

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



VALOR DE MEJORA Y SELECCIÓN POR POTENCIAL DE RENDIMIENTO DE
GRANO POR PLANTA DE VARIEDADES CRIOLLAS DE AMARANTO
(*Amaranthus cruentus L.*) EN NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Por:

GABRIEL ALEJANDRE ITURBIDE

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
ORIENTACIÓN EN MEJORAMIENTO DE PLANTAS

Marín, N. L. México , Diciembre de 2006

**VALOR DE MEJORA Y SELECCIÓN POR POTENCIAL DE RENDIMIENTO
DE GRANO POR PLANTA DE VARIEDADES CRIOLLAS DE AMARANTO
(*Amaranthus cruentus L.*) EN NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

Por

M. Sc. Gabriel Alejandro Iturbide

**Realizado bajo la dirección del Comité de Tesis, ha sido aprobado por el
mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Agrícolas**

Comité de Tesis

**Ph. D. Ciro G.S. Valdés Lozano
Asesor Principal**

**Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Co-asesor**

**Dr. en C. Omar G. Alvarado Gómez
Co-asesor**

**Ph. D. Anatoly Borodanenko
Co-asesor externo**

**Ph. D. Yolanda Herrera Arrieta
Co-asesor externo**

**Ph. D. Ciro G.S. Valdés Lozano
Subdirector de la División de Estudios de Posgrado de la
Facultad de Agronomía de la U.A.N.L.**

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por las facilidades para realizar los estudios de postgrado.

Al Comité de Técnico de Prestaciones a Becarios, a la Comisión de Operación para el Fomento de las Actividades Académicas por la licencia y el apoyo económico otorgado durante el transcurso de los estudios de postgrado.

Al CIIDIR-IPN Unidad Durango a través del Director del Centro Dr. José Proal Najera por las facilidades otorgadas para realizar los estudios de postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México por el apoyo económico otorgado durante tres semestres, agosto 2005 a diciembre 2006

Al Dr. Ciro Valdés Lozano por la idea original de la presente investigación de tesis doctoral y por la dirección de la misma.

A los miembros del comité de tesis: Dr. Emilio Olivares Sáenz, Dr. Omar G. Alvarado Gómez, Dr. Anatoly Borodanenko y Dra. Yolanda Herrera Arrieta por sus atinadas sugerencias y correcciones al manuscrito.

Al M. en C. Jesús A. Pedroza Flores por su apoyo en el establecimiento de los experimentos de campo y conducción de los mismos durante los ciclos de cultivo.

Al M. en C. José Ibarra Martínez por su apoyo en el laboratorio de los requerimientos del germoplasma de amaranto para su establecimiento en campo.

Al los Sres. José Paz Banda, Jacinto Martínez y Alberto Lara por su apoyo en todas las labores de campo requeridas, desde siembra hasta la cosecha y toma de datos a través de los diferentes ciclos de cultivo.

A la Sra. Juana Elvira Pineda por su eficiente apoyo secretarial y trámites realizados requeridos.

VITAE

GABRIEL ALEJANDRE ITURBIDE

Candidato para el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas
Orientación en Mejoramiento de Plantas

Titulo de tesis

Valor de mejora y selección por potencial de rendimiento de grano por planta de variedades criollas de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en Nuevo León, México

Área de estudio

Conservación y Utilización de Recursos Fitogenéticos, Genética Cuantitativa y Métodos de Selección

Institución donde labora: Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango.

Dirección: Calle Sigma s/n, Fraccionamiento 20 de noviembre II
Durango, Durango, C. P. 34220

Teléfono 01(618) 8142091, fax 01(618)

Puesto: Profesor Investigador Titular

Líneas de investigación: Conservación y uso de germoplasma de amaranto (*Amaranthus* spp), membrillero (*Cydonia oblonga* Mill.) y chía (*Salvia hispanica* L.)

Estudios

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia,
Chapingo, México

Título de Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia

Especialización: Instituto Agronómico Mediterráneo, Zaragoza, España
Mejora genética y Producción de semillas

Maestría: University of Birmingham, Department of Plant Biology, Birmingham,
United Kingdom

Conservation and Utilisation of Plant Genetic Resources

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS

INDICE DE CUADROS

RESUMEN

SUMMARY

| | |
|--|----|
| I INTRODUCCIÓN | 1 |
| II REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 El cultivo de amaranto en México y en mundo..... | 3 |
| 2.1.1 Descripción botánica del amaranto cultivado..... | 5 |
| 2.1.2 Origen y domesticación..... | 8 |
| 2.1.3 Especies y distribución mundial..... | 9 |
| 2.1.4 Especies cultivadas y distribución en México..... | 9 |
| 2.1.5 Usos, consumo actual y potencial..... | 10 |
| 2.2 Introducción del cultivo a áreas nuevas en México..... | 12 |
| 2.2.1 Región del Golfo de México..... | 13 |
| 2.2.2 Región Noroeste..... | 13 |
| 2.2.3 Región Norte..... | 13 |
| 2.2.4 Región Noreste..... | 14 |
| 2.3 Limitaciones para su éxito como cultivo en áreas nuevas... | 14 |
| 2.3.1 Necesidades de mejora genética para la introducción..... | 15 |
| 2.3.2 Poblaciones base para la mejora genética..... | 16 |
| 2.3.3 Nuevas variedades adaptadas..... | 16 |
| 2.4. Mejora genética en amaranto..... | 17 |
| 2.4.1 Importancia de la variabilidad genética..... | 18 |
| 2.4.2 Conservación y uso de germoplasma <i>in situ</i> | 18 |
| 2.4.3 Introducción de germoplasma a regiones nuevas..... | 19 |
| 2.4.3.1 Formación de germoplasma base para la mejora genética... | 19 |
| 2.4.3.2 Formación de nuevas variedades..... | 20 |
| 2.5 Varianza genética y respuesta a la selección..... | 21 |
| 2.6 Formación de variedades de polinización abierta..... | 23 |
| 2.6.1 Selección masal..... | 23 |
| 2.6.2 Selección familiar..... | 25 |
| 2.6.3 Selección Combinada..... | 26 |
| 2.6.4 Tipos de familia en amaranto e implicaciones en la | |

| | |
|---|-----------|
| predicción de la respuesta a la selección familiar y combinada..... | 26 |
| 2.7 Vigor híbrido y variedades híbridas..... | 27 |
| 2.7.1 Perspectivas para formar variedades híbridas..... | 28 |
| 2.8 Objetivo general y objetivos específicos..... | 29 |
| III MATERIALES Y MÉTODOS..... | 30 |
| 3.1 Sitio experimental y condiciones agro-ecológicas..... | 30 |
| 3.2 Material genético utilizado..... | 30 |
| 3.3 Ciclos agrícolas de evaluación..... | 31 |
| 3.3.1 Ciclo 1 OI (Otoño-Invierno) ó Temprano 2003..... | 31 |
| 3.3.1.1 Parámetros genéticos y respuesta a la selección..... | 33 |
| 3.3.2 Ciclo 2 PV (Primavera –Verano) ó Tardío 2003..... | 36 |
| 3.3.2.1 Parámetros genéticos y respuesta a la selección..... | 36 |
| 3.3.3 Ciclo 3 OI (Otoño-Invierno) ó Temprano 2004..... | 38 |
| 3.3.3.1 Parámetros genéticos y respuesta a la selección..... | 39 |
| 3.4 Ciclos Agrícolas OI 2003, PV 2003 y OI 2004 | 40 |
| 3.4.1 Identificación de las mejores variedades..... | 40 |
| 3.4.2. Selección Familiar Convergente-Divergente(Márquez, 19856)... | 41 |
| 3.4.3 Selección Familiar Promedial (Márquez,1985) | 42 |
| IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 43 |
| 4.1CICLO OI 2003 Parámetros y respuesta a la selección..... | 43 |
| 4.1.1 Resultados y discusión Ciclo OI 2003..... | 43 |
| 4.1.2 Conclusiones Ciclo OI 20..... | 50 |
| 4.2 CICLO PV 2003 Parámetros genéticos y respuesta a la selección | 50 |
| 4.2.1 Resultados y discusión Ciclo PV 2003..... | 50 |
| 4.2.2 Conclusiones Ciclo PV 2003..... | 57 |
| 4.3 CICLO OI 2004 Parámetros genéticos y respuesta a la selección.. | 58 |
| 4.3.1 Resultados y discusión Ciclo OI 2004..... | 58 |
| 4.3.2 Conclusiones Ciclo OI 2004..... | 62 |
| 4.4 Ciclos Agrícolas OI 2003, PV 2003 Y OI 2004..... | 63 |
| 5.2 SELECCIÓN FAMILIAL..... | 64 |
| 5.2.1 Selección Familiar Promedial..... | 64 |
| 5.2.1.1 Resultados y discusión..... | 64 |
| 5.2.1.2 Conclusiones..... | 65 |
| 5.2.2 Selección Familiar Convergente-Divergente..... | 66 |
| 5.2.2.1 Resultados y discusión..... | 66 |
| 5.2.2.2 Conclusiones..... | 71 |
| 6.1 Comportamiento de grano de seis variedades..... | 71 |
| 6.1.1 Resultados y discusión..... | 71 |
| 6.1.2 Conclusiones..... | 73 |
| V DISCUSIÓN GENERAL..... | 74 |
| VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 78 |
| VII BIBLIOGRAFIA..... | 80 |

LISTA DE CUADROS

CUADRO

PAGINA

| CUADRO | | PAGINA | |
|--------|---|--------|-------------|
| 1 | Experimento para cada variedad criolla de <i>Amaranthus cruentus</i> con sus tratamientos, sembradas en la FAUANL, Marín N. L. Diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. Ciclo Otoño-Invierno, OI 200 | 32 | Con formato |
| 2 | Variedades criollas de <i>Amaranthus cruentus</i> L. preseleccionadas en Marín N. L., ciclo OI 2003. | 44 | Con formato |
| 3 | Cuadros Medios de Tratamientos (CMT) y significancia * Marín N. L. OI 2003. | 45 | Con formato |
| 4 | Varianzas: fenotípica (σ^2_F), genética (σ^2_G), ambiental (σ^2_E), estimadas por esperanzas de cuadros medios y heredabilidad en sentido amplio (H^2) para rendimiento de grano por planta. | 46 | Con formato |
| 5 | Variedades criollas con sus medias de rendimiento de grano en g. planta ⁻¹ (M_{rg}), respuestas esperadas a la selección individual (RSI) y familiar de medios hermanos maternos (RSFMHM1), R Medias y $M_{rg/pl}$ esperadas bajo R Media. Marín N. L. OI 2003 | 47 | Con formato |
| 6 | Estimación de la respuesta predicha a la selección familiar dentro de siete variedad criollas considerando dos familias seleccionadas de 10 ($p = 20\%$). Marín N. L. OI 2003. | 49 | Con formato |
| 7 | Variedad criollas de <i>Amaranthus cruentus</i> preseleccionadas en Marín N. L. PV 2003 | 52 | Con formato |
| 8 | Cuadros Medios de Tratamientos (CMT) y significancia. Marín N. L. PV2003 | 52 | Con formato |
| 9 | Varianzas: fenotípica (σ^2_F), genética (σ^2_G), ambiental (σ^2_E) y heredabilidad en sentido amplio (H^2). Marín N. L. PV 2003 | 54 | Con formato |
| 10 | Respuestas esperadas (en g/planta) a la selección individual (RSI) y familiar (RPSFMHM2) y promedio de las dos (R Media) Marín N. L. PV 2003 | 55 | Con formato |
| 11 | Estimación de la respuesta predicha a la selección familiar uno (RPSF1) dentro de variedades criollas con dos familias seleccionadas de 10 ($p = 20\%$). Marín N. L. PV 2003. | 55 | Con formato |
| 12 | Porcentaje de incremento ($\Delta \%$) de rendimiento esperado respecto a $M_{rg/pl}$ actual de las variedades criollas de amaranto considerando R Media y RPSF MHM2, Marín, N. L. PV 2003 | 56 | Con formato |

| | | |
|----|--|----|
| 13 | Cuadrados medios de tratamientos (CMT), efecto calculada (Fc) y coeficientes de variación (CV %) de los análisis de varianza del rendimiento de grano en gramos por planta de siete ensayos de siete variedades criollas de amaranto cada uno con 10 tratamientos (familias). Marín, N. L., OI 2004. | 59 |
| 14 | Valores de varianzas para rendimiento de grano en gramos por planta: fenotípicas (σ^2_F), genéticas (σ^2_G) y ambientales (σ^2_E), heredabilidad en sentido amplio (H^2) y respuesta a la selección individual (RSI). Marín, N. L. OI 2004. | 61 |
| 15 | Respuestas esperadas a la selección para rendimiento de grano en gramos por planta, media de la variedad criolla (Mrgvc) y media esperada de la variedad mejorada (MErgvm). Marín, N. L., OI 2004. | 62 |
| 16 | Cuadrado Medio de Tratamientos de las seis variedades evaluadas bajo esquema de Selección Familiar Promedial. Marín, N. L. | 64 |
| 17 | Ordenamiento decreciente de las medias de rendimiento de grano por planta en gramos, de las familias (F) de cada variedad para seleccionar las dos mejores ($p=5\%$) bajo el esquema de Selección Familiar Promedial | 64 |
| 18 | Familias seleccionadas dentro de cada variedad bajo el esquema de Selección Familiar Promedial. Ciclos de selección OI 2003, PV 2003 y OI 2004. Marín, N. L. | 65 |
| 19 | Selección Familiar Convergente-Divergente, cuadrado medio de tratamiento y su significancia* Ciclos OI 2003, PV 2003 y OI 2004. Marín, N. L. | 66 |
| 20 | Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 1 dentro de cada ciclo de evaluación | 67 |
| 21 | Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 2 dentro de cada ciclo de evaluación. | 67 |
| 22 | Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 3 dentro de cada ciclo de evaluación. | 68 |

| | | |
|----|---|----|
| 23 | Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 4 dentro de cada ciclo de evaluación. | 68 |
| 24 | Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 5 dentro de cada ciclo de evaluación. | 69 |
| 25 | Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 6 dentro de cada ciclo de evaluación. | 69 |
| 26 | Familias seleccionadas de cada variedad durante los tres ciclos de evaluación bajo el esquema de Selección Familiar Convergente –Divergente. Marín, N. L. | 70 |
| 27 | Cuadrados medios de tratamiento (CMT) y su significancia (* $P > F$) para ciclos, variedades y su interacción. Marín, N. L. Ciclos OI2003, PV 2003 y OI 2004 | 72 |
| 28 | Comparación de medias de rendimiento de grano en gramos por planta de las seis variedades (V) dentro de cada ciclo de evaluación ciclo 1: OI2003, ciclo 2: PV 2003 y ciclo 3: OI 2004 | 72 |

RESUMEN

El amaranto en tiempos prehispánicos fue un cultivo muy importante que después de la conquista fue desplazado por otros cultivos, actualmente se cultiva para producción de grano en áreas muy localizadas del centro y sur del país, donde la especie *Amaranthus hypochondriacus* predomina en tierras altas y *Amaranthus cruentus* en las zonas de clima cálido. El amaranto ha recobrado importancia como cultivo por su alto valor nutricional y se planteó introducirlo al Noreste de México como un cultivo de alternativa, en un trabajo previo se encontró que en el ciclo OI (Febrero – Junio), *A. cruentus* se comportó mejor que *A. hypochondriacus*, por lo que el presente estudio tuvo como objetivo introducir once variedades criollas de *A. cruentus*, provenientes del centro y sur del país con el fin de conocer el valor de mejora, iniciar un ciclo de selección familiar bajo dos modalidades y conocer su adaptación a las condiciones agroecológicas de Marín N. L. como localidad representativa del Noreste de México, las variedades se evaluaron en los ciclos OI 2003, PV (Julio – Diciembre) 2003 y OI 2004. Los resultados indicaron que seis de las once variedades se adaptaron a las condiciones de Marín N. L., cuatro tuvieron el mayor valor de mejora genética y en las seis se efectuó la identificación de las mejores familias seleccionadas promedial y convergente-divergentemente. Se recombinaron las nueve familias originales de cada una de las seis variedades para reconstruir las mismas y se recomendó hacer las recombinaciones de las familias seleccionadas en cada modalidad de selección familiar para cada una de las seis variedades para obtener doce nuevas poblaciones mejoradas y medir el avance por selección.

SUMMARY

Amaranth was an important crop in pre-hispanic times and after the conquest it was substituted by other crops, actually it is planted for grain production in small areas in the center and south of Mexico, where *Amaranthus hypochondriacus* domains the mountain valleys and *Amaranthus cruentus* is in warm low lands, amaranth has recovered its importance since it has been discovered its high nutritional value and it has been planned to introduce it to the North East of Mexico as an alternative crop. In a previous work it has been demonstrated that *A. cruentus* yields better in the OI crop cycle (February – June) than *A. hypochondriacus* so, this work had the objective of the introduction to Marin N. L., as a North East representative location, of eleven *A. cruentus* land cultivars from the center and south of Mexico in order to know their breeding value, to begin a family cycle under two variants and to define their adaptation. The land cultivars were evaluated in the crop cycles of OI 2003, PV (July – December) 2003 and OI 2004. The results indicated that six out of the eleven land cultivars were adapted to Marin N. L., four had good breeding value and in six the best families were identified under the promedial and convergent – divergent family selection variants. The nine original offspring from the nine plants that represented each one of the six adapted land cultivars were recombined in order to reconstruct them. It is advised to recombine the selected families from each variant of family selection in order to obtain twelve new improved populations and to measure selection gain.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las especies importantes que fueron domesticadas en el actual territorio nacional de México es el amaranto, huautli, guegui, wave, como es conocido este grano por las antiguas culturas precolombinas y que aun se utilizan estos nombres en las regiones donde se cultivó, y donde actualmente se siembra aunque sea a pequeña escala.

El amaranto fue domesticado hace seis mil años en el área del Valle de Tehuacán, Puebla, de acuerdo a los restos arqueológicos encontrados junto con otros cultivos como el maíz, frijol, calabaza y chile (Sauer,1993). En la época precolombina este grano llegó a constituir uno de los cuatro cultivos más sembrados, después del maíz, frijol y chile. Su importancia se incrementó debido a su utilización como planta ceremonial bajo la cultura azteca la cual tuvo su apogeo antes del arribo de los españoles. Durante la conquista de México y Época Colonial y la implantación de cultivos europeos en las mejores tierras, así como la introducción de la ganadería, fueron una de las razones por lo que muchos cultivos nativos fueron desplazados, eliminados o prohibidos por las autoridades virreinales situación que sucedió con el amaranto.

Esta especie pertenece a la familia *Amaranthaceae*, las especies de grano que se cultivan en México son: *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hypochondriacus*. Las variedades criollas amarantos de grano en las dos especies en México presentan gran variabilidad entre y dentro de ellas para color de hoja, tallo, panícula, semilla y pecíolo. También se encuentra gran variación en el porte de planta, precocidad y rendimiento. Esto representa un gran problema para siembras comerciales ya que se requiere que haya uniformidad en el porte de planta y maduración uniforme en toda la población, por lo que toda esta variabilidad presente en el amaranto implica que es necesario uniformizar estas variedades criollas para poder llevarlo a siembras extensivas en las regiones del país con condiciones agroecológicas adecuadas para este cultivo y en aquellas regiones del país donde pueda tener futuro como cultivo alternativo en el país y pueda recobrar la importancia que tuvo en el pasado. La variación mencionada se ha observado en las variedades introducidas en la localidad de Marín ubicada en el estado de Nuevo León al

noreste de México. Cabe destacar que en estudios previos de evaluación de germoplasma en esta región de estudio, la especie *Amaranthus cruentus* presentó un mejor desempeño en cuanto a rendimiento de grano respecto a *Amaranthus hypochondriacus* en el ciclo OI de febrero – junio respecto al ciclo PV de julio-diciembre, lo cuál fue importante para definir la primer especie como de alto potencial de adaptación al noreste del país. Por lo anterior el propósito de este trabajo fue el de investigar el potencial de rendimiento de grano en el Noreste de México de variedades criollas de *Amaranthus cruentus*, colectadas en el centro y sur de México, así como definir su potencial de mejora genética para este carácter.

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Cursiva

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El cultivo de amaranto en México y en el mundo

En la época precolombina el amaranto fue cultivado a gran escala bajo el Imperio Azteca y sus dominios, debido a que muchos pueblos sojuzgados pagaban tributo con la semilla de este grano a los Aztecas, habiendo sido en el Centro del país donde alcanzó su relevancia como cultivo y como planta ceremonial, en los actuales estados del Centro se llegó a sembrarse bajo temporal así como también en el sistema de chinampas de la zona lacustre del Valle de México, de allí se diseminó a las antiguas culturas que habitaron el Norte, Noroeste y Sierra Madre Occidental. Los grupos étnicos dentro de lo que es el actual territorio nacional cultivaron el amaranto en el Golfo de México en la Sierra de Zongolica, Veracruz, zonas del sur y centro del país en Guerrero, Oaxaca, Michoacán, así como regiones del Pacífico abarcando los estados de Nayarit, Jalisco, Chihuahua, Durango y Sonora. En el México actual, el cultivo abarca los estados de México, Puebla, Tlaxcala, Morelos, así como el Distrito Federal en la zona de las chinampas.

Existen diferentes sistemas agrícolas bajo los cuales se cultiva el amaranto aunque se puede decir que la siembra directa y el trasplante es la forma general en que se puede dividir su cultivo, debido a la gran variación de condiciones ecológicas bajo las cuales se siembra el amaranto en México, existen regiones en donde se puede realizar dos ciclos de siembra y también donde se siembra asociado con otro cultivo.

