

## FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE PLANTAS EN VARIEDADES DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.)\*

### FERTILIZATION AND PLANT DENSITY IN VARIETIES OF AMARANTH (*Amaranthus hypochondriacus* L.)

Ma. de la Luz Ramírez Vazquez<sup>1</sup>, Eduardo Espitia Rangel<sup>2§</sup>, Aquiles Carballo Carballo<sup>1</sup>, Rosalba Zepeda Bautista<sup>2</sup>, Humberto Vaquera Huerta<sup>1</sup> y Leobigildo Córdova Téllez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9521500. (maluz\_r\_v@hotmail.com), (aquiles.carballo@gmail.com), (lcordoba@colpos.mx), (hvaquera@colpos.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9212657. (rzepeda@yahoo.com). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: espitia.eduardo@inifap.gob.mx.

#### RESUMEN

El amaranto es un cultivo potencial que está tomando importancia en México, debido a que cada día hay mayor demanda. Este cultivo se siembra bajo sistemas convencionales de siembra directa y de trasplante, recientemente se están abriendo nuevas zonas de cultivo en las que se utiliza riego y cosecha mecánica. El paquete tecnológico para la producción de amaranto no está totalmente definido, por lo que a fin de determinar los efectos de la localidad, la fertilización, la densidad de plantas y variedades se estableció el presente experimento. El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en las localidades de San Miguel del Milagro Tlaxcala y Montecillo Estado de México, tres dosis (0, 60 y 80 kg ha<sup>-1</sup>) de N combinadas con dos (30 y 60 kg ha<sup>-1</sup>) dosis de P, densidades de plantas de 100 000, 150 000 y 250 000 plantas ha<sup>-1</sup> y las variedades DGTA, Gabriela y Revancha pertenecientes a *A. hypochondriacus*. Los resultados encontrados muestran que la localidad, la fertilización, la densidad de plantas y la interacción densidad de plantas\*variedad, tuvieron efectos significativos sobre el rendimiento de semilla. Los rendimientos más altos correspondieron a la localidad de Montecillo, Estado de México; a las fórmulas 80-60-40 y 80-30-40 con 1 668.7 y 1 660.9 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, a la

#### ABSTRACT

The amaranth is a potential crop that is gaining importance in Mexico, because every day there is more demand. This crop is grown under conventional tillage systems and transplant, recently opening up new areas of cultivation used in irrigation and mechanical harvesting. The technology package for the production of amaranth is not fully defined, so that in order to determine the effects of the locality, fertilization, plant density and varieties, the present experiment was established. The experiment was performed in a randomized complete block design with three replicates randomly in the towns of San Miguel del Milagro Montecillo Tlaxcala and Mexico State, three doses (0, 60 and 80 kg ha<sup>-1</sup>) of N combined with two (30 and 60 kg ha<sup>-1</sup>) P dose, plant densities of 100 000, 150 000 and 250 000 plants ha<sup>-1</sup> and DGTA varieties, Gabriela and Revancha belonging to *A. hypochondriacus*. The results show that, the locality, fertilization, plant density and plant density interaction\*variety had significant effects on seed yield. The highest yield corresponded to the town of Montecillo, Estado de Mexico, a 80-60-40 and 80-30-40 formulas with a 668.7 and 1 660.9 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, to the variety DGTA (1 778.2 kg ha<sup>-1</sup>) and plant density of 100 000 plants ha<sup>-1</sup>. For the plant height,

\* Recibido: febrero de 2011  
Aceptado: julio de 2011

variedad DGTA (1 778.2 kg ha<sup>-1</sup>) y a la densidad de plantas de 100 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Para altura de planta la variedad y densidad de plantas tuvieron efectos significativos, siendo la variedad Revancha la que presentó una altura de planta apropiada para cosecha mecánica en las tres densidades de plantas. En relación al acame sólo la fertilización tuvo efecto, resultando las fórmulas 60-60-40, 60-30-40 y 80-60-40 con porcentajes de 37.21, 36.98 y 35.9, respectivamente.

