



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**VARIEDADES DE AMARANTO Y FECHAS DE SIEMBRA PARA  
RENDIMIENTO DE GRANO Y FORRAJE EN SAN LUIS POTOSÍ**

Por:

**Lilia García Ibarra**

Tesis Profesional presentada como requisito parcial para obtener el título de  
Ingeniera Agrónoma Fitotecnista

**Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.**

**Julio de 2012**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**VARIETADES DE AMARANTO Y FECHAS DE SIEMBRA PARA  
RENDIMIENTO DE GRANO Y FORRAJE EN SAN LUISPOTOSÍ**

Por:

**Lilia García Ibarra**

Tesis Profesional presentada como requisito parcial para obtener el título de  
Ingeniera Agrónoma Fitotecnista

Asesores:

**Dr. José Butrón Rodríguez**

**Dr. Ramón Jarquín Gálvez**

**Dr. José Luis Woo Reza**

**Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.**

**Julio de 2012**

El trabajo titulado “**Variedades de Amaranto y fechas de siembra para rendimiento de grano y forraje en San Luis Potosí**”, fue realizado por **Lilia García Ibarra** como requisito parcial para obtener el título de “**Ingeniera Agrónoma Fitotecnista**” y fue revisado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. José Butrón Rodríguez

---

Asesor

Dr. Ramón Jarquín Gálvez

---

Asesor

Dr. José Luis Woo Reza

---

Asesor

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez S.L.P. a los 27 días del mes de Junio de 2012.

## DEDICATORIA

A ti Papá, Vicente García Galicia. Esta tesis es el resultado de lo que me has enseñado en la vida, entregada a tu trabajo y un gran líder, pero más que todo eso, una gran persona que siempre ha podido salir adelante y ser triunfador es por ello que hoy te dedico este trabajo de tesis. Gracias por confiar en mí y darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida, le agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindó para culminar mi carrera profesional, por ser el ejemplo para salir adelante y por los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento, ¡Te quiero mucho!

A ti Mamá Rosa María Ibarra Linares. Por haberme educado y soportar mis errores, por tus consejos y amor que siempre me has brindado, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad, gracias por darme la vida, por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, por estar siempre conmigo en todo momento, gracias por la paciencia que has tenido para enseñarme, por tus cuidados en el tiempo que hemos vivido juntas, gracias mamá por estar al pendiente durante esta etapa, ¡Te quiero mucho!

A mis Hermanos José Ricardo, Ana Cristina y Vicente, que con su amor y paciencia me han enseñado a salir adelante, gracias por preocuparse por su hermana mayor, por compartir sus vidas conmigo, pero sobre todo por estar en otro momento tan importante en mi vida, porque siempre he contado con ustedes para todo y por la amistad que nos tenemos. ¡Los quiero mucho!

A mi Abuela Petra Galicia Sánchez, que con la sabiduría de Dios me has enseñado a ser quien soy hoy, por tu paciencia, tus consejos y por el amor que me has dado, por tu apoyo incondicional en mi vida, gracias por llevarme en tus oraciones por que estoy segura que siempre lo haces.

A mis Asesores: Dr. José Butrón Rodríguez, Dr. Ramón Jarquín Gálvez y Dr. José Luis Woo Reza, por su apoyo en la realización de este trabajo, gracias por darme la oportunidad y por el tiempo que me han dedicado para leer este trabajo.

En especial al Dr. José Butrón Rodríguez, por la colaboración, paciencia, apoyo y sobre todo por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo. Por esa gran amistad que me brindó y me brinda, por escucharme y aconsejarme siempre.

Al Dr. Ramón Jarquín Gálvez por su apoyo ofrecido en los momentos difíciles en este trabajo, al Dr. José Luis Woo Reza por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarme cada día más. Por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis Familiares, que me resulta muy difícil poder nombrarlos en tan poco espacio, sin embargo ustedes saben quiénes son.

A mis Profesores y Amigos de la Facultad de Agronomía de la UASLP.

A mis amigos Isela Esparza, Rocío Báez, Mayra Estrada, Karla Yaneli Castro, J. Bernardo Hernández, Leodegario Escandón, Ivett Campillo, Martín Silva, Rita Lagunas etc., por pasar a mi lado los momentos de mi vida universitaria y estar siempre en las buenas y en las malas, jamás los olvidaré.

A mis maestros, gracias por su tiempo, su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional,

## CONTENIDO

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| <b>DEDICATORIA</b> .....                           | ii            |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....                       | iii           |
| <b>CONTENIDO</b> .....                             | v             |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....                     | vii           |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                     | ix            |
| <b>RESUMEN</b> .....                               | x             |
| <b>SUMMARY</b> .....                               | xii           |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                          | 1             |
| Hipótesis.....                                     | 2             |
| Objetivo.....                                      | 2             |
| <b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....                | 3             |
| Historia.....                                      | 3             |
| Botánica del Cultivo .....                         | 4             |
| Genética del Cultivo.....                          | 6             |
| Valor Nutricional.....                             | 7             |
| Contenido Energético.....                          | 10            |
| Calidad del Forraje.....                           | 11            |
| Variedades Utilizadas en México.....               | 12            |
| Regiones Productoras.....                          | 13            |
| Potencial del Rendimiento.....                     | 15            |
| Plagas y Enfermedades.....                         | 15            |
| Características o Componentes del Rendimiento..... | 17            |
| Uso del Amaranto.....                              | 18            |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....                  | 19            |
| Localización del Área en Estudio.....              | 19            |
| Clima.....   | 19            |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| Temperatura.....                   | 19        |
| Precipitación.....                 | 19        |
| Vegetación.....                    | 20        |
| Suelo.....                         | 20        |
| Material genético.....             | 21        |
| Preparación del terreno.....       | 21        |
| Diseño experimental.....           | 22        |
| Modelo estadístico.....            | 22        |
| Características registradas.....   | 24        |
| Metodología.....                   | 26        |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b> | <b>27</b> |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>           | <b>38</b> |
| <b>LITERATURA CITADA.....</b>      | <b>39</b> |



## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro |  | Página |
|--------|--|--------|
| 1      | Clasificación botánica del amaranto cultivado.....   | 5      |
| 2      | Valor nutricional del amaranto en relación con otras hortalizas (en 100 gr de hoja).....   | 8      |
| 3      | Valor nutritivo de la semilla cruda de amaranto comparado con cereales comunes (gr / 100 gr).....  | 9      |
| 4      | Valor nutritivo de las hojas de amaranto comparadas con acelgas y espinacas (cada 100 gr hervidas con sal).....                                | 9      |
| 5      | Composición química de la semilla de amaranto (por 100 gr de parte comestible y en base seca).....   | 10     |
| 6      | Composición de proteína del amaranto comparado a los principales cereales (gr / 100 gr pasta comestible).....                                  | 10     |
| 7      | Composición de las hojas de amaranto comparado con la espinaca (nutrientes seleccionados en 100 gr).....                                       | 11     |
| 8      | Contenido de nitratos y oxalatos en diferentes especies de amaranto y espinaca (gr /100 gr).....   | 12     |
| 9      | Principales estados productores de amaranto en México.....   | 14     |
| 10     | Características del sitio experimental en el CAEFA.....  | 20     |
| 11     | Material genético de amaranto utilizado en el trabajo experimental.  | 21     |
| 12     | Análisis de varianza (ANAVA) indicativo para el diseño de bloques completos al azar.....   | 23     |
| 13     | Análisis de varianza indicativo para el diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial.....   | 25     |
| 14     | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción par altura de planta.....  | 27     |
| 15     | 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..... | 28     |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 16 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para longitud de panoja.....   | 29 |
| 17 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para la variable diámetro de tallo.....  | 30 |
| 18 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para rendimiento forraje verde.....  | 31 |
| 19 | 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 |
| 20 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para rendimiento de materia seca.....  | 34 |
| 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 materia seca.....  | 35 |
| 22 | Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para la variable rendimiento de grano.....   | 36 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b> |   | <b>Página</b> |
|---------------|---|---------------|
| 1             | Comportamiento de la altura de planta de las variedades y fechas de siembra en estudio.....           | 28            |
| 2             | Comportamiento del rendimiento de forraje verde de las variedades y fechas de siembra en estudio..... | 33            |
| 3             | Comportamiento del rendimiento de materia seca de las variedades y fechas de siembra en estudio.....  | 35            |
| 4             | Comportamiento del rendimiento de grano de las variedades y fechas de siembra en estudio.....         | 37            |

## RESUMEN

Los altos niveles de desnutrición asociados con la pobreza en el estado de San Luis Potosí, 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 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 diferentes fechas de siembra y seleccionar la variedad de amaranto 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, fue fechas de siembra ( $a_1$ : temprana y  $a_2$ : tardía), el factor B, variedades ( $b_1$ : criolla,  $b_2$ : amaranteca y  $b_3$ : revancha).

La altura de planta mostró significancia para la interacción, donde la variedad criolla tuvo un mejor comportamiento en la fecha temprana y la amaranteca y revancha en la tardía; longitud de panoja los factores actúan independientemente, existe significancia para fechas de siembra con una media de 87.00cm para la fecha tardía; diámetro de tallo no mostró diferencia significativa para la interacción ni para los efectos principales; para el rendimiento de forraje verde la interacción fue significativa, en la cual la variedad criolla alcanzó su mejor rendimiento (42.50 ton ha<sup>-1</sup>) en la fecha temprana, al igual que amaranteca (39.30 ton ha<sup>-1</sup>), revancha tubo el mayor rendimiento en la fecha tardía (46.20 ton ha<sup>-1</sup>) no siendo diferente estadísticamente en la fecha temprana; para el rendimiento de materia seca la interacción fue significativa, en la cual la variedad criolla y amaranteca alcanzaron su mayor rendimiento en la fecha temprana con medias de 5.801 y 6.234 ton ha<sup>-1</sup>, revancha tubo un comportamiento igual estadísticamente en

ambos ambientes con medias de 6.321 y 6.281 ton ha<sup>-1</sup> para la fecha temprana y tardía, respectivamente; para el rendimiento de grano los factores actúan independientemente, la significancia para fechas de siembra muestra un mejor rendimiento en la fecha temprana con una media de 2.099 ton ha<sup>-1</sup>, asimismo, la significancia para las variedades indica que las variedades revancha y amaranteca producen los mejores rendimientos con valores de 1.924 y 1.651 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## SUMMARY

The high degrees of malnutrition associated with poverty in the state of San Luis Potosí, has made the state government and non-governmental organizations look for viable and efficient alternatives to diminish malnutrition principally in rural areas. The cultivation of amaranth constitutes an alternative to diminish childhood malnutrition in rural areas, for its nutritional value; therefore, the cultivation of amaranth promotes a sustainable development in rural communities generating investment and the creation of jobs in the field and representing an alternative to diversify traditional crops and bettering the standard of living for the producer.

The objectives of the present task were: to genotype environmental estimate of varieties of amaranth in the different dates for sowing and selecting a variety of amaranth with the best yield for grain and foraje

The variables of study were: height of the plant, the length of the panicle, diameter of the stem, green fodder yield, dry matter yield and grain yield were analyzed as a factorial experiment where factor A were sowing dates ( $a_1$ : early y  $a_2$ : late), and factor B, varieties ( $b_1$ : criolle,  $b_2$ : amaranteca y  $b_3$ : revancha).

The height of the plant demonstrated significance for its interaction, where the criolle variety had better development in the early stage and the amaranteca and revancha in the late stage; in spike length the factors act independently, there are similarities in dates of cropping with a measurement of 87.00cm for the late stage; the diameter of the stem did not demonstrate a significant difference for the interaction nor the principle effects; for the fodder yield the significance was great, the criolle variety reached ( $42.50 \text{ ton ha}^{-1}$ ) in the early date, as well as the amaranteca ( $39.30 \text{ ton ha}^{-1}$ ), revancha had the greatest development in the late stage ( $46.20 \text{ ton ha}^{-1}$ ) not being any different statistically in the early stage.

The development of dry materials was significant, in which the criolle and amaranteca reached their highest development in the early stage with a height of  $5.801$  y  $6.243 \text{ ton ha}^{-1}$ , revancha had the same statistics in both environments with a height of  $6.321$  y  $6.281 \text{ ton ha}^{-1}$  in the early stage and the late; in the grain yield the factors varied,

the significance of the cropping dates showed better development in the early stage with a height of 335.75 g, likewise, the significance for the varieties indicates that revancha and amaranteca produce better performance with values of 1.924 y 1.651 ton ha<sup>-1</sup>, respectively.

## INTRODUCCIÓN

El origen del amaranto se ubica desde el suroeste de Estados Unidos y norte de México (*Amaranthus hypochondriacus*), en el sureste de México y Centroamérica (*Amaranthus cruentus*) y en los Andes argentinos (*Amaranthus caudatus*), existiendo indicios de que los nativos usaban el amaranto en la alimentación. En México, las migraciones hacia el sur lo trasladaron a la Mesa Central alcanzando su máxima relevancia, donde el cultivo de *Amaranthus hypochondriacus* estuvo muy extendido con la denominación de “huautli” igualando en importancia al maíz y al frijol (García, *et al.*, 2010).