La siembra de trasplante se realiza en la zona de Xochimilco, D.F. principalmente en Tulyehualco, donde en la zona de chinampas se prepara el almácigo, el cual consiste en acondicionar el lugar adecuado para ello, primero se cubre con una capa de estiércol, luego se cubre con una capa de aproximadamente cinco cm de lodo esta superficie se raya a lo ancho y lo largo para formar pequeños cuadrillos de 4x4, 5x5 cm que se conocen localmente como chapines, a cada cuadro se le hace un pequeño agujero en el centro donde se colocan las semillas, generalmente se siembra de 5 a 10 semillas y posteriormente se deshijan para dejar de 3 a 5 plántulas. Todo el almácigo se cubre con estiércol y se efectúan los

riegos, aquí se mantiene por dos meses aproximadamente. Una vez comenzada la temporada de lluvias se realiza el trasplante en las áreas aledañas a los cerros. Esta zona se caracteriza por sembrar variedades criollas de la especie de *Amaranthus hypochondriacus*, donde el ciclo de cultivo es de aproximadamente de seis meses.

La siembra directa del amaranto se lleva a cabo principalmente en todas las regiones donde se siembra actualmente el cultivo. En los estados de Guerrero, Morelos y Puebla, caracterizados por un clima cálido, la mayor superficie sembrada es de temporal aunque existen zonas de riego y los principales criollos son de la especie de *Amaranthus cruentus*. El ciclo del cultivo varía de 120-130 días.

En los demás estados del país el cultivo es marginal y su siembra es de traspatio, en otros estados sólo unos cuantos agricultores siembran una pequeña superficie, también es posible encontrarlo sembrado en los jardines de las casa en las zonas rurales, donde generalmente la semilla se usa para consumo familiar en la preparación del dulce, pinole o atole.

A nivel mundial, en Estados Unidos es donde se ha desarrollado la investigación para realizar siembras extensivas en los estados de Nebraska Kansas y Iowa, donde la producción de semilla se destina a la industria de la panadería, para la fabricación de productos para la alimentación humana. Este país tiene la colección más completa de germoplasma de amaranto en la universidad del estado de Iowa en Ames. En Sudamérica se siembra la especie *Amaranthus caudatus* la cuál se encuentra distribuida en Perú, Bolivia y Ecuador, en esos países el cultivo tuvo su relevancia en el pasado donde la cultura Inca ya sembraba las diferentes variedades criollas de esta especie. Actualmente los países que lo cultivan son Argentina, Brasil, Colombia, Venezuela y Chile, además de Perú, Bolivia y Ecuador (Williams, 1995; Paredes,1994).

En Asia el principal productor de amaranto es China, allí se utilizan las hojas para alimentación de animales y consumo humano, aunque el país que más consume grano de amaranto es la India, donde se han desarrollado variedades para ser sembradas en las diferentes regiones ecológicas de ese país, el consumo en este

país esta dedicado a la producción de grano para consumo humano, dado que por cuestiones religiosas el consumo de carne de vacuno está prohibido. El grano de amaranto provee de proteína a la población. Nepal es otro país de este continente donde se siembra el amaranto bajo condiciones de temporal.

En África el consumo principal de amaranto es como verdura, principalmente en la zona ecuatorial, aunque en Kenia se han introducido y están desarrollando variedades para producción de grano a gran escala.

2.1.1 Descripción botánica del amaranto cultivado

El género *Amaranthus* pertenece a la familia *Amaranthaceae*, existen alrededor de 60 especies. Las especies que se cultivan para grano también se usan para consumo de las hojas como verdura.

El amaranto es una planta monóica con inflorescencias compuestas, flores pentámeras con utrículos circuncésiles. *Amaranthus hypochondriacus* posee brácteas iguales o ligeramente más grandes que los estilos de las ramas, en cambio *Amaranthus cruentus* tiene las brácteas más cortas que las ramas del estilo, los estilos son erectos y paralelos, todos los tépalos son acusados.

Las diferencias entre las especies cultivadas son: tipo de inflorescencia, formas de las brácteas, forma del tépalo, morfología de la hoja, morfología y grosor de la planta (Feine, 1981).

Amaranthus cruentus es una especie que se cultiva en las zonas cálidas de México, tiene un crecimiento de 1 a 2 m de altura, plantas con ó sin ramificación. Las hojas son elípticas, rombadas-ovadas, u ovadas-lanceoladas, los bordes son agudos, obtusos o acuminados y las bases son cuneadas.

Las brácteas no son tan largas como las ramas de los estilos de las flores femeninas y tienen las puntas más suaves y son más largas que los tépalos.

Los tépalos son rectos, oblongos u oblongo-ovoides con bordes acusados. Los utrículos son angostos con una tapa de cilindro con las ramas del estilo que es erecto y suave. *Amaranthus cruentus* es una planta herbácea de crecimiento erecto; llega a alcanzar hasta dos m de altura; generalmente es de menor altura que *Amaranthus hypochondriacus*, su tallo es simple y en ocasiones ramificado

La inflorescencia cuando está completamente desarrollada presenta en la parte inferior panículas suaves y laxas que en el resto, y en la parte superior panículas grandes. Las brácteas son pequeñas, con una punta delgada que se extiende más allá de las láminas, pero no tan largas como las ramificaciones del estilo; sin embargo, en algunas ocasiones sobrepasan los tépalos. Las flores de estas especies presentan 5 tépalos, estos son rectos, oblongos u oblongo-obovatinados con ápice agudos; los tépalos internos son más cortos que los externos. El utrículo es circunsésil con un ápice en forma de torre. Las ramificaciones del estilo son delgadas y erectas. Las semillas pueden ser de color café, blanca y dorada. Las variedades con semilla de colores claros son las que se utilizan para producción de grano, mientras que las plantas que presentan semillas de color oscuro son utilizadas como verduras ó como ornato (Grubben, 1976; Grubben y Sloten 1981 y Feine, 1979).

Amaranthus hypochondriacus, es una planta herbácea anual de tallo simple ramificado, llegando a alcanzar en ocasiones hasta 3 m de altura. Sus hojas son elípticas u ovado-oblongas con el ápice agudo o acuminado y la base cuneada o aguda. La inflorescencia es de gran tamaño con flores masculinas y femeninas integradas en panículas compactas y oblongas; es muy densa, erecta y espinosa. El tamaño de las brácteas es igual al de las ramificaciones del estilo son muy puntiagudas y es esto precisamente lo que da a la inflorescencia su apariencia y tacto espinoso. La flor de esta especie presenta 5 tépalos, ligeramente curvados y más largos que los tépalos de las otras especies para producción de grano, sus ápices son acuminados, los tépalos internos son más cortos que los externos. El utrículo es circunsésil con una cápsula grande. Las ramificaciones del estilo son curvadas y se juntan en las bases en una pequeña hendidura. Las semillas que presentan las variedades cultivadas de esta especie son de color blanco, dorado y café. Las semillas de coloración clara son las que más comúnmente se utilizan para producción de grano; esta especie es utilizada también como ornamental (Grubben, 1976; Grubben y Sloten, 1981 y Feine, 1979).

La especie *Amaranthus caudatus* L. se originó como un cultivo para producción de grano en la región Andina principalmente de Perú y Bolivia probablemente por

domesticación de *Amaranthus quitensis*. Al igual que el resto de las especies para producción de grano *Amaranthus caudatus* presenta un amplio espectro en cuanto a color y forma de planta, sin embargo, esta especie presenta algunas variaciones en cuanto a estructura de inflorescencia y color de semilla que no se presenta en las otras especies, como es el caso de la inflorescencia en forma de cauda y las semillas color marfil con los bordes rojos (Sauer, 1967). Esta especie es una planta herbácea anual, con un tallo escasamente ramificado, llega a alcanzar hasta 2 m de altura. La forma de sus hojas es muy variable, las hay elípticas; ovatinadas, lanceoladas o rombo-ovatinadas con el ápice agudo u obtuso y la base cuneada. La inflorescencia normalmente es laxa, en panículas extremadamente largas y colgantes con una apariencia glomerular que es distintiva de esta especie, debido precisamente a que los glomérulos son grandes y muy espaciados, ocasionalmente se parece a *Amaranthus cruentus*. Las brácteas son más cortas aún, que las ramificaciones del estilo, con láminas anchas y con una nervadura central delgada. La flor de esta especie presenta 5 tépalos, anchos, a menudo sobre-puestos y fuertemente encorvados. Los tépalos externos son obovatados y más largos que los internos, estos últimos son espatulados con ápices mucronados u obtusos. El utrículo es circunsésil. Las ramificaciones del estilo están muy esparcidas y se juntan en la base que tiene la apariencia de una silla de montar. Las semillas son blancas, con bordes rojos ó rosas y negras. Las plantas con semillas de color claro son las que se utilizan para producción de grano (Grubben, 1976; Grubben y Sloten, 1981 y Feine, 1979).

Amaranthus hybridus L., Es una especie nativa de las regiones templado-húmedas del este de Norteamérica, México, Centroamérica y la parte norte de Sudamérica. En esta región es una maleza muy común (Sauer, 1967) que llega a consumirse como verdura y alimentación complementaria de cerdos, dependiendo del estado se le denomina en México como quelite en el centro y quintonil en el norte del país. *Amaranthus hybridus* es una planta herbácea anual, normalmente ramificada; llega a alcanzar hasta 2 m de altura. La forma de las hojas es muy variable, las hay desde ovatinadas, lanceoladas, elípticas, oblongas hasta rómbicas; con el ápice agudo, acuminado u obtuso y base ancha ó estrecha. La

inflorescencia es relativamente pequeña, está compuesta de panículas terminales laxas con numerosas espigas laterales. Las brácteas son muy largas, son del doble del tamaño de los tépalos, inclusive sobrepasan las ramificaciones del estilo y con una nervadura central que se extiende hasta las láminas. Las flores de esta especie presentan 5 tépalos más cortos que el utrículo y ligeramente curvados. Los tépalos internos con el ápice agudo, los tépalos externos son oblongos con el ápice agudo. El utrículo es circunsésil con el ápice en forma de torre y ligeramente rugoso. Las ramificaciones del estilo son erectas y se juntan en la base en una endidura superficial. Las semillas son negras (Grubben, 1976; Grubben y Sloten, 1981 y Feine, 1979).

2.1.2 Origen y domesticación del amaranto como cultivo

De acuerdo a varios autores los restos arqueológicos encontrados en Tehuacán, Puebla, permiten afirmar que el amaranto fue uno de los cultivos que se domesticaron hace aproximadamente seis mil años (Sauer, 1993)

De acuerdo a restos arqueológicos encontrados en el valle de Tehuacan, Puebla, el uso del amaranto en la alimentación humana por los antiguos grupos prehispánicos se coloca alrededor de seis mil años, junto con el maíz, frijol, chile y calabaza. Estos hallazgos han permitido afirmar que el cultivo del amaranto es muy antiguo en lo que actualmente es el territorio nacional y que su domesticación se sitúa en esas fechas en esas regiones, aunque es posible que a la vez en otras regiones del país se domesticara en esa fecha aproximadamente, ya que en otros grupos étnicos como son los tarahumaras, amuzgos, huicholes, mayas, mixtecos y zapotecos se refieren al amaranto en su lengua. Aunque también en el sureste de Estados Unidos se cree que fue uno de los centros de domesticación de algunas especies de amaranto, posteriores migraciones de los grupos humanos hacia el sur de México por la Sierra Madre Occidental hasta desplazarse hacia el centro del país, esto pudo haber ocasionado que se hallan cruzado las especies , originando nuevas formas y que a través de selección por el hombre dieron origen a nuevas variedades criollas, asimismo los grupos que fueron conformando nuevas culturas destinaron un nombre específico para este grano.

2.1.3 Especies y distribución mundial

Las especies productoras de grano de amaranto son: *Amaranthus hypochondriacus* L., *Amaranthus cruentus* L. que se originaron en México, Guatemala y sureste de los Estados Unidos. *Amaranthus caudatus* la cual se origino en la región de los Andes, en las zonas comprendidas en Perú, Norte de Ecuador, Sur de Bolivia y Norte de Argentina. Después del descubrimiento de América muchas plantas fueron llevadas a Europa este fue el caso del amaranto, donde en algunos países europeos lo destinaron a los jardines como planta de ornato. En cambio cuando el amaranto se desplazó hacia el continente Asiático se utilizó su grano en la India y Nepal, en China se utilizaron sus hojas tiernas como verduras. En Africa se consumen sus hojas como verduras sobre todo en la región ecuatorial del continente.

2.1.4 Especies cultivadas y distribución en México

Las especies cultivadas para grano en México son: *Amaranthus hypochondriacus* , *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hybridus*, aunque esta última especie se utiliza por sus hojas principalmente en la sierra norte de Puebla y otra regiones del país. Cada una de esta especies tiene una distribución especifica en forma natural generalmente *Amaranthus cruentus* tiende a adaptarse en forma natural en zonas cálidas del centro y sur del país, estas regiones presentan una altitud de aproximadamente de 300 a 1800 m sobre el nivel del mar. Estas condiciones agroecológicas permiten tener variedades criollas de ciclo corto, generalmente de 90 a 120 días a la cosecha, plantas de porte de 1.20 a 1.90 m generalmente presentan poca ramificación. Esta especie se encuentra distribuida en las regiones cálidas del estado de Morelos, Puebla y Guerrero. El cultivo de amaranto en las zonas calientes del estado de Guerrero se realiza asociado a otro cultivo como puede ser ajonjolí, maíz o frijol. Todas esa regiones son de temporal, en ocasiones es posible realizar dos ciclos de cultivo. Para el caso de *Amaranthus hypochondriacus* su distribución natural se encuentra en las regiones altas con altitudes que varían de 1800 a 2500 m sobre el nivel del mar, su ciclo de cultivo es

mas largo, llegando a seis meses en algunos casos, poseen panículas muy largas y gruesas, el porte de las plantas varían de 180 a 250 cm, el grano es más grande que el de *A. cruentus*. En algunas regiones del país *A. hypochondriacus* es más espinosa debido a que los tépalos son mas agudos, esta es una característica de que es una especie menos evolucionada que *Amaranthus cruentus* dado que lo espinoso de las panículas es un defensa de las planta, por lo que la cosecha se realiza en forma diferente a la primera especie, ya que se corta la planta entera y se coloca en el surco para que se seque, posteriormente se desgrana.

2.1.5 Usos, consumo actual y potencial

El principal uso a que se destina el amaranto en México es a la fabricación de la confitura de semilla reventada de amaranto mezclada con azúcar o miel parecido al turrón, pero que en México se le llama dulce de alegría, niguas en Guatemala, turrón en Perú. Otro uso importante es la utilización de la semilla molida para luego mezclarla con agua, leche y formar una bebida que generalmente se consume caliente y que se denomina atole, esta bebida también tiene un origen prehispánico. También es común que en algunas zonas del país se muele la semilla para mezclarla con azúcar y agua, esta bebida se conoce como agua fresca. Es importante destacar que en varias regiones indígenas del país se elabora pinole. El pinole es una preparación de origen prehispánico el cual se prepara con la semilla de amaranto, la cual se tuesta y se muele para después adicionarle azúcar, el polvo de la semilla se guarda para utilizarlo ya sea para consumirse en seco o mezclado con agua o leche, cabe mencionar que el pinole también se prepara con maíz tostado al cual se le pueden adicionara otros granos.

El consumo del amaranto se ha incrementado y nuevas formas de preparación del grano se encuentran disponibles en el mercado de las grandes ciudades aparte del ya tradicional dulce de alegría el cuál tiene una presentación mejor, se puede encontrar harina de amaranto, semilla reventada para adicionarle a la fruta, granola y harina de amaranto para mezclarla con harina de trigo con la cuál se elaboran galletas y pasteles. Es importante mencionar que el consumo no esta

generalizado en la población pero tiende a incrementarse entre los consumidores de alimentos naturistas.

De acuerdo al contenido nutritivo del grano de amaranto éste tiene un enorme potencial de consumo tanto como alimento nutracéutico, es decir un alimento que tenga propiedades que nutran y también que prevengan algunos problemas de salud. La semilla se ha utilizado para elaboración de una bebida de un tipo de leche que permite que los infantes puedan disponer de ella y disminuir los índices de desnutrición que existen en varias regiones del país. Aunque la fabricación de cerveza es ya un hecho, todavía no se dispone en forma general en el mercado. Los tintes que se pueden extraer de algunas variedades son una opción industrial dado que actualmente está renaciendo el interés por utilizar tintes naturales ya que en la actualidad muchos países tienen normatividad para utilizar los tintes naturales en sustitución de los artificiales por conocerse que éstos últimos pueden predisponer al cáncer a quién los consume. La fabricación de alimento para animales con la hoja es también una alternativa industrial debido al alto contenido de proteína de las hojas de amaranto. Aparte de las especies de amaranto utilizadas para producción de grano, existen numerosas especies silvestres del mismo género como *A. australis* L. que algunas llegan a alcanzar de tres a cuatro metros de altura por lo que es posible realizar plantaciones de amaranto con el propósito de explotarlo como una especie forestal con la ventaja que se pueden realizar cosechas anuales, por lo que es necesario realizar evaluaciones para utilizar el tipo de celulosa que poseen estas especies. Aunque en la industria panadera se utiliza la harina de amaranto, es importante que en México se haga a mayor escala, ya que esto se realiza en otros países como Austria, Alemania e Inglaterra, además la fabricación de bebidas energéticas para deportistas es otro rubro que falta por explotar. Por el tamaño de las partículas del almidón del amaranto que son mas pequeñas que las del almidón de los cereales, tiene un alto potencial de utilizarse en la industria farmacéutica por lo que es algo que se debiera considerar así como la extracción del aceite de amaranto y la búsqueda de variedades con alto contenido de aceite son aspectos que deben de investigarse en un futuro inmediato.

2.2 Introducción del cultivo a áreas nuevas de México

El amaranto es más conocido en el centro y sur del país dado su uso tradicional del grano en esas regiones, pero en otras zonas como en el norte, no se conoce el cultivo, además que llegan pocos productos elaborados con este grano. Solo recientemente hay una mayor distribución de productos elaborados con el grano de amaranto de tal forma que es posible encontrarlo en las grandes tiendas y generalmente en las transnacionales, donde es posible adquirir las diversas presentaciones de productos hechos con este grano. Se puede considerar que esta especie es un cultivo infrautilizado, solo con una demanda regional específica y un uso que puede mejorarse tanto en su fabricación más higiénica y con un embalaje más adecuado.

La demanda del grano a futuro debe considerar las siembras a gran escala en otras regiones del país, una de estas es el norte de México, donde se puede llevar a cabo una agricultura a escala comercial dadas las condiciones agro-ecológicas y de mecanización que prevalecen en esas zonas. Por lo anterior se debe de considerar que el amaranto es un recurso fitogenético importante en México a pesar de que actualmente es un cultivo subutilizado y de importancia regional. Sin embargo, su gran contenido proteínico del grano, la utilización integral de toda la planta así como sus características agronómicas que le permiten prosperar bajo diferentes condiciones ecológicas y su gran potencial de consumo alimenticio, uso industrial, farmacéutico, nutracéutico y ornamental hacen que se requiera de siembras a mayor escala.

En este aspecto, es importante considerar nuevas áreas de cultivo para este grano en el país, además que esto podría desarrollar una gran agroindustria que se relacionará con la producción agrícola del grano. Es conveniente que en nuestro país se desarrolle esta industria, ya que en otros países se están creando diversos productos para enviarlos al extranjero, por lo que se corre el riesgo de que en el futuro se tengan que importar una gran cantidad de productos de amaranto y aún la semilla, situación que se está dando con los granos de uso común en la alimentación popular como son el caso del frijol y del maíz. Por ello es conveniente que se desarrollen variedades para las diversas regiones del país partiendo de las

variedades criollas tradicionalmente domesticadas y sembradas en México, que deben de mejorarse para que se puedan introducir y abrir nuevas zonas de cultivo de amaranto en el país. También es importante considerar la exportación de productos tradicionales de amaranto en el extranjero, para no solo exportar grano, sino que sean productos con valor agregado y colocar los diversos productos en los diferentes mercados con los cuales nuestro país ha firmado convenios comerciales.

2.2.1 Región Golfo de México

En esta zona se destaca la parte central de Veracruz donde se encuentra la Sierra de Zongolica, esta es una zona tradicional de cultivo del amaranto bajo el sistema de roza tumba y quema y en ocasiones se puede encontrar cultivado en las laderas de los cerros, asociado con el cultivo de maíz. En esta región es importante realizar recolección de germoplasma ya que la desaparición de la cultura campesina y las continuas lluvias que cada año se presentan han ocasionado pérdidas de germoplasma de diferentes cultivos.

2.2.2 Región Noroeste

Con el propósito de proporcionar nuevas alternativas de cultivo en el estado de Sonora, en el Valle del Yaqui donde se evaluó la especie *Amaranthus hypochondriacus* bajo dosis de fertilización y densidad de población se encontró que el amaranto respondió a la alta fertilización y densidades de población, donde los rendimientos obtenidos fueron de 2000 a 2900 kg ha⁻¹ (Ávalos, 2000).

2.2.3 Región Norte

Dentro de los trabajos de investigación realizados con amaranto en esta zona se puede citar la evaluación de germoplasma de *Amaranthus hypochondriacus* L. provenientes de Tlaxcala y evaluadas en Salaces, Chihuahua, se encontró que algunos genotipos evaluados rindieron arriba de 2800 kg ha⁻¹ (Orozco, 1997). En Ojo Caliente, Zacatecas se evaluaron materiales de *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus*. Se encontró que *Amaranthus hypochondriacus* rindió

mejor que *Amaranthus cruentus* (Flores, 1997).

