos de 400 mm de lluvia al año y recibidas casi exclusivamente durante el verano, de mayo a octubre, pero es factible encontrarlo también en zonas donde la precipitación es más abundante, por ejemplo en algunas localidades de Oaxaca con precipitación superior a 1300 mm; en estas condiciones, el rendimiento es similar o incluso mayor al del maíz con el cual es muy común que se siembre, así como con el frijol.

2.1.8.2. Fertilización

Trinidad *et al.*, (1990) mencionan que se acostumbra fertilizar de los 20 a los 25 días después de la emergencia, en banda o alrededor de las matas, se utiliza: sulfato de amonio (20.5% N), urea (46.0% N) como fuente de nitrógeno y superfosfato simple de calcio (20.5% de P₂ O₅) como fuente de fósforo. El

fósforo se aplica al momento de la siembra, en banda o a un costado del bordo, la fórmula empleada por los campesinos es aproximadamente 90-50-00.

Martínez (1996) menciona que la planta de amaranto tipo mexicano 656, respondió a la fertilización nitrogenada, fosfatada y de estiércol bovino, incrementando el rendimiento de grano, altura de la planta, longitud de panoja, diámetro de panoja, diámetro de tallo y rendimiento en materia seca, el máximo rendimiento de grano fue 1.57 ton ha^{-1} que se obtuvo con la dosis 100-60-00.

Durante la fertilización nitrogenada se aplica la mitad del fertilizante en la siembra y la otra mitad después del primer control de malezas manual o con tracción animal o mecánica, otros autores recomiendan hasta 3 aplicaciones del nitrógeno pero esto se justifica sólo en suelos de textura gruesa, suelos, donde la lixiviación de nutrientes es alta.

Elbehri *et al.*, (1993) encontraron respuesta al fósforo en sólo una de las localidades estudiadas concluyendo que el rendimiento de grano aumenta en 2.81 kg por cada kg de fósforo aplicado. estos mismos autores no encontraron ninguna respuesta al potasio.

2.1.8. 3. Malezas plagas y enfermedades

Las veces que se repite el control de malezas depende de su incidencia; éste cultivo es muy susceptible a la competencia, por agua, luz y nutrientes en sus primeros estadios de crecimiento, por lo que es recomendado efectuar el primer control mecánico de malezas cuando las plántulas de amaranto tengan de 10-15 cm de altura, eliminando preferentemente las malezas que estén en el fondo del surco. El segundo control si fuera necesario debe efectuarse 30 días después del primero, generalmente es suficiente dos controles durante todo el ciclo de la planta, ya que posteriormente por su sistema de ramificación el amaranto compite con malezas no permitiendo su crecimiento. Las principales malezas encontradas en el amaranto en el centro de México se observan en el Cuadro 8 y muchas de ellas son comunes en otras regiones del país.

Cuadro 8. Principales malezas presentes en amaranto

Nombre científico	Nombre común
<i>Agropyron repens</i>	Gramma
<i>Amaranthus hybridus</i>	Jatacco, Bledo
<i>Argemone mexicana</i>	Cardo
<i>Avena fatua</i>	Avena loca
<i>Boerhavia caribea</i>	Pega-pega
<i>Brassica campestris</i>	Nabo silvestre
<i>Chenopodium album</i>	Quingüilla
<i>Chenopodium ambrosoides</i>	Paico
<i>Chenopodium murale</i>	Quinoa silvestre
<i>Cynodon dactylon</i>	Pasto bermuda
<i>Datura stramonium</i>	Chamico
<i>Eleusina indica</i>	Pata de pajarito
<i>Euphorbia heterophyla</i>	Leche-leche
<i>Lycopersicum peruvianum</i>	Tomatillo
<i>Pannisetum clandestinum</i>	Kikuyo
<i>Rumex crispus</i>	Lengua de vaca
<i>Setaria verticillata</i>	Cola de zorro
<i>Solanum nigrum</i>	Hierba mora
<i>Trifolium sp</i>	Trébol de carretilla

1) Enfermedades y Plagas

Sánchez (1980) señala que en México se han reportado diversas enfermedades y plagas que atacan al amaranto, algunas son las siguientes:

- a) *Alternaria* spp. Tizón del amaranto o alternariosis o atizonamiento
- (b) *Phomopsis amaranticola* mancha negra del tallo
- c) *Esclerotinia* spp.
- d) *Cercospora* spp. cercosporiosis del amaranto
- e) *Pithyium* spp. pudriciones o "Damping off"
- f) *Fusarium* spp. pudriciones en la base del tallo y raíz. Se observa en plantas aisladas.
- g) *Rhizoctonia* sp.
- h) *Albugo bliti*. roya blanca
- i) *Choanephora cucurbitarum*. pPudrición húmeda
- j) *Erysiphe* sp. Oidium
- k) *Curvularia* sp.
- l) *Volutella* sp.

Espitia (1986a) indica que los micoplasmas causan otra enfermedad, causando un alto porcentaje de la producción de plantas estériles, debido a que los órganos florales se transforman en brácteas de color verde, con ausencia total de anteras y óvulos, convirtiéndose posteriormente en hojas y aún el utrículo se elonga y forma una cápsula, siendo reabsorbido el grano.

Existen otras enfermedades no causadas por agentes bióticos las cuales se denominan desórdenes fisiológicos, y son causadas por agentes abióticos entre ellas están las bajas temperaturas que se presentan durante el desarrollo vegetativo del amaranto, las cuales son un factor muy importante para la producción, sobre todo en el área andina, siendo la fase fenológica de floración y panoja las más sensibles; cuando las temperaturas descienden a 4°C se afecta no sólo el crecimiento del amaranto, si no que puede causar daño mecánico en el cultivo como consecuencia del congelamiento, trayendo como resultado muchas veces la pérdida completa de la producción. Por ello el límite de altitud de este cultivo no sobrepasa los 3300 msnm, sin que se tenga riesgo de daño por heladas. La fase fenológica que mejor tolera a las bajas temperaturas es la ramificación, cuando la helada le afecta en formación de la inflorescencia se produce el "Colgado de la panoja" dañando la parte basal de la panoja y no la inflorescencia en sí y como consecuencia la planta crece decumbente si es que logra recuperarse; en el caso de afectar en floración, causa esterilidad de la planta por dañar los estambres y órganos florales; durante el periodo de llenado del grano la helada causa el chupado de las semillas y la producción de granos vacíos o vanos.