El amaranto es una planta que produce semillas comestibles, que poseen excelente cualidades nutritivas. 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 tienen un comportamiento diferente en las fechas de siembra en estudio por su constitución genética.
2. Dentro de las variedades de amaranto en evaluación, existen variedades con mayor adaptación en el área de estudio.

### **Objetivos**

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

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Historia

La cuna de la agricultura y de la irrigación en Mesoamérica es el Valle de Tehuacán Teotitlán durante la fase Coxcatlán, Puebla en México (5.200 a 3.400 años a. C), 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.

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).

La diseminación de este alimento altamente nutritivo en la agricultura mundial tuvo que esperar a su “redescubrimiento” por la ciencia del siglo XX. Hoy en día el cultivo de amaranto esta tomando un gran auge, ya que se están redescubriendo su grandes propiedades. A parte de producirse en países tradicionales como México, Perú o Bolivia ya hay otros como China, Estados Unidos o la India. El lejano Oriente es donde más ha sido utilizado.

El grano de amaranto una vez limpio y seco puedes ser guardado durante muchos años. este grano, forma parte del grupo de cereales; como características nutricionales muy valiosas, tiene un alto contenido de proteína mayor que el de otros cereales como el maíz y el trigo; es rico en hidratos de carbono; contiene poca grasa y es rico en fosforo, calcio, potasio y magnesio.

En la actualidad es aprovechada casi toda la planta del amaranto: los tallos tiernos se consumen como verdura y sus hojas se guisan: pero la parte más utilizada es la semilla, ingrediente básico en incontables alimentos, principalmente la típica “alegría”, que hasta hoy es elaborada con un proceso similar al que se usaba tiempos de Moctezuma.

Se puede usar la hoja fresca y seca, el grano seco molido, el grano seco reventado y muchas combinaciones como mezclador alimenticio. Tradicionalmente se prepara para palanquetas llamadas “alegría fina” con miel de abeja y “ordinaria” con piloncillo. No es panificable por la ausencia de gluten, pero se puede anexar a la harina de trigo para panificación y repostería, y con maíz y soya para tortilla.

### **Botánica del Cultivo**

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

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

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

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

Cuadro 1. Clasificación botánica del amaranto cultivado.\*

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

\*Fuente: Tapia, M. 1997 Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación 2ª. Edición, FAO.

Tapia (1997) menciona que las hojas son pecioladas, sin estipulas de forma oval, elíptica, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el énvés, 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.

La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rozado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 50 a 90 cm. Las plantas por el tipo de polinización son predominante autógamas, variando el porcentaje de polinización cruzada con los cultivares.

El fruto es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, la que a la madurez se abre transversalmente, dejando caer la aparte 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).

La semilla es pequeña, lisa, brillante de 1 - 1.5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros; el numero de semillas varía de 1,000 a 3,000 gr (Nieto, 1990), las especies silvestres presentan granos de color negro con el episperma muy duro. en el grano se distinguen cuatro partes importantes: episperma que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una copa de células muy finas, endosperma que viene a ser la segunda capa, embrión formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada perisperma rica en almidones.

### **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.

### **Valor Nutricional**

El amaranto es un vegetal con un muy alto valor nutritivo por su alto contenido de proteínas, aminoácidos y minerales.

En los últimos años se ha comprobado, por medio de técnicas analíticas modernas, la alta calidad y cantidad de proteínas que contiene el amaranto, lo que llama la atención de los especialistas en alimentos. Sin embargo, aún es escasa la información sobre la composición de las distintas partes de las plantas y sobre las diferentes especies.

La cantidad de proteína de la semilla es mayor que la de los cereales. Contiene más del doble de proteínas que el maíz, arroz y del 60 a 80 % más que el trigo. Además, los valores del extracto (lípidos), fibra cruda y cenizas, también superan el contenido de los cereales. En cuanto su composición de aminoácidos, contiene el doble de lisina que el trigo y el triple que el maíz, característica que hace del amaranto un alimento valioso para complementar las dietas basadas en cereales.

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).

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

Fuente: Carlsson, R. 1997. Amaranthus species and related species for leaf protein concentrate productions. In: First Amaranth Seminary, Emmaus, pa. 83-89

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 licina 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.

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

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

USDA (United States Department of Agriculture, Departamento Estadounidense de Agricultura).

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

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

USDA (United States Department of Agriculture, Departamento Estadounidense de Agricultura).



## 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.

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

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

Fuente: Nieto, C. 1990. El cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) una alternativa agronómica para Ecuador. INIFAP, EE. Santa Catalina. Publicación Miscelánea N° 52 Quito Ecuador.

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

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

Fuente: Nacional Academy of Sciences, 1975. Underexploited tropical plants with promising economic value. Washington, D.C. USA.

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

| Componente        | 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       |

\* Nutrientes por 100 g de porción comestible Saunders, R.M. Y R. Becker. 1994. A potencial food and feed resource. En: Adv. Sci. Tech. Vol. VI AACC. Ed. Pomeranz.

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

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

Fuente: Casillas, G. F. 1986a. Importancia de la Semilla de alegría. p. 289-299. En: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México.

### **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 (1991b) 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 (1991b) 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 (4,518 kg ha<sup>-1</sup>), 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 1,400 – 2,400 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, 2004). 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 3,863.2 ton (anónimo, 2008).

Puebla es considerado uno de los principales estados en la producción de amaranto con 2,510.8 ton, sembrando más de 50 % del total nacional (anónimo, 2008). 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 1,500 ha en 1986. Diversas instituciones nacionales como el Colegio de Posgraduados de Chapingo, el Instituto Nacional de la Nutrición, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma Chapingo y el Instituto Nacional de Antropología e Historia, entre otras, han apoyado trabajos de investigación de muy diversa índole que han contribuido a aumentar nuestro conocimiento y las potencialidades de tan importante recurso.

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

Cuadro 9. Principales estados productores de amaranto en México.

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

Fuente: Barros, C. y Buenrostro, M. 1997. Amaranto, fuente maravillosa de sabor y salud. Editorial Grijalbo. México, D.F.

## 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<sup>-1</sup> para *Amaranthus cruentus* y *A. hypochondriacus* rindieron 0.925 y 1.12 ton ha<sup>-1</sup> respectivamente, y que *A. hypochondriacus*, a 80,000 plantas ha<sup>-1</sup>, bajo riego produjo 2.5 ton ha<sup>-1</sup>.

