



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA



EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE AMARANTO EN DOS
LOCALIDADES PARA RENDIMIENTO DE GRANO Y FORRAJE

Por:

Leodegario Escandón Quiroz

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo Fitotecnista



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA



EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE AMARANTO EN DOS
LOCALIDADES PARA RENDIMIENTO DE GRANO Y FORRAJE

Por:

Leodegario Escandón Quiroz

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo Fitotecnista

Asesores:

Dr. José Butrón Rodríguez

Dr. Ramón Jarquín Gálvez

Dr. Ángel Natanael Vázquez Rojas

El trabajo titulado **“Evaluación de tres variedades de amaranto, en dos localidades para rendimiento de grano y forraje”**, fue realizado por **Leodegario Escandón Quiroz** como requisito parcial para obtener el título de **“Ingeniero Agrónomo Fitotecnista”** y fue revisado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. José Butrón Rodríguez

Asesor

Dr. Ramón Jarquin Gálvez

Asesor

Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez

Asesor

Ejido Palma dela Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez S.L.P. a los 19 días del mes de Octubre de 2012.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia que tanto me ha apoyado, a Dios por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida, al brindarme los medios necesarios para continuar mi formación, siendo un apoyo incondicional para lograr concluir esta carrera que tanto me gusta.

A mis padres, dedicarles este presente documento quien permanentemente me apoyaron con su espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr mis metas y objetivos propuestos y que al brindarme con sus ejemplos a ser perseverante y darme la fuerza que me impulsó a conseguirlo.

A mis hermanos que me acompañaron a lo largo del camino, brindándome la fuerza necesaria para continuar y momentos de ánimo así mismo ayudándome en lo que fuera posible, dándome consejos y orientación, estoy muy agradecido.

A mis compañeros que estuvieron durante este trayecto, en especial a Lilia García, por su gran participación en la etapa final de este estudio, por su incondicional apoyo, gracias.

A Tere persona importante, por su compañía y palabras de aliento en momentos difíciles, y a todas las personas que creyeron en mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la vida, por la espera y paciencia que me ha brindado.

A la Universidad autónoma de San Luis Potosí, a la facultad de Agronomía, a mis maestros y amigos de esta facultad.

Un agradecimiento muy especial a mi asesor, el Dr. José Butrón Rodríguez por su amistad, confianza, y por la orientación que dio sobre esta investigación y todo lo que me ha enseñado tanto en la carrera profesional como en la vida.

CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| DEDICATORIA..... | iii |
| AGRADECIMIENTOS..... | iv |
| CONTENIDO..... | v |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| RESUMEN..... | x |
| SUMMARY..... | xii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| Hipótesis..... | 2 |
| Objetivo..... | 2 |
| REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| Historia..... | 3 |
| Descripción de la Planta..... | 4 |
| Clasificación Botánica..... | 6 |
| Genética del Cultivo..... | 7 |
| Valor Nutricional..... | 8 |
| Contenido Energético..... | 10 |
| Calidad del Forraje..... | 12 |
| Variedades Utilizadas en México..... | 13 |
| Regiones Productoras..... | 14 |
| Potencial del Rendimiento..... | 16 |
| Plagas y Enfermedades..... | 16 |
| Características o Componentes del Rendimiento..... | 18 |
| Uso del Amaranto..... | 19 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 20 |
| Localización del Experimento..... | 20 |

| | |
|---|----|
| Material Genético..... | 20 |
| Preparación del Terreno Experimental..... | 20 |
| Siembra y Trasplante..... | 21 |
| Diseño Experimental..... | 22 |
| Modelo Estadístico..... | 22 |
| Características Registradas..... | 25 |
| Análisis de datos..... | 25 |
| Metodología..... | 25 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 26 |
| CONCLUSIONES..... | 37 |
| LITERATURA CITADA..... | 38 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | | Página |
|--------|--|--------|
| 1 | Clasificación botánica del amaranto cultivado..... | 7 |
| 2 | Valor nutricional del amaranto en relación con otras hortalizas (En 100gr de hoja)..... | 8 |
| 3 | Valor nutritivo de la semilla cruda de amaranto comparado con cereales comunes (gr /100gr)..... | 9 |
| 4 | Valor nutritivo de las hojas de amaranto comparadas con acelgas y espinacas (cada 100gr hervidas con sal)..... | 10 |
| 5 | Composición química de la semilla de amaranto (por 100 gr de parte comestible y en base ceca)..... | 11 |
| 6 | Composición de proteína del amaranto comparado a los principales cereales (gr / 100gr pasta comestible)..... | 11 |
| 7 | Composición de las hojas de amaranto comparado con la espinaca (nutrientes seleccionados en 100 gr)..... | 12 |
| 8 | Contenido de nitratos y oxalatos en diferentes especies de amaranto y espinaca (gr / 100gr)..... | 12 |
| 9 | Principales estados productores de amaranto en México..... | 15 |
| 10 | Material genético de amaranto utilizado en el trabajo experimental. | 20 |
| 11 | Análisis de varianza (ANAVA) indicativo para el diseño de bloques completos al azar..... | 23 |
| 12 | Análisis de varianza indicativo para el diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial..... | 24 |
| 13 | Cuadros medios de los efectos principales y de la interacción para altura de planta..... | 26 |

| | | |
|----|---|----|
| 14 | Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor A dentro de cada uno de los niveles del factor B para altura de planta..... | 27 |
| 15 | Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor B dentro de cada uno de los niveles del factor A para altura de planta | 28 |
| 16 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para longitud de panoja..... | 29 |
| 17 | Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor A y los niveles del factor B para longitud de panoja..... | 29 |
| 18 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para la variable diámetro de tallo..... | 30 |
| 19 | Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor A dentro de cada uno de los niveles del factor B para diámetro de tallo | 30 |
| 20 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para rendimiento de forraje verde..... | 32 |
| 21 | Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor A dentro de cada uno de los niveles del factor B para rendimiento de forraje verde | 32 |
| 22 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para rendimiento de materia seca..... | 34 |
| 23 | Cuadro de comparación de medias de los niveles del factor A y los niveles del factor B para rendimiento de materia seca..... | 34 |
| 24 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para la variable rendimiento de grano..... | 35 |
| 25 | Cuadro de comparación de medias de los niveles del factor A (localidades) para rendimiento de grano..... | 35 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|--------|--|--------|
| 1 | Comportamiento de la altura de planta de las variedades en estudio en la localidad 1(CBETA) y en la localidad 2 (CAEFA)..... | 27 |
| 2 | Comportamiento del diámetro de tallo de las variedades y localidades de siembra en estudio..... | 31 |
| 3 | Comportamiento del rendimiento de forraje verde de las variedades y localidades de siembra en estudio..... | 33 |

RESUMEN

El interés mundial por el amaranto es muy reciente. A partir de los años 80, aparecen las primeras investigaciones, lideradas por la academia nacional de ciencias de Estados Unidos y prácticamente se produce un redescubrimiento del cultivo, justificado principalmente por su valor nutritivo y potencial agronómico. El cultivo del amaranto constituye una alternativa para disminuir la desnutrición infantil en el medio rural, por sus cualidades y propiedades nutritivas; asimismo, el cultivo del amaranto promueve un desarrollo sostenible en las comunidades rurales generando inversión y creación de empleos en el campo y representa una alternativa para diversificar los cultivos tradicionales y mejorar el nivel de vida del productor. Los objetivos del presente trabajo fueron: estimar la interacción genotipo ambiente de las variedades de amaranto en las dos localidades de prueba y seleccionar la variedad de amaranto más estable y con el mejor comportamiento en el rendimiento de grano y forraje. Las variables en estudio fueron: altura de planta, longitud de panoja, diámetro de tallo, rendimiento de forraje verde, materia seca y rendimiento de grano; los datos se analizaron como un experimento factorial, donde el factor A, fueron las localidades de siembra (a_1 : Cd. del Maíz, SLP. y a_2 : Ej. Palma de la Cruz, Soledad de G.S., SLP.), el factor B, variedades (b_1 : criolla, b_2 : amaranteca y b_3 : revancha). La altura de planta mostró deferencia altamente significancia para la interacción, donde las variedades criolla, amaranteca y revancha registraron una mejor respuesta en la localidad de Cd. del Maíz, con valores medios de 151.94, 139.19 y 155.06 cm, respectivamente, para longitud de espiga los factores actúan independientemente, existe significancia para localidades, con la mayor longitud media en Cd. del Maíz indicando una valor de 47.44 cm y las variedades con mejor comportamiento en la misma localidad fueron la variedad criolla y amaranteca con medias de 42.84 y 41.75 cm, en el mismo orden; diámetro de tallo mostró diferencia significativa para la interacción, donde las variedades criolla y amaranteca no mostraron diferencia significativa en ambos ambientes y revancha fue superior en Cd. del Maíz; en cuanto al rendimiento de forraje verde la interacción mostró significancia, donde la variedad criolla registro medias iguales estadísticamente en Cd. del Maíz y en Soledad de G.S., con valores de 17.78 y 21.87 t ha⁻¹, en tanto que, amaranteca y revancha

manifestaron su mejor respuesta en Soledad de G.S. con medias de 33.75 y 46.25 t ha⁻¹; para el rendimiento de materia seca la interacción no fue significativa, en Cd. del Maíz se registro el mejor rendimiento y diferente estadísticamente con una media de 6.12 t ha⁻¹ y para variedades la mejor en forma significativa fue la criolla con una media de 7.28 t ha⁻¹; para el rendimiento de grano los factores actúan independientemente, la significancia para localidades, muestra un mejor rendimiento en Cd. del Maíz, con una media de 1.24 t ha⁻¹.

SUMMARY

Global interest in amaranth is very recent. From the 80s, are the first investigations, led by the National Academy of Sciences of the United States and produces almost a rediscovery of the crop, mainly justified by its nutritional value and agronomic potential. The cultivation of amaranth is an alternative to reduce child malnutrition in rural areas, and for its nutritional qualities, also, amaranth cultivation promotes sustainable development in rural communities by generating investment and job creation in the field and represents a alternative to traditional crop diversification and improve the living standards of the producer. The objectives of this study were to estimate the genotype environment interaction amaranth varieties in the two test locations and select a variety of amaranth more stable and with better performance in grain yield and forage. The variables studied were: plant height, panicle length, stem diameter, green fodder yield, dry matter and grain yield data were analyzed as a factorial experiment, where the factor A, were planting locations (a1: Ciudad del Maiz, SLP., and a2: Ex Palma de la Cruz, Soledad GS, SLP.), factor B, varieties (b1: Creole, B2 and B3 amaranteca: revenge). Plant height showed highly significant deference to the interaction, where Creole varieties, and revenge amaranteca better response recorded in the town of Ciudad del Maiz, with mean values of 151.94, 139.19 and 155.06 cm, respectively, for spike length factors act independently, there is significance to localities, with the longest average indicating Corn Cd value of 47.44 cm and the best performing varieties in the same locality were landrace and stockings amaranteca 42.84 and 41.75 cm, in the same order; stem diameter showed significant difference for interaction where amaranteca Creole varieties showed no significant difference in both environments and revenge was higher in Cd Corn, in terms of forage yield showed significant interaction, where log landrace statistically equal means in Cd Soledad Corn and GS, with 17.78 and 21.87 values $t\ ha^{-1}$, whereas, amaranteca and revenge expressed in Soledad best response of GS with averages of 33.75 and 46.25 $t\ ha^{-1}$, for dry matter yield interaction was not significant, in Ciudad del Maiz best performance was recorded and statistically different with an average of 6.12 $t\ ha^{-1}$ and for the best varieties significantly was the Creole with an

average of 7.28 t ha⁻¹ for grain yield factors act independently, the significance for localities, shows better performance in Ciudad del Maíz, with an average of 1.24 t ha⁻¹.