La presencia de plagas, particularmente insectos, en el amaranto es muy común, los más frecuentes en el cultivo aparecen en el (Cuadro 9). También otros animales pueden atacar al cultivo, como las liebres, las tuzas y algunos pájaros.

Cuadro 9. Principales Plagas que atacan al amaranto

Plagas claves

Nombre científico	Nombre común
<i>Eurisacca melanocampta</i>	Polilla de la hoja
<i>Pseudoplusia includens</i>	Falso medidor
<i>Spodoptera eridania</i>	Caballada o gusano ejército
<i>Herpetograma bipunctalis</i>	Polilla de la kiwicha
<i>Spoladea recurvalis</i>	Oruga de hojas e inflorescencias
<i>Heliothis titicacae</i>	Perforador de inflorescencias
<i>Peridroma spp, Agrotis spp</i>	Gusanos cortadores
<i>Mythimna unipunctata</i>	Comedor de hojas
<i>Diabrotica speciosa</i>	Escarabajo de la hoja
<i>Aphis spp, Myzus persicae</i>	Pulgones
<i>Schistocerca peceifrons</i>	Langosta
<i>Calligrapha curvilinea</i>	Escarabajo de inflorescencia
<i>Lygus lineolaris</i> Palisot de Beauvois	Chinche
<i>Contrachelus seniculus</i> Le Conte	Gorgojo
<i>Epicauta pennsylvanica</i> De Geer	Pilme
<i>Hypolixus truncatulus</i>	Barrilito

2.1.8. 4. Floración, madurez fisiológica y madurez comercial

Murray (1940) ha publicado que las especies de amaranto *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* son monoicas, la estructura de la panícula es más fácil de estudiar en el centro de la misma donde los glomérulos no son tan densos como en la parte superior; la floración empieza de 8 a 10 días después del inicio de la formación de la panícula, en la parte central de los racimos centrales; en un día abren de tres a seis flores masculinas en cada racimo, en los días siguientes la floración avanza hacia arriba y hacia abajo del racimo y a los racimos vecinos. En unos días se observan flores abiertas en casi todos los racimos principales de la panícula, por eso se puede pensar que en el amaranto empieza la floración en toda la longitud de la panícula simultáneamente. Cuando la floración alcanza tres cuartas partes del racimo principal, empieza la floración de los racimos secundarios, la flor masculina empieza a abrirse en la madrugada, en ese tiempo las anteras (5 rara vez 6), están unidas y fácilmente pueden ser eliminadas de la inflorescencia, especialmente si la panícula preliminarmente fue podada con tijeras (se elimina la parte superior de cada racimo y los racimos secundarios). La emasculación prácticamente es imposible en plantas desarrolladas en condiciones favorables, por la abundancia de racimos, pero es posible en invernadero.

Sauer (1950) menciona que cuando la temperatura del aire sube de 18 a 20 °C y la humedad relativa baja a 70% empiezan a crecer los filamentos, las anteras se separan y en unos minutos se abren los sacos polínicos expulsando

su polen como una ligera nube a los pistilos que son invisibles, pero receptivos antes de la floración masculina.

Alejandre y Gómez, (1986) han encontrado que la polinización dura menos de 20 minutos para todo un campo de amaranto, las flores femeninas del mismo glomérulo se polinizan con el polen de su flor masculina o con el de las otras cercanas de la misma panícula. El polen de las plantas vecinas tiene menos posibilidades, por eso el amaranto se considera como una planta predominantemente autogama con poca frecuencia de polinización cruzada. El amaranto es una de las especies que no detienen su crecimiento con el inicio de la floración, la planta en floración sigue creciendo aumentando su altura, grosor del tallo y longitud de los racimos, el crecimiento termina cuando termina la floración en los ápices de los racimos, en condiciones favorables la floración puede durar muchos días.

1) Fases fonológicas del amaranto

a) Emergencia

Es la fase en la cual las plántulas emergen del suelo y muestran sus dos cotiledones extendidos y en el surco se observa por lo menos un 50% de población en este estado. Todas las hojas verdaderas sobre los cotiledones tienen un tamaño menor a 2 cm de largo. Este estado puede durar de 8 a 21 días dependiendo de las condiciones agro climáticas.

b) Fase vegetativa

La fase vegetativa está indicada por el número de nudos en el tallo principal donde las hojas se encuentran expandidas formando los entrenudos los cuales tienen por lo menos 2 cm de largo. El primer nudo corresponde al estado V_1 el segundo es V_2 y así sucesivamente. A medida que las hojas basales senescen la cicatriz dejada en el tallo principal se utiliza para considerar el nudo que corresponda.

c) Fase reproductiva

La fase reproductiva se inicia con la aparición de las yemas reproductivas apicales que darán origen a la inflorescencia constituida por una panícula la cual, el período desde su inicio hasta madurez de la semilla, se identifica como la fase reproductiva, existiendo más etapas las cuales se dan a continuación.

C.1) Inicio de panícula

El ápice de la inflorescencia es visible en el extremo del tallo. Este estado se observa entre 50 y 70 días después de siembra.

C.2) Término de panícula

La panícula puede tener desde 5 hasta 50 cm de largo. Si la antesis ya ha comenzado cuando se ha alcanzado esta etapa, la planta debiera ser clasificada en la etapa siguiente.