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<sup>-1</sup> en condiciones de temporal. En Hauzulco, Mor., en años particulares, se han llegado a producir entre 1,500 y 2,200 kg 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<sup>-1</sup> 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 perdidas 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) *Pithyium* spp. Pudriciones o “Damping off”

- f) *Fusarium* spp. Pudriciones en la base del tallo y raíz, se observa en plantas aisladas.
- g) *Rhizoctonia* sp.
- h) *Albugo bliti*. Roya blanca
- i) *Choanephora cucurbitarum*. Pudrición húmeda
- j) *Erysiphe* sp. Oidium
- k) *Curvularia* spp.
- l) *Volutella* spp.

Espitia (1986b) 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 si 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-Rangel (1990) menciona 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 crisomérido, *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. Por su parte, Délano-Frier *et al.*, (2004) evaluaron el efecto del ácido jasmónico sobre la inducción de la resistencia a insectos y el rendimiento en amaranto; de la misma forma indican que algunos tratamientos de dicho ácido disminuyeron las poblaciones de insectos en la panoja de la planta, y reportan 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 msnm 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 2,000 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; Wu *et al.*, 2000).



## **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 Área en Estudio**

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.

### **Clima**

De acuerdo a la clasificación de Köppen (1948), modificado por Enriqueta García (1972), el clima para esta zona corresponde a la formula BS o KW'' (1'), que equivale a un clima seco estepario frío.

### **Temperatura**

La temperatura media anual es de 19.6 °C, con una máxima de 35.5 °C, y una mínima de 7.5 °C, correspondiendo a los meses de abril, mayo y junio como los más calurosos; el periodo más frío es de octubre a abril, presentándose las heladas generalmente a fines del mes de octubre y principios de abril.

### **Precipitación**

La precipitación media anual en la región es de 374 mm, siendo los meses de mayo a septiembre cuando se presentan las lluvias con más frecuencia y abundancia (Salas, 2009).

La dirección de los vientos dominante es del noreste – al suroeste, que son vientos moderados a débiles provenientes del Golfo de México.

## Vegetación

La vegetación predominante en la zona, de acuerdo a la clasificación de Rzedowski (1996), corresponde a matorral desértico microfilo, siendo el estrato dominante el arbustivo superior a dos o tres metros de altura, las especies dominantes son: El huizache (*Acacia tortuosa*); el mezquite (*Prosopis juliflora*) y el nopal (*Opuntia spp.*).

## Suelo

El suelo es calcisol petrico de acuerdo a la WRB y un petrocalcid de acuerdo a Soil taxonomy.

Cuadro 10. Características del sitio experimental en el CAEFA.

| <b>Análisis</b>                   | <b>15 ton</b>                      | <b>30 ton</b>                  | <b>120-60-00</b>                   |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Profundidad                       | 0-30                               | 0-30                           | 0-30                               |
| Color: Húmedo                     | 10 YR 3/2 café grisáceo muy oscuro | 10 YR 3/2 café grisáceo oscuro | 10 YR 3/2 café grisáceo muy oscuro |
| Color: seco                       | 10 YR 5/2 café Grisáceo            | 10 YR 6/2 café grisáceo claro  | 10 YR 5/2 café grisáceo            |
| Densidad a. (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.28                               | 1.28                           | 1.24                               |
| Arena (%)                         | 63.44                              | 63.44                          | 63.44                              |
| Limo (%)                          | 18                                 | 16                             | 18                                 |
| Arcilla (%)                       | 18.56                              | 20.56                          | 18.56                              |
| Textura                           | Migajón arenoso                    | Migajón arenoso                | Migajón arenoso                    |
| Cap. de campo                     | 15.37                              | 16.11                          | 15.37                              |
| PMP %                             | 7.68                               | 8.05                           | 7.68                               |
| Agua aprovechable (cm)            | 7.69                               | 8.06                           | 7.69                               |
| % Saturación                      | 24.24                              | 25.28                          | 27.72                              |
| pH en agua rel 1:2.5              | 8.17                               | 8.28                           | 8.27                               |
| pH en KCL 1N rel 1:2.5            | 7.57                               | 7.35                           | 7.38                               |
| CE del extracto (dS/m)            | 1.5                                | 0.9                            | 1.6                                |
| pH del extracto                   | 8.34                               | 8.22                           | 8.34                               |
| P aprovechable (ppm)              | 1.8                                | 2.4                            | 1.6                                |
| K aprovechable (ppm)              | 12.32                              | 12.72                          | 13.12                              |
| Calcio (Ca)                       | 2.92                               | 3.90                           | 8.78                               |
| Magnesio (Mg)                     | 15.38                              | 12.5                           | 6.73                               |
| Sodio (Na)                        | 0.543                              | 0.454                          | 0.637                              |
| Potasio (K)                       | 1.57                               | 1.62                           | 1.67                               |
| CICT cmol/Kg de suelo             | 18.02                              | 20.53                          | 18.44                              |
| Carbonatos totales (%)            | 0.84                               | 0.82                           | 0.85                               |

Laboratorio de suelos y aguas de la Facultad de Agronomía.

## Material Genético

El material genético incluido en el presente experimento (Cuadro 11) estuvo conformado por cuatro genotipos de amaranto proporcionados por.

Cuadro 11. 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

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 voltea 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 del agua de riego (Jasso y Martínez, 2003).

### **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 y de 25 cm aproximadamente entre plantas; con lo que se obtiene una densidad de siembra de población de aproximadamente 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>, el área experimental fue de 16.0 m<sup>2</sup>; 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 m<sup>2</sup>, en ambas fechas de siembra.

La primera siembra de las variedades fue el 18 de febrero y la segunda siembra fue el 15 de abril del mismo año en charolas en el área de invernaderos de la Facultad de Agronomía; previa desinfección de las charolas, el sustrato utilizado fue peat moss. El primer trasplante fue el 19 de abril y el segundo el 20 de mayo, previa a una anegación de la superficie experimental y se aplicaron tres riegos de auxilio, sin fertilizar en ambas fechas de siembra.

### **Modelo Estadístico**

El modelo estadístico y análisis de varianza (Cuadro 12) del diseño bloques completos al azar utilizado fue.

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

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

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

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

Donde:

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

$\mu$ : media general.

$T_i$ : efecto del tratamiento  $i$ .

$B_j$ : efecto del bloque  $j$ .

$E_{ij}$ : variable aleatoria (error experimental)

Cuadro 12. Análisis de varianza (ANAVA) indicativo para el diseño de bloques completos al azar.

| <b>F.V</b> | <b>G.L</b>   | <b>S.C</b>   | <b>C.M</b>     | <b>Fc</b>   | <b>Ft</b>         |
|------------|--------------|--|----------------|-------------|-------------------|
| 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.        | $t-1$        | $\sum_{i=1}^t (Y_i^2/t) - Y_{..}^2/rt$             | $SCTr/rt$      | $CMTTr/CME$ | $t-1, (t-1)(r-1)$ |
| Error      | $(t-1)(r-1)$ | $SC_{tot} - SCBl - SCTr$                           | $SCE/t-1(r-1)$ |             |                   |
| Total      | $rt-1$       | $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - Y_{..}^2/rt$ |                |             |                   |

El modelo estadístico y análisis de varianza (Cuadro 13) 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  $k$ .