INTRODUCCIÓN

El amaranto es una planta autóctona de América, domesticada, cultivada y utilizada desde hace más de 4000 años (Saucer, 1976). Las excavaciones arqueológicas revelan que las semillas y hojas fueron consumidas por habitantes prehistóricos mucho antes del proceso de domesticación, ya que en las regiones tropicales y subtropicales era una planta importante de recolección. Esta especie tuvo relevancia en la época pre-hispánica y actualmente está retomando auge, por su excelente calidad nutritiva y amplia adaptación, incluso en ambientes desfavorables, el amaranto es resistente a la sequía por ser eficiente en la fijación de CO₂, no presentar foto-respiración y requerir menor cantidad de agua para producir la misma cantidad de biomasa (Hauptli, 1977).

El contenido de proteína del amaranto comparado con los principales cereales (100 gr pasta comestible), es: amaranto 13.6-18.0 gr, cebada 9.5-17.0 gr, maíz 9.4-14.2 gr, arroz 7.5 gr, trigo 14.0-17.0 gr y centeno 9.4-14.0 gr. El balance de aminoácidos está cercano al requerido para la nutrición humana, con alto contenido de lisina comparado con otros cereales, lo que permite una excelente complementación aminoacídica con las proteínas de maíz, arroz y trigo; los principales ácidos grasos presentes en el aceite de amaranto son el ácido oleico y el ácido linoleico, así como una gran cantidad de minerales, principalmente calcio, magnesio y hierro (FAO, 2012).; por otro lado, las hojas de amaranto poseen un alto contenido de calcio, hierro, magnesio, fósforo y vitaminas A y C, lo que lo convierte en un buen complemento con los granos; la proteína tiene altos contenidos de aminoácidos como la glicina, lisina y el ácido glutámico. En algunos países se consumen como verdura en lugar de la acelga y la espinaca, además, pueden utilizarse como especie forrajera para el ganado (Asoc. Mexicana del Amaranto, 2012). Los altos niveles de desnutrición asociados con la pobreza en el estado de San Luis Potosí, particularmente en la zona norte y sur del estado han hecho que el gobierno del estado y organizaciones no gubernamentales busquen alternativas viables y eficientes para disminuir la desnutrición en las áreas rurales principalmente. El cultivo del amaranto constituye una alternativa viable y eficaz para la recuperación nutricional o disminución de la desnutrición infantil en el medio rural, por sus cualidades y

propiedades nutritivas, agronómicas e industriales que garantizan el éxito de la cadena nutritiva; asimismo, el cultivo del amaranto promueve un desarrollo sostenible en las comunidades rurales generando inversión y creación de empleos en el campo, utilizando la tecnología artesanal disponible y representa una alternativa para diversificar los cultivos tradicionales y mejorar el nivel de vida del productor

Hipótesis

1. Las variedades de amaranto por su constitución genética tienen un comportamiento diferente en las localidades de prueba.
2. Dentro de las variedades de amaranto en evaluación, existen variedades con mayor potencial de rendimiento en las localidades de prueba.

Objetivos

1. Estimar la interacción genotipo ambiente de las variedades de amaranto en las diferentes localidades de prueba.
2. Seleccionar la variedad de amaranto más estable y con el mejor comportamiento en el rendimiento de grano y forraje.

REVISIÓN DE LITERATURA

Historia

El amaranto fue cultivado en América desde hace 5000 a 7000 años y junto con el maíz y frijol fue un cultivo fundamental para las civilizaciones mesoamericanas y sudamericanas. Los mayas lo nombraban “xtes”, apreciaban principalmente su valor alimenticio y probablemente fueron los primeros en utilizarlo como un cultivo de alto rendimiento. Los aztecas lo conocían como “huautli” y lo ligaban con sus ritos religiosos. Por su parte los incas lo denominaron “kiwicha” (pequeño gigante) y lo respetaban principalmente por sus poderes curativos. A la llegada de los españoles se le denominó amaranto que proviene del latín y significa “flor que nunca muere” (Asociación Mexicana del amaranto, 2003).

El origen del amaranto se ubica desde el suroeste de Estados Unidos y norte de México (*Amaranthus Hypochondriacus*), en el sureste de México y Centroamérica (*Amaranthus cruentus*) y en los Andes argentinos *Amaranthus caudatus* (Pereyra *et al.*, 2010). La cuna de la agricultura y de la irrigación en Mesoamérica es el Valle de Tehuacán Teotitlán durante la fase Coxcatlán, Puebla en México (5200 a 3400 años AC), donde se localizaron los primeros vestigios de semillas de *Amaranthus hypochondriacus* L., indicando que la domesticación del amaranto tuvo lugar en la misma época que el maíz.

En México las migraciones hacia el sur lo trasladaron a la Mesa Central en donde alcanzó su máxima relevancia donde el cultivo de *Amaranthus Hypochondriacus* estuvo muy extendido con la denominación de “huautli”, se dice que igualaba en importancia al maíz y al frijol (García Pereyra, 2004).

Su cultivo se remonta a más de siete mil años. Algunos autores afirman que los mayas serían los primeros en cultivarlo y que luego poco a poco lo fueron haciendo los aztecas e incas. El amaranto, la quínoa y el maíz eran consideradas plantas sagradas y los españoles prohibieron su cultivo, ya que veían con malos ojos que las utilizaran en rituales. El amaranto se entrelazaba con los rituales; en varias fechas del calendario religioso las mujeres aztecas molían la semilla, la mezclaban con miel y formaban

figuras de víboras, aves, montañas, venados y dioses, para ser comidas en las ceremonias, en los grandes templos o en pequeñas reuniones familiares. La conquista española terminó con su uso como artículo de primera necesidad en América, porque aparentemente su utilización en los rituales espantó a los conquistadores españoles, y con el colapso de las culturas indias después de la conquista, el amaranto cayó en el olvido y en el desuso, y solamente sobrevivió en América en pequeñas áreas de cultivo esparcidas en zonas montañosas de México y los Andes. Esta planta tenía usos alimenticios, ya que se recolectaban las hojas y semillas de las plantas silvestres. en el tiempo del Imperio Azteca fue cuando el amaranto cobró gran importancia tanto como cultivo alimenticio como por su carácter ceremonial, al grado de que las provincias que estaban sometidas al imperio enviaban anualmente grandes cantidades de semilla de amaranto al emperador Moctezuma como tributo (Casillas, 1977). Durante el tiempo de la conquista el cultivo del amaranto se extendía desde Jalisco hasta Oaxaca. Este cultivo a declinado en este siglo y actualmente sólo se practica en lugares aislados y a quedado reducido a pequeñas áreas, siendo las más importantes; Tulyehualco, D.F. Amilcingo y Huazulco, Mor; San Miguel del Milagro, Tlaxcala, Puebla y Oaxaca (National Academy of Sciences, 1975).

Descripción de la Planta

Planta: El amaranto es una especie que alcanza gran desarrollo en suelos fértiles; en algunos casos supera los 2 metros de altura. Generalmente tiene un solo eje central, aunque también se presentan ramificaciones desde la base y a lo largo del tallo. (Mazón, *et al.*, 2003). El amaranto es una planta muy eficiente en la fijación de CO₂. También se caracteriza por no presentar fotorespiración y un bajo empleo de agua para producir la misma cantidad de follaje que los cereales (FAO, 1992).

Raíz: Posee raíz pivotante, con un buen número de ramificaciones y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después de que el tallo empieza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes (Mujica y Berti, 1997).

Tallo: El tallo es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 cm de longitud, cuyo grosor disminuye de

la base al ápice, presenta distintas coloraciones que generalmente coinciden con el color de las hojas, aunque a veces se observan estrías de diferentes colores, presenta ramificaciones que en muchos casos comienzan desde la base o a media altura y que se originan en las axilas de las hojas. El color del tallo es variable, va desde un color blanco amarillento hasta verde claro, inclusive rojo vinoso (Sumar, 1982).

Hojas: Son pecioladas, sin estipulas de forma oval, elíptica, alternas u opuestas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando borde entero de tamaño variable de 6.5 – 15 cm. (Sumar, 1993; Tapia, 1997). Las hojas también varían en su forma; pueden ser romboides, lisas y de escasa o nula pubescencia (Mujica, y Berti, 1997).

Flor: El amaranto posee grandes inflorescencias que llegan a medir hasta 90 centímetros de largo y pueden ser decumbentes, semierecto y erectas, adoptando formas glomerulares o amarantiformes, densas, laxas o compactas. El eje central de inflorescencia (la continuación del tallo) lleva grupos de flores llamados dicasio. El número de flores de cada de estos dicasio es variable, con flores masculinas y femeninas dispuestas en la inflorescencia en forma sésil o ligeramente pedunculada; las flores estaminadas una vez producido el polen se cierran y se caen; las flores estaminadas o pistiladas, están compuestas de una bráctea externa y cinco sépalos verduzcos, dos externos y tres internos, los primeros ligeramente más grandes. En las flores estaminadas hay cinco estambres de filamentos delgados y largos terminados en anteras que se abren en dos sacos, las flores pistiladas tienen un ovario semiesférico que contiene solo un óvulo, con tres ramas estigmadas (Sumar, 1982).

La semilla es muy pequeña, mide de 1 a 1.5 mm de diámetro y el número de semillas por gramo oscila entre 1.000 y 3.000. Son de forma circular y de colores variados, así: existen granos blancos, blanco amarillentos, dorados, rosados, rojos y negros. Todas las especies silvestres presentan granos negros y de cubiertas muy duras. Anatómicamente en el grano se distinguen tres partes principales: la cubierta, que es una capa de células muy fina conocida como episperma, una segunda capa que está formada por los cotiledones y es la parte más rica en proteína y una capa interna, rica en almidones conocida como perisperma (Nieto, 1990).

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

El fruto es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, la que a la madurez se abre transversalmente, dejando caer la parte superior llamada opérculo, para poner al descubierto la inferior llamada urna, donde se encuentra la semilla. Siendo dehiscente por lo que deja caer fácilmente la semilla (Sánchez, 1980). Existen algunas especies de amaranto que tienen pixidios indehiscentes, característica que puede ser transferida a cultivares comerciales de amaranto (Brenner, 1990).