En el estado de Durango, se ha estado desarrollando investigaciones sobre amaranto desde 1984 en el CIIDIR-IPN Unidad Durango. En las primeras evaluaciones de germoplasma éstas fueron traídas del CIAMEC-INIA Campo Experimental El Horno, Estado de México, y fueron evaluadas en la región sureste del Estado de Durango, se obtuvo mejor rendimiento de grano con *Amaranthus hypochondriacus*, con aproximadamente 1800 kg.ha⁻¹, éstas fueron sembradas a punta de riego. Durante los primeros años *Amaranthus hypochondriacus* produjo panículas pequeñas al igual que *Amaranthus cruentus*, sin embargo, al sembrarse en tres ciclos posteriores se obtuvieron panículas más grandes casi similares a las zonas productoras del centro del país. Sin embargo, *Amaranthus cruentus* tiene bastante ventaja ya que es de porte más pequeño y ciclo de cultivo de aproximadamente 120 días más corto que *Amaranthus hypochondriacus* (Alejandre, 1999).

2.2.4 Región Noreste

En esta parte del país existen escasos registros sobre la evaluación de amaranto, dentro de ellos se pueden mencionar a los realizados por Treviño (1992) en Marín, N. L. que fueron principalmente investigaciones de tesis profesionales. García (2004) realizó varios ensayos agronómicos de amaranto, los cuales son los más recientes en esta región, en estos experimentos se incluyó un genotipo de *Amaranthus cruentus* y cuatro de *Amaranthus hypochondriacus* y encontró que *Amaranthus cruentus* obtuvo una mejor respuesta agronómica en comparación con *Amaranthus hypochondriacus* sembrado en los ciclos de temprano (febrero-junio) a diferencia de *Amaranthus hypochondriacus* el cual respondió mejor en el ciclo de tardío (julio-diciembre).

2.3 Limitaciones para el éxito del amaranto como cultivo en áreas nuevas

La siembra del amaranto en otras regiones del país como puede ser el norte noroeste y noreste de inicio acarrea limitaciones agronómicas como es la gran variabilidad dentro del germoplasma que se va a introducir, en caracteres como porte de la planta, ciclo de cultivo, desconocimiento de las prácticas culturales,

heterogeneidad en la maduración del grano lo que puede dificultar la cosecha, grano pequeño que dificulta la siembra, falta de maquinaria especializada para realizar la cosecha mecánica y por otro lado el desconocimiento de la comercialización del grano con empresas que lo procesan, por lo que no se ha promovido el interés por parte los inversionistas para la siembra del amaranto y la creación de agroindustrias relacionadas con la utilización industrial del grano a gran escala y que permitan una diversificación en cuanto a sus usos. Una restricción básica es la falta de material genético seleccionado para siembras comerciales en gran escala en las regiones donde se pretenda introducir este cultivo, lo que impide el avance de su dispersión a nuevas zonas.

2.3.1 Necesidades de mejora genética para la introducción

Una de las prioridades para la introducción del amaranto en otras zonas agrícolas del país, es que se deben de desarrollar variedades específicas para cada región dado que el material criollo tiene amplia variabilidad como puede ser porte de la planta, problemas de acame, maduración no uniforme de la panícula, ciclo de cultivo muy variable, sensibilidad de algunas variedades criollas al fotoperíodo. Cuando se pretende introducir esta especie agrícola en otras zonas, es importante considerar las condiciones agro-ecológicas de la región así como las características del germoplasma a introducir. Para el caso del amaranto es importante considerar la especie botánica a sembrarse en determinada zona, ya que *Amaranthus cruentus* prospera mejor en las zonas cálidas de México, tiene un ciclo de cultivo de cuatro a cinco meses, la cosecha se facilita mejor ya que se puede realizar cuando la panícula esta aún verde y la semillas se puede poner a secar al sol, para su empaque posterior. En las zonas cálidas del país es posible realizar dos ciclos de siembra. Estas características deben de seleccionarse del germoplasma disponible por parte del investigador, para regiones cálidas se debe de escoger planta con ciclo de cultivo de 90 a 120 días, porte bajo menor de 150 cm, alto rendimiento y alto contenido de proteína del grano, se debe de tener plantas que no se acamen, esto está relacionado con la incidencia de barrenador del tallo, esta plaga ocasiona graves daños en las plantaciones cuando está

presente. Para las zonas de agricultura intensiva se debe considerar el uso de maquinaria agrícola por lo que el porte bajo y maduración uniforme de la planta son importantes para realizar una cosecha mecánica. La selección de variedades rendidoras de grano se debe enfatizar ya que la mayoría de los materiales criollos de amaranto muestran una gran variación en los rendimientos. La siembra tradicional del amaranto actualmente se concentra en áreas marginales, de temporal o traspatio y en ocasiones en áreas con riego, por otro lado, las zonas agrícolas que ofrecen condiciones orográficas y de riego y son potenciales para la siembra del amaranto, se encuentran en el norte del país por lo que, el material criollo de amaranto que se destine a esas regiones debe ser seleccionado para que puedan obtenerse variedades adaptadas que permitan un rendimiento de grano que haga redituable la siembra del cultivo.

2.3.2 Poblaciones base para la mejora genética

Dado que nuestro país es centro de origen del amaranto, existe una gran variabilidad de genotipos dentro de las especies *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus* que tienen diferentes características en cuanto a ciclo de cultivo, porte de la planta, contenido proteínico del grano y resistencia a enfermedades por lo que se deben de escoger adecuadamente las poblaciones con las cuáles se deben de seleccionar in situ para introducir e iniciar un programa de mejora para determinada región del país. Es importante acudir a la recolección del material en las zonas donde las condiciones climáticas sean similares o acudir a las instituciones que poseen el germoplasma requerido.

2.3.3 Nuevas variedades adaptadas

Las nuevas variedades que se generen deben de estar adaptadas a las zonas específicas, es importante hacer notar que el amaranto al introducirlo a una nueva región presenta rendimientos bajos pero conforme transcurren los años los rendimientos tienden a incrementarse y estabilizarse. Las plagas del cultivo de

amaranto son escasas en los primeros ciclos, pero conforme pasan diferentes ciclos de cultivo, las plagas hacen su aparición a mayor escala en los campos de cultivo. Es importante considerar que las variedades generadas deberán tener tolerancia a las diversas plagas y enfermedades que afectan al amaranto. Otro punto a considerar es la adaptación de las variedades de amaranto generadas bajo las condiciones que prevalezcan en determinada región como puede ser alta incidencia de los rayos solares, baja humedad relativa y altas temperaturas durante el día. La fecha de siembra deberá tomarse en consideración para lugares donde las heladas tardías son frecuentes, por lo que se deben de tener variedades de ciclo corto que permitan evitar el período crítico de heladas. El amaranto prospera mejor bajo condiciones de suelos francos y bien drenados, en este punto es importante considerar variedades que puedan prosperar bajo un rango más amplio de condiciones aquí también se debe de considerar las diferentes densidades de población así como las dosis óptimas de fertilización (Peña, 1997). El contenido nutritivo del grano es muy importante, ya que existen materiales criollos en determinadas zonas los cuáles difieren en cuanto a su contenido de proteína, por lo que se debe de escoger variedades que tengan los más altos niveles de proteína en cuanto a cantidad y calidad. Como en todos los cultivos las variedades adaptadas a una región deberán de poseer varias características que le permitan sobresalir sobre los demás variedades en este caso las primeras variedades que se introduzcan con éxito serán los testigos de las nuevas variedades que posteriormente se introduzcan ó que se generen mediante mejoramiento genético.

2.4. Mejora genética en amaranto

Las especies de amaranto son monoicas, donde las flores son terminales o axiales, las cuales están conformadas en glomérulos dentro de la inflorescencia. Dentro de los glomérulos la primera flor es comúnmente estaminada, y las posteriores son pistiladas (Pal,1972; Joshi y Rana 1991). El sistema de reproducción de las especies de *Amaranthus* es complejo, debido a que es influenciado por la variación ambiental y genética (Jain *et al* 1982; Hauptli y Jain 1985). El promedio de alogamia de *Amaranthus* spp bajo condiciones de campo,

ha sido estimada y varía de 3.5 % a 34% (Jain *et al.* 1982; Hauptli y Jain 1985; Agong y Ayiecho 1991). De acuerdo a Hauptli y Jain 1985 esta variación de aloгамia puede ser parcialmente explicada por la proporción de flores masculinas y femeninas, aunque también influyen los insectos polinizadores.

2.4.1 Importancia de la variabilidad genética

El disponer una gran fuente de material diverso de una especie vegetal es de importancia fundamental para el desarrollo de nuevas variedades, en el caso del amaranto en México, existe una gran diversidad de variedades nativas autóctonas que los agricultores han utilizado a través de cientos de años en las zonas donde el amaranto ha sido cultivado desde los tiempos prehispánicos, por lo que para este caso es importante escoger variedades presentes en éstas regiones y evaluarlas en otras regiones para observar su adaptabilidad, principalmente medida por el rendimiento de grano para seleccionar o generar variedades a partir de las variedades autóctonas que mejor desempeño agronómico presenten en una zona determinada.

2.4.2. Conservación y uso de germoplasma *in situ*

Durante cientos de años los agricultores han sido los conservadores de la gran variabilidad genética sobre todo en el caso de amaranto que como cultivo marginal es solo sembrado en pequeñas zonas de algunos estados. La semilla ha sido mantenida para siembras sucesivas durante generaciones. Las características de cada material ha sido conservada en cada zona específica, este ha sido el caso de las variedades criollas de semilla dorada que se utilizan para la elaboración de pinole y atole en la zona de Acapulahuaya, Gro., así como las variedades criollas precoces de Santiago Tetla, Puebla, las cuáles tienen un ciclo de menos de ciento veinte días a la cosecha (Alejandre, 2002). También la mujer campesina ha sido la conservadora de varios criollos de amaranto en diversas zonas, como es el caso del quelite, el cuál se siembra para el propósito específico de cosechar sólo las hojas, situación que se da en el caso de la especie de *Amaranthus hybridus* en la sierra Norte de Puebla, donde este tipo de amaranto lo siembran en el patio o

traspatio de las casas para venta como verdura (Mapes,1997)

2.4.3. Introducción de germoplasma a regiones nuevas

La introducción de germoplasma de amaranto a zonas diferentes de las que tradicionalmente se ha sembrado requiere de considerar varios aspectos con el propósito de tener éxito. Se debe de escoger la especie, ésta debe ser adecuada para los requerimientos climáticos que imperan en la región, éstos deberán incluir temperaturas media y extremas, precipitación mensual, condiciones de suelo, cultivos principales que se siembran en la zona, principales plagas que afectan a los cultivos de importancia económica y condiciones topográficas de la región. En cuanto a la variedad, se deberá optar por una de porte bajo, de ciclo intermedio para poder ajustar el ciclo a las condiciones imperantes en la región que se quiera introducir. Es importante escoger la que mejor rendimiento de grano presente, pero sin descuidar la incidencia de plagas y enfermedades, las panículas deberán ser compactas con maduración uniforme en toda la plantación, grano grande, sin ramificaciones secundarias, ya que algunas variedades de amaranto presentan varias ramificaciones a lo largo del tallo.

2.4.3.1. Formación de germoplasma base para la mejora genética

El fitomejorador debe tener antecedentes sobre la mejora genética empírica hecha por los agricultores y en su caso por métodos modernos para tener una idea general de la variabilidad genética de los caracteres a mejorar presente en las poblaciones de partida con las que iniciará un programa de mejora genética. En amaranto, se debe contar con variabilidad genética para los caracteres que permitirán formar variedades exitosas en la producción, algunos de los mas relevantes son: a) rendimiento de grano, b) adaptación por ciclo vegetativo para la región o regiones donde se pretenden liberar las variedades que se lleguen a formar, ya que por la presencia de la interacción genotipo x ambiente, es natural que algunas variedades se desempeñan mejor en unos ambientes que en otros, c) deben tener una alta calidad para el mercado determinada por un tamaño grande de grano, un porcentaje de proteína alto y alta capacidad de reventado, d)

tolerancia a enfermedades y otras adversidades presentes en la zona a la cual se van a liberar las nuevas variedades.

Las poblaciones de amaranto que reúnan variabilidad genética para el mayor número de los caracteres antes mencionados, ya sean criollas o mejoradas podrán utilizarse por separado como poblaciones de partida, ó bien para formar nuevas poblaciones mediante su recombinación, en las cuales sea alta la variabilidad genética. En el primer caso es conveniente conocer el potencial mejora mediante estimaciones de la varianza genética y la heredabilidad dentro de estas poblaciones para hacer predicciones de la respuesta a la selección bajo los métodos de selección mas convenientes, los que por su facilidad o potencial de progreso genético, se utilizarán en el programa de mejora a implementar; con ello, las poblaciones en lo individual con la mayor variabilidad genética podrán elegirse para iniciar el programa de mejora, o bien para recombinarse y formar nuevas poblaciones con variabilidad genética mas amplia y con ello aumentar la probabilidad de que en el programa de mejora genética que se establezca se puedan llegar a formar las variedades exitosas en la producción que el fitomejorador desea.

2.4.3.2. Formación de nuevas variedades

Para formar nuevas variedades en amaranto, los métodos de mejora mas fáciles y no por ello menos eficientes son la selección masal moderna y la selección familiar, aplicando éstos para seleccionar entre y dentro de variedades criollas o mejoradas o al seleccionar dentro de nuevas poblaciones formadas por la recombinación de las anteriores. Debido al porcentaje alto de autofecundación que en el caso de amaranto alcanza un 70% y un 30 % de cruzamiento, al obtener una variedad se tiene el riesgo de que haya cruzamiento con otras variedades e incluso con especies no cultivadas, lo que implica que la variabilidad genética de interés inicialmente presente en las poblaciones pueda cambiar, por lo anterior, en amaranto preferentemente se deben mantener aisladas en espacio o tiempo, o distanciadas una de otra en espacio, las poblaciones a elegir como poblaciones de partida y se debe conocer el potencial de mejora de éstas, ya sean variedades

criollas o mejoradas, que serán la base para la mejora genética en una región.

2.5 Varianza genética y respuesta a la selección

La variación fenotípica se mide y expresa como varianza. Los componentes en los cuáles se divide la varianza fenotípica son la varianza genética y la varianza ambiental. Los componentes de la varianza genotípica, son la varianza aditiva, la de dominancia, la epistática y sus interacciones (Falconer, 1986). La varianza aditiva es importante de considerar ya que involucra el efecto medio de sustitución de los genes indeseables por los deseables bajo selección y representa el valor reproductivo de un individuo y su proporción en relación a la varianza fenotípica determina la heredabilidad del carácter y su respuesta a la selección.

Para el cálculo de la respuesta a la selección es importante determinar la heredabilidad. Existen dos tipos de heredabilidad: $H^2 = V_g/V_p$, donde H^2 = heredabilidad, V_g es la varianza genética total y la V_p la varianza fenotípica y esta proporción establece el grado en el cuál los fenotipos del individuo son determinados por sus genotipos, en este caso H^2 se define como heredabilidad en sentido amplio (Falconer, 1986). En cambio $h^2 = V_a/V_p$ donde h^2 = heredabilidad, V_a = la parte aditiva de la varianza genética, donde esta proporción expresa el grado en el cuál los fenotipos son determinados por los genes transmitidos por los progenitores, por lo que h^2 se conoce como heredabilidad en sentido estrecho y determina el grado de parecido entre parientes por lo que es la componente que tiene mayor importancia dentro de los programas de mejora genética (Falconer, 1986). Debido a que la heredabilidad es la proporción de la varianza total que es atribuible a los efectos medios de los genes y esto es lo que determina el grado de parecido entre parientes, h^2 y H^2 son muy importantes en el estudio genético de los caracteres métricos en cuanto a su valor predictivo, cuando están sujetos a selección ya que con la heredabilidad se expresa la confiabilidad del valor fenotípico como indicativo del valor reproductivo (Falconer, 1986).

De acuerdo con Falconer (1986) la selección significa reproducir con los mejores individuos cualquier cosa que signifique el término mejor. Por ello es importante

escoger plantas en base a sus propios valores fenotípicos. Para conocer el cambio de las propiedades genéticas de una generación a la siguiente, se tiene que comparar generaciones sucesivas.

Como respuesta a la selección se entiende el cambio producido por la selección que es principalmente debida a la media de la población. La respuesta a la selección es la diferencia del valor fenotípico medio de la progenie resultante del apareamiento de los progenitores seleccionados y el valor fenotípico medio de la generación paternal antes de la selección (Falconer, 1986).

La respuesta a la selección establecida en los términos anteriores, implica que para medirla se debe de cumplir un ciclo de selección el cual se da en diferentes tiempos; primero contar con la población a mejorar y seleccionar en ella los individuos progenitores de una nueva generación, segundo los progenitores deberán aparearse para generar la nueva generación y tercero se debe tener la población inicial, los progenitores y su progenie y calcular las medias fenotípica del carácter bajo selección en estas poblaciones y con ello estimar el diferencial de selección (D) como la diferencia entre la media la población original y la media de los progenitores y la respuesta a la selección (R) como la diferencia entre la media de la progenie de los progenitores respecto a la media de la población inicial. La proporción del valor de D que se realiza como R (R/D) se ha definido como heredabilidad realizada, a la cual se aproxima la h^2 . Sin embargo, R puede predecirse sin efectuar la selección, así la respuesta para la selección individual está dada por: $R_{si} = ih^2 \sqrt{V_p}$,

donde R_{si} = Respuesta la selección individual,

i =intensidad de selección tabulada en función de la presión de selección (p) expresada en %

h^2 = heredabilidad, pudiendo ser también H^2 y $\sqrt{V_p}$ = desviación estandard fenotípica de la población inicial (Falconer, 1986); así conocida la presión de selección (p) en %, se puede tener el valor de i de tablas y conociendo h^2 o H^2 del carácter bajo mejora y la $\sqrt{V_f}$ de la población inicial, se puede predecir R_{si} .

De la igualdad anterior se puede obtener la igualdad siguiente: $R_{si} = iV_a/\sqrt{V_f}$, donde V_a = varianza genética aditiva y $\sqrt{V_f}$ = desviación estandard fenotípica. De la

expresión anterior se han derivado las fórmulas de predicción de la respuesta a la selección para muy diversos métodos de mejora genética por selección familiar y combinada (Márquez, 1985).

2.6. Formación de variedades de polinización “abierta”

Estas variedades se mantienen por entrecruzamiento al azar por polinización y fecundación libre, partiendo de poblaciones ya existentes que se utilizan en la producción, para fines de mejora genética, se pueden obtener otras poblaciones por recombinación de las ya existentes, las cuáles se mantienen a través de las generaciones, dado que teóricamente son poblaciones en equilibrio genético.

2.6.1. Selección masal

Se puede entender como selección fenotípica y cuya unidad de selección es el individuo. En este tipo de selección se escoge un grupo de individuos fenotípicamente superiores debido a que su descendencia formará la próxima generación.

Este método es el más antiguo y simple y en un principio se consideró inefectivo debido a que no se tomaban en cuenta factores, como el aislamiento del lote de selección, la variación ambiental en el lote de selección y plantas con competencia completa. Esto aunado a la poca ganancia obtenida así como la aparición de híbridos hizo que decayera como método de selección en el caso del maíz.

Actualmente, la selección masal ha cobrado relevancia sobre todo cuando se realiza mejora poblacional en maíz al aislar el lote de selección, elegir un terreno con poca variación del suelo, desespigar plantas indeseables, dividir el lote de selección en sub-lotes y realizar selección dentro de ellos sólo de plantas con competencia completa, todo ello con el propósito de reducir los efectos del ambiente reducción de la frecuencia de genes indeseables producidos por las plantas no deseadas. Las ventajas que tiene este método hoy conocido como selección masal moderna o estratificada, es sencillo, lo puede realizar el agricultor, ya que en el campo es fácil identificar las mejores plantas dentro de una población, se utiliza mejor la variabilidad genética del germoplasma, ya que en el

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

campo se puede manejar un número grande de plantas, ello permite aplicar una mayor presión de selección, dado que cuando el número de plantas es menor no es posible realizar esto. Se requiere de un mínimo trabajo y conocimiento científico, en consecuencia una persona entrenada puede conducir varios lotes de selección masal al mismo tiempo. Es quizá el método de selección más económico.

Para realizar la selección masal se inicia con una población de amplia base genética es decir, heterogénea y heterocigótica, por lo general los caracteres que determinan el comportamiento agronómico de las plantas integrantes de este tipo de poblaciones, siguen una distribución normal. Por tal razón el propósito de la selección es elegir los individuos superiores, es decir, aquellos que caigan en el extremo positivo ó negativo de la curva según sea el carácter a seleccionar; los cuales se sembraran después en un lote aislado para su recombinación mediante entrecruzamiento. En este tipo de selección, ésta se dirige a la elección de individuos de mayor producción y valor agronómico, se tiene mayor éxito cuando se trata de caracteres de alta heredabilidad determinados en forma aditiva ya que los genes se acumulan y no pierden su acción al segregar, es decir se adicionan año con año los genes deseables.

En general la selección en plantas alógamas se efectúa antes de cosechar las plantas. No obstante, la contribución de las plantas seleccionadas a la nueva generación puede disminuir considerablemente debido a que gran parte de estas pudieron haber sido polinizadas por plantas desechadas es decir, que los genes de éstos también hayan intervenido en la formación de la siguiente generación.

En este tipo de plantas los fenotipos seleccionados no son idénticos a los progenitores porque la selección actúa sobre los genes que se unen al azar (efecto medio de sustitución) para formar los genotipos de la nueva generación. Es decir que cada ciclo reproductivo los genotipos se destruyen, por ello el fitomejorador deber seleccionar los mejores fenotipos para entrecruzarlos y así formar nuevos y de mayor potencial productivo.