$\mu$ : 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  $s^2$ .

### **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.

Cuadro 13. Análisis de varianza indicativo para el diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial.

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

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

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



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

### **Metodología**

Los datos de cada variable registrada se analizaron como un experimento bifactorial, donde se consideró como factor A fechas de siembra con dos niveles,  $a_1$ : fecha temprana y  $a_2$ : fecha tardía; 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 %. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete de discusión experimental de la FAUANL.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en los resultados del análisis de varianza (ANAVA) para la variable altura de planta (Cuadro 14), no mostró diferencia significativa entre los niveles del factor A (fechas de siembra), y los niveles del factor B (variedades), pero mostró diferencia altamente significativa para la interacción o efecto conjunto entre los factores, con un coeficiente de variación de 7.22 %.

Cuadro 14. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para altura de planta.

| FV                      | GL | CM           |
|-------------------------|----|--------------|
| <b>Repeticiones</b>     | 3  | 11.3750      |
| <b>Factor A</b>         | 1  | 5.0469 NS    |
| <b>Factor B</b>         | 2  | 11.3750 NS   |
| <b>Interacción (AB)</b> | 2  | 1100.5391 ** |
| <b>Error</b>            | 15 | 32.0417      |
| <b>Total</b>            | 23 |              |
| <b>CV (%)</b>           |    | 7.22         |

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

Para evaluar el comportamiento promedio de los niveles del factor A (fechas de siembra), dentro de cada uno de los niveles del factor B (variedades), es decir, (A/B<sub>j</sub>) e interpretar la significancia de la interacción, se calculó el valor de la prueba de comparación de medias de la diferencia mínima significativa  $DMS = t_{(\alpha, gl_e)} \sqrt{2CME/r} = 8.53$ ; de acuerdo a los resultados de la comparación de medias para la interacción (cuadro 15), las variedades tienen un comportamiento significativamente diferente al pasar del nivel  $a_1$  al nivel  $a_2$  del factor A; La variedad Criolla, tiene una altura promedio superior en la fecha temprana con un valor de 92.50 cm y una altura de 66.50 cm en la

segunda fecha de siembra; para las variedades Amaranteca y Revancha la tendencia de respuesta fue diferente, es decir, la menor altura de planta la registraron en la fecha de siembra temprana con valores medios de 71.25 y 70.00 cm, respectivamente y en la fecha tardía registraron valores de 83.00 y 87.00 cm de altura, en el mismo orden (figura 1).

Cuadro 15. 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       | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | Media  |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| a <sub>1</sub> | 92.50 a        | 71.25 b        | 70.00 b        | 77.917 |
| a <sub>2</sub> | 66.50 b        | 83.00 a        | 87.00 a        | 78.833 |
|                | 79.500         | 77.125         | 78.500         | 78.375 |

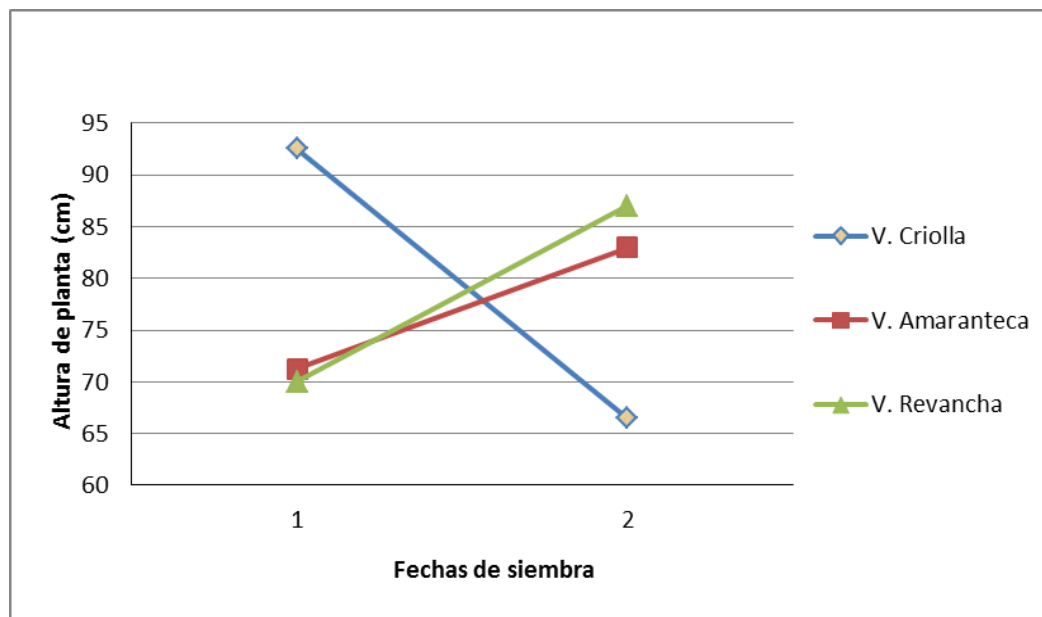


Figura 1. Comportamiento de la altura de planta de las variedades y fechas de siembra en estudio.

Bharat y Whitheard (1993) en experimentos en invernadero, registraron alturas de planta que variaron de 120.7 a 129.3 cm cuando se incrementó la densidad de plantas de 31,250 a 125,000 plantas ha-1. Pereyra *et al.* (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 de siembra directa, principalmente; asimismo encontraron diferencia significativa para la interacción genotipos por ambientes

El (ANAVA) efectuado para la variable longitud de panoja (Cuadro 16), mostró diferencia altamente significativa entre fechas de siembra (factor A), no detectando diferencia significativa entre las variedades (factor B), así como para la interacción entre los factores (AB), es decir, los factores actúan independientemente, con un coeficiente de variación de 7.08 %.