0135235

C.3) Antesis

Al menos una flor se encuentra abierta mostrando los estambres separados y el estigma completamente visible. La floración debe observarse a medio día ya que en horas de la mañana y al atardecer las flores se encuentran cerradas, durante esta etapa la planta comienza a eliminar las hojas inferiores más viejas y de menor eficiencia fotosintética.

C.4) Llenado de granos

La antesis se ha completado en al menos el 95% del eje central de la panoja.

C.5) Grano lechoso

Las semillas al ser presionadas entre los dedos, dejan salir un líquido lechoso.

C.6) Grano pastoso

Las semillas al ser presionadas entre los dedos presentan una consistencia pastosa de color blanquecino.

C.7) Madurez fisiológica

Un criterio definitivo para determinar madurez fisiológica aún no ha sido establecido; pero el cambio de color de la panícula es el indicador más utilizado. En panículas verdes, éstas cambian de color verde a un color oro y en panojas rojas cambian de color rojo a café-rojizo. Además las semillas son duras y no es posible partirlas con la uña. En este estado al sacudir la panoja las semillas ya maduras pueden caer.

C 8) Madurez de cosecha

Las hojas senescen y caen, la planta tiene un aspecto seco de color café. Generalmente se espera que caiga una helada de Otoño para que disminuya la humedad de la semilla.

2.1.8. 5. Cosecha, humedad de la semilla, métodos tradicionales y modernos de cosecha

En las partes altas de 1500 msnm o más, al norte de México las siembras experimentales de temporal del amaranto se hacen en junio para ser cosechado en octubre y en riego desde el mes de abril hasta junio. Las plantas emiten floración después de los dos meses de siembra; la cosecha se realiza aproximadamente tres meses después de la floración o de los 5 a 7 meses después de la siembra, dependiendo de los cultivares, el manejo y la localidad; la cosecha manual se efectúa cuando las plantas hayan alcanzado la madurez fisiológica para evitar la pérdida de semilla por dehiscencia. La cosecha manual tiene cinco fases: corte o siega, formación de parvas, trilla o azotado, limpieza y venteo, secado y almacenamiento (Alejandre y Gómez, 1986).

Una característica que indica que la planta ha llegado al estado de cosecha, es cuando las hojas se ponen amarillentas y el tallo adquiere tonalidades negras. La cosecha se lleva a cabo durante los meses de octubre y noviembre.

Trinidad *et al.*, (1990) han descrito que la cosecha de las plantas de amaranto se hace segando las plantas con una hoz, a unos 15 cm sobre la superficie del suelo. Si la panoja está seca, se trilla el mismo día, aunque en la mayoría de los casos, segadas las plantas se acomodan en gavillas sobre los surcos, dejándolas secar. Generalmente la semilla de la panoja no está totalmente seca, mientras los granos de la parte inferior están en estado lechoso, los de la parte superior ya empiezan a desprenderse.

Early (1986) señala que una vez secas las semillas son separadas del tallo golpeándolas, en un tamiz, el cual los campesinos le llaman harnero y está hecho de una tela burda llamada ayate elaborada con fibras de henequén o de plástico o también utilizan un tamiz de malla de alambre. El ayate es tendido entre cuatro postes enterrados en el suelo, después del tamizado inicial, una segunda limpieza se realiza usando una malla más fina. Abajo de la malla se coloca una manta para juntar la semilla.

- a El corte o siega se realiza utilizando hoces o guadañas y cuando las plantas alcanzan la madurez fisiológica, se corta a 20 cm del suelo y se va colocando en gavillas pequeñas como para ser trasladadas después a un lugar definitivo, donde completarán su madurez y perderán humedad; ésta operación se efectúa preferentemente en horas de la mañana para evitar el desgrane. Se tiene algunas experiencias exitosas utilizando cosechadoras combinadas, las que efectúan el corte y trilla en el propio

campo y al mismo tiempo; ésta se facilita en campos uniformes y que las plantas no presenten panículas decumbentes.

- b. Formación de parvas; una vez cortadas las plantas se forman parvas colocando todas las panojas en un mismo sentido y formando montículos, con la finalidad de que pierdan humedad, lo suficiente como para ser trilladas, de ésta manera también se podrán proteger de las eventuales lluvias que pudieran caer, las parvas permanecen de 10 a 15 días, debiendo controlarse posibles calentamientos sobre todo cuando se cosechan plantas con mucha humedad.
- c. Trilla o azotado, se realiza cuando las plantas están totalmente secas y por ende el grano se puede desprender fácilmente, para ello se extienden lonas en el suelo, luego se colocan las panojas formando gavillas en sentido opuesto y unos sobre otros para luego golpearlas o azotarlas con palos o lazos hasta desprender el grano de la panícula.
- d. Limpieza y venteo, se realiza una vez desprendidas las semillas que quedan juntamente con las fracciones de inflorescencias, ramas, tallos, hojas etc., se procede a separar los granos de la broza aprovechando las corrientes de aire, y luego utilizando tamices o cernidores preparados especialmente para este tipo de grano, se obtiene la semilla limpia y se procede al secado y almacenamiento, lo cual se efectúa una vez que se tiene el grano limpio, el cual se debe secar al sol hasta que pierda la humedad y llegue a un 12%, para ello es necesario extender el grano al

sol durante un día, en caso contrario se producen fermentaciones y amarillamiento disminuyendo su valor comercial. El almacenamiento debe efectuarse en lugares ventilados y secos, de preferencia envasar en costales de yute o tela evitando usar los de plástico o polipropileno, sobre todo si se va a destinar la semilla a ser utilizada en la siguiente siembra.

El secado industrial del grano industrial se lleva a cabo con secadores comerciales, los cuales están integrados con quemadores, limpiadores y separadores para remover el material extraño que equivale al 5% del material de campo, se recomienda que el almacenamiento del grano sea en sacos de papel kraft con una capacidad de 60 libras (Nu-World *Amaranth* Inc. 1998).