**Palabras clave:** *Amaranthus hypochondriacus* L., densidad de plantas, DGETA, fertilización, Gabriela y Revancha.

## INTRODUCCIÓN

El amaranto (*Amaranthus* spp.) es un cultivo que fue un alimento básico en el México prehispánico; alrededor de 20 mil toneladas llegaban anualmente como tributo a Tenochtitlan, capital del Imperio Mexica. Su papel en la dieta fue tan importante como el maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*). En México tradicionalmente se cultiva desde 2 500 a 3 300 msnm; sin embargo, se han observado excelentes resultados al nivel del mar y en áreas tropicales. Es susceptible a las bajas temperaturas (8 °C) al exceso de humedad, pero en cambio es muy resistente al déficit hídrico y al calor.

En condiciones adecuadas de suelos (neutros o básicos), humedad y temperatura, produce hasta 5 000 kg ha<sup>-1</sup>; aunque en promedio se obtienen rendimientos de 1 000 a 2 500 kg ha<sup>-1</sup> (Mujica y Berti, 1997). La superficie cultivada varía de 600 a 3 000 ha; los principales estados productores son Morelos (Huazulco, Amilcingo, Jantetelco y Amayuca), y Puebla (Huaquechula, San Juan Amecac, Tochimilco, Tochimizolco, Santiago Tecla y Tulcingo); con rendimientos de 1 800 a 2 000 kg ha<sup>-1</sup>, bajo condiciones de temporal y de 1 000 a 4 000 kg ha<sup>-1</sup> en riego dependiendo de las variedades utilizadas (Espitia, 1986).

Debido a su alto valor nutritivo, nutraceutico y potencial agronómico se cree que el amaranto puede convertirse en un cultivo importante, para incrementar la superficie sembrada se deberá desarrollar tecnología para la producción bajo distintos sistemas de siembra, que van desde los convencionales hasta los sistemas modernos que implican la mecanización de algunas labores, como la cosecha. Las variedades, fertilización y densidad de plantas son componentes importantes en el paquete tecnológico para maximizar la producción.

the variety and plant density had significant effects, being the Revancha variety the one that presented a plant height suitable for mechanical harvesting in the three plant densities. In relation to lodging, only fertilization had any effect, resulting in the formula 60-60-40, 60-30-40 and 80-60-40 with percentages of 37.21, 36.98 and 35.9, respectively.

**Key words:** *Amaranthus hypochondriacus* L., DGETA, fertilization, Gabriela and Revancha, plant density.

## INTRODUCTION

The amaranth (*Amaranthus* spp.) is a crop that had been an elementary food in pre-hispanic Mexico; about 20 thousand tons came annually as a tribute to Tenochtitlan, capital of the Mexica Empire. Its role in the diet was as important as maize (*Zea mays* L.) and beans' (*Phaseolus vulgaris* L.). In Mexico, it's traditionally grown from 2 500 to 3 300 m, but excellent results have been observed at sea level and tropical areas as well. It is susceptible to low temperatures (8 °C) and, excessive moisture but, it's highly resistant to water deficit and heat.

Under suitable soil's conditions (neutral or basic), humidity and temperature, it would produce up to 5 000 kg ha<sup>-1</sup>, although, on average yields of 1 000 to 2 500 kg ha<sup>-1</sup> are obtained (Mujica and Berti, 1997). The cultivated area ranges from 600 to 3 000 ha, the main producing States are Morelos (Huazulco, Amilcingo, Jantetelco and Amayuca) and Puebla (Huaquechula, San Juan Amecac, Tochimilco Tochimizolco, James Key and Tulcingo), with yields of 1 800 to 2 000 kg ha<sup>-1</sup> under rainfed conditions and 1 000 to 4 000 kg ha<sup>-1</sup> under irrigation, depending on the varieties used (Espitia, 1986).