Clasificación Botánica

Paredes *et al.* (1990), mencionaron que la familia amarantaceae está comprendida por más de 60 géneros y 800 especies de plantas herbáceas anuales o perennes. Solo tres especies del genero *Amaranthus* son cultivadas para la producción de semillas comestibles *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* q son cultivadas en México y Guatemala, respectivamente, y *A. caudatos*, que es cultivada en Perú. El amaranto es una planta dicotiledónea que produce semillas tipo cereal (generalmente clasificadas como monocotiledóneas) por lo que se ha considerado como un seudo cereal puesto que produce granos tipo cereal. Su clasificación taxonómica es inexacta debido a su plasticidad botánica extrema, por lo que se han tomado en cuenta sus estructuras florales, forma y proporciones de hoja e inflorescencias (Paredes *et al.*, 1990).

Genética del Cultivo

Se siembra en muy baja escala, y por ello los investigadores no han desarrollado un material genético que pueda ser calificado como variedad. Es una hierba anual productora de pequeñas semillas en abundancia.

Estas semillas tienen propiedades particulares que, aun no siendo gramíneas, se pueden conservar por tiempo prolongado sin que pierdan sus propiedades.

Además de ser una planta muy adaptable a condiciones de crecimiento muy limitadas en agua y nutrientes minerales, resiste mucho al calor extremo.

Cuadro 1. Clasificación botánica del amaranto cultivado.

| Reino | Vegetal |
|--------------------------------|---|
| División | <i>Embryophyta Siphonogama</i> |
| Subdivisión | <i>Angiospermae</i> |
| Clase | <i>Dicotyledonae</i> |
| Subclase | <i>Archiclomidae</i> |
| Serie | <i>Centrospermae</i> |
| Familia | <i>Amaranthaceae</i> |
| Género | <i>Amaranthus</i> |
| Especies cultivadas para grano | <i>hypochondriacus, cruentus y caudatus</i> |

Fuente: Tapia, (1997)

Valor Nutricional

La semilla de amaranto contiene aproximadamente 11.1% de proteína en promedio y se puede comparar con semillas convencionales como el maíz con 13.8%, arroz con 11.7% y trigo 12.5%. El contenido de grasa es relativamente alto (7.7%), sin embargo este valor es mucho menor que en algunas leguminosas consumidas como la soya con un valor de 20.1% (Dowton, 1973).

Los análisis de composición indican que los contenidos de proteína cruda, grasa, fibra y cenizas del amaranto son generalmente más altos que en los cereales, sin embargo el contenido de carbohidratos es más bajo. En general el contenido de aminoácidos esenciales del amaranto tiene niveles adecuados; muy en particular los aminoácidos azufrados (2.6 a 5.5%) y lisina (3.2 a 6.4%); este último corresponde a casi el doble de lo que contiene el maíz y el trigo (2.2 a 4.5%) y algo menos de lo encontrado en leguminosas importantes como chícharo, frijoles y soya (1.4%) (Dowton, 1973).

Esta composición de aminoácidos es poco usual debido a su balance cercano al óptimo requerido en la dieta humana en adultos según la FAO (FAO/WHO/UNU, 1986), lo que hace de este grano una cosecha promisoriosa como alimento o fuente de proteínas en la

dieta. Por otra parte la cantidad de aminoácidos esenciales es superior en las fracciones de globulinas y prolaminas, mientras que la fracción de albúminas posee los más altos contenidos de lisina. (Paredes *et al.*, 1990), Respecto a la calidad de la proteína se han reportado valores de calificación química de aminoácidos (CQA) de 75, que comparado con 54 de maíz, 60 del trigo, 68 de la soya y 73 de la leche refleja que es aceptable y de buena calidad. La combinación de harina de amaranto y trigo se aproxima a una CQA de 100, También se han reportado valores de PER (relación de eficiencia de proteína) de 1.6 a 2.2 (40, 41). La digestibilidad verdadera del amaranto tanto crudo como reventado o tostado alcanza valores desde 79.2 a 88.5% (Bressaniet, 1994).

El amaranto empezó a llamar la atención de los científicos cuando en 1972 el australiano Jhon Dowton encontró que el grano contenía proteínas de calidad inusual, debido a la alta cantidad del aminoácido llamado «lisina» que de acuerdo a la FAO lo coloca en la clasificación de alimento que se acerca al ideal, ya que contiene entre 16 y 17 % de proteínas, en comparación con el trigo (12 – 14 %), el arroz (7-10 %) y maíz (9-10 %). (National Research Council, 1984).

Cuadro 2. Valor nutricional del amaranto en relación con otras hortalizas (en 100 gr de hoja).

| Determinación | Amaranto | Acelga | Col | Espinaca |
|----------------------|-----------------|---------------|------------|-----------------|
| Humedad (gr) | 86.9 | 91.9 | 87.5 | 90.7 |
| Proteína (gr) | 3.5 | 2.4 | 4.2 | 3.2 |
| Calcio (mg) | 267 | 88 | 179 | 93 |
| Tiamina (mg) | 0.08 | 0.06 | - | 0.10 |
| Niacina (mg) | 1.4 | 0.5 | - | 0.06 |
| Roboflavina (mg) | 0.16 | 0.17 | - | 0.2 |

Fuente: Carlsson, (1997)

El aceite por su parte, es rico en ácidos grasos. El principal hidrato de carbono en el amaranto es el almidón, con pequeñas cantidades de sacarosa y rafinosa. En cuanto a las vitaminas, el amaranto contiene tiamina, riboflavina, neacina y vitamina C, que se distribuye principalmente en la cáscara, en cantidades similares a las de los cereales. Los

nutrimentos se encuentran en toda la semilla, por lo que se recomienda su aprovechamiento integral. Del 50 al 80 % del total de planta es comestible.

En la mayoría de las especies las hojas contienen alrededor de 3.5 % de proteínas y 5 gr de lisina por cada 100 gr de proteína.

Esta planta subutilizada tiene un valor económico provisorio. El reto es encontrar un camino para incorporarla a los productos alimenticios existentes. La planta de amaranto se puede aprovechar de diversas formas; por ejemplo como ornato, gracias al hermoso follaje que presentan algunas especies, y para preparar sopas y ensaladas a partir de las hojas y partes blandas de tallos.

Las semillas oscuras se han utilizado para extraer colorantes de valor en diversas industrias, las semillas claras (amarillas) se consumen como alimento en una variedad de productos.

Cuadro 3. Valor nutritivo de la semilla cruda de amaranto comparado con cereales comunes (gr /100gr).

| | Amaranto | Arroz | Trigo | Maíz amarillo | Avena |
|-----------------|-----------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|
| Fibra dietética | 14.5gr | 6.5gr | 10.7gr | 9.4gr | 16.9gr |
| Proteína | 9.3gr | 2.8gr | 12.7gr | 7.3gr | 10.6gr |
| Grasas | 6.5gr | 0.5gr | 2.0gr | 4.7gr | 6.9gr |
| Carbohidratos | 66.2gr | 79.2gr | 75.4gr | 74.3gr | 66.3gr |
| Calcio | 153.0mg | 3.0mg | 34.0mg | 7.0mg | 54.0mg |
| Hierro | 7.6mg | 4.23mg | 5.4mg | 2.7mg | 4.7mg |
| Calorías | 374.0 kcal | 358.0 kcal | 340.0 kcal | 365.0 kcal | 389.0 kcal |

Fuente: Gómez, (2010)

En la actualidad se desarrollan tanto en nuestro país como el extranjero, diversas investigaciones sobre su utilización, en especial en el área de panificación, galletería, pastas, embutidos, alimentos infantiles, etc. La semilla contiene mucho sodio, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, níquel y hierro, aunque este último probablemente es de baja digestibilidad por el contenido de fitatos (sustancia que se encuentra en las plantas y que atrapa el hierro haciéndolo inaccesible al organismo).

Cuadro 4. Valor nutritivo de las hojas de amaranto comparadas con acelgas y espinacas (cada 100 gr hervidas con sal).

| | Hojas de amaranto | Acelgas | Hojas de espinaca |
|-----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| Calorías | 21.0 kcal | 20.0 kcal | 23.0 kcal |
| Carbohidratos | 4.1gr | 4.1gr | 3.8gr |
| Proteína | 2.1gr | 1.9gr | 3.0gr |
| Calcio | 209.0 mg | 58.0 mg | 136.0 mg |
| Fósforo | 72.0 mg | 33.0 mg | 56.0 mg |
| Hierro | 2.3 mg | 2.3 mg | 3.6 mg |
| Vitamina C | 41.1 mg | 18.0 mg | 9.8 mg |
| Fibra Dietética | n/a | 2.1g | 2.4g |
| Folato | 57.0 mcg | 9.0 mcg | 146.0 mcg |

Fuente: Gómez, (2010)

Contenido Energético

El valor energético del amaranto es mayor que el de los cereales. El contenido de proteína del grano de amaranto es elevado y algo mayor que el de los otros cereales.

El balance de aminoácidos está cercano al requerido para la nutrición humana y su aminoácido más limitante es la leucina que permite que la proteína de *A. caudatus* se absorba y utilice hasta el 70 %, cifra que asciende hasta el 79 % según las variedades.

Calidad del Forraje

Las hojas presentan un alto contenido de calcio debido a la gran cantidad de ácido oxálico que poseen las plantas de amaranto en la etapa vegetativa, las hojas presentan mayores contenidos de nutrientes similares a muchas hortalizas de hoja tales acelga, espinaca, verdolaga, etc., mostrando alto contenido de proteínas, fosforo, hierro, calcio y vitaminas como vitamina C, retinol, y niacina.

Cuadro 5. Composición química de la semilla de amaranto (por 100 gr de parte comestible y en base seca).

| Característica | Contenido |
|-----------------------|------------------|
| Proteína (gr) | 12 – 19 |
| Carbohidratos (gr) | 71.8 |
| Lípidos (gr) | 6.1 – 8.1 |
| Fibra (gr) | 6.5 – 5.0 |
| Cenizas (gr) | 3.0 – 3.3 |
| Energía (kcal) | 391 |
| Calcio (mg) | 130 – 164 |
| Fósforo (mg) | 530 |
| Potasio (mg) | 800 |
| Vitamina C (mg) | 1.5 |

Fuente: Nieto, (1990)

Cuadro 6. Composición de proteína del amaranto comparado a los principales cereales (gr /100 gr pasta comestible).

| Cultivo | Proteína |
|----------------|-----------------|
| Amaranto | 13.6 – 18.0 |
| Cebada | 9.5 – 17.0 |
| Maíz | 9.4 – 14.2 |
| Arroz | 7.5 |
| Trigo | 14.0 – 17.0 |
| Centeno | 9.4 – 14.0 |

Fuente: National Academy of Sciences, (1975)

El contenido de ácido oxálico, presentes en las hojas del amaranto y que son tóxicos para el hombre no superan el 4.6 %, nivel que es inofensivo para la salud humana, puesto que estos se destruyen casi en su totalidad y con facilidad durante el proceso de cocción o con el tratamiento caliente-húmedo.