La efectividad de la selección masal depende entre otros factores de los caracteres en estudio y del tipo de heredabilidad que éstos tengan. Es más

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

efectiva para aquellas características de alta heredabilidad como altura de planta, precocidad, prolificidad, alto contenido de proteínas y adaptabilidad

Dado que el ambiente afecta las características de baja heredabilidad, la ganancia obtenida de la selección masal es pequeña, por lo tanto la selección masal es eficiente para características que demuestran una alta correlación entre fenotipo y genotipo. La selección masal aprovecha solamente la varianza aditiva, por ello, a medida que los ciclos de selección se prolongan, se aumenten las frecuencias génicas del carácter bajo selección y a la larga la varianza aditiva se reducirá y con ello la respuesta a la selección. El propósito de la selección es incrementar la frecuencia de plantas con genotipos superiores en la población, es decir, a mayor frecuencia de las combinaciones de los genes deseables, mayor será la posibilidad de encontrar plantas individuales recombinadas al azar que en su genotipo incorporen los genes deseables, la precisión de esta no es tan eficiente como cuando se evalúan las progenies en ensayos de rendimiento. De ahí que el éxito de la selección masal se deba a los siguientes factores: amplia variabilidad genética, técnicas adecuadas de campo para reducir la componente ambiental, y alta heredabilidad del carácter a seleccionar.

2.6.2 Selección familiar

En la selección familiar la unidad de selección es la familia, donde la selección se practica entre las unidades que pueden ser: familias de medios hermanos maternos (MH), medios hermanos paternos (MP), familias de hermanos completos (HC) y familias de auto-hermanos (AH) o líneas S1 (Molina, 1992) y en consecuencia se tienen tantos métodos de selección familiar y sus variantes al seleccionar entre familias y dentro de familias (Márquez 1985). Una familia de medios hermanos es un grupo de individuos que tienen en común solo el progenitor femenino o el masculino, en el primer caso, la familia será de MHM y de MHP en el segundo. Los individuos provenientes de las semillas de una planta polinizada libremente son MHM; este es el caso de plantas provenientes de los granos de una mazorca de maíz de polinización libre.

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Las semillas provenientes de plantas polinizadas por una misma planta ó las semillas provenientes del cruzamiento de dos plantas dan lugar a una familia de MHP. Una familia de HC es aquella cuyos individuos tienen en común tanto al progenitor femenino como al masculino. Una familia de AH es aquella cuyos individuos provienen del apareamiento de un individuo con sí mismo, es decir de una planta autofecundada o línea S1.

La selección entre familias es la selección familiar y se requiere de evaluar ó ensayar las familias por prueba de progenie. La evaluación de una familia de MHM es en sí la prueba de progenie de su progenitor femenino. La evaluación de las familias de MHP corresponde a la prueba de progenie del progenitor masculino. La evaluación de familias de HC corresponde a la prueba de progenie de los dos progenitores y la selección familiar de AH es la prueba de la progenie que resulta de la unión de los gametos de una misma planta. Las semillas remanentes de las familias seleccionadas mediante las pruebas de progenie se recombinan para obtener una nueva población mejorada.

2.6.3. Selección combinada

Es una combinación de la selección entre familias (intrafamiliar) y dentro de las familias (interfamiliar), (Márquez, 1985). La semilla de las mejores plantas seleccionadas dentro de las mejores familias seleccionadas mediante prueba de progenie se siembra para lograr la recombinación entre todas ellas con el fin de obtener una nueva población mejorada.

2.6.4. Tipos de familias en amaranto e implicaciones en la predicción de la respuesta a la selección familiar y combinada.

Dado que el amaranto tiene una inflorescencia compleja con flores femeninas y masculinas y por tanto tiene un sistema de reproducción con autofecundación predominante (70-95 %) y también un porcentaje considerable de polinización cruzada (5-30%), es importante tomar en consideración este aspecto cuando se habla en esta especie de las familias típicas antes mencionadas ya que es difícil establecer la relación de parentesco en la progenie de una planta de amaranto,

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro

pues en ella se espera tener progenies en una proporción del 70-95%, (aunque en la realidad desconocido) de familias de AH mezcladas con 5-30% (también desconocido en la realidad) de progenies del tipo de MHM. Por el tipo de inflorescencia es difícil, si no imposible, formar artificialmente familias de MHM, MHP y HC, en tanto que las familias de AH serán fáciles de formar bastando cubrir una panícula con una bolsa de papel y obtener semilla de autofecundación.

Por lo anterior la predicción de la respuesta a la selección familiar entre familias formadas por una mezcla de progenies provenientes de plantas polinizadas libremente y por autofecundación, deberá considerar que la relación de parentesco entre las plantas que las integran, no permite definir estrictamente si son MHM, MHP, HC o AH. Lo anterior no permite estimar por covarianza entre parientes la equivalencia genética de la varianza genética aditiva que se utiliza en la estimación de la h^2 usada en la formula de predicción de la respuesta a la selección individual y la varianza aditiva utilizada en las formulas de la respuesta a la selección de los diversos métodos de selección familiar y combinada, por lo que un artificio posible es utilizar la H^2 en sustitución de la h^2 , no obstante que en este caso se pueda sobreestimar la respuesta a la selección.

2.7. Vigor híbrido y variedades híbridas

La heterosis es un fenómeno en el cual la descendencia tiene un valor más alto que los progenitores. La androesterilidad masculina permite la formación de híbridos en las variedades cultivadas de cultivos como sorgo, maíz, arroz soya y cucurbitáceas, etc. En amaranto, algunos autores han encontrado híbridos espontáneos de cruza entre plantas de una misma especie y entre plantas de especies diferentes en colecciones de germoplasma (Peters y Jain, 1987) (Brenner, 1993).

Pandey, (1984) analizó la heterosis para rendimiento en *Amaranthus hybridus* de 30 híbridos, 7 híbridos rindieron mejor que los progenitores a los cuales superaron de un 33 a 71%. Muchos resultados sugieren que la heterosis se puede incrementar utilizando progenitores diversos genéticamente. La heterosis para rendimiento de grano y producción de biomasa parece promisoría en amaranto.

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Los híbridos en amaranto se han realizado cruzando algunas variedades de la misma especie así como entre diferentes especies principalmente *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus hybridus*, de hecho estas cruces y las líneas avanzadas de estas cruces, constituyó la mayoría del material genético que se sembró en Estados Unidos en el año de 1988, estas líneas rindieron mejor que la mayoría de los criollos mexicanos, ya que la mayoría tenían hábito sin ramificar precocidad y buen rendimiento. La progenie segregante de generaciones F2 y F3, actualmente se cultivan en gran escala en África, Asia y algunas regiones de América. Los objetivos que se buscan al realizarse las cruces en Estados Unidos son: reducción de la altura de la planta, disminuir la dehiscencia de la semilla, buena calidad nutritiva de la semilla así como altos rendimientos (Kauffman, 1992; Pal y Khoshoo, 1972) formaron híbridos al cruzar diferentes especies: los híbridos de *Amaranthus edulis* y *Amaranthus hypochondriacus* mostraron que hay ruptura en el endospermo, mortalidad de plántula, formación de protuberancias en los tallos parecido a tumores, deformación de flores y esterilidad en los híbridos.

Márquez (1990) sugiere que la formación de híbridos en amaranto puede lograrse si existiera androesterilidad génica o génica-citoplásmica. Después se haría la selección de fenotipo más adecuado, es necesario que se registre la superioridad del híbrido sobre las variedades progenitoras ya que esto nos permitiría apreciar que tan adecuado es utilizar híbridos en amaranto. Según Pandey y Pal 1985, al realizar cruces dialélicas en F1 y F2 de seis genotipos de *Amaranthus hypochondriacus* encontraron que los híbridos excedieron a la media de los progenitores y en algunos casos algunos excedieron al mejor progenitor, esto indica la existencia de heterosis.

2.7.1 Perspectivas para formar variedades híbridas

El amaranto es considerado parcialmente alógama (Hauptli, 1990), además de que su sistema reproductivo tiene flores masculinas y femeninas dentro de la misma panícula, generalmente en los amarantos para grano representa una proporción de una flor masculina rodeada de cuatro ó cinco flores femeninas. El tamaño pequeño de las estructuras florales hace tedioso realizar los

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

cruzamientos. En este caso se deberá de encontrar plantas andro-estériles en cualquiera de las especies disponibles en el país y que permitan aprovechar esta características, como ha sido el caso en otros cultivos. De acuerdo a varios autores (Pal ,1972; Pal y Khoshoo 1972 y Pandey 1984) los cruzamientos llevados a cabo en varias especies de amaranto han tenido problemas en cuanto a mortalidad de planta, grano con problemas de rotura, hojas con problemas parecido a virus. Sin embargo las cruza inter-especificas realizadas entre *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus* y sus reciprocas, observadas a nivel de desarrollo de tubo polínico, permiten deducir que las cruza entre esas dos especies que se cultivan en el país son viables, ya que se observó un buen desarrollo del crecimiento del tubo polínico en las especies ensayadas (Alejandre, 1990)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

2.8. Objetivo general y objetivos particulares.

El objetivo general del presente estudio fue el de introducir al Noreste de México variedades criollas de la especie de *Amaranthus cruentus* L. como un posible cultivo de alternativa, para lo cual se establecieron los objetivos particulares siguientes:

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Color de fuente:Negro, Español (México)

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

a) Con progenies de plantas (familias) tomadas dentro de cada variedad, determinar para rendimiento de grano por planta, parámetros genéticos y la respuesta a la selección para establecer el potencial de mejora de cada variedad.

b) Dentro de cada variedad, avanzar en la selección mediante la identificación de las mejores familias que podrían seleccionarse bajo dos modalidades de selección familiar.

c) Del grupo de variedades criollas de *Amaranthus cruentus*, identificar aquellas que por su adaptación podrían recomendarse para la producción en la región de Marín N. L. como representativa del Noreste de México.

III MATERIALES Y METODOS

3.1 Sitio experimental y condiciones agro-ecológicas

Los trabajos experimentales se realizaron en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la U. A. N. L. en el Municipio de Marín, N. L. , localizado en el Km 17.5 de la carretera Zuazua-Marín, ubicado en las siguientes coordenadas: 25° 53' latitud norte y 100° 02' longitud oeste, a una altura de 400 msnm (INEGI,1996). El Municipio de Marín N. L. presenta un clima del tipo BS1(h')hx?(e'), característico de un clima semidesértico en donde la temperatura es superior a los 40 °C en el verano e inferior a 0 °C en el invierno(García,1964). Los tipos de suelo que se presentan en el área experimental son de tipo calcáreo sedimentario. La textura es arcillosa y varía con la profundidad; el horizonte C tiene un 63.3% de arcilla, el horizonte B 58.4% y el horizonte A un 52.4%, mientras que el ph es de 7.9 y casi no se altera con la profundidad, teniendo valores similares para los tres horizontes. La materia orgánica disminuye con la profundidad existiendo un 22.07 % a una profundidad de 25 cm y a los 125 cm se tiene 0.1%. Similarmente los elementos N, P, K disminuyen en cantidad conforme se tiene mayor profundidad. En cuanto a vegetación predomina el matorral xerófito caducifolio

3.2 Material genético utilizado

El material genético utilizado en todos los ensayos fueron variedades nativas autóctonas o criollas en las regiones productoras de amaranto que fueron colectadas durante recorridos realizados en los años de 1999 a 2003, como parte de un proyecto de conservación de germoplasma de amaranto realizado en el CIIDIR-IPN Unidad Durango (Alejandre, 2003).

Los viajes de colecta se realizaron durante los meses de septiembre a diciembre de cada año, se visitaron las regiones productoras de amaranto en épocas de cosecha para poder observar en el campo el material genético a coleccionar en los estados de Guerrero, Morelos y Puebla.

Con formato: Fuente:Sin Negrita

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

En virtud de la gran cantidad de semilla que por panícula se produce en amaranto, el tamaño de muestra para representar cada variedad criolla colectada fue de diez panículas representativas seleccionadas dentro de cada una de las diez variedades criollas y una onceava variedad que solo estuvo representada por tres panículas, para un total de once variedades criollas. Cada una de las panículas que integraron la muestra representativa de cada variedad criolla, se cosechó por separado y se guardó cada una por separado en una bolsa de papel. Posteriormente se desgranaron la panículas conservando su individualidad, la semilla se secó y se identificó con el nombre de la variedad criolla por el cuál es conocida en cada sitio de colecta y además el número progresivo del uno al diez y uno al tres de las panículas representativas que se colectaron en las diez y once variedades criollas, la semillas se guardó en frascos de plástico y se conservó identificada finalmente con el nombre de la variedad criolla correspondiente y el número de la panícula colectada para representar la variedad. La semilla de cada panícula para representar cada variedad criolla se identificó como familia, de tal forma que finalmente se contó con 10 variedades criollas cada una con 10 familias y otra variedad criolla con tres familias para un total de 11 variedades criollas.

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

3.3 Ciclos agrícolas de evaluación

Con formato: Fuente:Sin Negrita

3.3.1Ciclo 1 OI (Otoño-Invierno) ó Temprano 2003

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Se utilizaron once variedades de amaranto se establecieron en este ciclo agrícola en la localidad de Marín N. L. Diez variedades se establecieron cada una por separado en diez experimentos bajo el diseño de dos bloques completos al azar con 14 tratamientos: 10 familias de cada una y cuatro testigos que fueron un compuesto balanceado de las 10 familias y las variedades criollas Huazulco, Acapetlahuaya y la variedad # 33 (EUA). Un onceavo experimento consistió de 7 tratamientos a saber: 3 familias y los cuatro testigos antes mencionados (Cuadro 1).

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

La siembra experimental de los once experimentos se realizó el 7 de abril del 2003, bajo un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones en parcelas de cuatro surcos separados a 0.8 m y de 5 m de largo.

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Cuadro 1. Experimento para cada variedad criolla de *Amaranthus cruentus* con sus tratamientos, sembradas en la FAUANL, Marín N. L. Diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. Ciclo Otoño-Invierno, OI 2003.

| Experimento | Número de variedad criolla | Variedad criolla y origen. | Numero de familias | Numero de testigos * | Total de tratamientos |
|-------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 1 | Santiago X. Gro | 10 | 4 | 14 |
| 2 | 2 | Cuexcomapa Gro. | 10 | 4 | 14 |
| 3 | 3 | La Loma, Gro. | 10 | 4 | 14 |
| 4 | 4 | Morelos Morada | 10 | 4 | 14 |
| 5 | 5 | Morelos Cuarteada | 10 | 4 | 14 |
| 6 | 6 | Morelos Rosada | 10 | 4 | 14 |
| 7 | 7 | Morelos Anaranjada | 10 | 4 | 14 |
| 8 | 8 | Morelos Amarilla | 10 | 4 | 14 |
| 9 | 9 | La Esperanza, Gro. | 10 | 4 | 14 |
| 10 | 10 | Santiago Tetla, Pue. | 10 | 4 | 14 |
| 11 | 11 | Chilapa, Gro. | 3 | 4 | 7 |

* Testigos: Un compuesto balanceado de las familias y tres variedades criollas: Huazulco, Acapetlahuaya y 33 (EUA).

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Cursiva

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:Negrita

Con formato: Fuente:10 pto

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

La siembra se efectuó colocando la semilla en el fondo del surco en suelo húmedo, posteriormente se cubrió con una capa ligera de tierra. La emergencia de las plántulas se observó a los tres días de haber efectuado la siembra. Se realizaron deshierbes manuales, el raleo se realizó cuando las plantas alcanzaron una altura promedio de 0.4 m., dejando alrededor de 50 plantas separadas a una distancia aproximada de 0.1 m. Se suministraron tres riegos de auxilio durante el ciclo del cultivo. La variable estudiada fue el rendimiento de grano por planta. Se cosecharon manualmente las plantas con competencia completa presentes en cada parcela, desgranándolas individualmente para medir el rendimiento de grano en gramos por planta. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico de Olivares (1996).

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Dependiendo de la adaptación de cada variedad criolla sembrada en cada experimento, se programó cosechar solo aquellas de mejor adaptación y por ser muy pequeños los ensayos y con solo dos repeticiones se programó efectuar los análisis de varianza del rendimiento por planta promedio de los tratamientos aleatorizados en los dos bloques bajo el diseño de bloques completos al azar, y si no había diferencia entre bloques proceder a efectuarlos nuevamente como un diseño completamente al azar considerando como repeticiones para cada tratamiento o familia el total de plantas cosechadas en los dos bloques de tal manera que se pudieran detectar diferencias significativas entre familias y testigos.

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

3.3.1.1 Parámetros genéticos y respuesta a la selección OI 2003

Mediante las esperanzas del cuadrado medio de tratamientos y el cuadrado medio del error experimental del diseño completamente al azar, bajo el modelo II (Steel y Torrie, 1980), se estimó la varianza genética total como:

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

$$V_t = V_g = (CMT - CME) / r_o \quad (1)$$

donde

V_t = varianza entre tratamientos estimada por esperanza de cuadrados medios del diseño completamente al azar (Cornide *et al*, 1985).

Vg = varianza genética total entre tratamientos solo para 10 familias y tres familias en el experimento once.

CMT = Cuadrado medio de tratamiento solo para 10 familias en los 10 experimentos y tres familias en el experimento once.

CME = Cuadrado medio del error, como estimador de la varianza ecológica (Ve) ó ambiental

ro = número de repeticiones ajustado como $ro = (\sum ri - \sum r^2 / \sum ri) / 1/t$

donde:

r= número de repeticiones y

t = número de tratamientos (Steel y Torrie, 1980)

La heredabilidad en sentido amplio se estimó como:

$$H^2 = Vg/CMT \quad (2)$$

Donde:

H² = Heredabilidad en sentido amplio

Vg = Varianza genética total entre tratamientos solo para 10 familias y tres familias en el experimento once, estimada como en la igualdad (1)

CMT = Cuadrado medio de tratamientos solo para 10 familias y tres en el experimento once (Cornide *et al* , 1985) como estimador de la varianza fenotípica (Vf)

El porcentaje de polinización cruzada y de autofecundación han sido consideradas que respectivamente varían de un 2.5 a un 34 % y de un 77.5 al 66 %, sin embargo en las familias representativas de cada una de las variedades criollas se desconocen el % de polinización cruzada y el % de autofecundación. Por lo anterior, se procedió a calcular: a) la respuesta absoluta a la selección individual (RSI), b) la respuesta a la selección familiar considerando las familias como de medios hermanos maternos(RSFMHM) asumiendo 100% de polinización cruzada y c) la respuesta predicha a la selección entre familias como producto del diferencial de selección y la heredabilidad en sentido amplio. Las tres formas de estimación de la repuesta a la selección, fueron como sigue:

a) Respuesta esperada a la selección individual (RSI)

$$RSI = i H^2 \sqrt{V_f} \quad (\text{Falconer, 1986}) \quad (3)$$

Donde: i = intensidad de selección con valor tabular de 1.4 correspondiente a una presión de selección (p) del 20%.

H^2 = Heredabilidad en sentido amplio calculada como en la igualdad (2)

$\sqrt{V_f}$ = Desviación estándar fenotípica entre familias calculada como CMT, donde CMT = cuadrado medio entre familias.

b) Respuesta predicha a la selección familiar de familias de medios hermanos maternos (RPSFMHM1).

$$RPSFMHM1 = [i(1/4V_a)] / \sqrt{V_f} \quad (\text{Márquez, 1985}) \quad (4)$$

Donde: i = 1.4 valor tabulado a una presión de selección (p) del 20 %

$1/4V_a$ = $1/4$ de la varianza genética aditiva V_a que es equivalente a $1/4$ de la varianza genética (V_g) (Márquez, 1985) calculada como la igualdad (1)

c) Respuesta predicha a la selección entre familias (RPSF1)

$$RPSF1 = D \cdot H^2 \quad (\text{Márquez, 1985}) \quad (5)$$

Donde:

D = Diferencial de selección

D = Media de las 10 familias (ó 3) ensayadas - media de las dos familias seleccionadas ($p=20\%$).

H^2 = Heredabilidad en sentido amplio calculada como la igualdad (2)

Con lo anterior, se identificaron las variedades criollas que presentaron el mayor potencial de mejora para el carácter de rendimiento de grano por planta, identificando aquellas bajo cuatro criterios.

1) Aquellas que presentan mayor Respuesta Media estimada como: $(RSI + RPSFMHM1) / 2$

2) Aquellas que combinaron la mayor Respuesta Media y la mayor varianza genética.

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

3) Aquellas que presentan la mayor RPSF1

4) Considerando en conjunto los criterios 1,2 y 3

3.3.2 Ciclo 2 PV (Primavera-Verano) ó Tardío, 2003

La siembra experimental se realizó el 7 de septiembre de 2003, estableciendo los mismos once experimentos con los mismos tratamientos, repeticiones y diseño experimental del ciclo anterior, solo la longitud de las parcelas experimentales se redujo a 3 m.

La semilla se colocó en el fondo del surco en suelo húmedo, posteriormente se cubrió con una capa ligera de tierra. La emergencia de las plántulas se observó a los cuatro días de haber efectuado la siembra. Se realizaron deshierbes manuales, el raleo se realizó cuando las plantas alcanzaron una altura promedio de 0.20 m., dejando las plantas separadas a una distancia aproximada de 0.1 m. Se suministraron tres riegos de auxilio durante el ciclo del cultivo. La variable estudiada fue: rendimiento de grano por planta. Se cosecharon manualmente plantas con competencia completa presentes en cada parcela, desgranándolas individualmente para medir el rendimiento de grano en gramos por planta. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico de Olivares (1996) bajo el diseño de completamente al azar tomando seis plantas con competencia completa de cada uno de los 2 bloques para un total de 12 plantas que se consideraron como repeticiones en cada tratamiento. Es importante hacer notar que durante el período de crecimiento del cultivo se presentaron las lluvias en forma constante que impidieron realizar las labores de cultivo en forma adecuada, por las condiciones del terreno la variedad criolla 10 se perdió por arrastre del agua de lluvia por lo que no se tuvieron datos que analizar.