Due to its high nutritive value, nutraceutical and agronomic potential, it's believed that amaranth may become an important crop; in order to increase its cultivation; technology for production under different planting systems is needed to be developed, starting from conventional to modern systems involving the mechanization of some tasks, such as harvesting. The varieties, fertilization and plant density are important components in the technology package to maximize the production.

En las zonas productoras de Puebla, Tlaxcala y Distrito Federal, normalmente se utilizan densidades que van desde 60 000 a 140 000 plantas ha<sup>-1</sup> con rendimientos de 1 a 1.5 t ha<sup>-1</sup> con variedades de *A. hypochondriacus*; mientras que en Morelos se siembran de 150 000 a 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> con rendimientos de 2 a 2.5 t ha<sup>-1</sup> con variedades de *A. cruentus* (Espitia 1986; Espitia 1992). En Estados Unidos de América no se observaron diferencias en rendimiento con densidades de 19 800 a 160 000 plantas ha<sup>-1</sup> con las que se obtuvieron 1 983 y 1 796 kg ha<sup>-1</sup> (Edwards y Volack, 1980).

Putnam (1990) evaluó dos variedades derivadas de la cruce *A. hypochondriacus*\**A. hybridus*, con densidades de 92 000 a 1 975 000 plantas ha<sup>-1</sup>, observando que el acame fue directamente proporcional a la densidad de plantas y que la densidad óptima fue de 272 000 plantas. Henderson *et al.* (2000) probaron densidades de 74 000, 171 000 y 272 000 plantas, observando que no hubo diferencia significativa en el rendimiento de grano, obteniéndose 1 070, 990 y 1 010 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Con densidades de plantas entre 240 000 y 360 000 se pueden obtener plantas de menor porte, menor ramificación y diámetro de tallo, lo cual mejora la uniformidad en la madurez, secado de la planta, secado de grano y la cosecha mecánica (Edwards, 1981; Hass, 1983). Por su parte García Pereyra *et al.* (2009) probaron densidades desde 31 250 hasta 125 000 plantas ha<sup>-1</sup> en genotipos de *A. Hypochondriacus* y *A. cruentus*, encontrando que el mayor rendimiento de grano se obtuvo con la densidad más alta en todos los genotipos.

El amaranto es un cultivo principalmente para temporal, por lo cual la aplicación de fertilizantes debe estar estrechamente relacionada con la disponibilidad de humedad; por lo que los requerimientos nutricionales del amaranto, estarán definidos por las condiciones ambientales donde sea cultivado. Se sabe que el N es el elemento más restrictivo en el crecimiento de un cultivo; en amaranto se menciona que a medida que el ambiente sea más favorable se deberá aplicar mayor cantidad de N (Stallknecht y Schulz-Schafer, 1993).

Myers (1998) evaluó dosis de 0 a 180 kg N ha<sup>-1</sup> en tres variedades de amaranto, encontrando un incremento de 45% de rendimiento con la dosis más alta; también se incrementó la producción de biomasa, el número de semillas por planta; mientras que el peso de mil semillas no

In the producing areas of Puebla, Tlaxcala and Mexico City, the regularly densities used range from 60 000 to 140 000 plants ha<sup>-1</sup> with yields from 1 to 1.5 t ha<sup>-1</sup> with varieties of *A. hypochondriacus*, while in Morelos are grown from 150 000 to 200 000 plants ha<sup>-1</sup> with yields from 2 to 2.5 t ha<sup>-1</sup> with varieties of *A. cruentus* (Espitia 1986; Espitia 1992). In the United States, there was no difference in yield with densities from 19 800 to 160 000 plants ha<sup>-1</sup>, obtaining 1 983 and 1 796 kg ha<sup>-1</sup> (Edwards and Volack, 1980).