Cuadro 7. Composición de las hojas de amaranto comparado con la espinaca (nutrientes seleccionados en 100 gr).

| | Amaranto | Espinaca |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| Materia seca (gr) | 13.1 | 9.3 |
| Energía (cal) | 36 | 26 |
| Proteína (gr) | 3.5 | 3.2 |
| Grasa (gr) | 0.5 | 0.3 |
| Carbohidratos | 6.5 | 4.3 |
| Total (gr) | 1.3 | 0.6 |
| Cenizas (gr) | 2.6 | 1.5 |
| Calcio (mg) | 267 | 93 |
| Fósforo (mg) | 67 | 51 |
| Fierro (mg) | 3.9 | 3.1 |
| Sodio (mg) | --- | 71 |
| Potasio (mg) | 411 | 470 |
| Vitamina A (IU) | 6100 | 8100 |
| Tiamina (mg) | 0.08 | 0.10 |
| Riboflavina (mg) | 0.16 | 0.20 |
| Niacina (mg) | 1.4 | 0.6 |
| Vitamina C (mg) | 80 | 51 |

Fuente: Saunders, (1994)

Cuadro 8. Contenido de nitratos y oxalatos en diferentes especies de amaranto y espinaca (gr/100 gr).

| Especie | Nitratos (gr) | Oxalatos solubles (gr) | Oxalatos totales (gr) |
|--------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| A. caudatus | 0.29 | 2.4 | --- |
| A. cruentus | 0.74 | 7.8 | 3.0 |
| A. hypochondriacus | 0.65 | 1.7 | --- |
| A. hybridus | 0.41 | 1.7 | --- |
| A. retroflexus | --- | 4.5 | 1.8 |
| A. dubius | 0.43 | 3.0 | --- |
| Spinacea oleracea | 1.22 | 8.2 | 3.5 |

Fuente: Casillas, (1986)

Variedades Utilizadas en México

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

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

Espitia (1991) en México, desarrollo la variedad mejorada Revancha que corresponde a *Amaranthus Hypochondriacus* y derivada de la raza Mercado cuyas principales características son: alto potencial de producción de grano (4.51 ton ha^{-1}), precoz con 131 días de periodo vegetativo, altura de planta adecuada para la mecanización del cultivo (137 cm) y uniformidad de maduración, además de otras características importantes como color verde de la planta, panoja erecta con pocas ramificaciones cortas, grano blanco y adaptación a zonas templadas de 1400 – 2400 msnm.

También se tienen las líneas experimentales Durango – HI, Durango – CL, obtenidos en el CIIDIR – IPN – Durango, cuyos potenciales de producción son bastantes elevados, con precocidad adecuada amplio rango de adaptación, de grano grande, blanco y características agronómicas y nutricionales sobresalientes (Alejandre, 2006). Se tienen líneas y ecotipos sobresalientes en producción y otras características desarrolladas por investigadores del INIFAP, entre ellas se tienen a: INIFAP-653, INIFAP-654, INIFAP-655 e INIFAP 153-5-3.

Regiones Productoras

En México los estados que se dedican a la siembra de este cultivo son: Distrito Federal, Estado de México, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro y Tlaxcala produciendo 3,863.20 toneladas. Puebla es considerado uno de los principales estados en la producción de amaranto con 2,510.80 toneladas, sembrando más de 50 % del total nacional. Hay cuatro regiones productoras de semilla; el Popocatepetl colindando con el estado de Morelos incluye los municipios de Acteopan, Atzizihuacán, Huaquechula y Tochimilco; en el Ixtazihualt los municipios de San Felipe Teotlalcingo (San Juan Tetla), San Martín Texmelucan y San Salvador El Verde; en la Mixteca Poblana los municipios de San Juan Ixcaquixtla, San Martín Atexcal y Tepexi de Rodríguez y por último en el municipio de Tehuacán (Martínez *et al.*, 2004).

La nueva valoración que ha tenido el amaranto en el mundo también despertó el interés de agrónomos e investigadores mexicanos.

En la década de los 80 el impulso a la producción del grano llegó a elevar la superficie sembrada de 500 ha en 1983 a 1500 ha en 1986. Diversas instituciones nacionales como el Colegio de Posgraduados de Chapingo, el Instituto Nacional de la Nutrición, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma Chapingo y el Instituto Nacional de Antropología e Historia, entre otras, han apoyado trabajos de investigación de muy diversa índole que han contribuido a aumentar nuestro conocimiento y las potencialidades de tan importante recurso (Arellano, 2001).

Actualmente en el INIFAP se encuentra un importante banco de germoplasma; en 1993 este banco contaba con 495 registros. Sin embargo el apoyo para el cultivo y la investigación del amaranto parece haber disminuido durante la última década. Según datos de la SAGARPA en 1997 se sembraron 817 ha de amaranto y se obtuvo una producción de 1,089 toneladas, la producción por estados en México se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 9. Principales estados productores de amaranto en México.

| Estados | Superficie (Ha) | | Producción (Ton) | Rendimiento (Ton ha ⁻¹) | Precio (\$/Ton) | Valor de la producción(\$) |
|---------------------------|-----------------|-----------|---------------------|--|--------------------|-------------------------------|
| | Sembrada | Cosechada | | | | |
| Baja california sur | 8 | 3 | 8 | 2.667 | 2,500.00 | 20.000 |
| D.F. | 161 | 161 | 152 | 0.944 | 2,500.00 | 380,000 |
| Morelos | 202 | 202 | 306 | 1.515 | 2,490.20 | 762,006 |
| Puebla | 286 | 286 | 346 | 0.860 | 2,183.00 | 755,318 |
| Tlaxcala | 160 | 160 | 277 | 1.371 | 3,992.50 | 1,105,922 |
| Total Nacional | 817 | 812 | 1089 | 1.218 | 2,733.10 | 3,023,246 |

Fuente: Barros, (1997)

Potencial del Rendimiento

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

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

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

Martínez (1996) menciona que en Tlaxcala los genotipos 653 y 153-5-3 de *A. hypochondriacus* alcanzaron rendimientos medios de 1.51 y 1.25 ton ha⁻¹ superando al genotipo # 656 tipo mexicano de *A. cruentus* en un 85 y 60 % en el rendimiento de grano respectivamente.

Plagas y Enfermedades

El amaranto es un cultivo de gran importancia para productores agrícolas, por su alto contenido de nutrientes y por la elaboración de diferentes productos que enriquecen su alimentación; pero las pérdidas por los daños que ocasionan los insectos plagas, hacen que los rendimientos no sean satisfactorios para los agricultores.

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

- a) *Alternaria* spp. Tizón del amaranto o alternariosis o atizonamiento
- b) *Phomopsis amaranticola* mancha negra del tallo
- c) *Esclerotinia* spp.
- d) *Cercospora* spp. Cercosporiosis del amaranto
- e) *Pithium* spp. Pudriciones o “Damping off”
- f) *Fusarium* spp. Pudriciones en la base del tallo y raíz,
- g) *Rhizoctonia* sp.
- h) *Albugo bliti*. Roya blanca
- i) *Choanephora cucurbitarum*. Pudrición húmeda
- j) *Erysiphe* sp. Oidium
- k) *Curvularia* spp.

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

Existen otras enfermedades no causadas por agentes bióticos las cuales se denominan desordenes fisiológicos, y son causadas por agentes abióticos entre ellas están las bajas temperaturas que se presentan durante el desarrollo vegetativo del amaranto, las cuales son un factor muy importante para la producción, sobre todo en el área andina, siendo la fase fenológica de floración y panoja las más sensibles; cuando las temperaturas

descienden a 4°C se afecta no solo el crecimiento del amaranto, si no que puede causar daño mecánico en el cultivo como consecuencia del congelamiento, trayendo como resultado muchas veces la perdida completa de la producción.

Por ello el límite de altitud de este cultivo no sobrepasa los 3,300 msnm, sin que tenga riesgo de daño por heladas. La fase fenológica que mejor tolera a las bajas temperaturas es la ramificación, cuando la helada le afecta en formación de la inflorescencia se produce el “Colgado de la panoja” dañando la parte basal de la panoja y no la inflorescencia en sí y como consecuencia la planta crece decumbente si es que se logra recuperarse; en el caso de afectar en floración, causa esterilidad de la planta por dañar los estambres y órganos florales; durante el periodo de llenado del grano la helada causa el chupado de las semillas y la producción de granos vacíos o vanos.

Espitia y Rangel (1990), mencionaron que en el estado de México, este cultivo es atacado por diversos insectos, reportando a dos curculiónidos: *lixus truncatulus* L. que perfora la base de la planta, y otro sin identificar que barrena el tallo hasta la inflorescencia, además del crisomélido, *Dysonycha melanocephala* y el mírido *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) que se alimenta del grano tierno, y una “larva verde de lepidóptero que se alimenta del follaje y produce mucha seda”.

González y Alejandre (1992) mencionan a un escarabajo que barrena el tallo sin especificar la especie, como el más abundante; y en Estados Unidos, Wilson y Olson (1990) señalan que la chinche *Lygus* y la pulga saltona son los insectos que más daño causan al amaranto.

Aragón *et al.* (1997), reportan 33 especies de insectos asociados al cultivo del amaranto en el Valle de Tehuacán Puebla; de estas especies, observaron que *L. truncatulus* ocasionan el 92 % del barrenamiento de los tallos. Evaluó el efecto del ácido jasmónico sobre la inducción de la resistencia a insectos y el rendimiento en amaranto; de la misma forma indica que algunos tratamientos de dicho ácido disminuyeron las poblaciones de insectos en la panoja de la planta, y reporta que la especie más abundante es la chinche *Oedancala* sp.

Características o Componentes del Rendimiento

El amaranto tiene un potencial, aunque también se utiliza como forraje (Kauffman, 1990; Weber, 1990). Los genotipos de amaranto que se cultivan en México son variedades criollas, aunque existe un número reducido de variedades mejoradas de dos especies: *A. hypochondriacus* L.

Para localidades con altitud de 1,500 a 2,200 m y clima templado y *A. cruentus* para localidades con 400 a 1,500 msnm y clima cálido (Alejandre y Gómez, 1986).

El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) es un cultivo marginal en México con apenas 2000 ha (Arellano, 2001), que por su alta calidad de proteína en el grano tiene perspectivas de desarrollo, tanto en México (Soriano, 1993) como en el mundo Breene, (1991).

Uso del Amaranto

El amaranto es un cultivo del que se aprovecha el grano y el follaje para alimentación humana.

Los granos se consume principalmente después de reventados. Para reventar los granos se utilizan dos tipos de tecnologías. La primera es la artesanal donde se utilizan comales de barro o metálicos calentados con fuego de leña o de gas, con rendimientos de 30 a 40 kg por jornada. La segunda tecnologías es la mecanizada y se emplean maquinas que se utilizan aire caliente para reventar el grano. El rendimiento alcanzando por este tipo de maquinas es de 80 a 160 kg/hora. Esta tecnología ayuda económicamente a los productores y beneficios a los consumidores porque la calidad del grano reventado en el aire caliente es superior a la tradicional en superficie caliente.