Fitterer *et al.*, (1996) indican que para la cosecha se puede usar una máquina combinada como las que se usan para limpiar semilla de trébol y alfalfa. El amaranto debe ser cosechado después de la primera helada para reducir pérdidas por rendimiento y maximizar la germinación de la semilla, la cosecha antes de la primera helada no es recomendable debido a que la planta tiene demasiada humedad y incrementa los costos de secado. La cosecha mecánica tiene como inconveniente que tiene una pérdida de hasta un 25% del grano en comparación con la cosecha manual, así también en la germinación donde ocurre una reducción en una pérdida del 20% en la cosecha mecánica respecto a la manual. (Cuadro 10).

Cuadro 10. Diferencia entre la cosecha manual y con máquina combinada en el rendimiento de grano y el % de germinación de la semilla del amaranto.

Fechas de cosecha		Rendimiento de grano kg ha ⁻¹		Germinación promedio %	
1993	1994	Combinada	Manual	Combinada	Manual
Sept. 15	Oct. 14	1346	1890	58	93
Sept. 27	Oct. 20	1131	1616	74	85
Sept. 31	Nov. 1	1248	1634	68	91
Oct. 6	Nov. 7	1191	1640	65	82

Fuente: Fitterer *et al.*, (1996)

2.1.8.6. Ventajas y desventajas del cultivo del amaranto

Granados (1990) ha establecido algunas ventajas y desventajas tanto del uso de la semilla del amaranto en la alimentación humana y animal como del manejo del cultivo.

a) Ventajas

1. Es importante por su balance proteico, se acerque mucho a la proteína ideal.
2. Se utiliza en la alimentación humana en forma de: tortillas, atoles, pan tamales, pasteles, dulces, alimentos para bebé, etc.
3. Las hojas se pueden consumir como verdura.
4. Es un cultivo que tiene gran productividad, 1 planta produce de 16.6 a 71.5 gr. (50,000 plantas ha⁻¹ se obtienen 2,000 kg ha⁻¹).
5. Es un cultivo de temporal y de riego.
6. El destino de la producción puede ser para el mercado y autoconsumo.
7. La planta sirve como forraje en la explotación de conejos, cerdos, aves y para el sostenimiento de vacunos y otros.
8. La paja se utiliza en la elaboración de concentrados para el ganado.
9. La semilla puede ser almacenada hasta por cinco años sin que sea atacada por plagas y enfermedades.

b) Desventajas

- 1) Frecuentemente existe un desconocimiento de las técnicas de producción de este cultivo
- 2) Faltan estudios sobre el comportamiento del rendimiento al variar los factores de la producción.
- 3) Posee un grano muy pequeño (0.073 g por 100 semillas).
- 4) Maduración desigual de la panícula la cual presenta un alto porcentaje de frutos dehiscentes.
- 5) No existe uniformidad genética.
- 6) Carencia de herbicidas selectivos para combatir las arvenses en el cultivo.
- 7) Falta de implementos especificados para siembra y trilla.
- 8) Falta difusión de su valor nutritivo y formas de aprovechamiento.
- 9) El precio de mercado se mantiene casi igual, debido a la concentración del producto en pocos comerciantes.

2.2. Interacción genotipo x ambiente en amaranto

Espitia (1991b) ha considerado que antes de comenzar un programa de mejoramiento en cualquier cultivo y en especial en el amaranto, es necesario tener información que permita conocer las características heredables, con cuya ayuda se podrá seleccionar los métodos de mejoramiento más adecuados, así como los criterios de selección a emplearse, siendo necesario conocer la asociación genética que tenga el rendimiento y sus principales componentes y con ellos determinar que caracteres serían los más adecuados para efectuar la selección indirecta. Para encontrar los componentes del rendimiento se

determinan parámetros genéticos con los que se estimará las correlaciones genéticas y fenotípicas; estas correlaciones se estiman como el cociente de los componentes de covarianza genética y fenotípica así como la media geométrica de los componentes de varianza respectivamente. Al respecto, Espitia (1986b), determinó que las variables: días a floración, altura de planta a floración, número de hojas, diámetro del tallo, altura de planta a madurez fisiológica, longitud de inflorescencia, materia seca foliar, materia seca del tallo, materia seca de la semilla, materia seca total, índice de cosecha, peso hectolitrico, tasa del rendimiento económico, tasa de rendimiento biológico, relación semilla/paja, e índice de llenado de las semillas presentaron correlación genética positiva altamente significativa con el rendimiento; esto significa que la expresión de estos caracteres es gobernada por un mismo complejo de genes y si se desea mejorar el rendimiento indirectamente, se deberá escoger plantas con mayor expresión de las características señaladas.

Las variables ancho de la hoja media, longitud del pecíolo, materia seca de la hoja media, área de la hoja media y período de llenado de las semillas mostraron correlaciones significativas y asociación negativa con el rendimiento, lo que indica que cuando se seleccione por dichos caracteres se irá disminuyendo el rendimiento; por lo tanto si se quiere mejorar el rendimiento por estos caracteres, se deberán seleccionar plantas que presenten baja expresión de los mismos. De los principales caracteres asociados al rendimiento, días a floración, número de hojas, diámetro del tallo, altura de planta a madurez fisiológica, tasa del rendimiento económico, e índice de llenado de las semillas

son de fácil medición por lo que para efectuar la selección indirecta para rendimiento de grano resultaría más práctico utilizar dichos parámetros.