Putnam (1990) evaluated two varieties derived from the cross *A. hypochondriacus*\**A. hybridus*, with densities from 92 000 to 1.975 million plants ha<sup>-1</sup>, noting that, the lodging was directly proportional to the density of plants and, that the optimum density was 272 000 plants. Henderson *et al.* (2000) tested 74 000 densities, 171 000 and 272 000 plants, noting that there was no significant difference in grain yield, resulting in 1 070, 990 and 1 010 kg ha<sup>-1</sup>, respectively.

With plant densities between 240 000 and 360 000 plants, it can be obtained smaller plants, lower branch and stem diameter, which improves the uniformity in maturity, drying of the plant, grain drying and mechanical harvesting too (Edwards, 1981; Hass, 1983). García Pereyra *et al.* (2009) tested densities from 31 250-125 000 plants ha<sup>-1</sup>, with genotypes of *A. Hypochondriacus* and *A. cruentus* found that, the highest grain yield was obtained with the highest density in all of them.

Amaranth is a crop mainly for rainfed conditions, because of this, the fertilizer application should be closely related to the availability of moisture; so, the nutritional requirements of amaranth are defined by the environmental conditions where it's cultivated. It is known that, N is the most restrictive element in the growth of a crop; for amaranth, it's mentioned that, as the environment gets more favorable, it should be applied even more N (Stallknecht and Schulz-Schafer, 1993).

Myers (1998) evaluated doses from 0 to 180 kg N ha<sup>-1</sup> in three varieties of amaranth, finding an increase of 45% yield with the higher dose, also increased biomass production and, number of seeds per plant; while the weight of one thousand seeds was not affected by the application of N (Elbehri *et al.*, 1993). Apaza-Gutiérrez *et al.* (2002) report 80% increases in yield when applying 80 kg N ha<sup>-1</sup>. Applications of 50 and 100 kg N ha<sup>-1</sup> produced increases in yield and also in

fue afectada por la aplicación de N (Elbehri *et al.*, 1993). Apaza-Gutiérrez *et al.* (2002) reportan incrementos de 80% en el rendimiento al aplicar 80 kg N ha<sup>-1</sup>. Aplicaciones de 50 y 100 kg N ha<sup>-1</sup> produjeron incrementos en el rendimientos y en el peso de mil granos comparados con 0 kg N ha<sup>-1</sup>, en *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*; mientras que la fertilización no produjo efecto en materia seca y altura de planta (Pospisil *et al.*, 2006).

En México, Espitia (1992) refiere que a nivel comercial se utilizan 100 kg N ha<sup>-1</sup>; por su parte Arellano (2000) reporta rendimientos de 1 868 kg ha<sup>-1</sup> al aplicar 160 kg N ha<sup>-1</sup>; mientras que Arellano y Galicia (2007) indican que la fertilización modificó significativamente el rendimiento en variedades de amaranto, siendo de 2 922 kg ha<sup>-1</sup> con la variedad Nutrisol. En relación a P Gupta y Thimba (1992) analizaron un ligero incremento en el rendimiento, cuando se incrementa la dosis de este elemento. Espitia (1992) reporta que en las zonas donde se utiliza fertilización química se aplican 50 kg P ha<sup>-1</sup>.

Tanto en la densidad de plantas como en la fertilización se han encontrado resultados un tanto controversiales; por ejemplo, Makus (1991) evaluaron 0, 60, 120 y 240 kg N ha<sup>-1</sup> en variedades derivadas de la cruce *A. hypochondriacus*\**A. hybridus* y no encontraron diferencias en el rendimiento. Gimplinguer *et al.* (2007) evaluaron en *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* cinco densidades de plantas (8, 15, 32, 54 y 89 plantas m<sup>-2</sup>) encontrando mejores rendimientos a bajas densidades.