3.3.2.1 Parámetros genéticos y respuesta a la selección PV 2003

Mediante las esperanzas de cuadrados medios de tratamientos y cuadrados medios del error experimental del análisis de varianza (Steel y Torrie, 1980) bajo el modelo II, se la estimaron la varianza genética total (V_g) y la heredabilidad en

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

sentido amplio (H^2), respectivamente como en las igualdades (1) y (2) descritas para el ciclo agrícola OI del 2003.

El amaranto es una especie monoica con arreglo de flores femeninas y masculinas próximas dentro de la misma panícula, por lo que la especie está considerada como una predominantemente autógama; sin embargo no se conoce el grado de autogamia en las variedades criollas de amaranto bajo estudio en el ambiente de evaluación, por lo que se estimó la respuesta a la selección en cuatro modalidades que se dan a continuación.

a) La respuesta a la selección individual (RSI), como en la igualdad (3) descrita para el ciclo OI-2003,

b) La respuesta predicha a la selección familiar como RPSFMMH2:

$$RPSFMMH2 = RSI [1 + (n-1)r] / [n(1+(n-1)t)] \quad (6) \quad (\text{Falconer, 1986})$$

donde:

RPSFMMH2 = Respuesta predicha a la selección familiar de medios hermanos maternos 2

RSI = Respuesta a la selección individual calculada como en la igualdad (3)

n = número promedio de plantas en cada familia

r = 1/4 para familias de medios hermanos

t = "Grado de parecido entre grupos o correlación intraclase expresada como la proporción de la componente entre grupos" (varianza entre familias) como una proporción de la varianza total" (Falconer, 1986), calculada como sigue:

$$t = V_b / (V_b + V_w)$$

Donde:

V_b = varianza fenotípica entre familias como numerador, estimada por el cuadrado medio de tratamientos (CMT) y

V_w = Varianza dentro de familias, así:

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

$(V_b + V_w)$ = varianza total como denominador, estimada por el cuadrado medio total (CM Total), resultando que:

$t = CMT/CM \text{ Total}$

c) La respuesta media calculada como $R_{media} = (RSI + RPSFMHM2)/2$, donde RSI se estimó como en la igualdad (3) y RPSFMHM2 se estimó como en la igualdad (6).

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

d) La cuarta y última estimación de la respuesta a la selección entre familias fue efectuando parcialmente la selección familiar, para lo cual se calculó como la respuesta predicha a la selección familiar (RPSF1) como se indica en la igualdad (5).

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con lo anterior, se identificaron las variedades criollas que presentaron el mayor potencial de mejora como aquellas que agrónomicamente se adaptaron bien al ciclo PV 2003 teniendo alto rendimiento de grano, y que bajo la tercera (a) y cuarta modalidad (d) de estimación de la respuesta a la selección se ubicaran con la mayor respuesta esperada a la selección.

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial, Sin Negrita

3.3.3 Ciclo 3 OI (Otoño- Invierno) ó Temprano 2004

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

La siembra experimental de diez variedades criollas, cada una como un experimento con 10 familias y el compuesto balanceado de ellas como testigo para un total de 11 tratamientos y dos repeticiones bajo un diseño de bloques completos al azar se realizó el 26 de marzo del 2004, la unidad experimental consistió de cuatro surcos separados a 0.8 m y de 1.2 m de largo, en camas con riego por goteo con cintillas y la semilla se colocó en el fondo del surco y se cubrió con una capa ligera de tierra húmeda. Después de la emergencia se eliminaron plántulas cuando alcanzaron una altura promedio de 0.20 m. dejando una a cada 0.1 m. Se suministraron tres riegos de auxilio durante el ciclo del cultivo y se hicieron deshierbes manuales

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

De las diez variedades criollas (la variedad 11 del Cuadro 1 se eliminó en este ciclo) siete se adaptaron al ambiente de trabajo, siendo las que se utilizaron para la obtención de datos de la variable rendimiento de grano por planta en gramos.

Se cosecharon manualmente un número variable de plantas con competencia completa, desgranándolas individualmente para medir el rendimiento de grano en gramos por planta, dejando de 9 a 12 plantas con competencia completa por familia o tratamiento, ignorando bloques, las cuales se consideraron como las repeticiones. Se procedió al análisis de varianza bajo el diseño completamente al azar con las 10 familias como tratamientos con número variable de plantas o repeticiones en cada una de ellas, utilizando el paquete estadístico de Olivares (1996).

3.3.3.1 Parámetros genéticos y respuesta a la selección OI 2004

La varianza genética total se estimó como en la igualdad (1) y la heredabilidad en sentido amplio como en la igualdad (2).

Un segundo análisis estadístico involucró las 10 familias y el compuesto balanceado el cuál se denominó como variedad original, para tener un total de 11 familias o tratamientos; así, de haber diferencias entre tratamientos, las diez familias se compararían respecto al compuesto balanceado para seleccionar las dos mejores ($p = 20\%$) y dentro de cada variedad criolla (experimento) se estimó el diferencial de selección (D) como la diferencia entre el promedio de las dos familias seleccionadas y el compuesto balanceado o variedad original. Se estimó la respuesta a la selección en cinco modalidades:

a) - Respuesta a la selección individual (RSI) como en la igualdad (3) (Falconer, 1986).

b).- La respuesta a la selección familiar (RSF) dada en la igualdad (6).

c).- La respuesta esperada promedio a la selección fue: $RS_{media} = (RSI + RSF)/2$, donde RSI se estimó como en la igualdad (3) y RSF como en la igualdad (6).

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

d).- Respuesta predicha a la selección entre familias (RPSEF2)

$$RPSEF2 = D \cdot H^2 \quad (\text{Márquez, 1985}) \quad (5)$$

Donde:

D = Diferencial de selección, donde:

D = En vez de calcularlo como: Media de las dos familias seleccionadas menos la media de las 10 familias ensayadas en el caso de los dos ciclos anteriores, en este ciclo tres se calculó como la diferencia entre la media de las dos familias seleccionadas menos la media del tratamiento correspondiente al compuesto balanceado de las 10 familias como representativo de la variedad original.

H^2 = Heredabilidad en sentido amplio calculada como la igualdad (2)

e).- La respuesta esperada promedio a la selección fue $R_{media} = (RSI + RSF)/2$, donde RSI se estimó como en la igualdad (3) y RSF como en la igualdad (6).

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Se identificaron las variedades criollas que presentaron el mayor Potencial de mejora (PM) como aquellas que presentaron los valores mas altos en R_{media} como en (e) y R_{PSF2} como en la igualdad (5), inciso (d).

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

3.4 Ciclos Agrícolas OI 2003, PV2003 y OI 2004

Los datos de rendimiento por planta de los tres ciclos agrícolas se ordenaron por ciclo, variedades y familia, se realizaron en campo tres ciclos agrícolas, se trabajó con seis variedades, en los tres ciclos cada variedad estuvo constituida por nueve familias.

3.4.1 Identificación de las mejores variedades en los tres ciclos.

En amaranto, por el tamaño de semilla es difícil obtener una distancia uniforme entre plantas la que se incrementa por fallas y por esta causa y por la variabilidad genética en las variedades criollas de amaranto, se observan valores extremos en rendimiento por planta que se alejan de la media de las plantas que constituyen una progenie o familia, para realizar el análisis de los datos de rendimiento de las

plantas que formaban cada una de las familias de las variedades criollas que resultaran adaptadas a los tres ciclos, se procedió de una manera no ortodoxa, que fue la de obtener la media con todas las plantas de cada familia ignorando ciclos, se calculó la desviación estándar de la familia y se eliminaron los datos de rendimiento de aquellas plantas con rendimiento por arriba y por debajo de la desviación estándar (68% de la distribución), de tal manera que procediendo así para cada familia, las medias de ellas estarían mejor estimadas y con ello si existían diferencias entre las medias de las familias, estas serían detectadas por el análisis de varianza, al considerar las familias como repeticiones dentro variedad. El análisis de varianza se realizó utilizando un arreglo factorial A x B, donde el factor A = ciclos, a1= ciclo OI 2003, a2= ciclo PV 2003 a3= ciclo OI 2004 y B = variedades, b1= variedad 1, b2= variedad 2, b3= variedad 3, b4= variedad 4, b5= variedad 5 y b6 = variedad 6, para tener 18 tratamientos, los cuáles en el análisis de varianza se descomponen en las fuentes de variación A,B y la interacción A x B. Los promedios de las plantas de cada familia calculados con la corrección antes mencionada constituyeron las repeticiones. Donde se detectaron diferencias significativas entre niveles de A, B o para la interacción A x B, se procedió a una comparación de medias por la DMS al nivel de probabilidad de 0.05.

3.4.2. Selección Familiar Convergente-Divergente (Márquez, 1985).

Para identificar las 2 mejores familias en cada ciclo ($p = 20\%$), se corrió un análisis de varianza (ANVA) para cada una de las seis variedades en cada uno de los tres ciclos, 18 ANVAS en total, considerando en cada ANVA de cada variedad en cada uno de los tres ciclos, 3 ANVAS por variedad, a 9 familias como tratamientos bajo un diseño completamente al azar, las repeticiones fueron los datos de rendimiento de grano por planta corregidos en cada ciclo como antes se ha dicho. Cuando en los ANVAS se detectó diferencia significativa entre tratamientos o familias, se procedió a una prueba de comparación de medias por la DMS al 0.05 nivel de probabilidad. Para identificar las dos mejores familias de una misma variedad en cada ciclo, se procedió a considerar numéricamente las dos familias con la media mas alta, independientemente que estas hayan sido o no superiores

estadísticamente a la media de las otras 7 familias, logrando así tener finalmente dos familias para cada uno de los tres ciclos para un total de seis familias, Se consideraron para seleccionar solo las familias, que aun que repetidas estuvieran presentes dentro de las 6 familias resultantes; estas familias serían las que irían a converger a un ciclo agrícola de recombinación para obtener la población ciclo uno de selección familiar convergente divergente, para luego formar nuevas familias que divergirían a nuevos ciclos de evaluación, y así sucesivamente.

3.4.3 Selección Familiar Promedial (Márquez, 1985).

El análisis estadístico se realizó bajo un diseño completamente al azar con diferente número de repeticiones por tratamiento, donde los tratamientos correspondieron a las nueve familias. Las repeticiones en cada una de las nueve familias fueron los datos de rendimiento por planta de cada familia en los tres ciclos, corregidos mediante el procedimiento antes descrito. Resultando así 6 ANVAS y donde se detectaron significativas entre tratamientos se procedió a una prueba de comparación de medias por la DMS al 0.05 nivel de probabilidad. Para identificar las dos mejores familias de cada variedad ciclo, se procedió a considerar numéricamente las dos familias ($p = 20\%$) con la media mas alta, calculada al considerar todos los datos de los tres ciclos, de aquí el nombre de promedial, independientemente que estas hayan sido o no superiores estadísticamente.

Con formato: Fuente:(Predeterminada)Arial

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

~~DE COLECTAS~~ 4.1 CICLO OI 2003, PARÁMETROS GENÉTICOS Y RESPUESTA A LA SELECCIÓN

4.1.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN CICLO OI 2003

En los 11 experimentos, cada uno con una variedad criolla teniendo sus familias como tratamientos, el correspondiente a la variedad 3 presentó bajo establecimiento y la 2, 9 y 11 fueron sensibles al fotoperíodo, presentando crecimiento vegetativo predominante, con variación en altura de 1.8 a 2.2 m, y la maduración de semilla se registró después de los 150 días, teniendo una panícula muy pequeña y un rendimiento de grano muy bajo; resultados similares a los encontrados por Pal (1974) en la India y Lehmann *et al* (1991) en los EUA con germoplasma introducido. Estas tres variedad criollas, fueron consideradas como de escaso potencial de rendimiento de grano y no idóneas para su utilización en la producción en el noreste de México. Las otras 7 variedad criollas se preseleccionaron y reidentificaron con un número progresivo, como aparecen en el Cuadro 2, en el cual se puede apreciar que en esas variedad criollas, el ciclo de cultivo varió de 80 días a 120 días, asimismo se observó un adecuado desarrollo vegetativo con temperatura promedio de 27 °C, situación similar encontrada por Fuller (1949), Singh (1961), Zabka (1961) y Angus *et al* (1982), autores que hacen referencia a la influencia del termoperíodo en el desarrollo del amaranto.

La variedad criolla 1 Santiago Xochistlahuaca, registró la mayor precocidad, 80 días de siembra a cosecha, en tanto que las otras seis variedad criollas tuvieron un ciclo biológico de 110 a 120 días; esto último similar a lo registrado por García (2002) para la variedad criolla # 33 de *Amaranthus cruentus* en experimentos realizados en Marín, N. L. en los ciclos PV 2000, OI 2001 y OI 2002.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Cuadro 2. Variedades criollas de *Amaranthus cruentus* L. preseleccionadas en Marín N. L., ciclo OI 2003.

| Ensayo No | Número de variedad criolla sembrada | Nombre de la Variedad criolla | Nuevo número para las variedades adaptadas | Días de siembra a cosecha |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------|
| 1* | 1 | Santiago X. Gro | 1 | 80 |
| 2 | 2 | Cuexcomapa, Gro. | No adaptada | Mas de 150 |
| 3 | 3 | La Loma, Gro. | No adaptada | Mas de 150 |
| 4 | 4 | Morelos Morada | 2 | 120 |
| 5 | 5 | Morelos Cuarteada | 3 | 110 |
| 6 | 6 | Morelos Rosada | 4 | 120 |
| 7 | 7 | Morelos Anaranjada | 5 | 115 |
| 8 | 8 | Morelos Amarilla | 6 | 120 |
| 9 | 9 | La Esperanza, Gro. | No adaptada | Mas de 150 |
| 10 | 10 | Santiago Tetla, Pue. | 7 | 115 |
| 11 | 11 | Chilapa, Gro. | No adaptada | Mas de 150 |

*Del ensayo 1 al 10 se tuvieron 14 tratamientos 10 familias y 4 testigos. El ensayo 11 tuvo 7 tratamientos, 3 familias y 4 testigos.

Dado que el ciclo OI corresponde a las siembras comprendidas de febrero a junio, y estos experimentos fueron sembrados el 7 de abril del 2003, el cultivo prosperó en sus etapas iniciales con temperaturas frescas y en floración y llenado de grano enfrentó temperaturas altas, por lo que estos resultados corroboran lo informado por varios autores (Coons, 1982, Kulakow y Jain 1986, Grubben y Sloten, 1981) con respecto a que *Amaranthus cruentus* se desarrolla adecuadamente en condiciones de temperatura superiores a 25 °C y localidades con altitud sobre el nivel del mar inferior a los 1000 m, como ocurrió en el ciclo OI 2003 en la localidad de estudio.

Los resultados de los análisis de varianza indicaron que no hubo diferencia significativa entre las medias de las accesiones ni entre los dos bloques, lo cual

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

pudo ser debido a que se tuvieron muy pocos grados de libertad en el error y un valor de F muy pequeño, por lo que se procedió a analizar nuevamente los datos de cada experimento correspondiente a cada variedad criolla, bajo un diseño completamente al azar utilizando como repeticiones para cada familia o tratamiento el número de plantas cosechadas en cada parcela, después de eliminar plantas con rendimiento de grano muy alto o muy bajo respecto a la media de la familia a la que pertenecían, tal como se describió en materiales y métodos.

En el Cuadro 3, se presentan las variedades criollas preseleccionadas identificadas con el nuevo número de variedad criolla. En cada uno de los siete experimentos analizados bajo el diseño completamente al azar con 10 tratamientos o familias, cada una con diferente número de repeticiones o plantas, de las siete variedades criollas preseleccionadas, se detectaron diferencias significativas entre las 10 familias, lo cual indica que existe variabilidad fenotípica dentro de cada una de ellas.

Cuadro 3. Cuadrados Medios de Tratamientos (CMT) y significancia * Marin N. L. OI 2003

| Experimentos de Variedades criollas | CMT | F | CV % |
|-------------------------------------|-----------|-------|-------|
| 1 | 2,875.78* | 5.46 | 47.92 |
| 2 | 228.75* | 7.66 | 26.70 |
| 3 | 1032.50* | 58.50 | 15.05 |
| 4 | 143.12* | 11.38 | 14.80 |
| 5 | 281.73* | 6.69 | 17.15 |
| 6 | 89.45* | 5.63 | 12.69 |
| 7 | 297.31* | 9.56 | 21.41 |

* Significativo al nivel de probabilidad de $P > F 0.05$ o menor

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 12 pto

Con formato: Fuente: 9 pto

Considerando lo anterior, se calcularon los parámetros genéticos para cada variedad criolla, los cuales se presentan en el Cuadro 4, en el cual se puede apreciar que los valores de heredabilidad mas altos se presentaron para las variedades criollas 3, 2, y 7, seguidos de las variedades criollas 6, 4 y 5, siendo la

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Cuadro 4. Varianzas: fenotípica (σ^2_F), genética (σ^2_G), ambiental (σ^2_E), estimadas por esperanzas de cuadrados medios y heredabilidad en sentido amplio (H^2) para rendimiento de grano por planta.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

| Variedad criolla # | σ^2_F ¹ | σ^2_G ² | σ^2_E ³ | H^2 % ⁴ |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| 3 | 1032.5 | 159.8 | 17.6 | 15.4 |
| 2 | 228.7 | 34.5 | 29.8 | 15.0 |
| 7 | 297.3 | 43.0 | 31.0 | 14.4 |
| 6 | 89.4 | 10.6 | 15.8 | 11.8 |
| 4 | 143.1 | 16.6 | 12.5 | 11.6 |
| 5 | 281.7 | 30.5 | 42.0 | 10.8 |
| 1 | 2875.7 | 201.3 | 526.6 | 7.0 |

¹como en el denominador de la igualdad 2 pag. 34, ²como en igualdad 1 pag.33. ³Como en pag. 34, ⁴ Como en igualdad 2 pag.34

variedad criolla 1 la de menor heredabilidad para rendimiento de grano por planta. Al respecto, Vaidya y Jain (1987), efectuaron selección masal simple en una población de amaranto durante tres ciclos y registraron una heredabilidad realizada del 9 %, aunque otros autores han encontrado valores mas altos (Joshi, 1986; Hauptli y Jain,1984). En el presente estudio, los valores de heredabilidad obtenidos, resultaron mas altos (hasta un 15.4 %), lo cual puede ser explicado porque el valor de este parámetro se estimó en sentido amplio y en cuya estimación, se utiliza la varianza genética total, con la cual puede resultar un valor sobreestimado. La variedad criolla 1, es la que presentó la mayor varianza

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

genética, e igualmente, registró la mayor varianza ambiental, seguida por la variedad criolla 3 que presentó alta varianza genética y varianza ambiental relativamente baja. El amaranto es una especie predominantemente autógama pero con altos niveles de alogamia (Vaidya y Jain 1987), razón por la cual se consideró necesario obtener un valor promedio entre las respuestas a la selección individual y a la selección familiar, para obtener un criterio intermedio de respuesta a la selección que permita definir que variedad criolla tendrían su mayor valor potencial de mejora, (Cuadro 5).

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Cuadro 5. Variedades criollas con sus medias de rendimiento de grano en g/planta⁻¹ (M_{rg/pl}), respuestas esperadas a la selección individual (RSI) y familiar de medios hermanos maternos (RFSFMH1), R Medias y M_{rg/pl} esperadas bajo R Media. Marín N. L. OI 2003

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

| Variedad criolla # | M ¹ _{rg/pl} VC | ² RSI | ³ RPSFMH1 | ⁴ R Media | ⁵ M _{rg/pl} R Media |
|--------------------|------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|---|
| 1 | 51.00 | 5.25 | 5.25 | 5.25 | 56.25 |
| 5 | 38.40 | 2.34 | 2.55 | 2.44 | 40.84 |
| 3 | 28.90 | 6.74 | 6.96 | 6.85 | 35.75 |
| 6 | 32.50 | 1.45 | 1.56 | 1.50 | 34.00 |
| 7 | 26.00 | 3.37 | 3.49 | 3.43 | 29.43 |
| 4 | 24.00 | 1.84 | 1.94 | 1.89 | 25.89 |
| 2 | 21.00 | 3.17 | 3.19 | 3.18 | 24.18 |

¹M_{rg/pl} = Media de rendimiento de grano por planta de la variedad criolla, ²Estimada como en la igualdad 3, ³Estimada como en igualdad 4, de materiales y métodos, ⁴R Media = (RSI + RPSFMH1)/2, ⁵M_{rg/pl} R Media: Media esperada de rendimiento en gramos por planta bajo R Media.

4.1.1.1 Identificación de las mejores variedades para selección

Criterio 1

De la información del Cuadro 5, se puede deducir que las variedades criollas que bajo el criterio 1 descrito en materiales y métodos, en un ciclo de selección ya sea

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

individual o familiar, presentarían los incrementos mas altos en las medias de rendimiento de grano serían las 1, 5 y 3.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Criterio 2.

Sin embargo, la consideración anterior debe tomar en cuenta también el valor de la varianza genética del Cuadro 4 que presentó cada variedad criolla, debido a que un alto valor de varianza genética permitiría obtener una mayor respuesta a la selección, de ahí que las variedades criollas que podrían ser utilizadas para obtener resultados a corto y mediano plazo son 1, 3, 7 y 5, siendo menos prometedoras las variedades criollas 2, 4 y 6 por combinar baja varianza genética y baja respuesta media a la selección.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Criterio 3

Con la estimación de la respuesta a la selección dentro de cada variedad criolla mediante la fórmula $RPSF1 = D \cdot H^2$ (igualdad 5 página 35), se obtuvieron los resultados del Cuadro 6, en el que se puede observar que las variedades criollas 3, 7, 1 y 2 registraron los mayores valores para RPSF1, en cambio en las variedades criollas 5, 4 y 6, presentaron los menores valores de respuesta a la selección.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Subrayado

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Criterio 4

Considerando la magnitud de la varianza genética (Cuadro 4) y las tres estimaciones de respuesta a la selección que se calculó en cada variedad criolla (Cuadros 5 y 6) se deduce que las variedades criollas 1 y 3 fueron las que se mantuvieron en el grupo superior en cada una de las cuatro estimaciones, seguidas de las variedades criollas 7, 2, 5, resultando las variedades criollas 4 y 6

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

las de menor varianza genética y menor respuesta bajo las tres formas de estimación.