2.2.1. Ambientes y rendimiento

La estabilidad del rendimiento ha sido definida como la habilidad de los genotipos para resistir a los cambios del medio ambiente y mantener una menor interacción con este, llamado también amortiguamiento o estabilidad. La interacción del genotipo con el ambiente es de mucha importancia para el fitomejorador en la formación y desarrollo de variedades mejoradas de amaranto, puesto que al ser sembradas en ambientes diferentes su comportamiento y rendimiento varía. Eberhart y Russell (1964) han propuesto que para determinar la estabilidad del rendimiento, se calculen los coeficientes de regresión (b_i), las desviaciones de regresión (S^2_{di}) y el promedio de rendimiento en diferentes ambientes, de tal forma que cuando un genotipo interacciona con el ambiente su coeficiente de regresión es diferente a uno; denominándose variedad estable aquella que tiene un coeficiente de regresión estadísticamente igual a uno y una desviación de regresión igual a cero, considerando como variedad deseable aquella que además de tener los parámetros indicados anteriormente, tenga un rendimiento promedio alto. En base a este procedimiento se ha determinado que el amaranto, tiende a ser una planta con alta estabilidad del rendimiento, ya que su plasticidad le permite modificar su fenología y estructura al ser sometida a diferentes ambientes para conservar la expresión de su potencial de rendimiento económico y biológico (Espitia *et al.*, 1991).

2.2.2. Precipitación

Se menciona que el amaranto produce grano incluso en regiones con precipitaciones anuales de 400 mm (Reyna, 1990), sin embargo el rendimiento depende de su distribución durante su crecimiento y de las condiciones físicas del suelo. En un ensayo de rendimiento en suelos de 10 cm de profundidad y en tepetate, se encontraron rendimientos bajos en este último tipo de suelos a pesar de haberse registrado en el ciclo de crecimiento 473 mm de lluvia influido por la capacidad de retención de humedad del suelo, asimismo, la lluvia ocurrida durante el periodo de crecimiento reproductivo, influyó en la expresión del rendimiento, aunque no se ha encontrado una relación lineal entre ambas variables (Bárrales y López, 1992).

Reyna (1990) menciona que el amaranto soporta la sequía intraestival aunque esta sobrepase el 30% y Alejandre y Gómez (1986) afirman que el cultivo del amaranto requiere poca agua y tiene gran capacidad de resistencia a la sequía.

2.2.3. Foto período

De la Cruz y Guadarrama, (1996) mencionan que la menor producción de área foliar en combinación con valores bajos de contenido relativo de agua y potencial hídrico en el tejido y un aumento en transpiración afectó la eficiencia de la fotosíntesis del amaranto manifestándose con una menor producción de materia seca.

Alejandre y Gómez, (1986) indican que el amaranto se reconoce en general como de foto periodo corto lo que parece confirmarse con los amarantos precoces en los que se observó un retraso en emergencia de panícula en Chapingo, Méx., conforme se retrasa la fecha de siembra y se coincide con un fotoperiodo mas largo. En la época de lluvias la presencia de nubosidad reduce la intensidad de radiación solar, sometiendo al amaranto a condiciones desfavorables para su desarrollo, lo que induce un hábito de crecimiento indeterminado, que se observa como un crecimiento de pequeñas hojas en lugar de la formación de grano.

2.3. Variabilidad genética en las poblaciones de amaranto y selección

Hauptli (1977) hace referencia en la gran variabilidad genética del amaranto la cual puede ser utilizada por el mejoramiento genético; destaca el hecho de que esta planta sigue en su proceso fotosintético la ruta de fijación C₄, lo que permite tener un alto potencial de producción de grano y biomasa. Asimismo la buena proporción de proteína en las hojas y semillas, así como de nitratos en la savia vacuolar, indican una eficiente asimilación de nitrógeno; el tamaño pequeño y poco peso de la semilla (0.5 a 0.9 mg), tienen la ventaja de que solo una pequeña parte de semilla deberá guardarse para la siembra, todo lo cual puede ser explotado por el mejoramiento genético para formar nuevas variedades más productivas que las actuales.

2.3.1. Tipo de polinización

Sauer (1950) señala que el amaranto ha despertado gran interés en la comunidad científica debido a su amplia difusión en diversos países del mundo. Aparentemente, existe una amplia habilidad para una libre hibridación dentro del género, sus ventajas como una herramienta para el mejoramiento genético son: que puede crecer en pequeño espacio debido a su morfología plástica y que es capaz tanto de auto polinización como de entrecruzamiento. El número de cromosomas diploides que se han reportado han sido 32 ó 34. Se han reportado cruza inter específicas dentro del género *Amaranthus* (Grant, 1959), donde en algunos casos los híbridos de la F₁ son estériles (Sauer, 1957) aunque se han también obtenido F₁ androfértiles y poblaciones F₂ (Pal y Khosoo, 1972).

Grant (1959) señala que la hibridación inter específica que ocurre naturalmente dentro del género es uno de los factores principales que ha causado la variación dentro de especies y la complejidad taxonómica de *Amaranthus*.

Misra y Okoso (1971) reportaron que la poliploidía no afecta adversamente al espectro de aminoácidos en las semillas.

Algunos experimentos con híbridos han mostrado heterosis, pero son parcialmente estériles, en *Amaranthus caudatus* y *Amaranthus hypochondriacus* (Murray, 1940, Grant, 1959),

Murray (1940) señala que las especies monoicas de amaranto son autopolinizables, aunque el estigma de las flores pistiladas está receptivo por varios días anteriores a la apertura de las flores estaminadas. Las flores pequeñas y su agrupamiento muy denso en las especies monoicas hacen de la emasculación una operación extremadamente difícil. El método más satisfactorio de hacer cruza es, por lo tanto, polinizar masivamente tan pronto como los estigmas estén receptivos y remover las flores estaminadas a mano, aún así, se reporta de un 5 a 25 % de auto polinización.

Pal y Khoshoo (1973) discutieron el papel de la hibridación en la evolución del amaranto, debido a la baja fertilidad de sus híbridos experimentales, no obstante que pocos de sus híbridos fueron totalmente estériles y en particular las combinaciones que incluyeron a *Amaranthus cruentus*.

Pal y Khoshoo (1973) sugieren que la esterilidad en híbridos de amaranto es debido más bien a pequeñas diferencias estructurales y también a una falta de armonía génica, haciendo que la índole de cualquier incompatibilidad que exista sea más sutil y compleja.