Las altas densidades reducen diámetro de tallo, ramificación y altura de planta, facilitando de esta manera la cosecha mecánica; mientras que producción de biomasa y peso de semilla no fueron afectados. Díaz-Ortega *et al.* (2004) evaluaron en *A. Hypochondriacus* dosis de 0, 10 y 20 g N m<sup>-2</sup> a densidades de 12.5, 25 y 33.3 plantas m<sup>-2</sup>; encontrando que a medida que se eleva la aplicación de N y la densidad de plantas, se incrementa la eficiencia en el uso de N y agua; consecuente se incrementa la producción de biomasa y rendimiento de grano. La controversia en la definición de dosis de fertilización y densidades de plantas para la producción de grano es evidente; sin embargo, para la producción de semilla de amaranto la información no existe. Por esta razón el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la variedad, la fertilización (N y P) y densidades de plantas sobre la producción de semilla de amaranto.

a thousand grain weight compared with 0 kg N ha<sup>-1</sup> in *A. hypochondriacus* and *A. cruentus*, while fertilization had no effect on dry matter or plant height at all (Pospisil *et al.*, 2006).

In Mexico, Espitia (1992) refers for a commercial level, using 100 kg N ha<sup>-1</sup> but, Arellano (2000) reported yields of 1 868 kg ha<sup>-1</sup> by applying 160 kg N ha<sup>-1</sup>, while Arellano and Galicia (2007) indicated that, the fertilization significantly change the yield of amaranth's varieties, being from 2 922 kg ha<sup>-1</sup> with Nutrisol variety. In relation to P Gupta and Thimba (1992), they analyzed a slight increase in yield when increasing the dose of this element. Espitia (1992) reports that, in areas where chemical fertilizers it's applied, 50 kg P ha<sup>-1</sup> it's used.

In both, the density of plants and fertilization, the results are found somehow a bit controversial; e. g., Makus (1991) evaluated 0, 60, 120 and 240 kg N ha<sup>-1</sup> in varieties derived from the cross *A. hypochondriacus*\**A. hybridus* and found no difference in yield. Gimplinguer *et al.* (2007) evaluated in *A. cruentus* and *A. hypochondriacus* five plant densities (8, 15, 32, 54 and 89 plants m<sup>-2</sup>) finding better yields at lower densities.

Highest densities reduced stem diameter, plant height and branching as well, thereby facilitating mechanical harvesting, while biomass production and seed weight were not affected at all. Díaz-Ortega *et al.* (2004) assessed in *A. Hypochondriacus* doses from 0, 10 and 20 g N m<sup>-2</sup> at densities of 12.5, 25 and 33.3 plants m<sup>-2</sup>; finding that, the higher N application and plant density, the better the efficiency of N and water use, consistent increases biomass production and grain yield. The controversy over the definition of fertilization rates and densities of plants for the production of grain it's quite evident; however, for amaranth's seed production data are not available so far. For this reason, the objective of this study was to determine the effect of the variety, fertilization (N and P) and plant density on amaranth's seed production.

## MATERIALS AND METHODS

**Experimental site.** The work was conducted in two locations: *Campus* Montecillo, Mexico State, the Graduate College is located at 19° 29' north latitude and 98° 54' west longitude, with an elevation of 2 250 m, and San Miguel del Milagro, Nativitas, Tlaxcala, 19° 22' north latitude and 98° 25' west longitude, with an elevation of 2 300 m.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio experimental.** El trabajo se desarrolló en dos localidades: *Campus* Montecillo, Estado de México, del Colegio de Postgraduados ubicado a 19° 29' latitud norte y 98° 54' longitud oeste, con altitud de 2 250 m, y en San Miguel del Milagro, Nativitas, Tlaxcala, a 19° 22' latitud norte y 98° 25' longitud oeste, con altitud de 2 300 m.

**Material genético.** Se utilizaron tres variedades de la especie *A. hypochondriacus*, Revancha, Gabriela y DGETA; la primera es una variedad de maduración intermedia, proporcionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), y las dos últimas son variedades de maduración tardía y fueron proporcionadas por el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala.