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

| <b>FV</b>               | <b>GL</b> | <b>CM</b>   |
|-------------------------|-----------|-------------|
| <b>Repeticiones</b>     | 3         | 1.8191      |
| <b>Factor A</b>         | 1         | 302.1758 ** |
| <b>Factor B</b>         | 2         | 15.3945 NS  |
| <b>Interacción (AB)</b> | 2         | 2.2998 NS   |
| <b>Error</b>            | 15        | 5.1121      |
| <b>Total</b>            | 23        |             |
| <b>CV (%)</b>           |           | 7.08        |

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

Las variedades mostraron un comportamiento similar para la longitud de panoja con valores medios de 30.43, 32.29 y 33.14 cm para la variedad Revancha, Criolla y Amaranteca, respectivamente; la no significancia para la interacción entre los factores nos indica que actúan independientemente y para las fechas de siembra se detectó diferencia altamente significativa entre sus valores medios, para este factor es suficiente seleccionar el nivel de respuesta más favorable, puesto que solo se tienen dos niveles (temprana y tardía); para el caso, en el ambiente tardío se presentó más alto valor promedio para la longitud de la panoja con una media de 87.00 cm y para el ambiente temprano se registró una media de 70.00 cm. Pereyra *et al.* (2010) no encontraron efecto de la interacción genotipo ambiente para longitud de panoja al evaluar cinco genotipos de amaranto en dos localidades, resultados que coinciden con los de esta investigación, lo cual indica que la variable en estudio es estable a través de los ambientes.

Los resultados del análisis de varianza (ANAVA) para la variable diámetro de tallo (Cuadro 17), mostraron diferencia altamente significativa entre los niveles del factor A (Sustratos), niveles del factor B (fechas de muestreo) y para la interacción de los factores, con un coeficiente de variación de 4.59 %.

Cuadro 17. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para la variable diámetro de tallo.

| <b>FV</b>               | <b>GL</b> | <b>CM</b> |
|-------------------------|-----------|-----------|
| <b>Repeticiones</b>     | 3         | 5.2233    |
| <b>Factor A</b>         | 1         | 0.3535 NS |
| <b>Factor B</b>         | 2         | 4.8696 NS |
| <b>Interacción (AB)</b> | 2         | 5.9282 NS |
| <b>Error</b>            | 15        | 7.9935    |
| <b>Total</b>            | 23        |           |
| <b>CV (%)</b>           |           | 13.36     |

NS, diferencia no significativa

Para el diámetro de tallo las medias fueron de 21.28 y 21.04 mm para la fecha temprana y la fecha tardía, respectivamente; los valores medios de las variedades Criolla, Amaranteca y Revancha fueron de 21.36, 21.83 y 20.31 mm, en el mismo orden. La no significancia en la interacción indica que los factores actúan en forma independiente para la variable. Pereyra *et al.* (2010) 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 diferentes con los de esta investigación, 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 significativa (Cuadro 18) entre los niveles del factor A (fechas de siembra), y entre los niveles del factor B (variedades), para la interacción entre ambos factores, se detectó diferencia altamente significativa, con un coeficiente de variación de 13.15 %.

Cuadro 18. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para rendimiento de forraje verde.

| <b>FV</b>               | <b>GL</b> | <b>CM</b> |
|-------------------------|-----------|-----------|
| <b>Repeticiones</b>     | 3         | 0.1394    |
| <b>Factor A</b>         | 1         | 6.6148 *  |
| <b>Factor B</b>         | 2         | 6.0215 *  |
| <b>Interacción (AB)</b> | 2         | 9.4951 ** |
| <b>Error</b>            | 15        | 0.6141    |
| <b>Total</b>            | 23        |           |
| <b>CV (%)</b>           |           | 13.15     |

\*\* , \* , diferencia altamente significativa y significativa, respectivamente

Para evaluar el comportamiento promedio de los niveles del factor A (fechas de siembra), 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  $DMS = t_{(\alpha, g|e)} \sqrt{2CME/r} = 1.18$ ; con base a los resultados de la comparación de medias para la interacción entre los factores (cuadro 19), la variedad Criolla, registró el mejor rendimiento de forraje verde promedio y diferente estadísticamente en la fecha temprana con un valor de 6.80 k parcela<sup>-1</sup> y un rendimiento de 3.50 k parcela<sup>-1</sup> en la segunda fecha de siembra; las variedades Amaranteca y Revancha no mostraron diferencia significativa en su respuesta para el rendimiento de forraje verde al pasar del nivel a<sub>1</sub> al nivel a<sub>2</sub> del factor fechas de siembra, con una media de 6.30 y 6.35 k parcela<sup>-1</sup> en la fecha temprana para Amaranteca y Revancha, respectivamente, y en la fecha tardía registraron valores de 5.40 y 7.40 k parcela<sup>-1</sup> en el mismo orden, para el rendimiento de forraje verde (figura 2).

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 rendimiento de forraje verde.

| <b>Factores</b>      | <b>b<sub>1</sub></b> | <b>b<sub>2</sub></b> | <b>b<sub>3</sub></b> | <b>Media</b> |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| <b>a<sub>1</sub></b> | 6.80 a               | 6.30 a               | 6.35 a               | 6.48         |
| <b>a<sub>2</sub></b> | 3.50 b               | 5.40 a               | 7.40 a               | 5.43         |
|                      | 5.15                 | 5.85                 | 6.87                 | 5.96         |

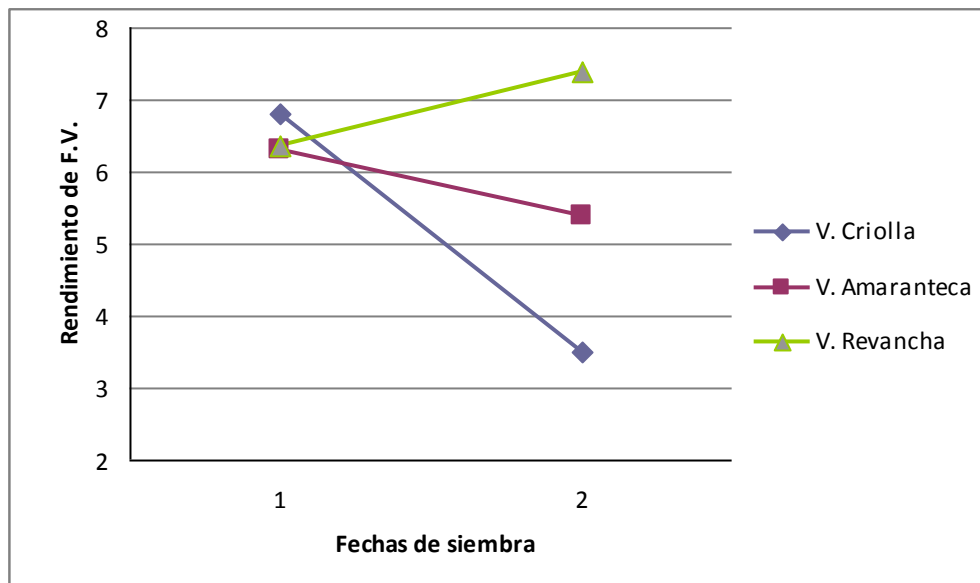


Figura 2. Comportamiento del rendimiento de forraje verde de las variedades y fechas de siembra en estudio.