Cuadro 6. Estimación de la respuesta predicha a la selección familiar dentro de siete variedades criollas considerando dos familias seleccionadas de 10 ($p = 20\%$).
Marín N. L. OI 2003.

| Variedad criolla # | Mrg/pl FS 1 | Mrg/pl FS 2 | Mrg/pl Fms Sel. | Mrg/pl Var Criol. | D ¹ | ² H ² | ³ RPSF1 | ⁴ MErg/pl Var. Mej. |
|-----------------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------------|----------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 3 | 61.5 | 35.8 | 48.7 | 28.9 | 19.8 | 0.154 | 3.04 | 31.94 |
| 7 | 38.2 | 36.5 | 37.4 | 26.0 | 11.4 | 0.144 | 1.64 | 27.64 |
| 1 | 82.5 | 65.8 | 74.2 | 51.0 | 23.2 | 0.070 | 1.62 | 52.62 |
| 2 | 33.9 | 29.5 | 31.7 | 21.0 | 10.7 | 0.150 | 1.60 | 22.60 |
| 5 | 48.5 | 48.3 | 48.4 | 38.4 | 10.0 | 0.100 | 1.00 | 39.40 |
| 4 | 29.6 | 28.6 | 29.1 | 24.0 | 5.1 | 0.110 | 0.56 | 24.56 |
| 6 | 37.2 | 35.8 | 36.5 | 32.5 | 4.0 | 0.118 | 0.47 | 32.97 |

Mrg/pl FS1 y Mrg/pl FS2 = media de rendimiento de grano g. planta⁻¹ de las familias seleccionadas 1 y 2 respectivamente; Mrg/pl Fms Sel es la media del rendimiento de grano por planta de las dos familias seleccionadas; Mrg Var Criol. = Media de rendimiento de grano de la variedad criolla; ¹D = diferencial de selección como componente de la igualdad 5; ²H² = heredabilidad en sentido amplio como en la igualdad 2, p³R = Respuesta predicha a la selección familiar 1 como en la igualdad 5 de materiales y métodos, MErg/pl Var. Mej. = Media Esperada de rendimiento de grano en gramos por planta de la variedad mejorada.

En cuanto a la ME rg/pl Var. Mej, después de un ciclo de selección, la variedad 1 sería la recomendada para hacer mejoramiento a corto plazo, seguida por las variedades 5, 6, 3 y 7 para mejorar a mediano plazo y las variedades 4 y 2 no se recomendarían para obtener nuevas variedades a partir de ellas.

- Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita
- Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial
- Con formato: Fuente: 11 pto
- Con formato: Fuente: 11 pto, Sin Superíndice / Subíndice
- Con formato: Fuente: 11 pto
- Con formato: Fuente: 11 pto
- Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 9 pto
- Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

4.1.2 CONCLUSIONES CICLO OI 2003

Con el antecedente de que los resultados obtenidos corresponden a un solo ciclo agrícola, el OI del 2003, se puede concluir preliminarmente lo siguiente:

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

El ciclo de cultivo de las variedades criollas preseleccionadas varió de 80 a 120 días (Cuadro 2) bajo las condiciones de Marín, N. L., lo cual las hace viables para la producción en esta región.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

En base a los resultados obtenidos bajo los cuatro criterios para definir el valor de mejora de las 7 variedades criollas, bajo las condiciones del ciclo OI 2003 las de mejor valor de mejora fueron las 1, 3 7 2 y 5, las que podrían ser consideradas como poblaciones base para efectuar selección por tener mayor potencial de mejora.

Considerando la ME rg/pl Var. Mej., la variedad 1 sería la que podría utilizarse para mejora a corto plazo, en tanto que las variedades 5, 6, 3 y 7 serían utilizables para mejora a mediano plazo y las variedades 4 y 2 no se recomendarían para mejora genética en el área de influencia de Marín N. L., bajo condiciones similares al las del ciclo OI 2003.

4.2 CICLO PV 2003 PARÁMETROS GENÉTICOS Y RESPUESTA A LA SELECCIÓN

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

4.2.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN CICLO PV 2003

Las siembra de las once variedades, cada una en un experimento, fue el 7 de septiembre del 2003 y las condiciones ambientales que se presentaron no fueron favorables para el amaranto, dado que las etapas de germinación, emergencia y establecimiento transcurrieron con temperaturas altas arriba de 28 °C, sin embargo a finales de septiembre y principios de octubre se presentaron lluvias y la floración y el llenado del grano enfrentaron a fines de noviembre y principios de

diciembre temperaturas bajas diurnas menores de 20 °C., y nocturnas abajo de 15 °C, inclusive una helada el 19 de diciembre, todo ello afectó negativamente el rendimiento de grano por planta.

De las 11 variedad criollas sembradas, la 3 presentó bajo establecimiento, la 10 se perdió por exceso de lluvias y la 2, 9 y 11 fueron sensibles al fotoperíodo, presentando predominantemente crecimiento vegetativo con variación en altura de 1.8 a 2.0 m, teniendo una panícula muy pequeña de 10 cm y un rendimiento de grano muy bajo de aproximadamente uno a cinco gramos por planta; rendimientos similares con otras poblaciones no adaptadas han sido obtenidas por Pal (1974) y Lehmann *et al* (1991), en la India y los EUA respectivamente; en consecuencia esas tres variedades criollas, fueron consideradas para este ciclo de PV 2003 como de escaso potencial de rendimiento de grano y no idóneas para su utilización en la producción en el noreste de México en condiciones semejantes que tienden a predominar en el ciclo tardío, de ellas finalmente quedaron para análisis estadístico 6 variedad criollas las cuales se preseleccionaron y reidentificaron con un número progresivo, como aparecen en el Cuadro 7, en el cual se puede apreciar que en esas variedad criollas, el ciclo de cultivo varió de 85 a 115 días; asimismo, se observó un adecuado desarrollo vegetativo con temperatura promedio de 27 °C, situación similar encontrada por Fuller (1949), Singh (1961) y Angus *et al* (1982), autores que han estudiado la influencia de la temperatura en el desarrollo del amaranto.

En el Cuadro 7, la variedad criolla 1 Santiago Xochistlahuaca, Gro., registró la mayor precocidad, 85 días de siembra a cosecha, escapando a las condiciones ambientales desfavorables, en tanto que las otras seis variedades criollas tuvieron un ciclo biológico de 110 a 115 días; esto último similar a lo registrado por García (2002) para la variedad criolla #33 de *A. cruentus*, en experimentos realizados en Marín, N. L. en los ciclos PV 2000.

Lo anterior corrobora lo informado por varios autores (Coons, 1982, Kulakow y Jain 1986, Grubben y Sloten, 1981) con respecto a que *Amaranthus cruentus* se desarrolla adecuadamente en condiciones de temperatura superiores a 25 °C y

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

localidades con altitud sobre el nivel del mar menor a los 1000 m, como ocurre en la localidad de estudio.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Cuadro 7. Variedad criollas de *A. cruentus* preseleccionadas en Marín N. L. PV 2003

| Nuevo No. de variedad criolla | Nombre de la variedad criolla preseleccionada | Días de siembra a cosecha |
|-------------------------------|---|---------------------------|
| 1 | Santiago Xochistlahuaca, Gro. | 85 |
| 2 | Morelos Morada | 115 |
| 3 | Morelos Cuarteadá | 110 |
| 4 | Morelos Rosada | 115 |
| 5 | Morelos Anaranjada | 110 |
| 6 | Morelos Amarilla | 115 |

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Para los seis ensayos correspondientes a las 6 variedades se realizaron los análisis de varianza para la variable de rendimiento de grano por planta bajo un diseño completamente al azar, utilizando como repeticiones para cada tratamiento o accesión el número total de plantas con competencia completa. Los resultados se presentan en el Cuadro 8.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 12 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 12 pto

Cuadro 8. Cuadrados Medios de Tratamientos (CMT) y significancia, Marín N. L. PV2003

| Variedad criolla | CMT | F | CV% |
|------------------|---------|-------|-------|
| 1 | 729.52* | 8.77 | 30.56 |
| 2 | 107.23* | 15.70 | 27.00 |
| 3 | 100.16* | 16.67 | 24.80 |
| 4 | 116.66* | 8.77 | 27.12 |
| 5 | 291.98* | 34.91 | 21.96 |
| 6 | 121.58* | 15.33 | 25.83 |

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

* Significativo al nivel de probabilidad de $P > F 0.05$ o menor.

Con formato: Fuente: 9 pto

Se puede apreciar en el Cuadro 8., que las variedades criollas preseleccionadas se identifican sólo con el nuevo número de , el cual a su vez corresponde al análisis de varianza de cada ensayo. En los seis ensayos de las seis variedades criollas preseleccionadas, se detectaron diferencias significativas entre las 10 familias o tratamientos que integraron el ensayo de cada variedad. Lo anterior implica que existió variabilidad fenotípica dentro de cada una de las seis variedades.

Considerando los cuadrados medios de los análisis de varianza del Cuadro 8 anterior y mediante las esperanzas de cuadrados medios, se calcularon los componentes de varianza fenotípica para cada variedad criolla, las cuales se presentan en el Cuadro 9, en el que se puede apreciar que el valor de heredabilidad mas alto se presentó para la variedad 3, en este valor se puede observar que no obstante que la varianza genética fue menor que en las variedades criollas 1, 5 y 6, se tuvo la varianza ambiental mas baja. Excepto para la variedad criolla 4, que fue la de menor H^2 , las otras tres variedad criollas presentaron valores de heredabilidad mas o menos semejantes y numéricamente superiores a la anterior. Al respecto, Vaidya y Jain (1987), efectuaron selección masal simple en una población de amaranto durante tres ciclos y registraron una heredabilidad realizada del 9 %, aunque otros autores han encontrado valores mas altos (Joshi, 1986; Hauptli y Jain,1984). En el presente estudio, los valores de heredabilidad obtenidos, resultaron mas altos (13.5 a 18.9%), lo cual puede ser explicado por ser una heredabilidad estimada en sentido amplio, en cuyo cálculo, se utiliza la varianza genética total, lo cual puede sobreestimar el valor de la heredabilidad. La variedad criolla 1, es la que presentó la mayor varianza genética e igualmente registró la mayor varianza ambiental, seguida por la variedad criolla 5 con una alta varianza genética y varianza ambiental alta.

Considerando que en el caso del amaranto se ha publicado que es una especie predominantemente autógama ya que puede presentar altos grados de alogamia, se consideró estimar las respuestas a la selección individual (RSI) y respuesta predicha a la selección familiar de medios hermanos maternos (RPSFMHM2), para

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

las cuales se deben de dirigir los esfuerzos de mejoramiento genético mediante selección. Considerando la magnitud de las respuestas a la selección familiar, R Media y RPSF1 y la magnitud de las varianzas genéticas, (Cuadro 9) se deduce que las variedades criollas 1 y 5 son en las que se esperaría mayor respuesta a la selección familiar a corto y mediano plazo, por lo que es en ellas en las cuales se deben de dirigir los esfuerzos de mejoramiento genético mediante selección. En el Cuadro 12 se puede apreciar que los menores porcentajes de incremento en rendimiento de grano por planta en gramos, se encontraron en las variedad criolla 1 y 5, lo que aparentemente contradice los resultados anteriores; sin embargo, si se observa la M_{rg} actual de las variedades criollas 1 y 5, estas son las que presentaron mayores valores promedio de rendimiento de grano por planta, por lo que considerando esta media, el ganar 35 % como en la variedad criolla 3 es una ganancia relativa menor que un 3.7% en la variedad criolla 1, y de 10.2 % en la variedad criolla 5, si se considera que se parte en el caso de la variedad criolla 3

Cuadro 12. Porcentaje de incremento (Δ %) de rendimiento esperado respecto a $M_{rg/pl}$ actual de las variedades criollas de amaranto considerando R Media y RPSF MHM2, Marín, N. L. PV 2003

| Vc# | $M_{rg/pl}$ actual de la Vc# | ¹ R Media | ² RPSF MHM2 | $M_{rg/pl}$ esperada bajo R Media | $M_{rg/pl}$ esperada bajo RPSF MHM2 | $M_{rg/pl}$ esperada promedio | Δ %vs M_{rg} actual de la Vc# |
|-----|------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--|
| 1 | 9.16 | 3.73 | 2.87 | 12.9 | 12.0 | 12.4 | 135.4 |
| 5 | 10.96 | 2.32 | 1.91 | 13.3 | 12.9 | 13.1 | 119.5 |
| 3 | 9.46 | 1.77 | 0.97 | 11.2 | 10.4 | 10.8 | 114.2 |
| 6 | 13.87 | 1.99 | 0.96 | 15.9 | 14.8 | 15.4 | 111.0 |
| 4 | 14.15 | 2.30 | 0.78 | 16.4 | 14.9 | 15.6 | 110.2 |
| 2 | 29.13 | 1.17 | 0.93 | 30.3 | 30.1 | 30.2 | 103.7 |

Vc# = Variedad criolla número, $M_{rg/pl}$ = media de rendimiento de grano en g por planta de la Variedad Criolla #, ¹ Estimada como $(RSI + RPSFMHM2)/2$ del Cuadro 10, ² Estimada como en igualdad 5 de materiales y métodos.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Superíndice / Subíndice

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: 8 pto, Sin Superíndice / Subíndice

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 9 pto

Tiene una media de 9.16 g por planta en tanto que en la variedad criolla 1 se parte de una media de 29.3 y en la variedad criolla 5 de 14.5 gramos por planta, promedios de rendimiento de grano por planta que son superiores a los de la variedad 3.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Considerando el Cuadro 9 se puede apreciar que la mayor varianza genética la presentaron las variedades 1 y 5 y que no obstante tener las mayores σ^2_E , su H^2 fue de 16.3 y 15.2 respectivamente. En el Cuadro 10 se aprecia que la R Media mas alta la presentaron estas mismas variedades, así como en el Cuadro 11 los mayores valores de RPSF1, fueron para las variedades 1 y 5 y en el Cuadro 12 las mismas variedades obtuvieron el incremento de rendimiento de grano por planta predicho mas alto bajo RPSFMH2 y en el promedio de esta con la R Media.

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

4.2.2 CONCLUSIONES CICLO PV 2003

1. Las variedades criollas 1, 5 y 3 podrían ser consideradas como poblaciones base de mejora a mediano y largo plazo por partir de una media baja en el rendimiento de grano por planta pero con alta ganancia predicha, bajo condiciones ambientales semejantes a las que prevalecieron en el ciclo PV 2003.

2. No obstante que las variedades 2, 4 y 6 no presentaron incrementos predichos altos para el rendimiento de grano en g por planta, estas tuvieron las medias de rendimiento mas altas, por lo que aun que la ganancia de rendimiento predicha es pequeña se parte de una media mas alta que en las variedades 5, 3 y 1, por lo que las variedades 2, 4 y 6 por presentar una media alta de rendimiento por planta pueden ser también consideradas para utilizarse como poblaciones base de

mejora a corto plazo, bajo condiciones ambientales semejantes a las que prevalecieron en el ciclo PV 2003.

3. Las seis variedades ensayadas pueden ser consideradas como poblaciones base de mejora para incrementar el rendimiento de grano por planta bajo condiciones ambientales semejantes a las que prevalecieron en el ciclo PV 2003.

4.3 CICLO OI 2004 PARÁMETROS GENÉTICOS Y RESPUESTA A LA SELECCIÓN

4.3.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN CICLO OI 2004

Las siete variedades criollas más adaptadas al ambiente del ciclo OI 2003 fueron siete, de las cuales en el ciclo de PV 2003 se perdió la 7 siendo evaluadas solo seis y para el ciclo OI 2004 se retomaron para evaluación las siete variedades adaptadas del OI 2003. Asimismo, se observó un adecuado desarrollo vegetativo con la temperatura promedio de 27 °C, resultado coincidente con lo encontrado por Fuller (1949), Singh (1961) y Angus *et al* (1982), autores que han estudiado la influencia de la temperatura en el desarrollo del amaranto. La variedad criolla 1 de Santiago Xochistlahuaca, Gro, registró la mayor precocidad con 75 días de la siembra a la cosecha, en tanto que las otras seis variedades criollas tuvieron un ciclo biológico de 110 a 120 días lo que es similar a lo registrado por García (2002) para la variedad criolla 33 de *A. cruentus*, en experimentos realizados en Marín, N. L. en los ciclos PV 2000, OI 2001 y OI 2002. Lo anterior corrobora lo informado de varios autores como Coons, (1982); Kulakow y Jain (1986) y Grubben y Sloten, (1981) con respecto a que *Amaranthus cruentus* L., se desarrolla adecuadamente en condiciones de temperatura superiores a 25 °C y localidades con altitud sobre el nivel del mar menor a los 1000 m, como ocurre en Marín, N. L., México.

En el Cuadro 13 se aprecia que en los siete ensayos correspondientes a las siete variedades criollas donde se evaluaron para rendimiento de grano por planta 10

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial,

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

familias que dentro de cada variedad consideradas como tratamientos, se detectaron diferencias significativas entre ellos, lo que significa que existió variabilidad fenotípica dentro de las variedades criollas de cada una de las seis variedades criollas.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Cuadro 13. Cuadrados medios de tratamientos (CMT), efe calculada (Fc) y coeficientes de variación (CV %) de los análisis de varianza del rendimiento de grano en gramos por planta de siete ensayos de siete variedades criollas de amaranto cada uno con 10 tratamientos (familias). Marín, N.L., OI 2004.

| Variedades Criollas | CMT | Fc | CV (%) |
|---------------------|-----------|---------|--------|
| 1 | 484.92 * | 1.8882 | 65 |
| 2 | 910.16 * | 3.3163 | 45 |
| 3 | 745.55 * | 4.0680 | 33 |
| 4 | 942.11 * | 3.2790 | 46 |
| 5 | 271.88 * | 2.7426 | 34 |
| 6 | 2250.62 * | 13.6990 | 36 |
| 7 | 3655.85 * | 5.8889 | 40 |

*Significativo a un nivel de $P > F$ de 0.05 o menor

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Fuente: 9 pto

Los coeficientes de variación variaron de 33 aun 65 %, de los ensayos que se realizaron para obtener los componentes de varianzas y hacer los cálculos de heredabilidad y respuesta a la selección individual.

Con base a lo anterior, dentro de cada variedad criolla mediante la esperanza de cuadrados medios se calcularon los valores de los componentes de la varianza fenotípica, varianza genética y varianza ambiental, requeridas para el cálculo de la heredabilidad en sentido amplio (H^2) y de la respuesta a la selección individual (RSI); estos valores se dan en el Cuadro 14, en el cual se observa que el más alto

valor de heredabilidad se presentó en la variedad criolla 6, seguida por la variedad 7, pudiendo observar también que la varianza genética de la variedad criolla 6 fue menor que el de la variedad criolla 7 y con una varianza ambiental baja. La variedad criolla 5, mostró la varianza ambiental mas baja y una varianza genética baja y H^2 baja y la variedad criolla 1 fue la de menor H^2 al presentar la varianza genética mas baja. Las otras tres variedades criollas presentaron heredabilidades mas o menos semejantes y numéricamente superiores a la variedad 1. Al respecto, Vaidya y Jain (1987), efectuaron selección masal simple en una población de amaranto durante tres ciclos y registraron una heredabilidad realizada de 9 %, en tanto que otros autores han encontrado valores mas altos (Joshi 1986; Hauptli y Jain 1984). En el presente estudio, los valores de heredabilidad obtenidos, resultaron diferentes a los obtenidos por éstos autores ya que fluctuaron de 4 a 12.84 %, las cuales promediaron 8.42 % valor cercano a los valores publicados por los anteriores autores. Por tener las H^2 mas altas, las variedades de mayor RSI fueron 7 y 6, seguidas de valores intermedios de H^2 por las variedades 4, 3 y 2 y las de valores bajos la 5 y 1.

Cuadro 14. Valores de varianzas para rendimiento de grano en gramos por planta: fenotípicas (σ^2_F), genéticas (σ^2_G) y ambientales (σ^2_E), heredabilidad en sentido amplio (H^2) y respuesta a la selección individual (RSI). Marín, N.L., OI 2004.

| Variedades Criollas | σ^2_F | σ^2_G | σ^2_E | $^1H^2$ (%) | 2RSI |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------|
| 6 | 2250.62 | 289.68 | 164.29 | 12.87 | 8.54 |
| 7 | 3655.85 | 448.97 | 620.80 | 12.28 | 10.39 |
| 4 | 942.11 | 107.16 | 287.31 | 11.37 | 4.28 |
| 3 | 745.55 | 80.21 | 183.27 | 10.75 | 4.10 |
| 2 | 910.16 | 86.84 | 274.45 | 09.50 | 4.01 |
| 5 | 271.88 | 24.33 | 99.13 | 08.94 | 2.08 |
| 1 | 484.92 | 19.64 | 256.82 | 04.00 | 1.24 |

$^1H^2$ estimada como en la igualdad 2 y 2RSI calculada como en la igualdad 3 de materiales y métodos.