**Fechas de siembra y labores de cultivo.** Los experimentos se establecieron en el año 2007, en la localidad de Montecillo la siembra fue el 31 de mayo y en San Miguel del Milagro se sembró el 03 de Junio de 2007. Se dio una escarda en cada localidad lo cual sucedió a 20 días después de la siembra.

**Dosis de fertilización y densidades de plantas.** Se estudiaron tres variedades (Revancha, Gabriela y DGTA), tres dosis de nitrógeno (0, 60, 80 kg ha<sup>-1</sup>), dos de fósforo (30 y 60 kg ha<sup>-1</sup>) y tres densidades de plantas (100 000, 150 000 y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>). Se aplicó la mitad del N y K y todo el Fósforo a la siembra. El resto de N y K se aplicaron en la escarda.

**Diseño experimental y tamaño de parcela.** Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental constó de cinco surcos de 4 m de largo a una distancia de 0.8 m, en cada localidad. La parcela útil para determinar el rendimiento de semilla fueron los tres surcos centrales.

**Variables estudiadas.** Rendimiento de semilla (RS), acame (AC) determinado en porcentaje; altura de una planta (AP), de la base del tallo hasta el ápice de la inflorescencia y, longitud de inflorescencia (LI) medida de la base al ápice de la misma.

**Análisis estadístico.** Se realizó el análisis de varianza de manera independiente para cada localidad, mediante el procedimiento PROC GLM de SAS (2002), en tanto que para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ).

**Genetic material.** We used three varieties of *A. hypochondriacus*, Revancha, Gabriela and DGETA; the first one it's a medium maturing variety, provided by the National Research Institute for Agricultural, Forestry and Livestock (INIFAP), and the last ones are late-maturing varieties and were provided by the Technological Institute of the Highlands Tlaxcala.

**Planting and cultivation dates.** The experiments were established in 2007, in the town of Montecillo the planting was in May 31<sup>th</sup> and, in San Miguel del Milagro planting was on June 3<sup>th</sup>, 2007. There was a weeding in each locality, 20 days after planting.

**Fertilization rates and plant densities.** We studied three varieties (Revancha, Gabriela and DGETA), three doses of nitrogen (0, 60, 80 kg ha<sup>-1</sup>), two of phosphorus (30 and 60 kg ha<sup>-1</sup>) and three plant densities (100 000, 150 000 and 200 000 plants ha<sup>-1</sup>). Half of N and K was applied and all the phosphorus to the crop. The remaining N and K were applied at weeding.

**Experimental design and plot size.** The experimental design was randomized complete block with three replications. The experimental unit consisted of five rows, 4 m length at a distance of 0.8 m, in each locality. The useful plot for determining the seeds' yield was the three central rows.

**Variables studied.** Seed yield (RS), lodging (AC) given as a percentage; plant height (PH) from the stem base to the apex of the inflorescence and, inflorescence length (LI) measured from base to the apex.

**Statistical analysis.** We performed analysis of variance separately for each location, using the PROC GLM procedure of SAS (2002), whereas for the comparison of means, we used the Tukey test ( $p=0.05$ ).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Analysis of variance

Highly significant differences were found (Table 1), for locations in the variable inflorescence length and seed yield, while for lodging and plant height there was no effect of the locations. For fertilization were found highly significant

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de varianza

Se encontraron diferencias altamente significativas (Cuadro 1), para localidades en las variables longitud de inflorescencia y rendimiento de semilla; mientras que para acame y altura de planta no hubo efecto de localidades. Para fertilización se encontraron diferencias altamente significativas para acame y rendimiento de semilla; mientras que para altura de planta y longitud de la inflorescencia las dosis de fertilización no tuvo efecto significativo. La fuente de variación de variedades se obtuvieron diferencias altamente significativas, para todas las variables estudiadas excepto acame. En densidad de plantas se encontraron diferencias altamente significativas en rendimiento de grano y diferencias significativas en altura de planta; mientras que para acame y longitud de inflorescencia, no se encontraron efectos significativos.