Feine (1979) menciona que las especies de amaranto usadas comúnmente como fuente de grano y hortalizas son monoicas, esto causa problemas para el fitomejorador y ha inducido a la investigación sobre el uso de especies dioicas.

Connor *et al.*, (1980) concluyó en su trabajo que las plantas de semilla negra pueden representar una forma transicional entre el cultivo y su progenitor de maleza, producto de selección independiente de la forma especial de *Amaranthus hybridus*, resultado de hibridación introgresiva entre el cultivo y la maleza emparentada

Reyes (2001) menciona que la plasticidad en el amaranto es un mecanismo que favorece a las especies ante condiciones heterogéneas, lo que hace que el amaranto responda positivamente a la selección natural, definida como la preservación de las variaciones útiles y la eliminación de las nocivas; en términos generales es la descendencia con modificaciones adaptativas.

Weber (1987) ha publicado que la producción de semilla de Amaranto requiere diferentes tipos de manejo, el amaranto es predominantemente de auto polinización con ciertos grados de entrecruzamiento, para prevenir la cruza entre variedades el amaranto necesita sembrarse aislado de otras variedades de la misma especie que puede ser estableciendo líneas de maíz entre líneas de amaranto para minimizar el movimiento de polen entre líneas.

Por otra parte la semilla cosechada de cruza entre plantas del cultivo con especies de amaranto silvestres van a producir híbridos cultivo x malezas y lo que reduce considerablemente su rendimiento, por lo que deben eliminarse estas malezas.

2.3.2. Métodos de selección

Los métodos de selección estarán en función del tipo de polinización y características de la flor; la polinización cruzada en el amaranto alcanza hasta el 10% en la mayoría de los cultivares, variando con los diferentes ambientes y dependiendo fundamentalmente de las especies y cultivares. En la generalidad de los casos los agricultores no distancian ni separan sus siembras, ocurriendo una libre polinización y autofecundación; sin embargo, en siembras comerciales más avanzadas y semilleros unas poblaciones se aíslan de otras para obtener semilla más pura genéticamente, eliminando las plantas de tipo silvestres, llamadas bledos y las atípicas antes de la floración, para evitar contaminación de polen y presencia de semillas oscuras que bajan fuertemente el precio y calidad del producto en el mercado. Debido a la biología reproductiva del amaranto, los métodos de mejoramiento a utilizarse en la generalidad de los casos, son similares a las plantas autógamias; sin embargo dada la amplia variabilidad genética y predominancia de la varianza aditiva, se debe agotar en primera instancia la selección y una vez acumulados los caracteres aditivos, utilizar la hibridación.

Los objetivos del mejoramiento están centrados por un lado a adaptar a los requerimientos de la agricultura moderna y procesos de transformación, entre estos tienen alto rendimiento, corto período vegetativo, grano grande, con resistencia a factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (sequía, heladas y salinidad), alta proteína, maduración uniforme, indehiscencia de granos, plantas de tamaño reducido y uniforme, inflorescencia erecta, panoja

única terminal y glomérulos concentrados, los métodos de mejoramiento utilizados por los mejoradores del amaranto en la zona andina y otras latitudes están centrados a la selección masal, selección individual (panícula por surco) y recientemente a la hibridación seguida de la selección..

2.3. 2. 1. Selección masal

Es un método que se puede usar para purificar una variedad o ecotipo local, mediante la eliminación de genotipos no deseados, este método con incorporación de algunas modificaciones como estratificación y competencia completa consiste en lo siguiente:

- a) Se escoge un cultivar o variedad sobresaliente que generalmente resulta de un comparativo de variedades en una determinada localidad Ej. Oscar Blanco (Perú), Revancha (México).

- b) Se siembra un lote de selección masal de dos mil metros cuadrados aislada de otros cultivos mínimo 50 m o aislada en el tiempo un mes; de tal manera que se tenga 50 surcos de 0.80 m y un largo de surco de 50 m.

- c) Se dejan plantas espaciadas 10 cm entre ellas (10 plantas por metro lineal)

- d) Antes de la selección se estratifica el campo en sublotes de 10 surcos por 5 metros de largo, de tal manera que se tengan 50 sublotes en todo el campo.

- e) En cada sublote se selecciona a las mejores 20 plantas con competencia completa (2 plantas por surco) por las características agronómicas deseadas (tamaño planta, precocidad, rendimiento, ausencia de ataque de plagas y enfermedades, etc.); visualmente o mediante el pesado de la semilla teniendo en total 1000 panojas selectas.

- f) Se mezclan las semillas de las 1000 plantas seleccionadas; se tamizan las semillas de tal manera que se eliminen las pequeñas e inmaduras y se tiene la semilla del primer ciclo de selección masal (SM1).

- g) Paralelamente se siembra la variedad original y la semilla del primer ciclo de selección masal (SM1) para comparar y medir el avance genético de la selección.

Las semillas tamizadas resultantes del primer ciclo de selección masal (SM1) se siembran en el lote de selección masal para obtener por el mismo procedimiento las semillas del segundo ciclo de selección masal (SM2) y se vuelve a sembrar la variedad original, SM1 y SM2 para comparar y medir el avance genético por selección.

Se continúa con este mismo procedimiento por varias generaciones hasta que el avance genético no sea significativo, obteniendo de esta manera una nueva variedad considerablemente homogénea, pero debido al porcentaje de cruzamiento que tiene el amaranto, aún se podrá observar variación en la

población de la nueva variedad debido a la amplia base genética que en buena medida se mantiene.