Con formato: Fuente: 9 pto

En el Cuadro 15, la RSI y la RPSFMHM2 se promediaron para obtener los valores de RS Media y se observa que las variedades criollas que para un ciclo de selección presentarían el valor mas alto de R Media serían, 7 y 3; ahora bien, considerando los valores de la RPSF2 se puede observar que las variedades criollas 6 y 7 presentaron los valores mas altos. Considerando el promedio de RS Media y RPSF2, se obtuvo un valor promedio de respuesta esperada a la selección como valor de mejora (RESvm) en gramos por planta, siendo las variedades criollas 7 y 6 las que presentaron los valores mas altos de RESvm. Considerando la media de rendimiento de grano por planta de cada variedad criolla, se procedió a sumar el rendimiento esperado bajo RESvm y así obtener la media esperada en rendimiento de grano por planta en la variedad mejorada (MERgvm) que resultaría de cada variedad criolla, siendo la variedad 7 la de mayor MERgvm, dado que parte de una media, considerando esto último se puede observar que las variedades 6, 4, 3 y 2 siguieron a la variedad 7 en MERgvm, lo que se explica por que las mismas presentaron valores mas o menos semejantes

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Negrita

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Negrita

Con formato: Fuente: 12 pto, Sin Negrita

para sus Mrgvc e inferiores al resto de las variedades, aunados a los valores mas bajos de RESvm.

Cuadro 15. Respuestas esperadas a la selección para rendimiento de grano en gramos por planta, media de la variedad criolla (Mrgvc) y media esperada de la variedad mejorada (MErgvm). Marín, N. L., OI 2004.

Con formato: Fuente: Sin Negrita

| Variedad Criolla | ¹ RSI | ² RPSFMHM2 | ³ RS Media | ⁴ RPSF2 | ⁵ RESvm | ⁶ Mrgvc | MErgvm |
|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|
| 7 | 10.39 | 1.43 | 5.91 | 6.16 | 6.03 | 67.83 | 73.86 |
| 6 | 8.54 | 0.96 | 4.75 | 7.35 | 6.05 | 34.65 | 40.70 |
| 4 | 4.28 | 0.82 | 2.55 | 3.56 | 3.05 | 37.54 | 40.59 |
| 3 | 4.10 | 0.61 | 5.32 | 2.31 | 3.81 | 37.27 | 41.08 |
| 2 | 9.01 | 0.65 | 4.83 | 2.55 | 3.69 | 36.32 | 40.01 |
| 5 | 2.08 | 0.36 | 1.22 | 1.07 | 1.14 | 28.68 | 29.82 |
| 1 | 1.24 | 0.20 | 0.72 | 0.82 | 0.77 | 23.49 | 24.26 |

¹RSI etimada como en la igualdad 3, ²RPSFMHM2 estimada como en la igualdad 6, ³RS Media = (RSI + RPSFMHM2)/2, ⁴RPSF2 estimada como en la igualdad 5 de materiales y métodos, ⁵RESvm = Respuesta esperada a la selección como valor de mejora, ⁶Mrgvc = Media de rendimiento de grano en gramos de la variedad criolla, ⁷MErgvm = Media esperada de rendimiento de grano en gramos de la variedad mejorada, estimada como SRBM+ Mrgvc.

Con formato: Fuente: 9 pto

4.3.2 CONCLUSIONES CICLO OI 2004

Para las siembras en el ciclo de OI con condiciones ambientales semejantes a las de este ciclo en el 2004, en el área de influencia de la Facultad de Agronomía de la UANL se concluye lo siguiente:

1. La variedades criollas 7, Santiago Tetla, por su alto valor de mejora y mayor MErgvm, es el mejor prospecto para utilizarse con el fin de formar a muy corto plazo una variedades mejorada de alto rendimiento de grano por planta que sería

útil para la producción de amaranto en Marín, N. L. como localidad representativa del noreste de México.

2. Las variedades 3 (Morelos cuarteada), 6 (Morelos Amarilla), 4 (Morelos rosada), y 2 (Morelos morada), por su RESvm intermedio se considerarían para su mejora genética a mediano plazo para incrementar su rendimiento de grano por planta y después de varios ciclos de selección llegar a formar nuevas variedades de amaranto posibles de sustituir a la variedad 7 (Santiago Tetla)

3. Las variedades 5 (Morelos anaranjada) y 1 (Santiago Xochistlahuaca) por ser las de RESvm mas bajo y la Mrgvc mas bajo, no deben ser consideradas para fines de mejora genética en el noreste de México.

4.4 CICLOS AGRICOLAS OI 2003, PV 2003 Y OI 2004

Considerando la caracterización de las siete variedades mejor adaptadas a la localidad de Marín, N. L., en los tres ciclos agrícolas, y sus evaluaciones por ciclo para predecir su valor de mejora genética se puede concluir que:

1) Las variedades que fueron mas consistentes en su valor de mejora en los tres ciclos fueron la 3 y 6., por lo que son las que se deben considerar prioritariamente como poblaciones base para iniciar la mejora genética de amaranto en el Noreste de México.

2) La variedad 7 se evaluó solo en los ciclos OI 2003 y OI 2004 y superó en el valor de mejora al resto de las variedades, por lo que es la mejor variedad para utilizarse como población base de manera específica para el ciclo OI.

3) Las variedades 1 y 5 fueron consistentes en los ciclos OI 2003 y PV 2003; sin embargo interactuaron fuertemente con el ambiente al presentar valores bajos de mejora en el ciclo OI 2004, por lo que no se recomendarían para hacer mejora genética, aun que se recomienda su conservación para trabajos futuros.

Con formato: Fuente: Sin Negrita

4) Las variedades 4 y 2 fueron consistentes en los ciclos PV 2003 y OI 2004; sin embargo interactuaron fuertemente con el ambiente al presentar valores bajos de mejora en el ciclo OI 2003, por lo que no se recomendarían para hacer mejora genética, aun que se recomienda su conservación para trabajos futuros.

5.2 SELECCIÓN FAMILIAL

5.2.1 SELECCIÓN FAMILIAL PROMEDIAL

5.2.1.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 16, se dan los cuadrados medios de variedades como tratamientos, los cuales fueron significativos en las variedades 1, 3 y 6 y en el Cuadro 17 se presenta la comparación de medias de las familias dentro de cada variedad.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Cuadro 16. Cuadrado Medio de Tratamientos de las seis variedades evaluadas bajo esquema de Selección Familiar Promedial. Marín, N. L.

| Variedad | CMT | F | P>F | C. V.(%) |
|----------|----------|--------|-------|----------|
| 1 | 1240.12* | 2.4114 | 0.016 | 64.39 |
| 2 | 327.58 | 1.3869 | 0.205 | 67.46 |
| 3 | 660.62* | 2.4529 | 0.016 | 59.83 |
| 4 | 182.48 | 0.7710 | 0.630 | 61.70 |
| 5 | 298.82 | 1.6723 | 0.107 | 49.06 |
| 6 | 777.76* | 2.9161 | 0.005 | 60.63 |

Cuadro 17 Ordenamiento decreciente de las medias de rendimiento de grano por planta en gramos, de las familias (F) de cada variedad para seleccionar las dos mejores ($p=5\%$) bajo el esquema de selección familiar promedial

| Variedades | | | | | | | | | | | |
|------------------|----------|----|--------|------------------|----------|----|-------|-----------------|-------|------------------|----------|
| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
| F | Media | F | Media | F | Media | F | Media | F | Media | F | Media |
| 3 | 48.16a | 1 | 29.08 | 7 | 39.06a | 7 | 32.05 | 4 | 31.19 | 5 | 39.43a |
| 2 | 42.49ab | 9 | 27.13 | 2 | 35.08ab | 8 | 27.54 | 5 | 31.16 | 7 | 32.62ab |
| 7 | 39.86abc | 4 | 26.55 | 9 | 28.16 bc | 3 | 25.99 | 8 | 30.33 | 6 | 28.18 bc |
| 5 | 33.78 bc | 5 | 24.75 | 8 | 26.73 bc | 2 | 25.61 | 7 | 29.80 | 3 | 28.17 bc |
| 9 | 32.50 bc | 2 | 22.14) | 3 | 26.01 bc | 1 | 25.34 | 6 | 29.11 | 1 | 26.35 bc |
| 6 | 31.68 bc | 3 | 20.86 | 6 | 25.26 bc | 6 | 24.35 | 1 | 25.72 | 8 | 24.53 bc |
| 1 | 30.51 c | 7 | 20.49 | 4 | 23.74 c | 5 | 22.58 | 2 | 23.95 | 9 | 23.69 bc |
| 4 | 29.51 c | 8 | 18.11 | 5 | 20.47 c | 9 | 22.57 | 9 | 23.30 | 4 | 20.33 c |
| 8 | 29.17 c | 9 | 17.12 | 1 | 20.84 c | 4 | 20.82 | 3 | 21.26 | 2 | 18.85 c |
| DMS ¹ | | NS | | DMS ¹ | | NS | | NS ¹ | | DMS ¹ | |

¹ DMS variable por tener cada media un número diferente de repeticiones.

No obstante que las dos familias superiores dentro de cada variedad hayan sido estadísticamente iguales, se identificaron estas dos familias superiores como seleccionables, las cuales aparecen en el Cuadro 18.

Cuadro 18 Familias seleccionadas dentro de cada variedad bajo el esquema de Selección Familiar Promedial. Ciclos de selección OI 2003, PV 2003 y OI 2004. Marín, N. L.

| Variedad | Familias seleccionadas | |
|----------|------------------------|---|
| 1 | 3 | 2 |
| 2 | 1 | 9 |
| 3 | 7 | 2 |
| 4 | 7 | 8 |
| 5 | 4 | 5 |
| 6 | 5 | 7 |

En base a los resultados de la selección promedial del Cuadro 18, dentro de cada una de las seis variedades, las dos mejores familias seleccionadas de las nueve ensayadas de la variedad 1 fueron la 3 y 2, de la variedad 2 la 1 y 9, de la variedad 3 las familias 7 y 2, en la variedad 4 las 7 y 8, en la variedad 5 la 4 y la 5 y en la variedad 6 las 5 y 7.

5.2.1.2 CONCLUSIONES

Las dos familias seleccionadas promedialmente dentro de cada variedad, serán las que deberán recombinarse para formar la población mejorada ciclo 1 de selección familia promedial, lo cual es posible ya que se cuenta con semilla de reserva de cada una de las dos familias seleccionadas que se ha conservado bajo refrigeración en la Unidad de Recursos Fitogenéticos de la Facultad de Agronomía de la UANL

5.2.2 SELECCIÓN FAMILIAL CONVERGENTE DIVERGENTE

5.2.2.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Para cada variedad se efectuó un análisis de varianza de cada una de las seis variedades en cada uno de los tres ciclos por separado considerando las 9 familias como tratamientos, resultando así 18 análisis de varianza y en Cuadro 19, se concentran los cuadrados medios y su significancia de estos 18 análisis, donde se observa que entonos se detectó diferencia significativa entre familias, excepto en la variedad 1 la cual en el ciclo tres no se detectó diferencia significativa entre familias para rendimiento de grano por planta en gramos.

Cuadro 19. Selección Familiar Convergente-Divergente, cuadrado medio de tratamiento y su significancia* Ciclos OI 2003, PV 2003 y OI 2004. Marín, N. L.

| Variedad | Ciclo | CMT | F | P>F | C. V.(%) |
|----------|-------|----------|---------|-------|----------|
| 1 | 1 | 2873.34* | 5.4633 | 0.000 | 47.93 |
| | 2 | 729.66* | 8.8538 | 0.000 | 30.44 |
| | 3 | 324.20 | 1.1500 | 0.335 | 64.87 |
| 2 | 1 | 241.00* | 8.7455 | 0.000 | 24.99 |
| | 2 | 105.90* | 15.1626 | 0.000 | 27.49 |
| | 3 | 730.93* | 3.5003 | 0.003 | 41.89 |
| 3 | 1 | 1108.36* | 59.7518 | 0.000 | 14.94 |
| | 2 | 100.16* | 16.6780 | 0.000 | 24.80 |
| | 3 | 641.45* | 3.5984 | 0.002 | 34.65 |
| 4 | 1 | 161.11* | 10.87 | 0.000 | 15.96 |
| | 2 | 107.28* | 7.9853 | 0.000 | 26.96 |
| | 3 | 1012.29* | 3.2487 | 0.005 | 46.80 |
| 5 | 1 | 302.46* | 7.5944 | 0.000 | 16.72 |
| | 2 | 291.98* | 34.9170 | 0.000 | 21.96 |
| | 3 | 263.50* | 2.4850 | 0.022 | 35.12 |
| 6 | 1 | 89.09* | 5.6141 | 0.000 | 12.65 |
| | 2 | 120.95* | 15.23 | 0.000 | 25.88 |
| | 3 | 2478.55* | 15.1868 | 0.000 | 35.70 |

Considerando los resultados del Cuadro 19 se procedió a la comparación de medias para rendimiento de grano por planta de las familias de cada variedad en cada uno de los tres ciclos, donde los resultados de estas comparaciones se presentan del Cuadro 20 al 25. Sólo en el Cuadro 20, por no haber diferencia significativa entre las familias de la variedad 1 en ciclo 3 no se efectuó la

comparación de medias ordenando las medias en orden decreciente. También en el Cuadro 22 de variedad 3 ciclo 3 se efectuó el mismo procedimiento

Cuadro 20. Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 1 dentro de cada ciclo de evaluación.

| Variedad 1 | | | | | |
|------------|----------|---------|-----------|---------|-------|
| Ciclo 1 | | Ciclo 2 | | Ciclo 3 | |
| F | Media | F | Media | F | Media |
| 3 | 82.56 a | 7 | 49.21 a | 2 | 36.77 |
| 2 | 65.77 ab | 3 | 44.16 a | 1 | 29.21 |
| 9 | 65.50 ab | 5 | 30.54 b | 8 | 27.33 |
| 6 | 50.62 bc | 1 | 29.30 bc | 3 | 27.23 |
| 7 | 48.05 bc | 4 | 29.06 bc | 4 | 24.80 |
| 5 | 46.60 bc | 6 | 26.90 bc | 5 | 24.40 |
| 8 | 36.25 c | 9 | 20.33 bcd | 7 | 22.95 |
| 4 | 33.21 c | 2 | 19.01 cd | 6 | 20.65 |
| 1 | 32.26 c | 8 | 13.47 d | 9 | 19.30 |
| DMS | (1) | (1) | | | N. S. |

(1) DMS diferente para cada comparación por tener cada media un número diferente de repeticiones

Cuadro 21. Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 2 dentro de cada ciclo de evaluación.

| Variedad 2 | | | | | |
|------------|-----------|---------|--------------------|---------|--------------------|
| Ciclo 1 | | Ciclo 2 | | Ciclo 3 | |
| F | Media | F | Media | F | Media |
| 4 | 33.96 a | 7 | 18.30 ^a | 1 | 54.14 ^a |
| 5 | 29.56 ab | 9 | 12.83b | 9 | 46.87ab |
| 3 | 25.06 bc | 5 | 10.05bc | 2 | 35.25bc |
| 1 | 21.36 cd | 4 | 9.94bc | 3 | 34.00bc |
| 6 | 18.44 cde | 6 | 8.50cd | 4 | 33.14bc |
| 8 | 18.38 de | 8 | 6.80cd | 5 | 29.71c |
| 2 | 17.32 de | 3 | 6.60d | 7 | 27.62c |
| 9 | 15.10 de | 1 | 6.30d | 8 | 26.37c |
| 7 | 14.65 e | 2 | 5.84d | 6 | 23.57c |
| DMS | (1) | (1) | | | (1) |

(1) DMS diferente para cada comparación por tener cada media un número diferente de repeticiones

Cuadro 22. Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 3 dentro de cada ciclo de evaluación.

| Variedad 3 | | | | | |
|------------|---------|---------|--------------------|---------|-------|
| Ciclo 1 | | Ciclo 2 | | Ciclo 3 | |
| F | Media | F | Media | F | Media |
| 7 | 61.51a | 9 | 15.08 ^a | 2 | 58.66 |
| 3 | 35.80b | 8 | 13.08ab | 9 | 47.85 |
| 8 | 31.98b | 2 | 12.64ab | 6 | 41.71 |
| 2 | 30.21bc | 3 | 12.35ab | 7 | 38.00 |
| 1 | 26.84cd | 4 | 10.16bc | 4 | 38.12 |
| 6 | 23.64de | 7 | 7.80cd | 5 | 36.50 |
| 9 | 21.54ef | 1 | 6.20de | 3 | 33.16 |
| 5 | 20.15ef | 6 | 3.86ef | 8 | 32.00 |
| 4 | 17.00f | 5 | 1.33f | 1 | 24.75 |
| DMS (1) | | (1) | | N. S. | |

(1) DMS diferente para cada comparación por tener cada media un número diferente de repeticiones

Cuadro 23. Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 4 dentro de cada ciclo de evaluación.

| Variedad 4 | | | | | |
|------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Ciclo 1 | | Ciclo 2 | | Ciclo 3 | |
| F | Media | F | Media | F | Media |
| 4 | 29.66a | 3 | 20.28a | 7 | 60.75a |
| 2 | 28.60ab | 5 | 18.84a | 8 | 58.50a |
| 3 | 28.05ab | 7 | 16.36ab | 1 | 46.62ab |
| 6 | 26.57ab | 6 | 14.58bc | 9 | 35.42bc |
| 7 | 24.80bc | 8 | 13.74bcd | 2 | 34.83bc |
| 9 | 22.80cd | 2 | 12.90bcd | 6 | 29.85bc |
| 5 | 22.61cd | 4 | 11.08cde | 3 | 27.60bc |
| 1 | 20.57d | 1 | 10.05de | 5 | 26.28c |
| 8 | 14.81e | 9 | 07.21e | 4 | 25.80c |
| DMS (1) | | (1) | | (1) | |

(1) DMS diferente para cada comparación por tener cada media un número diferente de repeticiones

Cuadro 24. Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 5 dentro de cada ciclo de evaluación

| Variedad 5 | | | | | |
|------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Ciclo 1 | | Ciclo 2 | | Ciclo 3 | |
| F | Media | F | Media | F | Media |
| 4 | 48.42a | 7 | 29.66a | 5 | 41.66a |
| 8 | 48.00a | 6 | 23.67b | 1 | 35.88ab |
| 5 | 38.35b | 5 | 14.97c | 9 | 30.20abc |
| 3 | 38.12b | 3 | 11.68d | 6 | 30.12bc |
| 2 | 37.75b | 8 | 10.26de | 4 | 29.50bc |
| 1 | 35.80bc | 2 | 10.25de | 8 | 27.00bc |
| 7 | 34.94bc | 4 | 09.78de | 2 | 23.83c |
| 9 | 32.50bc | 9 | 09.18de | 3 | 23.33c |
| 6 | 30.36c | 1 | 08.00e | 7 | 23.28c |
| DMS | (1) | (1) | (1) | (1) | (1) |

(1) DMS diferente para cada comparación por tener cada media un número diferente de repeticiones

Cuadro 25. Comparación de medias de rendimiento de grano por planta en gramos, entre las familias de la variedad 6 dentro de cada ciclo de evaluación

| Variedad 6 | | | | | |
|------------|------------|---------|-----------|---------|----------|
| Ciclo 1 | | Ciclo 2 | | Ciclo 3 | |
| F | Media | F | Media | F | Media |
| 2 | 37.25 a | 2 | 17.81 a | 5 | 67.14 a |
| 6 | 35.80 ab | 8 | 16.21 ab | 7 | 57.57 ab |
| 7 | 34.72 abc | 5 | 13.90 bc | 1 | 48.28 bc |
| 4 | 32.53 abcd | 6 | 11.42 cd | 3 | 37.44 cd |
| 9 | 31.43 bcde | 3 | 11.14 cde | 6 | 31.66 de |
| 8 | 31.11 cde | 7 | 8.70 def | 9 | 26.62 de |
| 5 | 29.95 de | 4 | 7.93 efg | 8 | 25.66 de |
| 3 | 28.38 ef | 9 | 6.22 g | 4 | 19.00 ef |
| 1 | 25.61 f | 1 | 5.20 g | 2 | 5.60 f |
| DMS | (1) | (1) | (1) | (1) | (1) |

(1) DMS diferente para cada comparación por tener cada media un número diferente de repeticiones

Al aplicar la presión de selección del 5% se seleccionaron numéricamente para cada variedad las dos mejores familias en cada ciclo, independientemente que las mismas pudieran ser estadísticamente iguales, dando así 6 familias por variedad; sin embargo las familias finalmente seleccionadas fueron aquellas que aun que se repitieran se consideraron como unidad. Las familias seleccionadas se presentan en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Familias seleccionadas de cada variedad durante los tres ciclos de evaluación bajo el esquema de Selección Familiar Convergente –Divergente. Marín, N. L.

| Variedad | Ciclo | Familias Superiores | | Familias seleccionadas |
|----------|-------|---------------------|---|------------------------|
| 1 | 1 | 3 | 2 | 1, 2, 3 y 7 |
| | 2 | 7 | 3 | |
| | 3 | 2 | 1 | |
| 2 | 1 | 4 | 5 | 1, 4 5 y 9 |
| | 2 | 7 | 9 | |
| | 3 | 1 | 9 | |
| 3 | 1 | 7 | 3 | 2, 3, 7, 8 y9 |
| | 2 | 9 | 8 | |
| | 3 | 2 | 9 | |
| 4 | 1 | 4 | 2 | 2, 3, 4, 5, 7 y 8 |
| | 2 | 3 | 5 | |
| | 3 | 7 | 8 | |
| 5 | 1 | 4 | 8 | 1, 4, 5, 6, 7 y 8 |
| | 2 | 7 | 6 | |
| | 3 | 5 | 1 | |
| 6 | 1 | 2 | 6 | 2, 5, 6, 7 y 8 |
| | 2 | 2 | 8 | |
| | 3 | 5 | 7 | |

A diferencia de la selección familiar promedial, donde solo se seleccionaron las dos mejores familias de los tres ciclos dentro de cada una de las seis variedades, en el caso de la selección de las familias bajo la modalidad convergente divergente, resultan más de dos familias seleccionadas, así en la variedad 1 se tienen 4, en la variedad 2 se seleccionaron 4 familias, 5 familias en la variedad 3, en la variedad cuatro se seleccionaron 6 familias, en la variedad 5 fueron 5 familias las seleccionadas y en la variedad 6 fueron 5 familias las seleccionadas; esto implica que al recombinar las familias seleccionadas dentro de cada variedad, se espera obtener para cada una de ellas una población mejorada ciclo 1 de selección familiar convergente – divergente con mayor capacidad de adaptación a las variación ambiental de ciclo a ciclo.