Cuando el grano de amaranto es colocado en un canal o en un lecho de aire caliente de manera similar a las rosetas o palomitas de maíz, entonces adquiere un sabor agradable y una digestibilidad excelente para ser humano. Se puede consumir como simple cereal o mezclado con jarabe de miel y azúcar (alegría), como componente de la granola.

Si se muele el grano reventado se puede obtener harina de diferente granulometría que se utiliza en la panificación para hacer pasteles, panes y galletas entre otros

productos. También es posible producir harina muy fina que sirve de base para maquillaje y con un proceso especial se extraen las proteínas que contiene el amaranto. (Treviño, 1997).

Un experimento muy interesante de la aplicación de la proteína de amaranto se llevo a cabo en San Luis Potosí en el municipio de Mexquitic de Carmona entre agosto de 1996 y julio de 1997 en el “Proyecto de investigación operativa del amaranto en la disminución de la desnutrición” (Posadas, 1998).

De manera general se puede utilizar el amaranto para diferentes recetas de cocina, así hacemos más nutritiva la comida que se consume de manera cotidiana (Treviño, 1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Experimento

El presente trabajo se estableció en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía (CAEFA) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; en el Ejido Palma de la Cruz del municipio de Soledad de Graciano Sánchez, SLP., localizado en el km 14.5 de la carretera San Luis-Matehuala; ubicado geográficamente a 22°14'10'' de latitud norte y 100°53'10'' de longitud oeste, a una altura de 1,835 msnm y en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTA) No. 159 de Ciudad del Maíz, SLP, se localiza al noroeste del estado entre las coordenadas geográficas 22° 24' y 22 07' de latitud norte, y 99° 36' y 100 06' de longitud oeste; a una altura promedio de 1,250 metros sobre el nivel del mar.

Material Genético

El material genético incluido en el presente experimento (Cuadro 10) estuvo conformado por cuatro genotipos de amaranto proporcionados por el INIFAP de Celaya, Gto.; la variedad Criolla posee una panoja de color naranja, la Revancha y Amaranteca color verde y la Nutrisol color púrpura.

Cuadro 10. Material genético de amaranto utilizado en el trabajo experimental.

| No. de entrada | Material genético |
|----------------|---------------------|
| 1 | Variedad Criolla |
| 2 | Variedad Amaranteca |
| 3 | Variedad Revancha |
| 4 | Variedad Nutrisol |

Preparación del Terreno Experimental

La preparación de suelo debe ser lo más eficiente posible, ya que es parte fundamental en el proceso de producción del cultivo, puesto que el tamaño de la semilla es muy pequeña la cual requiere una buena cama de siembra; por ello se debe de realizar una labranza primaria utilizado tradicionalmente por dos razones: 1) remover la maleza

y 2) propiciar un ambiente adecuado en el suelo para que la semilla pueda germinar y las plantas puedan desarrollarse en un medio donde las raíces obtengan los nutrientes, el agua y el aire necesarios para su crecimiento.

Se debe realizar un barbecho para el desmenuzamiento de los terrones y que al mismo tiempo se disminuya el esfuerzo del tractor y arado, un buen barbecho es aquel que voltear el suelo de 25 a 30 cm de profundidad, sirve para aflojar el terreno, incorporar los residuos de la cosecha anterior, destruye las plagas del suelo y la maleza y mejora la penetración del agua y la aireación del suelo. La realización del barbecho con el “multiarado” además de contribuir a mantener la estructura del suelo, conservar la humedad, se realiza con mayor rapidez la actividad de preparación del suelo y a un costo menor que el barbecho con arado de discos. Se recomienda el uso de este implemento como parte importante de la tecnología de “Labranza de Conservación”.

El rastreo depende de la textura del suelo y de las condiciones de humedad del mismo, es conveniente realizar entre dos y tres pasos de rastra para formar una buena cama de siembra de por lo menos 10 cm de suelo mullido, elimina la primera generación de maleza, por lo que las labores de deshierbe serán menores.

La nivelación es una práctica que se realiza con el objetivo de eliminar los pequeños montículos y depresiones en el terreno para facilitar las labores posteriores del cultivo, evitar el encharcamiento que podrían favorecer la incidencia de enfermedades y para mejorar la conducción y la distribución homogénea de agua de riego (Jasso *et al.*, 2003).

Siembra y Trasplante

La siembra de la semilla de las diferentes variedades fue el 15 de abril del 2011 en el área de invernaderos de la Facultad de Agronomía, la siembra se realizó en charolas de poliestireno utilizando como sustrato peat moss, previa desinfección de las charolas con una solución de cloro al 1%. El trasplante en el CBTA No. 159 de Ciudad del Maíz fue el 18 de mayo y en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía el 20 de mayo del mismo año; En ambas localidades se anegó para el trasplante y se aplicó un riego ligero seis días después del trasplante y posteriormente se dieron tres riegos de auxilio, sin fertilizar.

Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones, la parcela experimental consistió de cuatro surcos de 5.0 m de longitud con una separación entre los mismos de 80 cm; el área experimental fue de 16.0 m²; para la parcela útil se consideraron los dos surcos centrales, de los que, en uno se estimó el rendimiento de grano y otras variables de importancia económica y en el otro el rendimiento de forraje verde, utilizándose una superficie de 1.6 m², en ambas fechas de siembra.

Modelo Estadístico

El modelo estadístico y análisis de varianza (Cuadro 2) del diseño bloques completos al azar utilizado fue.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t$$

$$j = 1, 2, \dots, r$$

$$E_{ij} \approx NI(0, \sigma^2)$$

Donde:

Y_{ij} : respuesta del tratamiento i en ambiente j .

μ : media general.

T_i : efecto del tratamiento i .

B_j : efecto del bloque j .

E_{ij} : variable aleatoria (error experimental)

Cuadro 11. Análisis de varianza (ANAVA) indicativo para el diseño de bloques completos al azar.

| F.V | G.L | S.C | C.M | Fc | Ft |
|-------|------------|--|--------------|----------|-----------------|
| Bl. | r-1 | $\sum_{j=1}^r (Y_{.j}^2/t) - Y_{..}^2/rt$ | SCBl/r-1 | CMBI/CME | r-1, (t-1)(r-1) |
| Tr. | t-1 | $\sum_{i=1}^t (Y_{i.}^2/t) - Y_{..}^2/rt$ | SCTr/rt | CMTr/CME | t-1, (t-1)(r-1) |
| Error | (t-1)(r-1) | SCtot-SCBl-SCTr | SCE/t-1(r-1) | | |
| Total | rt-1 | $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - Y_{..}^2/rt$ | | | |

El modelo estadístico y análisis de varianza (Cuadro3) del diseño bloques completos al azar con dos factores utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + R_k + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$$k = 1, 2, \dots, r$$

$$E_{ijk} \approx NI(0, \sigma^2)$$

Donde:

Y_{ijk} : variable de respuesta para la combinación $A_i B_j$ en la repetición k .

μ : media general.

R_k : efecto de la k -ésimo repetición

A_i : efecto del i -ésimo nivel del factor A.

B_j : efecto del j -ésimo nivel del factor B.

$(AB)_{ij}$: efecto de la interacción o efecto conjunto del nivel i -ésimo de A al combinarse con el j -ésimo nivel de B

E_{ijk} = variable aleatoria (error experimental) que se asume se distribuye normal e independiente con media cero y varianza s^2 .

Cuadro 12. Análisis de varianza indicativo para el diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial.

| F.V | G.L | S.C | C.M | Fc | Ft |
|-------|-------------|--|---------------|----------|--------------|
| Bl. | r-1 | $\sum_{j=1}^r (Y_{.j}^2/t) - Y_{..}/rt$ | SCBl/r-1 | CMB/CME | r-1, gl. Ee |
| Tr. | ab-1 | $\sum_{i=1}^t (Y_i^2/r) - Y_{..}/rt$ | SCTr/ab-1 | CMT/CME | ab-1, gl.Ee |
| A | a-1 | $\sum_{i=1}^a (Y^2_{i.}/br) - Y^2_{..}/abr$ | SCA/a-1 | SCA/SCE | a-1, gl.Ee |
| B | b-1 | $\sum_{j=1}^b (Y^2_{.j}/ar) - Y^2_{..}/abr$ | SCB/b-1 | SCA/SCE | b-1, gl.Ee |
| AB | (a-1)(b-1) | $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (Y^2_{ij}/r) - (Y^2_{i.}/abr) - (Y^2_{.j}/abr) - Y^2_{..}/abr$ SCA-SCB | SCAB/(gl.ab) | SCAB/SCE | gl.AB, gl.Ee |
| Error | (ab-1)(r-1) | SCTot-SCBl-SCTr-SCAB | SCE/gl. E.ex. | | |
| Total | abr-1 | $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y^2_{ijk} - Y^2_{..}/abr$ | | | |

Características Registradas

Las variables registradas en campo y laboratorio del presente trabajo experimental fueron las siguientes:

Altura de planta (cm): para la altura de planta se midieron tres plantas tomadas al azar de la parcela útil, midiéndose desde la superficie del suelo hasta el ápice de la panoja después de la floración, tomándose el dato promedio.

Longitud de panoja (cm): Se consideraron tres panojas, tomadas al azar de la parcela útil y se procedió a medir la longitud con una regla desde la base hasta el ápice de la panoja y se promedió la longitud de la panoja.

Diámetro de tallo (mm): Con un vernier digital se midió la base del tallo de tres plantas tomadas al azar de la parcela útil, obteniéndose el valor medio.

Rendimiento de forraje verde (k parcela^{-1}). Se muestrearon y pesaron 2.0 m lineales (1.6 m^2) por unidad experimental, posteriormente, se estimó el rendimiento promedio por tratamiento en kilogramos y después se efectuó la conversión a toneladas por hectárea.

Rendimiento de materia seca (k parcela^{-1}). Las muestras para estimar el rendimiento de forraje verde se dejaron secar a temperatura ambiente y con ella se estimó el rendimiento de materia seca y posteriormente se hizo la conversión a toneladas por hectárea.

Rendimiento de grano (k parcela^{-1}): Se cosecharon y trillaron 2.0 m lineales (1.6 m^2) de cada parcela, se pesó el rendimiento en una báscula digital y finalmente se calculó la equivalencia a toneladas por hectárea.

Análisis de Datos

Los datos de cada variable registrada se analizaron como un experimento bifactorial, donde se consideró como factor A localidades con dos niveles, a_1 : CBTA 159 (Ciudad del Maíz, SLP) y a_2 : CAEFA (Ej. Palma de la Cruz, Mpio. de Soledad de G.S, SLP.); el factor B fueron las variedades con cuatro niveles, b_1 : Criolla, b_2 : Amaranteca, b_3 : Revancha y b_4 Nutrisol. Para cada una de las variables registradas se corrió un ANAVA y para aquellas variables que mostraron diferencia significativa para los efectos principales y/o la interacción o efecto conjunto entre los factores, se utilizó la prueba de comparación de medias de diferencia mínima significativa (DMS) con una confiabilidad del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza (ANAVA) para la variable altura de planta (Cuadro 13), mostró diferencia altamente significativa entre los niveles del factor A (localidades), los niveles del factor B (variedades), así como para la interacción o efecto conjunto entre los factores, con un coeficiente de variación de 4.91%.