2.3.2.2. Selección individual (panícula por surco)

Este método permite aprovechar la gran variabilidad presente en el amaranto criollo sembrado en las parcelas de los agricultores o existente en las colecciones de germoplasma. El método de panícula por surco consiste en identificar dentro de una población fenotípicamente variable aquellas plantas superiores para el ó los caracteres de interés, para luego cosechar cada planta por separado y sembrar cada una en un surco, con lo cual se tendrán tantos surcos como plantas seleccionadas se hayan cosechado. Se procede a efectuar selección entre surcos y dentro de ellos para cosechar por separado plantas seleccionadas, con las cuales se continua sucesivamente hasta tener surcos con progenies fenotípicamente uniformes y manifestando los caracteres por los que fueron seleccionadas las plantas que los originaron. Las progenies mas sobresalientes se cosechan por separado para constituir con cada una de ellas líneas experimentales, o bien las mas sobresalientes y fenotípicamente semejantes, se cosechan y se mezclan mecánicamente para formar una nueva población mejorada, ya sean las líneas o la población mejorada, se someten a ensayos experimentales en localidades para seleccionar finalmente las mejores que puedan ser liberadas como nuevas variedades. Eventualmente el método puede acompañarse con la autofecundación de las plantas previamente a la selección lo que permitirá obtener líneas puras después de cuatro o cinco generaciones de autofecundación y selección. Este método debe ser conducido

llevando un registro de la variedad criolla ó población de partida y la integración de una genealogía para cada progenie, lo que permitirá tener la historia de selección de cada línea pura experimental resultante. Es equivalente al método genealógico o de pedigrí, con la diferencia que en este ultimo se parte de un cruzamiento, la obtención de una F1 y el inicio de la selección individual en F2; en tanto que en este caso se parte de una población genotípicamente variable la cual puede ser una variedad criolla de un agricultor ó una colecta existente en un banco de germoplasma (Márquez , 1990; Valdés, 1984).

Para incrementar la respuesta a la selección de las metodologías convencionales de mejoramiento, Espitia (1986 b) plantea identificar caracteres asociados al rendimiento de grano del amaranto con los que se pueden construir índices de selección, partiendo de la premisa de que algunos caracteres de la planta y de la panícula tienen mayor heredabilidad que el rendimiento y que se encuentran positivamente correlacionados con este y entre sí y por ello, pueden utilizarse para construir tres índices de selección con los que se pueden identificar las plantas superiores, incrementando la eficiencia del método de selección comparativamente con la selección por rendimiento de semilla únicamente.

2.3. 2. 3. Cruzamiento y selección

El cruzamiento entre dos progenitores (plantas individuales, líneas puras ó poblaciones) también ha sido llamado hibridación y ha sido utilizado para obtener poblaciones F1 las cuales al llevarse a F2 presentan variabilidad en la

cual se aprecian plantas que recombinan caracteres que se encontraban separados en los progenitores, los cuales en esta generación ó en posteriores generaciones de autofecundación, (F3, F4, F5, etc) son fenotípicamente seleccionadas para formar así nuevas líneas puras, las cuales de presentar un buen comportamiento agronómico, eventualmente podrán liberarse como nuevas variedades.

De acuerdo a como se manejan y seleccionan plantas dentro de las poblaciones que se obtienen después de un cruzamiento, se tienen dos métodos de selección: cruzamientos masivos y selección individual y cruzamiento con selección genealógica.

a) Cruzamientos masivos y selección individual

Mújica (1992) indica que este método consiste en cruzar dos progenitores debidamente seleccionados y que posean las características que se desean juntar en una sola población. La semilla F1 proveniente de la cruce se siembra en una parcela debidamente espaciada y grande para obtener la generación F2, la semilla proveniente de la F2 se siembra en forma masiva hasta llegar a la generación F6, a partir de la cual se seleccionan plantas individuales que posean las características combinadas que se encontraban separadas en los progenitores; luego se siembran las plantas seleccionadas a panícula por surco, seguidamente por selección entre familias de panículas por surco y de plantas dentro de las familias seleccionadas, se aumenta la semilla de las líneas seleccionadas y las sobresalientes se lanzan como variedades; como la

homocigosis aumenta en cada generación de autofecundación en la F6 gran parte de las plantas seleccionadas serán homocigotos para un gran número de caracteres y en siembra a panícula por surco, sus progenies serán considerablemente uniformes , de tal manera que las progenies uniformes y sobresalientes son cosechadas en masa cada una por separado para tener tantas líneas seleccionadas como progenies uniformes y superiores se hayan cosechado.

b) Cruzamiento con selección genealógica

Mújica (1992), menciona que el método consiste en cruzar dos progenitores con caracteres que se desean juntar en una nueva línea pura, la F1 se siembra en una parcela suficientemente grande para obtener una F2 la más numerosa posible y poder encontrar los caracteres fenotípicos de los padres. En la F2 se seleccionan plantas individuales sobresalientes que muestren integrados los caracteres fenotípicos que se encontraban separados en los progenitores, lo cual es el objetivo del cruzamiento. Las plantas individuales seleccionadas se siembran en panícula por surco para obtener la F3, en esta generación se selecciona entre líneas F3 y las mejores plantas dentro de líneas seleccionadas, es decir se eliminan todas las líneas que no reúnen las características buscadas y dentro de las líneas seleccionadas, se seleccionan las plantas superiores las cuales se cosechan por separado para luego sembrarlas a panícula por surco, de tal manera que se tengan líneas que provienen de una planta; las cuales deben ser debidamente identificadas. En la F4 se efectúa la selección entre y dentro de familias F4 y se continúa en forma

similar en la F5. En la F6 muchas de las líneas serán muy uniformes y se seleccionan las mejores las que se cosechan en masa por separado para posteriormente efectuar ensayos con las líneas seleccionadas en años y localidades y aquellas con mejor comportamiento agronómico, incrementar su semilla y liberarlas como nuevas variedades.