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 80.610, 47.085 y 37.900 ton ha<sup>-1</sup> en densidades de 125,000, 62,500 y 41666 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente; para el genotipo 33 de *A. cruentus*; y de 72.500, 57.650 y 34.825 ton hectárea<sup>-1</sup>, en las mismas densidades, respectivamente, para la variedad criollo Tlaxcala de *A. hypochondriacus*. Rendimientos de forraje verde que coinciden con los obtenidos en el presente trabajo, considerando una densidad de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup> en la presente experimentación; los rendimientos registrados fueron de 42.500 y 39.300 ton hectárea<sup>-1</sup>, para la variedad criolla y amaranteca, en el mismo orden, durante la fecha temprana; y de 46.200 ton ha<sup>-1</sup> para revancha en la fecha tardía.

Los resultados del ANAVA para el rendimiento de materia seca (Cuadro 20), mostró diferencia altamente significativa para los niveles del factor A (fechas de siembra), los niveles del factor B (variedades) y para la interacción entre los factores, con un coeficiente de variación de 14.30 %.



Cuadro 20. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para rendimiento de materia seca.

| <b>FV</b>               | <b>GL</b> | <b>CM</b> |
|-------------------------|-----------|-----------|
| <b>Repeticiones</b>     | 3         | 0.0112    |
| <b>Factor A</b>         | 1         | 0.4735 ** |
| <b>Factor B</b>         | 2         | 0.2071 ** |
| <b>Interacción (AB)</b> | 2         | 0.1207 ** |
| <b>Error</b>            | 15        | 0.0144    |
| <b>Total</b>            | 23        |           |
| <b>CV (%)</b>           |           | 14.30     |

\*\* diferencia altamente significativa

Al evaluar el comportamiento promedio de los niveles del factor fechas de siembra, dentro de cada una de las variedades, e interpretar la significancia de la interacción entre ambos factores, se procedió a calcular el valor de la prueba de comparación de medias de la diferencia mínima significativa  $DMS = t_{(\alpha, gl_e)} \sqrt{2CME/r} = 0.1808$ ; con base a los resultados de la comparación de medias para la interacción (cuadro 21), la variedad Criolla, registró el mejor rendimiento promedio de materia seca y diferente estadísticamente en la fecha temprana con un valor de  $0.9283 \text{ k parcela}^{-1}$  y un rendimiento de  $0.4477 \text{ k parcela}^{-1}$  en la fecha de siembra tardía; la variedades Amaranteca también mostró una diferencia significativa entre las fechas de siembra, registrando su mayor rendimiento en la fecha temprana con una media de  $0.9990 \text{ k parcela}^{-1}$  y  $0.6432 \text{ k parcela}^{-1}$  en la fecha tardía; la variedad Revancha no mostró diferencia significativa en su respuesta para el rendimiento de materia seca al sembrarse en la fecha temprana y al sembrarse en la fecha tardía, con valores medios de  $1.0115$  y  $1.0050 \text{ k parcela}^{-1}$ , respectivamente (figura 3).

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 materia seca.

| Factores       | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | Media  |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| a <sub>1</sub> | 0.9283 a       | 0.9990 a       | 1.0115 a       | 0.9796 |
| a <sub>2</sub> | 0.4477 b       | 0.6432 b       | 1.0050 a       | 0.6987 |
|                | 0.6080         | 0.8211         | 1.00982        | 0.8391 |

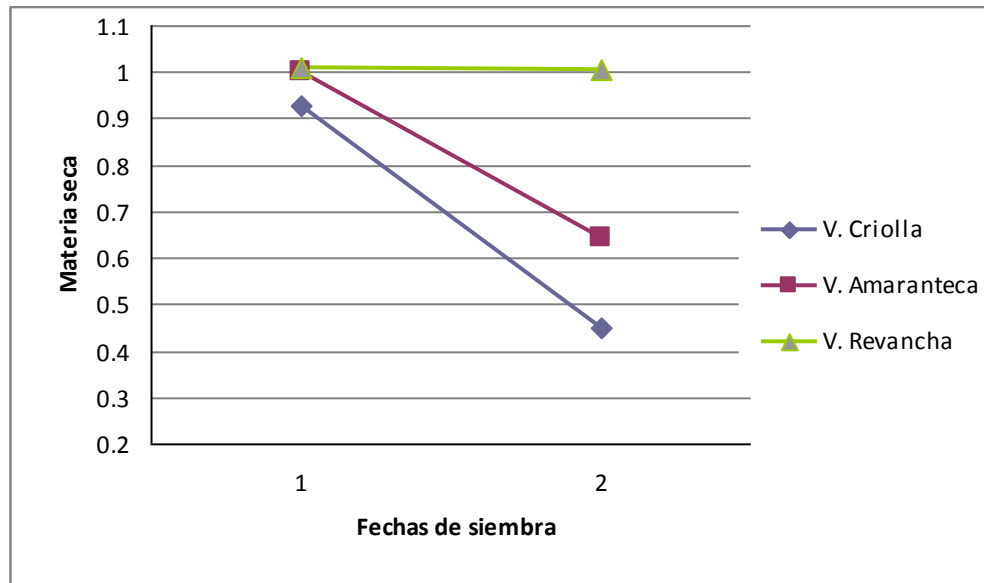


Figura 3. Comportamiento del rendimiento de materia seca de las variedades y fechas de siembra en estudio.

La significancia de la interacción en el rendimiento de materia seca, puede ser esperada porque el rendimiento, desde el punto de vista genético, es un carácter cuantitativo gobernado por un gran número de genes y estos caracteres son altamente influenciados por el medio ambiente. Sin embargo, Pereyra *et al.* (2010) no reportaron diferencia significativa para la interacción genotipo ambiente.

Los resultados arrojados por el ANAVA para el rendimiento de grano (Cuadro 22) indican una diferencia altamente significativa entre fechas de siembra; diferencia significativa entre las diferentes variedades y no diferencia significativa para el efecto de la interacción o efecto conjunto entre los factores con un coeficiente de variación de 24.53 %.