Cuadro 13. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para altura de planta.

| FV | GL | CM |
|--------------------------------------|----|---------------|
| Repeticiones | 3 | 52.7604 |
| Localidades | 1 | 29312.5625 ** |
| Variedades | 2 | 322.4063 ** |
| Interacción: (Localidad/Variedad) | 2 | 432.8281 ** |
| Error | 15 | 31.2062 |
| Total | 23 | |
| CV (%) | | 4.91 |

**Diferencia altamente significativa

Para evaluar el comportamiento promedio de los niveles del factor A (localidades), dentro de cada uno de los niveles del factor B (variedades), e interpretar la significancia de la interacción, se calculó el valor de la prueba de comparación de medias de la diferencia mínima significativa $DMS = t_{(\alpha, gl_e)} \sqrt{2 CME/r} = 8.42$; de acuerdo a los resultados de la comparación de medias para la interacción (Cuadro 14), las variedades tienen un comportamiento significativamente diferente en las localidades de prueba (factor A); Las variedades criolla, amaranteca y revancha tiene una altura promedio superior en el CBTA de Cd. del Maíz con valores de 151.93, 139.18 y 155.06 cm, respectivamente; y en el CAEFA en el Municipio de Soledad de G.S., se registró la menor altura de planta con medias de 66.50, 83.00 y 87.00 cm, para la variedad criolla, amaranteca y revancha, en el mismo orden (Figura 1).

Cuadro 14. Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor A dentro de cada uno de los niveles del factor B para altura de planta.

| Factores | Criolla | Amaranteca | Revancha | Medias |
|-----------------|------------|------------|------------|----------|
| CBTA 159 | 151.9375 a | 139.1876 a | 155.0625 a | 148.7292 |
| CAEFA- UASLP | 66.50 b | 83.00 b | 87.00 b | 78.833 |
| Medias | 109.2188 | 111.0938 | 121.0313 | 113.7813 |

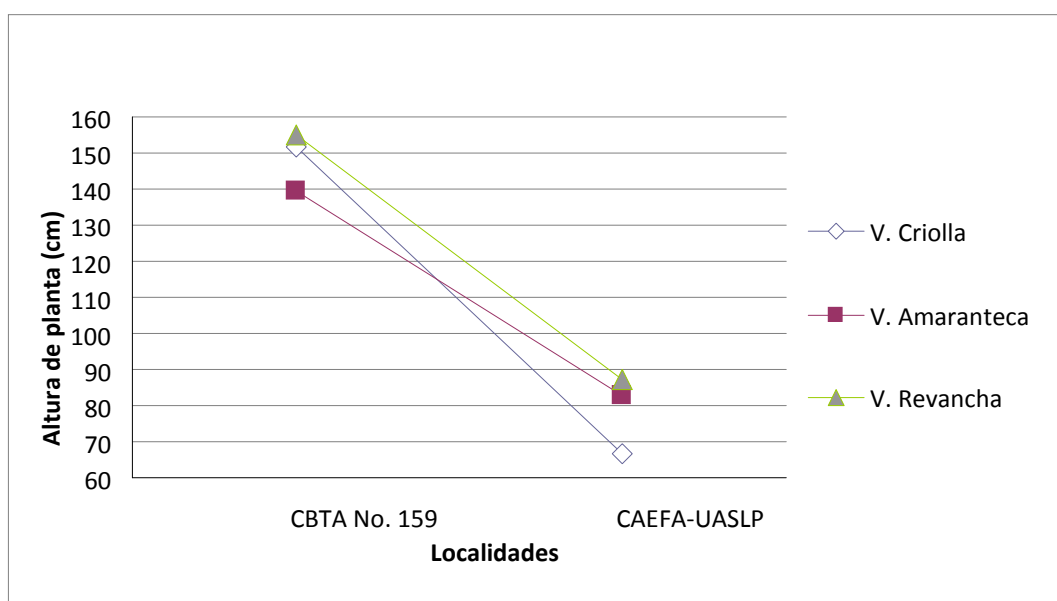


Figura 1. Comportamiento de altura de planta de variedades en estudio en la localidad 1(CBETA) y en la localidades 2 (CAEFA).

Al evaluarse el comportamiento promedio de los niveles del factor B, dentro de cada uno de los niveles del factor A, los resultados indican (Cuadro 15) una respuesta superior e igual estadísticamente para las variedades criolla y revancha en Cd. del Maíz, con valores de 155.06 y 151.93 cm de altura y la variedad amaranteca registró una altura menor y diferente significativamente con una media de 139.18 la menor altura; En el CAEFA, la prueba de comparación de medias formó dos grupos de tratamientos estadísticamente diferentes, el grupo con la mayor altura de planta incluyó a las

variedades revancha y Amaranteca con medias de 87.00 y 83.00 cm, respectivamente; la variedad con la menor respuesta para la variable fue la criolla con una media de 66.50 cm de altura.

Cuadro 15. Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor B dentro de cada uno de los niveles del factor A para altura de planta.

| Tratamiento | Media (B/A₁) | Tratamiento | Media (B/A₂) |
|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Revancha | 155.0625 a * | Revancha | 87.0000 a |
| Criolla | 151.9375 a | Amaranteca | 83.0000 a |
| Amaranteca | 139.1875 b | Criolla | 65.5000 b |

*Medias con la misma letra son iguales estadísticamente con un $\alpha=0.05$

Bharat y Whitheard (1993) en experimentos en invernadero, registraron alturas de planta que variaron de 120.70 a 129.30 cm cuando se incrementó la densidad de plantas de 31,25 a 125,00 plantas ha⁻¹. Pereyra (2010) registró alturas de planta de 196.0 y 200.0 cm en el genotipo 33 de *A. cruentus* a una distancia entre plantas de 20 y 30 cm, respectivamente; y de 120 y 123 cm en el genotipo 653 de *A. hypochondriacus* a una distancia de 40 cm entre plantas. La superioridad de la altura comparada con los resultados obtenidos en este experimento puede ser debida a la constitución genética de los genotipos y al método de siembra directa, principalmente; asimismo encontraron diferencia significativa para la interacción genotipos por ambientes.

Para la variable longitud de panoja, el ANAVA efectuado (Cuadro 16), mostró diferencia altamente significativa entre localidades de siembra (factor A), diferencia significativa entre las variedades (factor B), y diferencia no significativa para la interacción entre los factores (AB), es decir, los factores actúan independientemente, con un coeficiente de variación de 5.39%.

Cuadro 16. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para longitud de panoja.

| FV | GL | CM |
|-----------------------------------|-----------|-------------|
| Repeticiones | 3 | 0.8633 |
| Localidad | 1 | 855.0234 ** |
| Variedad | 2 | 18.8516 * |
| Interacción: (Localidad/Variedad) | 2 | 4.9453 NS |
| Error | 15 | 4.9971 |
| Total | 23 | |
| CV (%) | | 5.39 |

** , * , NS, diferencia altamente significativa, significativa y no significativa

La prueba de comparación de medias (DMS) para la longitud de panoja (Cuadro 17) indica un mejor comportamiento en Cd. del Maíz con una media de 47.43 cm y un valor de 35.50 cm en el CAEFA. Para el factor variedades se formaron dos grupos de tratamientos, el grupo con la mejor respuesta incluyó a las variedades criolla y Amaranteca con medias de 42.84 y 41.75 cm, respectivamente; el segundo grupo lo formaron la variedad amaranteca y revancha con valores de 41.75 y 39.81 cm, en el mismo orden.

Cuadro 17. Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor A y los niveles del factor B para longitud de panoja.

| Tratamiento | Media (Factor A) | Tratamiento | Media (Factor B) |
|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| CBTA 159 | 47.4375 a* | Criolla | 42.8438 a |
| CAEFA | 35.5000 b | Amaranteca | 41.7500 ab |
| | | Revancha | 39.8125 b |

*Medias con la misma letra son iguales estadísticamente con un $\alpha=0.05$

La no significancia para la interacción entre los factores indica que actúan independientemente para la variable en estudio.

Los resultados del análisis de varianza (ANAVA) para la variable diámetro de tallo (Cuadro 18), mostraron no significativa entre los efectos principales de los factores y diferencia significativa para la interacción, con un coeficiente de variación de 11.73%.

Cuadro 18. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para la variable diámetro de tallo.

| FV | GL | CM |
|--------------------------------------|-----------|------------|
| Repeticiones | 3 | 10.4805 |
| Localidad | 1 | 0.1758 NS |
| Variedad | 2 | 18.1372 NS |
| Interacción: (Localidad/Variedad) | 2 | 35.4160 * |
| Error | 15 | 6.1452 |
| Total | 23 | |
| CV (%) | | 11.73 |

*, Diferencia significativa

Cuadro 19. Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor A dentro de cada uno de los niveles del factor B para diámetro de tallo.

| Factores | Criolla | Amaranteca | Revancha | Media |
|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------|
| CBTA 159 | 21.5025 a | 17.6375 a | 24.5025 a | 21.2142 |
| CAEFA- | 22.2250 a | 21.1550 a | 19.7475 b | 21.0425 |
| Media | 21.8638 | 19.3963 | 22.1250 | 21.1283 |

Para el diámetro de tallo, las medias para localidades fueron de 21.21 y 21.04 mm en Cd. del Maíz y en el Ejido Palma de la Cruz, Soledad GS., respectivamente; los valores medios de las variedades Criolla, Amaranteca y Revancha fueron de 21.86, 19.40 y 22.13 mm, en el mismo orden. La prueba de comparación de medias para la interacción (Cuadro 19), muestra en sus resultados que las variedades criolla y amaranteca son iguales estadísticamente en ambas localidades, con valores medios de 21.50 y 17.64 mm en Cd. del Maíz, respectivamente; de 22.23 y 21.15 mm en el Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez., en el mismo orden; la variedad revancha mostró una diferencia significativa en su respuesta entre los ambientes de prueba, registrándose el valor más alto en Cd. del maíz con una media de 24.50 mm de diámetro y una media de 19.75 mm en el CAEFA (Figura 2).