2.3. 3. Conservación de las poblaciones mejoradas de amaranto

Sumar (1986) menciona que la producción de la semilla de las variedades mejoradas es de suma importancia en los sistemas de producción del amaranto, puesto que a mayor calidad genética de la semilla se obtienen mayores rendimientos. Los lotes de producción de semilla básica deben ser sembrados en campos donde anteriormente no se haya cultivado recientemente amaranto, puesto que siempre queda en el suelo semilla del cultivo anterior lo que puede ocasionar mezclas con la variedad a conservar. Estos lotes de producción de semilla básica deben estar aislados de otros campos de amaranto tanto en distancia como en el tiempo, para evitar cruzamientos no deseados, recomendándose distancias mínimas de 100 m de otros cultivos de amaranto puesto que a pesar del bajo porcentaje de polinización cruzada, se ha observado contaminaciones con polen no deseado; en el tiempo se recomienda un mes de diferencia en la época de siembra, debido a que en el mismo campo ocurre germinación y emergencia retardada de algunas semillas, posiblemente por la diferente profundidad de siembra.

La tecnología de cultivo para el lote de producción de semilla básica difiere de una siembra comercial no sólo en las labores culturales sino también en la fertilización y controles fitosanitarios; siendo necesaria la eliminación de plantas atípicas a la variedad sembrada recomendándose la siguiente tecnología: La semilla para la siembra del lote de producción de semilla básica deberá provenir de una selección masal de panículas o de las parcelas de incremento que hayan sido sembradas en la estación experimental o campos debidamente autorizados, con las respectivas inspecciones sanitarias por lo menos en tres fases fenológicas, luego cosechadas en completa madurez y siendo tamizadas para eliminar las semillas vanas y mal formadas.

La siembra se deberá efectuar en la época más adecuada para la zona, realizando una preparación del suelo con mayor esmero, haciendo germinar previamente las malezas, mediante un riego por inundación para luego pasar una rastra y eliminar las que hayan germinado, esta labor es necesaria para un campo libre de malezas; seguidamente se efectuará el surcado a un distanciamiento de 0.80 m entre surcos, los cuales deberán ser muy superficiales. La fertilización se realizará con la fórmula recomendada para la zona, utilizando la tercera parte de la fertilización nitrogenada y todo el fósforo y potasio a la siembra, las otras partes del nitrógeno se utilizarán tanto al aporque como al inicio de floración para evitar pérdida de elementos nutritivos ya sea por percolación o por volatilización.

A la ramificación se efectuará la primera eliminación de plantas atípicas, plantas silvestres y de otras variedades si las hubiera, asimismo se eliminarán las malezas aún restantes en los surcos donde se encuentran las plantas de amaranto. Otra labor importante es el raleo ó deshaje que consiste en eliminar las plantas más débiles y dejar las mas vigorosas hasta obtener una población aproximada de 10 plantas por metro lineal; en seguida se efectúa la fertilización complementaria y aporque. La segunda eliminación de plantas atípicas o roguing se efectúa antes de la floración y una tercera al momento del llenado del grano o cambio de coloración de las plantas, para finalmente antes de la cosecha eliminar todas las plantas atípicas restantes o sospechosas de pertenecer a otra variedad o ser diferente a la variedad sembrada; muchas veces se debe eliminar plantas deformes o que presenten algún síntoma de ataque fuerte de plagas o enfermedades. Con lo anterior se asegura que las plantas a cosechar sean lo mas uniformes posible y que su progenie también lo sea.

El grano una vez trillado deberá secarse hasta obtener una humedad máxima de 12%, evitando fermentaciones, amarillamiento o pudrición de la semilla, con la consecuente pérdida de la germinación y viabilidad. Una vez que el grano se haya secado por completo se procederá a la selección, tamizado y eliminación de impurezas (residuos de cosecha, piedras, tierra y semillas de malezas). Finalmente se efectuarán los análisis respectivos de % de germinación y % impurezas, para anotarse en una etiqueta que se pegara a

cada saco la cual además deberá tener el año agrícola, localidad de producción y número del lote de beneficio.

Cuando se obtiene una nueva variedad esta proviene de selecciones efectuadas durante varios ciclos de selección de acuerdo al método utilizado, considerando de 5 a 6 años los necesarios para obtener una nueva variedad con amplia base genética y que pueda reunir las características deseadas por los productores y los consumidores (Sumar, 1986).

2.4. Objetivos particulares

Considerando los antecedentes mencionados, el presente trabajo ha establecido como objetivos particulares los siguientes:

1. Explorar agronómicamente germoplasma de *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* para producción de grano con el fin de identificar aquellos genotipos que tengan alto potencial de rendimiento de grano, de forraje y una altura apropiada para cosecha mecánica, bajo las condiciones de temporal y de riego en las regiones del Valle del Guadiana, Durango y de Marín N. L.
- 2) Caracterizar agronómica y preliminarmente los genotipos que se identifiquen como susceptibles de sembrarse y ser aprovechados en el Valle del Guadiana y Marín N. L.

- 3) Explorar durante el proceso de evaluación de los genotipos, los niveles de densidades de población que permitan un buen rendimiento de grano y forraje.
- 4) Explorar en el proceso de evaluación de genotipos de amaranto, la siembra tradicional y la de transplante.
- 5) Explorar en la cosecha el uso de desecantes foliares.

2.4.1. Hipótesis asociadas a los objetivos particulares

- 1) En el Valle del Guadiana y en Marín, N. L., al menos uno de los cinco genotipos de amaranto a evaluar, tendrá un rendimiento de grano superior con respecto al de los demás.
- 2) De acuerdo con la caracterización agronómica preliminar, se podrán identificar las diferencias entre los genotipos, que permitirán explicar las diferencias en comportamiento entre los mismos bajo las condiciones de producción en el Valle del Guadiana, Durango y Marín, N. L.
- 3) Algunas densidades de población podrán generalizarse como las que podrían utilizarse comercialmente en el Valle del Guadiana, Durango y Marín, N. L.

- 4) Las siembras de transplante y las siembras directas tanto en el Valle del Guadiana, Durango como en Marín, N. L, se espera que tengan un comportamiento diferente en cuanto al establecimiento del cultivo.

- 5) La cosecha tradicional puede ser mejorada mediante el uso de desecantes foliares.