Cuadro 22. Cuadrados medios de los efectos principales y de la interacción para la variable rendimiento de grano.

| <b>FV</b>               | <b>GL</b> | <b>CM</b>      |
|-------------------------|-----------|----------------|
| <b>Repeticiones</b>     | 3         | 8868.5000      |
| <b>Factor A</b>         | 1         | 143499.3550 ** |
| <b>Factor B</b>         | 2         | 22125.8125 *   |
| <b>Interacción (AB)</b> | 2         | 272.8125 NS    |
| <b>Error</b>            | 15        | 4017.5500      |
| <b>Total</b>            | 23        |                |
| <b>CV (%)</b>           |           | 24.53          |

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

La prueba de comparación de medias para el rendimiento de grano en el factor fechas de siembra mostró un rendimiento de grano superior en la fecha temprana con una media de 335.75 gr parcela<sup>-1</sup> y la fecha tardía registró un rendimiento de grano de 181.10 k parcela<sup>-1</sup>; para el factor variedades se formaron dos grupos de tratamientos estadísticamente diferentes, el grupo con mejor respuesta en el rendimiento incluyó las variedades Revancha y Amaranteca con valores medios de 307.88 y 264.23 gr parcela<sup>-1</sup> y el segundo grupo lo conformaron la variedad Amaranteca y la variedad Criolla con valores de 264.23 y 203.18 gr parcela<sup>-1</sup> en el rendimiento de grano, respectivamente; la no significancia en la interacción (figura 4) indica que los factores actúan independientemente, para la variable de interés.

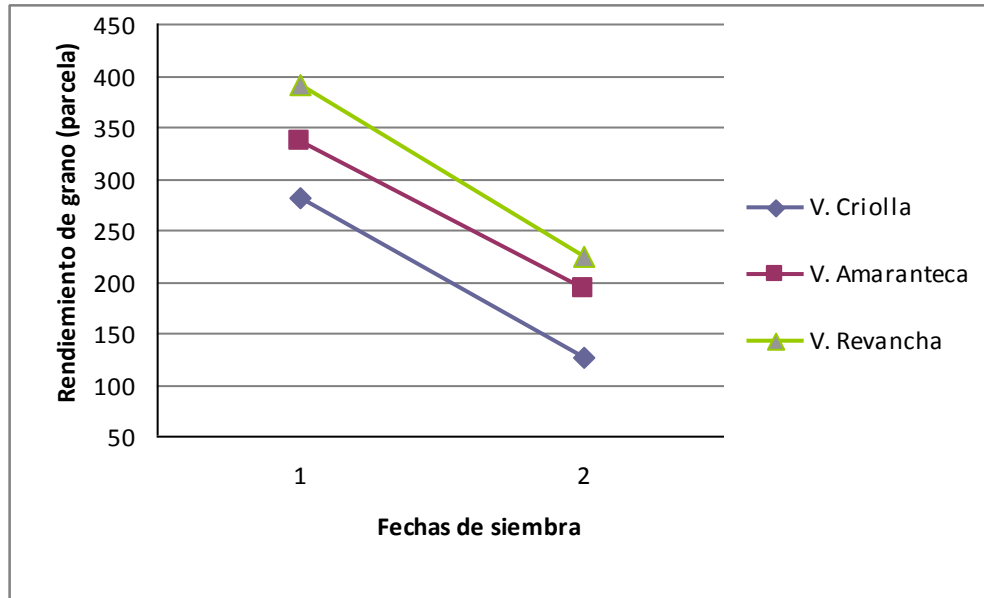


Figura 4. Comportamiento del rendimiento de grano de las variedades y fechas de siembra en estudio

En los resultados del presente trabajo se obtuvieron rendimientos de 1.924, 1.651 y 1.270 ton hectárea<sup>-1</sup>, para revancha, amaranteca y criolla con una población de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>; Sánchez (2007), reportó rendimientos de 1.475 ton hectárea<sup>-1</sup>, para la variedad criolla y 1.422 ton hectárea<sup>-1</sup>, para la variedad DGTA, en Villa de Pozos, SLP; Pereyra et al. (2004), obtuvo rendimientos de grano en Marín NL., de 1637.5, 1481.0 y 1083.0 k ha<sup>-1</sup> en densidades de 125,000, 62,500 y 41666 plantas ha<sup>-1</sup>, en una variedad de *A. cruentus*; y de 0.306, 0.094 y 0.090 ton hectárea<sup>-1</sup>, 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 el área de estudio para la fecha temprana. 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

1.- Las variedades evaluadas tuvieron un mejor comportamiento para las características registradas en la fecha de siembra temprana (19/04/2011).

2.- Revancha fue la variedad con el mejor comportamiento en el rendimiento de grano, forraje verde, y materia seca.

3.- La variedad revancha fue la variedad más estable dentro de las fechas de siembra en consideración.

Por lo tanto, de acuerdo con los resultados de campo, de los análisis estadísticos y a las condiciones ambientales del área de estudio en las cuales se desarrollo el presente trabajo de tesis, la variedad revancha tiene potencial productivo para ser sembrada comercialmente. Sin embargo, se requieren más evaluaciones, en diferentes localidades, fechas de siembra y aplicar la dosis de fertilización propicia para que las variedades muestren su verdadero potencial de rendimiento.

## LITERATURA CITADA

- Alejandro Iturbide. 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-García 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.
- Brenner, D. 1990. seed shattering control with indehiscent utricles in grain *Amaranthus*. *Legacy* 3:2-3.
- 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.
- Cunard, Alex. 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, 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.
- Early, D. K. 1977. Cultivation and uses of *Amaranth* in contemporary México. *Proceeding of the First Amaranth conference* Rodale Press, Pennsylvania 35-38 pp.
- El Amaranto <mhtml:file://C:\Documents and Settings\DellMC-04\Misdocumentos\AMARANTO\Am> Revisado 09/08/2011
- El Valor Nutritivo del Amaranto <http://puentemexico.org/main/es/Amaranth's> Nutritional-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. 1991a. Revancha: variedad mejorada de amaranto para los valles altos de México. p. 64. *In:* Primer congreso Internacional del Amaranto. Oaxtepec, Morelos.
- Espitia, R. E. 1991b. Estabilidad del rendimiento en amaranto. p. 65 *In:* Primer congreso Internacional del Amaranto. Oaxtepec, Morelos, 22-27 sep. México.
- Jasso, C. C. y Martínez, G. M. A., 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.
- Kauffman, C. S., and Weber. 1990. Grain Amaranth. p. 127-139. *In:* J. Janick and J. E. Simon (eds.), *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR.
- Martínez *et al.*, 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.
- 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.
- Pereyra, G.J; Valdés, L.C.G.S; Olivares, S.E; Alvarado, G.O; Medrano, R.H y Alejandro, I. G. 2004. Evaluación de genotipos de amaranto para adaptabilidad productiva en el noreste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 27 (Número Especial 1): 53-56.
- 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.
- 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.
- Trinidad, S. A.; Gómez, L. F. y Suárez, R. G. 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