5.2.2.2 CONCLUSIONES

Las familias seleccionadas en la modalidad convergente – divergente dentro de cada variedad, serán las que deberán recombinarse para formar la población mejorada ciclo 1 de selección familia convergente divergente, lo cual es posible ya que se cuenta con semilla de reserva de cada una de las estas familias seleccionadas, la cual se ha conservado bajo refrigeración en la Unidad de Recursos Fitogenéticos de la Facultad de Agronomía de la UANL

6.1 COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE GRANO DE SEIS VARIEDADES DE AMARANTO

6.1.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para definir que variedades fueron las de mejor rendimiento de grano por planta, bajo las condiciones de Marín N.L., se ordenaron las medias de todas las plantas de cada una de las 9 familias como repeticiones para cada variedad en cada ciclo y se procedió a efectuar un análisis de varianza bajo el diseño completamente al

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

azar teniendo 3 ciclos, 6 variedades y su interacción. Los cuadrados medios y su significancia para estas fuentes de variación se presentan en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Cuadrados medios de tratamiento (CMT) y su significancia (*P>F) para ciclos, variedades y su interacción. Marín, N. L. Ciclos OI2003, PV 2003 y OI 2004

| FV | CMT | F | P>F | C. V. (%) |
|-------------|----------|-------|-------|-----------|
| Ciclos | 6377.73* | 67.77 | 0.000 | 35.93 |
| Variedades | 532.81* | 5.66 | 0.000 | |
| Interacción | 611.32* | 6.50 | 0.000 | |

Dado que la interacción fue significativa, en el Cuadro 28 se presentan las comparaciones de medias de rendimiento de grano por planta entre las seis variedades dentro de cada uno de los tres ciclos.

Cuadro 28. Comparación de medias de rendimiento de grano en gramos por planta de las seis variedades (V) dentro de cada ciclo de evaluación ciclo 1: OI2003, ciclo 2: PV 2003 y ciclo 3: OI 2004

| V | Ciclo 1 | V | Ciclo 2 | V | Ciclo 3 |
|-----|-----------|---|---------|---|-----------|
| 1 | 50.77a | 1 | 29.12 a | 3 | 38.95 a |
| 5 | 38.24 b | 5 | 14.18 b | 4 | 38.40 ab |
| 6 | 31.85 bc | 4 | 13.90 b | 6 | 35.47 ab |
| 3 | 29.84 bcd | 6 | 10.94 b | 2 | 34.53 abc |
| 4 | 24.27 cd | 2 | 9.40 b | 5 | 29.44 bc |
| 2 | 21.55 d | 3 | 9.10 b | 1 | 25.84 c |
| M | 32.82 | | 14.45 | | 28.77 |
| DMS | 8.9628 | | 8.9628 | | 8.9628 |

Durante los tres ciclos de selección las variedades 1 y 5 tuvieron mejor comportamiento durante los ciclos 1 y 2; sin embargo en el ambiente del tercer ciclo presentaron los rendimientos más bajos, en cambio la variedad 6 presentó un rendimiento intermedio más o menos uniforme en los tres ciclos.

6.1.2 CONCLUSIONES

1. De manera conservadora la mejor variedad por tener un rendimiento intermedio mas o menos estable durante los tres ciclos, sería la variedad 6, Morelos Amarilla, la cual puede recomendarse para la producción de grano de manera más confiable.
2. Las variedad 1 y 5, respectivamente Santiago Xochistlahuaca y Morelos Anaranjada, podrían ser recomendadas para el ciclo 2
3. Las variedades 3 Morelos Cuarteadada y 4 Morelos Rosada, podrían recomendarse para su siembra en Marín N. L. y las regiones semejantes en el noreste de México bajo la consideración que su comportamiento en no en todos los ciclos de OI tendrán el máximo comportamiento en el rendimiento de grano por planta.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Sin Negrita

DISCUSIÓN GENERAL

El objetivo general del presente trabajo fue introducir el cultivo de amaranto en Marín, N. L., como región representativa del Noreste de México, para lo cual se consideró el antecedente de introducción de las especies *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus* que son las que desde la época prehispánica se cultivan en nuestro país, donde *Amaranthus cruentus* en un estudio previo se identificó como la que mejor prospera en la región de Marín, N. L., por lo que de esta especie en el ciclo OI 2003, se introdujeron y evaluaron once variedades criollas colectadas en parcelas de campesinos que mantienen este cultivo en los estados de Guerrero, Morelos y Puebla en las regiones del centro y sur de México. Se determinó su adaptación a las condiciones agroecológicas de la zona y una vez identificadas las mejores variedades se determinó su valor de mejora genética y se inició la misma bajo dos modalidades de selección familiar; la promedial y la convergente – divergente.

En base a los antecedentes y a los resultados obtenidos en los tres ciclos agrícolas de OI2003, PV2003 y OI 2004, se puede establecer que la producción de grano de amaranto en la zona de Marín, N. L. y aquellas similares en el Noreste de México es posible en los ciclos agrícolas OI y PV, ajustando la siembra a las fechas de inicio de estos dos ciclos propios de la región, para OI del 15 de febrero al 15 de marzo y en PV del 15 de junio al 15 de julio, no obstante, es el ciclo OI en el que se pueden obtener los mas altos rendimientos.

De las once variedades criollas ensayadas, seis se adaptaron a las condiciones agroecológicas de Marín N. L., como localidad representativa del Noreste de México, estas fueron: Variedad (V) 1 Santiago Xochistlahuaca, V2 Morelos Morada, V3 Morelos Cuarteada, V4 Morelos Rosada, V5 Morelos Anaranjada y V6 Morelos Amarilla y de estas seis. Por haber sido las de mejor adaptación y con el rendimiento de grano mas alto en al menos dos de los ciclos agrícolas de estudio, V1 Santiago Xochistlahuaca, V5 Morelos Anaranjada, V6 Morelos Amarilla y V3 Morelos Cuarteada, se pueden recomendar para, llevarlas a corto plazo a la producción bajo las condiciones de Marín N. L. Estas mismas variedades, bajo diferentes criterios de selección presentaron de manera consistente en los tres ciclos agrícolas las mayores respuestas esperadas a la selección para el carácter de rendimiento de grano por planta, por lo que se identificaron también como las de mayor valor de mejora genética y por tanto se pueden considerar como poblaciones base para la mejora genética, de este cultivo en el Noreste de México.

Otra contribución del presente estudio fue que no obstante que cuatro de las seis variedades con mejor rendimiento de grano y mejor valor de mejora genética, en las seis variedades adaptadas se avanzó en su mejoramiento genético, al seleccionar las mejores familias bajo selección familiar promedial y convergente-divergente, las cuales al recombinarse en el ciclo OI 2007, permitirán formar las doce primeras variedades mejoradas de amaranto, útiles al Noreste de México. En las seis correspondientes a la selección familiar promedial se podría esperar un mayor potencial de rendimiento, con posible interacción con los ciclos agrícolas OI y PV y por tener una base genética

estrecha al estar integradas solo con dos familias seleccionadas, podrán ser utilizadas para continuar su mejora a corto plazo, en tanto que en las otras seis variedades a formar mediante la modalidad de selección familiar convergente – divergente, por estar integradas por más de dos familias seleccionadas. Se espera que puedan tener menor rendimiento de grano, pero una menor interacción con los ciclos OI y PV, así como una base genética amplia, que permitiría continuar el mejoramiento genético por selección familiar recurrente a largo plazo.

Como parte complementaria, no integrada al presente estudio, se procedió en el ciclo OI 2006 a reconstruir las seis variedades originales adaptadas a las condiciones de Marín N. L., mediante la recombinación con semilla de reserva de las progenies de las nueve plantas colectadas *in situ*, que representaron como nueve familias originales, a cada una de estas seis variedades, para conservarlas como un recurso fitogenético, manteniendo su variabilidad genética original, la cual podrá utilizarse en el Noreste de México en la mejora genética futura de *Amaranthus cruentus*. Se considera conveniente que en el ciclo OI 2007, se proceda al incremento de las variedades criollas originales así reconstruidas y a la recombinación de las familias seleccionadas de cada una de las seis variedades bajo las modalidades de selección familiar promedial y selección familiar convergente–divergente, para integrar las doce nuevas variedades mejoradas, anteriormente mencionadas. Con estos productos en el ciclo OI 2008 medir el avance por selección al comparar las doce variedades mejoradas contra las seis variedades originales reconstruidas.

Esta investigación se ha conducido desde las colectas *in situ* de once variedades criollas que representan cerca del 70% de la variabilidad genética de *Amaranthus cruentus* existente en México, su introducción al noreste del país, la preselección de seis de ellas por su adaptación agronómica y valor de mejora, hasta el inicio de su mejora genética. Esto contribuye así, a la conservación de la diversidad genética en *Amaranthus cruentus*, un cultivo prehispánico, el cual por su alta calidad nutricional ha sido redescubierto en años recientes como una alternativa importante para la diversificación de los agroecosistemas actuales y para contribuir a la mejor alimentación del pueblo de México.

Este germoplasma introducido que se ha identificado por su adaptación al Noreste de México por su alto valor de mejora y ya avanzado en su mejoramiento genético, se convierte así en la base para la producción y mejora genética futura del amaranto en esta región del país y se conserva en la Unidad de Recursos Fitogenéticos de la Facultad de Agronomía de la UANL, estando a disposición de aquellos interesados en su utilización para los fines antes mencionados.

CONCLUSIONES

Considerando el objetivo general y los particulares para alcanzarlo, se concluye lo siguiente:

1. De once variedades criollas introducidas de *Amaranthus cruentus*, seis se adaptaron a las condiciones agroecológicas de Marín N.L.
2. Con progenies de plantas (familias) tomadas dentro de cada variedad, se pudo determinar para rendimiento de grano por planta, parámetros genéticos y la respuesta a la selección y se estableció el potencial de mejora de cada variedad.
3. Dentro de cada una de las seis variedades, se logró avanzar en su mejora genética al identificar y seleccionar las mejores familias bajo dos modalidades de selección familiar.
4. De las once variedades criollas de *Amaranthus cruentus* introducidas, se identificaron aquellas que por su adaptación y alto rendimiento de grano por planta, pueden recomendarse para la producción en la región de Marín N. L. como representativa del Noreste de México.
5. Se espera que estas variedades presenten un mayor rendimiento en el ciclo OI que en el ciclo PV.
6. Se ha integrado germoplasma de *Amaranthus cruentus* con el cual se podrán diversificar los cultivos en los agroecosistemas del Noreste de México y para establecer las bases del mejoramiento genético futuro de este cultivo en esta región del país.

7. Mediante el cumplimiento de los objetivos particulares planteados para alcanzar el objetivo general consistente en introducir al Noreste de México variedades criollas de la especie de *Amaranthus cruentus* L. como un posible cultivo de alternativa, se puede establecer que el mismo se cumplió.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Color de fuente: Negro, Español (México)

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Color de fuente: Negro, Español (México)

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Color de fuente: Negro, Español (México)

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Color de fuente: Negro, Español (México)

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, Color de fuente: Negro, Español (México)

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que en el ciclo OI 2007 se proceda a incrementar las seis variedades criollas introducidas que llegaron a adaptarse y que con semilla de reserva fueron reconstruidas mediante la recombinación de las nueve familias originales en el ciclo OI2006.

2. Se recomienda que en el ciclo OI 2007, se recombinen las familias seleccionadas mediante las modalidades promedial y convergente – divergente para obtener las doce primeras variedades mejoradas de amaranto útiles al Noreste de México.

3. Se recomienda en el ciclo O I 2008, comparar cada una de las seis variedades adaptadas reconstruidas contra sus dos versiones resultantes de las dos modalidades de selección familiar, para con ello medir la respuesta a la selección.

4. Se recomienda conservar el germoplasma generado en la Unidad de Recursos Filogenéticos de la Facultad de Agronomía de la UANL, para que esté a disposición de aquellos interesados en la producción y mejora genética de este cultivo.

BIBLIOGRAFIA

- Agong, S. G. and Ayiecho P.O.1991. The rate of outcrossing in grain amaranths. *Plant Breeding*.107:156
- Alejandre Iturbide, Gabriel y F. Gómez L.1986. Cultivo de amaranto en México. Dirección de Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo. México.245 pags.
- Alejandre Iturbide, Gabriel .1990. Cruzamientos interespecíficos en amaranto evidencia a nivel de tubo polínico. *Memorias Congreso Nacional de Fitogenética*. Cd. Juárez, Chih. pag. 394
- Alejandre Iturbide Gabriel y F. Gómez L. 1990 Variabilidad en tipos criollos de amaranto (*Amaranthus* spp) en la región central de México. *In: Trinidad Santos Antonio, Gómez L.F. y Suarez Ramos.G. (Compiladores). El amaranto (Amaranthus spp.) Su cultivo y aprovechamiento, Colegio de postgraduados, Montecillo. México. pp. 242-261*
- Alejandre Iturbide, Gabriel. 2003. Informe trimestral de Investigación. Subdirección de Investigación. CIIDIR Unidad Durango. IPN. 40 p.
- Alejandre Iturbide, Gabriel y Valdés Lozano C.G.S.2003. Evaluación preliminar del potencial de mejora para rendimiento de grano por planta de colectas de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) ciclo OI 2003. *Memoria de Seminarios Otoño-2003. DEP-FAUANL. Marín, N. L. p 25 – 31.*
- Angus, J.F., Mackenzie, D.E., Myers, R.J. and Foale. 1982. Phasic development in field crops 3.The pseudocereals , buckwheat and grain amaranth. *Field Crop Research* 5: 305-18.
- Avalos Perez, R. y José Barrales Dominguez. 2000. Estudio fenológico de cuatro selecciones de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) en el Valle del Yaqui, Sonora.SEP-DGTA. *Memorias XI Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. Instituto Tecnológico Agropecuario de Villa Ocuilzapotlan, Tab. 23-25 octubre. Pag. 88*
- Brenner, D.M.1993. Hybrid seeds for increased amaranth grain yield. *Legacy* 6:9-11.
- Coons, M. P. 1982. Relationships of *Amaranthus caudatus*. *EconomicBotany*. 36 (2).
- Cornide, M.T, H. Lima, G. Gálvez y A. Sigarroa.1985.*Génetica vegetal y fitomejoramiento* Editorial Científico. La Habana , Cuba.
- Falconer, D. S. 1986.*Introduction to quantitative genetics*. Longman Group Limited . London

- Feine, B. L., R.R. Harwood, C.S. Kauffman, and J.P. Senft. 1979. Amaranth: Gentle giant of the past and future. P. 41-63. *In*: G.A. Ritchie (ed.), New agricultural crops. Westview Press, Boulder, CO.
- Feine, L.B. 1981. A provisional key to some edible species of the family *Amaranthaceae*. P. 35-47, *In*: G. J.H. Grubben and D.H. van Sloten (eds.), Genetic Resources of amaranths. Int. Board Plant Genetic Resources, Rome.
- Flores Ramirez S. 1997. Estudio preliminar de ocho genotipos de amaranto en Ojocaliente, Zacatecas, ciclo Primavera Verano 1996. SEP-DGTA. Memorias VIII Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 7, Morelia Mich. 16-19 de Noviembre. Pag. 115
- Fuller, H. J. 1949. Photoperiodic responses of *Chenopodium quinoa* Willd and *Amaranthus caudatus* L. American Journal of Botany. 36:175.
- Garçía, E. 1973. Modificación al sistema de Koppen. Instituto de Geografía UNAM, México
- García, P. J., C. G. S. Valdés L., E. Olivares, H. Bernal B., I. Mata E., H. Medrano R. y G. Alejandro I. 2002. Rendimiento de grano y forraje de amaranto en Marín, N.L. Memoria del XVII Ciclo de Seminarios de Otoño. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Agronomía U.A.N.L. Marín, N. L. pag. 23-28.
- Grubben, J. H. 1976. The cultivation of amaranth as a tropical leaf vegetable. Communication 67. Royal Tropical Institute. Amsterdam. 206 p.
- Grubben, G. J. H., and D. H. Van Sloten. 1981. Genetic resources of amaranths. IBPGR FAO. Rome, Italy. 57 p.
- Gonzalez, G. P. 1998. Evaluación de doce genotipos de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en Salta, Chih. SEP-DGTA. Memorias del IX Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. Instituto Tecnológico Agropecuario de Conkal, Yuc. 23-28 Noviembre . pag. 128
- Hauptli, H. and Jain S.K. 1984. Genetic structure of landraces population of the new world grain amaranths. Euphytica, 33, 857-884.
- Hauptli, H. and Jain S.K. 1985. Genetic variation in outcrossing rate and correlated floral traits in a population of grain amaranths (*Amaranthus cruentus* L.). Genetica, 66:21
- Hauptli, H. 1990. Sumario de la colección de amaranto en América Latina, desde el punto de vista de variaciones genéticas. *In*: Trinidad Santos Antonio, Gómez L.F. y Suarez Ramos.G. (Compiladores). El amaranto (*Amaranthus spp.*) Su cultivo y aprovechamiento, Colegio de postgraduados, Montecillo. México. pag. 239-

- Hunziker, A. T. 1952. Los pseudocereales de la agricultura indígena de América. Buenos Aires, Argentina. 104 pp.
- INEGI.1996. Análisis Estadístico del Estado de Nuevo León. Edición Gobierno del Estado. Monterrey, N.L.
- Jain S. K., Hauptli, H. and Vaidya, K.R. 1982. Outcrossing rate in grain amaranths. *Journal of Heredity*. 73:71
- Joshi, B.D.1986. Genetic variability in grain amaranth. *Indian Journal of Agric. Science*.56, 574-6.
- Joshi, B. D. y Rana, R. S. 1991. Grain amaranths: The future food crop. National Bureau of Plant Genetic Resources. Simla, India.
- Kauffman, C. 1992. The status of grain amaranths for the 1990s. *Food Rev. Int.* 8(1):165
- Kulakow, P. and S. Jain. 1986. Genetics of grain amaranths. 4. Variation and early generation response to selection in *Amaranthus cruentus* L. *Theoretical and Applied Genetics*. 74:113-120.
- Lehmann, J. W., R.L. Clark y K. J. Frey 1991. Biomass heterosis and combining ability in interespecific and intraspecific matings of grain amaranth. *Crop Science* 31:1111-1116.
- Mapes, S., E.C. 1997. Etnobotánica del quintonil, conocimiento, uso y manejo de *Amaranthus* spp. en México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 154 p.
- Márquez, S. F. 1985. Genotecnia vegetal. Tomo I. Métodos, teoría resultados. A. G.T. Editor S.A. México, D.F. 357 pags.
- Márquez, S. F.1990.Generalidades sobre el establecimiento de un programa inmediato de mejoramiento genético de amaranto. Pags.217-224. *In*: El amaranto , su cultivo y aprovechamiento. Antonio Trinidad Santos, Federico Gómez L. y Guadalupe Suárez Ramos (Compiladores). Colegio de Postgraduados. Montecillo, México
- Molina, G. J. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa (Algunas implicaciones en genotecnia) A. G. T. Editor S, A. México. pp-177-202
- Olivares Sáenz E. 1996. Paquete estadístico de Diseños Experimentales. Facultad de Agronomía. UANL. Marín, N. L
- Pal, M. 1972. Evolution and improvement of cultivated amaranth. Breeding system and inflorescence structure. *Proc. Indian National Sciences Academy*:38(1-2):28

- Pal, M. and T. N. Khoshoo. 1972. Evolution and improvement of cultivated amaranth. V. Inviability, weakness and sterility in hybrids. *Journal of Heredity*. 63:78
- Pandey, R. M. 1984. Genetic studies of yield contributing traits in *Amaranthus*. *Theoretical and Applied Genetics*. 168:121
- Pandey, R.M. and M. Pal. 1985. Genetics of grain proteins in *Amaranthus*. *Crop Improvement*. 12:55-58.
- Paredes-López, O. 1994. *Amaranth: biology chemistry and technology*. CRC. Press Boca Raton, Fla. 223 pags.
- Peña Peña, Roberto .1997. Fertilización química para el amaranto SEP- DGTA.VIII Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 7 Morelia, Mich. 16-19 de Noviembre. Pag.118
- Peters I. and S. K. Jain. 1987. Genetics of grain amaranths. III. Gene-cytoplasmic male sterility. *Journal of Heredity*. 78:251
- Sauer, J.D. 1967. The grain amaranth and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. *Ann. Mo. Bot. Gard*. 54(2):103
- Sauer, J. D. 1993. *Historical geography of crop plants: A select roster*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Senft, J. P. 1979. Protein quality of amaranth grain. *In: Proceedings of the Second Amaranth Conference*. Rodale Press Inc. p. 43-47, Emmaus, Pa.
- Singh, H. 1961. *Grain amaranths, buckwheat and chenopods*. Indian Council Agricultural Research, New Delhi. India
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. *Principles and procedures of statistics. A biometrical approach*. McGraw Hill. Second edition U.S.A.
- Vaidya K.R., Jain S.K. 1987. Response to mass selection for plant height and grain yield in amaranth (*Amaranthus* spp.) 3. *Plant Breeding*.
- Williams, J. T. 1995. *Cereals and pseudocereals underutilized crops*. Chapman & Hall. London, U. K.
- Zabka, G.G. 1961. Photoperiodism in *Amaranthus caudatus*. I. A re-examination of the photoperiodic response. *American Journal of Botany*. 48, 21-8.