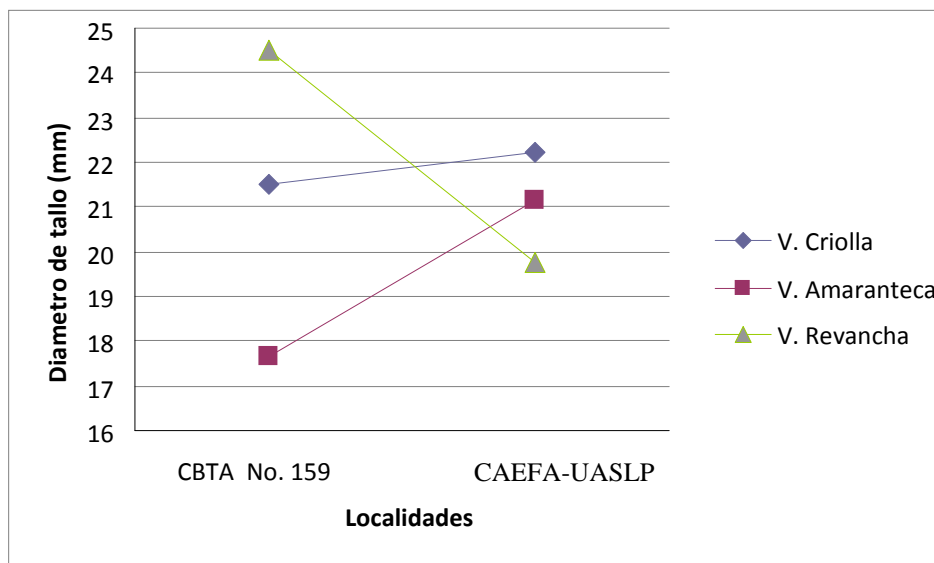


Figura 2. Comportamiento del diámetro de tallo de las variedades y localidades de siembra en estudio.

Pereyra (2004), encontraron diferencia significativa para la interacción genotipo ambiente en diámetro de tallo al evaluar cinco genotipos de amaranto en Marín, NL., y Guadiana, Dgo., resultados similares con los resultados de esta investigación, reportó independencia entre genotipos y fechas de siembra para diámetro de tallo; lo cual probablemente se debe a un mayor contraste de ambientes en las localidades que en las fechas de siembra.

Los resultados del ANAVA para la variable rendimiento de forraje verde, mostraron una diferencia altamente significativa (Cuadro 20) entre los niveles del factor A (localidades), los niveles del factor B (variedades), y para la interacción entre ambos factores, con un coeficiente de variación de 14.09%.

Cuadro 20. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para rendimiento de forraje verde.

| FV | GL | CM |
|--------------------------------------|-----------|------------|
| Repeticiones | 3 | 0.2632 |
| Localidad | 1 | 29.1941 ** |
| Variedad | 2 | 14.9359 ** |
| Interacción: (Localidad/Variedad) | 2 | 3.6490 ** |
| Error | 15 | 0.3721 |
| Total | 23 | |
| CV (%) | | 14.09 |

**, *, Diferencia altamente significativa y significativa, respectivamente

Cuadro 21. Cuadro de comparación de medias promedio de los niveles del factor A dentro de cada uno de los niveles del factor B para rendimiento de forraje verde kg/parcela.

| Factores | Criolla | Amaranteca | Revancha | Media |
|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------|
| CBTA 159 | 2.8450 a | 2.5625 b | 4.2750 b | 3.2275 |
| CAEFA-UASLP | 3.5000 a | 5.40 00 a | 7.4000 a | 5.4333 |
| | 3.1725 | 3.9813 | 5.8375 | 4.3304 |

Para evaluar el comportamiento promedio de los niveles del factor A (localidades), dentro de cada uno de los niveles del factor B (variedades), e interpretar la significancia de la interacción, se calculó el valor de la prueba de comparación de medias de la diferencia mínima significativa $DMS = t_{(\alpha, g|e)} \sqrt{2 CME/r} = 0.91$; con base a los resultados de la comparación de medias para la interacción entre los factores (Cuadro 21), la variedad Criolla, no presento diferencia significativa entre las localidades con medias de 2.84 y 3.50 k parcela⁻¹ de forraje verde para Cd. del maíz y el Ejido Palma de la Cruz, Soledad GS., respectivamente; las variedades amaranteca y revancha tuvieron una respuesta diferente y significativa entre localidades con valores medios de 2.56 y 4.27 k parcela⁻¹ en Cd. del Maíz, respectivamente; registrando las medias con mayor rendimiento en el Ejido Palma de la Cruz, Soledad GS., con valores de 5.40 y 7.40 k parcela⁻¹ de forraje verde, en el mismo orden (Figura 3).

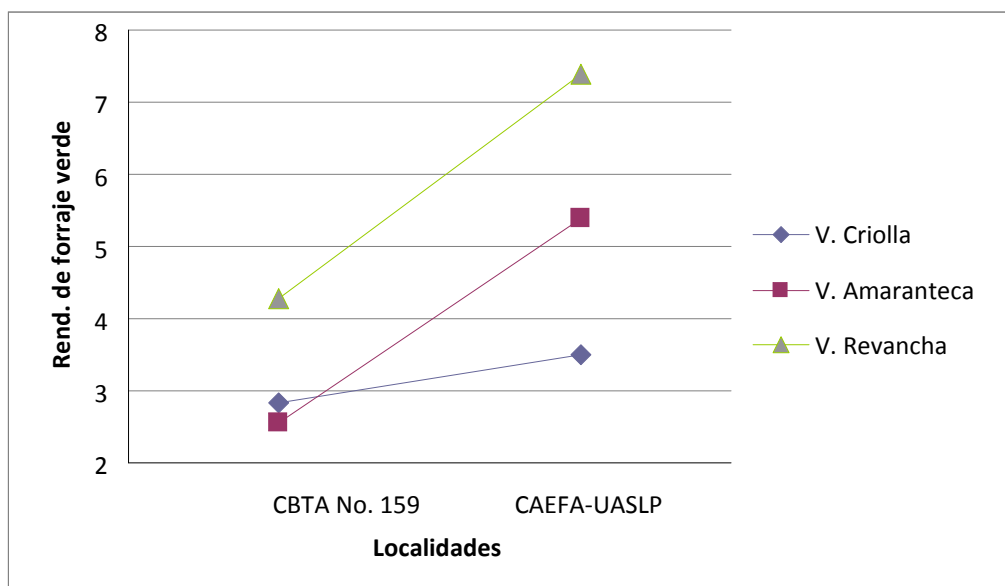


Figura 3. Comportamiento del rendimiento de forraje verde de las variedades y localidades de siembra en estudio.

Pereyra *et al.* (2004), Mencionaron que a medida que se incrementó la densidad de plantas, todos los genotipos evaluados incrementaron el rendimiento de forraje verde, reportando rendimientos de 80.61, 47.08 y 37.90 ton ha⁻¹ en densidades de 125,000, 62,500 y 41,666 plantas ha⁻¹, respectivamente; para el genotipo 33 de *A. cruentus*; y de 72.50, 57.65 y 34.82 ton ha⁻¹, en las mismas densidades, respectivamente, para la variedad criollo Tlaxcala de *A. hypochondriacus*. Los rendimientos más altos de forraje verde obtenidos en el presente trabajo, considerando una densidad de 50,000 plantas ha⁻¹ fueron de 26.71 y 46.25 ton hectárea⁻¹, para la variedad revancha en Cd. del Maíz y en el CAEFA, respectivamente; Lo anterior coincide con Morales (2000), y Beltrán (2005), quienes mencionaron que la altura está asociada positivamente con el rendimiento, la variedad revancha registro la mayor altura de planta en ambas localidades y el mayor rendimiento de forraje verde, en la presente experimentación.

Los resultados del ANAVA para el rendimiento de materia seca (Cuadro 22), mostró diferencia altamente significativa para los niveles del factor A (localidades) y los niveles del factor B (variedades) y no mostrando diferencia significativa para la interacción, con un coeficiente de variación de 17.79%.

Cuadro 22. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para rendimiento de materia seca kg parcela⁻¹

| FV | GL | CM | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|----|
| Repeticiones | 3 | 0.0005 | |
| Localidad | 1 | 0.4749 | ** |
| Variedad | 2 | 0.6524 | ** |
| Interacción: (Localidad/Variedad) | 2 | 0.0244 | NS |
| Error | 15 | 0.0223 | |
| Total | 23 | | |
| CV (%) | | 17.79 | |

** Diferencia altamente significativa

La prueba de comparación de medias para rendimiento de materia seca (Cuadro 23) indica diferencia significativa entre localidades, donde mejor rendimiento se registro en Cd. del Maíz con una media de 0.98 k parcela⁻¹, y un valor de 0.69 k parcela⁻¹ en el CAEFA. Para el factor variedades se formaron dos grupos de tratamientos, el grupo con la mejor respuesta incluyó a la variedad revancha con un rendimiento de materia seca de 1.16 k parcela⁻¹ y el segundo grupo lo conformaron la variedad amaranteca y la criolla con medias de 0.72 y 0.63 k parcela⁻¹, respectivamente.

Cuadro 23. Cuadro de comparación de medias de los niveles del factor A y los niveles del factor B para rendimiento de materia seca.

| Tratamiento | Media (Factor A) | Tratamiento | Media (Factor B) |
|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| CBTA | 0.9800 a | Revancha | 1.1650 a |
| CAEFA | 0.6987 b | Amaranteca | 0.7216 b |
| | | Criolla | 0.6314 b |

Estos resultados concuerdan con los reportados por Pereyra (2010) al no encontrar diferencia significativa para la interacción genotipo ambiente; sin embargo, García (2012) reporto diferencia significativa para la interacción entre variedades y fechas de siembra; lo anterior puede deberse a la constitución genética de las variedades.

Los resultados arrojados por el ANAVA para el rendimiento de grano (Cuadro 24) indican una diferencia altamente significativa entre localidades de siembra; no

significancia estadística para variedades y asimismo, para el efecto de la interacción entre los factores con un coeficiente de variación de 14.14%.

Cuadro 24. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para la variable rendimiento de grano gr/parcela.

| FV | GL | CM |
|--------------------------------------|-----------|---------------|
| Repeticiones | 3 | 563.1250 |
| Localidad | 1 | 14348.7500 ** |
| Variedad | 2 | 417.1875 NS |
| Interacción: (Localidad/Variedad) | 2 | 1969.5312 NS |
| Error | 15 | 610.7333 |
| Total | 23 | |
| CV (%) | | 14.14 |

NS, diferencia altamente significativa y no significativa, respectivamente

Cuadro 25. Cuadro de comparación de medias de los niveles del factor A (localidades) para rendimiento de grano.

| Tratamiento | Media (Factor A) |
|--------------------|-------------------------|
| CBTA | 199.2692 a |
| CAEFA | 150.3667 b |

Los resultados de la prueba de comparación de medias para el rendimiento de grano en las localidades de prueba (Cuadro 25) mostró un rendimiento de grano superior en Ejido Palma de la Cruz, Soledad G.S., con una media de 199.26 g parcela⁻¹ (1.24 t ha⁻¹) y un rendimiento medio de 150.36 g parcela⁻¹ (0.94 t ha⁻¹) en Cd. del Maíz.

En los resultados del presente trabajo se obtuvieron rendimientos de 1.14, 1.08 y 1.05 ton hectárea⁻¹, para las variedades criolla, amaranteca y revancha con una población de 50,000 plantas ha⁻¹; Sánchez (2007), reportó rendimientos de 1.47 ton hectárea⁻¹, para la variedad criolla y 1.42 ton ha⁻¹, para la variedad DGTA, en Villa de Pozos, SLP; Pereyra *et al.* (2004), obtuvo rendimientos de grano en Marín NL., de 1.63, 1.48 y 1.08 k ha⁻¹ en densidades de 125,000, 62,500 y 41,666 plantas ha⁻¹, en una variedad de *A. cruentus*; y

de 0.30, 0.09 y 0.09 ton ha⁻¹, en las mismas densidades, respectivamente, para el genotipo 655 de *A. hypochondriacus*. Lo cual parece indicar que las variedades en estudio tienen un aceptable potencial de rendimiento en las localidades de prueba. La no significancia de la interacción en el rendimiento de materia seca, puede deberse a la variación que existe en las variedades y a errores de muestreo de acuerdo a la varianza del error; siendo estos resultados diferentes a los de Pereyra *et al.* (2010) quienes reportaron una diferencia significativa de la interacción para el rendimiento de grano.

CONCLUSIONES

Las variedades evaluadas tuvieron un mejor comportamiento para las características registradas en el CBTA no. 159 de Cd. del Maíz, excepto el rendimiento de forraje verde.

La variedad Criolla fue la variedad con el mejor comportamiento en el rendimiento de grano (1.14 t ha^{-1}), revancha para rendimiento de forraje verde con una media de 26.71 y 46.25 t ha^{-1} , en Cd. del Maíz y en el CAEFA, respectivamente; y medias de 7.28 t ha^{-1} de materia seca.

Con los resultados de la presente experimentación se confirman las hipótesis formuladas y se alcanzaron los objetivos planteados.

Por lo tanto, de acuerdo con los resultados de campo, de los análisis estadísticos y a las condiciones ambientales en las cuales se desarrollo el presente trabajo de tesis, la variedad criolla tiene potencial productivo para ser sembrada comercialmente.

Sin embargo, se requieren más evaluaciones, en diferentes localidades, fechas de siembra, así, como aplicar dosis de fertilización para que las variedades muestren su verdadero potencial de rendimiento.

LITERATURA CITADA

- Alejandro I. G. y F. Gómez L. 1986. Cultivo del Amaranto en México, Colección de Cuadernos Universitarios, Serie Agronomía No. 12 Universidad Autónoma de Chapingo, México. 245 - 248 pp.
- Aragón G. A., A.M. Tapia-Rojas y I.M.T Huerta Sánchez. 1997 Insectos asociados con el cultivo del amaranto *Amaranthus hypocondriacus* L. (*Amaranthaceae*) en el valle de Tehuacán, Puebla, México. Folia Entomológica Mexicana. Xalapa, Veracruz, México. 100:33-43.
- Arellano V. J. L. (2001) El Amaranto, un cultivo alternativo de alta calidad nutritiva. In: Memoria Técnica No. 1. SAGARPA INIFAP, CIR-CENTRO. Chapingo, MÉXICO. PP: 51 – 59.
- Asociación Mexicana del Amaranto. mhtml:file://C:\Documents and Settings\DellMC-04\Misdocumentos\AMARANTO\Cara Revisado 26/07/2011.
- Barros C. y M. Buenrostro. 1997. Amaranto, fuente maravillosa de sabor y salud. Editorial Grijalbo. México, D:F:
- Brenner D. 1990. Seed shattering control with indehiscent utricles in grain. *Amaranthus. Legacy* 3:2-3.
- Bressani R. 1994. Composition and nutritional properties of amaranth. En: *Amaranth: Biology, chemistry and technology*. O. Paredes-López (Ed.) CRC Press. Cap. 10.
- Carlsson R. 1997. *Amaranthus* species and related species for leaf protein concentrate productions. In: First Amaranth Seminary, Emmaus.
- Casillas 1977. Anteproyecto técnico económico de una planta industrializadora de semilla de alegría *Amaranthus leocarpus* s. Wats Tesis Q.F.B. Tecnología de alimentos, Facultad de Química, UNAM. México. D.F. 63 pp.
- Casillas G. F. 1986. Importancia de la Semilla de alegría. En: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México. p. 289-299.
- Cunard A. 1977 Amaranth agronomy 1975-1976 In: Amaranth round up. Rodale Press, Pennsylvania, USA. 35-36 pp.
- Díaz O. A, E. J. A. Escalante, S. A Trinidad, G. P. Sánchez, S. C. Mapes y M. D. Martínez. 2004. Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia

en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra* 22:109–116.

Dowton W.J.S. 1973. *Amaranthus edulis*: A high lysine grain amaranth. *World Crops* 25:20.

Early D. K. 1977. Cultivo y usos del amaranto en México contemporánea. Actas de la conferencia Amaranth Primera Rodale Press, Pennsylvania 35-38 pp.

El Amaranto <mhtml:file://C:\Documents and Settings\DellMC04\Misdocumentos\AMARANTO\Am> Revisado 09/08/2011

El Valor Nutritivo del Amaranto [http://puentemexico.org/main/es/Amaranth's Nutritional-Content/](http://puentemexico.org/main/es/Amaranth's%20Nutritional-Content/) Revisado 09/08/2011

Espitia R. E. 1986. Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de *Amaranthus* spp. Tesis Profesional. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.

Espitia R. E. 1990. Situación actual y problemática del cultivo de amaranto en México, pp. 101 – 109, *irr.* A. Trinidad-Santos, F. Gómez-Lorente, y G. Suárez-Ramos (eds.) *El amaranto Amaranthus* spp. Su Cultivo y Aprovechamiento. Colegio de Posgraduados, Chapingo, Méx.

Espitia R. E. 1991. Revancha: variedad mejorada de amaranto para los valles altos de México. p. 64. *In:* Primer congreso Internacional del Amaranto. Oaxtepec, Morelos.

Espitia R. E. 1991. Estabilidad del rendimiento en amaranto. p. 65 *In:* Primer congreso Internacional del Amaranto. Oaxtepec, Morelos, 22-27 sep. México.

FAO/WHO/UNU. 1986. Special Report. Energy and protein requirements. *Cereal Foods World* 3:694-695.

Gómez M. C. R. 2010. Investigación, Caso práctico sobre exportación del amaranto a Mumbai. Universidad del valle de México.

Jasso C. C. y G. M. A Martínez. 2003. Guía para la producción de chile ancho con fertirriego y acolchado plástico, en el altiplano de San Luis Potosí. Folleto para productores No. 23. INIFAP.

Hauptli H. 1977 . Agronomic potencial and breeding amaranth. Proc. First Amaranth Semin. Emmaus, Pa.

Kauffman C. y S. Weber. 1990. Grain Amaranth. p. 127-139. *In:* J. Janick and J. E. Simon (eds.), *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR.

- Sauer J.D. 1976. Los amarantos de grano y sus familiares: una taxonomía revisada y estudio geográfico. *Anales del Jardín Botánico de Missouri*.
- Martínez M. O. 2004. Amaranto. Cadenas Agroalimentarias: el papel estratégico de la tecnología y su prospectiva en el estado de Puebla. Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Puebla. Fundación PRODUCE Puebla, A. C. Puebla, Puebla. 137 -143 pp.
- Martínez M. O. 1996. Dosis optima económica de fertilización orgánica e inorgánica de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) tipo mexicano 656, en Nazareno, Xoxocotlán, Oax. VII Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo tecnológico Agropecuario. Roque, Celaya, Gto. pag. 157.
- Mazón N., E. M. Peralta, R. Subia y G. C. Tapia. 2003. Catálogo del banco de germoplasma de amaranto (*Amaranthus* spp.) del INIAP – Ecuador. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, Departamento Nacional de Recursos Filogenéticos y Biotecnología, Estación Experimental Santa Catalina Quito. Ecuador. Pp. 98.
- MUJICA, A., M. Berti y J. Izquierdo. 1997. El Cultivo de Amaranto (*Amaranthus* sp.): producción, mejoramiento genético y utilización. Departamento de Agricultura, División de Producción y Protección Vegetal, Roma – Italia. Pp.97.
- National Academy of Sciences, 1975. Underexploited tropical plants with promising economic value. Washington, D. C. USA.
- Nieto C.1990. El cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp) una alternativa agronómica para Ecuador. INIAP, EE.
- Paredes L, O., Schevenin, P. M. L., Hernández-López, D. y Cárabez-Trejo, A. 1989. Amaranth Starch- Oscillation and parcial characterization. *Starch-Stärke*.
- Paredes L, O., Barba de la R, A. P., H López, D., C Trejo, A. 1990. Amaranto: características y aprovechamiento industrial. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, DC.
- Pereyra G.J., L.C.G.S Valdés, S.E Olivares, G.O Alvarado, R.H Medrano y Alejandro I. G. 2004. Evaluación de genotipos de amaranto para adaptabilidad productiva en el noreste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 27 (Núm. Especial 1): 53-56.
- Posadas R. J. “Servicios de Salud de San Luis Potosí Programa de Apoyo Alimentario con Amaranto”. *Agricultura Ciencia y Técnica*, n° 12, noviembre – diciembre, Universidad Autónoma Chapingo, México, 1998.

- Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, año/vol. 14, número 004 Universidad Agraria de la Habana, Cuba pp. 1 – 8. ISSN 8Versión impresa): 1010 – 2760 CUBA.
- Ruttle J. 1976. Amaranth, the gentle giant. *Organic Gardening Farming*. 23:106-110.
- Sánchez M. A. 1980. Potencial agroindustrial del Amaranto. Centro de Estudios Economicos y Sociales del Tercer Mundo. México, D.F. 238 p.
- Saunders R.M. Y R. Becker. 1994. A potential food and feed resource. En: *Adv. Sci. Tech. Vol. VI AACC*. Ed. Pomeranz
- Soriano S J. 1993. Caracterización parcial de un concentrado proteínico del grano de amaranto. *Ciencia* 44:517-525.
- Sumar K. L. 1982. *Amaranthus caudatus* El Pequeño Gigante. (Tercer Congreso Internacional de Cultivos Andinos, La Paz) Universidad Nacional el Cusco, Perú. Centro de Investigaciones de Cultivos Andinos. Pp. 7.
- Tapia M. 1997. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. 2ª Edición. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- Treviño G. A.: *Gastronomía del amaranto (Alegría o Huautli)*, Universidad Autónoma Chapingo, 1997.
- Trinidad S. A., L. F Gómez y R. G. Suárez. 1990. El amaranto (*Amaranthus* spp.) su cultivo y aprovechamiento. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. 577 p.
- Webber L. E. 1990. La producción comercial de amaranto en los Estados Unidos. *In: El Amaranto Amaranthus* spp. Su cultivo y aprovechamiento. Comp: A Trinidad S.F. Gómez L. G Suárez R. Colegio de Pos.
- Wu H., M. Sun, S. Yue, H. Sun, R. Huang, D. Brenner y H. Corke. 2000. Field evaluation of an *Amaranthus* genetic resource collection in China. *Gen. Res. Crop Evol.* 47:43-53.