De lo anterior se infiere que la localidad tiene efecto en el rendimiento de semilla del amaranto, de igual manera ésta variable se ve afectada por la fertilización, variedad y densidad de plantas. Si se quiere cosechar mecánicamente es muy importante la altura de planta y el acame, éstas variables fueron afectadas por fertilización la primera y por variedad y densidad de plantas la segunda.

### Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de variedades de amaranto, fertilización y densidades de plantas en dos localidades de Valles Altos.

**Table 1. Mean squares of analysis of variance in amaranth's varieties, fertilization and plant density in two localities in High Valleys.**

Fuente de variación	GL	Acame	Altura de planta	Longitud de inflorescencia	Rendimiento de semilla
Block (B)	2	803.12	0.058	0.003	949814.208
Localidad (L)	1	1198.53 NS	0.0207 NS	0.4661**	1285152.875**
B*L	2	1565.55	0.139	0.043	2574272.595
Fertilización (FERT)	5	2553.81**	0.0506 NS	0.007 NS	718025.372**
Variedad (V)	2	589.53	13.1016**	0.7321**	3990569.117**
Densidad (D)	2	1311.32 NS	0.12*	0.0159 NS	1559548.728**
FERT*V	10	377.43 NS	0.0311 NS	0.0194 NS	64874.915 NS
FERT*D	10	260.19 NS	0.0297 NS	0.0125 NS	72787.578 NS
V*D	4	1213.37 NS	0.1184	0.0156 NS	368719.56*
Error	285	588.24	10.604	4.03	14457

NS, \*\*, \* = diferencia no significativa, significancia al 0.01 y 0.05 respectivamente.

En cuanto a las interacciones, en fertilización por variedad y fertilización por densidad no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables estudiadas, lo cual

diferencias for lodging and seed yield, while for plant height and inflorescence length fertilization rates had no significant effect. The source of variation of varieties was highly significant differences for all variables studied except lodging. In plant density were highly significant differences in grain yield and significant differences in plant height, while for lodging and length of inflorescence, we found no significant effects at all.

Because of the last paragraph, it can be inferred that, the locality has effect on the amaranth's seed yield, just as this variable is affected by fertilization, variety and plant density. If harvest is needed to be mechanical, plant height and lodging are quite important; for these variables were affected by fertilization in the first one and plant density range for the second one.

In terms of interactions about fertilization per variety and, fertilization per density range, there were no significant differences found in any of the variables studied, which is consistent with that reported by Arellano and Galicia (2007), who found the effect of these interactions, except for fertilization by variety on grain yield and lodging. The interaction variety by density had significant effects on seed yield and plant height, in terms of plant height, this paper coincides with that reported by Torres *et al.* (2006) and differs in seed yield.

This means that, when changing the variety, the response to plant densities it's modified as well, i. e., each variety has its appropriate plant density to maximize the seed yield

concuera con lo reportado por Arellano y Galicia (2007), quienes encontraron efecto de estas interacciones, excepto para fertilización por variedad sobre rendimiento de de grano y acame. La interacción variedad por densidad tuvo efectos significativos en rendimiento de semilla y altura de planta, en cuanto a altura de planta coincide con lo reportado por Torres *et al.* (2006) y difiere en rendimiento de semilla.

Lo anterior significa que al cambiar de variedad se modifica la respuesta a las densidades de plantas; es decir, cada variedad tendrá su densidad de plantas apropiada para maximizar el rendimiento de semilla y la aptitud para cosecha mecánica. De igual manera al cambiar de variedad se modifica la respuesta a las densidades de plantas en altura de planta; por lo tanto, deberá tomarse en cuenta para la definición de estos factores dependiendo si la siembra es para cosecha manual o mecanizada.

### Comparación de medias

En el Cuadro 2 se presentan las medias de las variables estudiadas por localidad, puede verse que la localidad Montecillo, Estado de México, presentó mayor rendimiento de semilla y longitud de inflorescencia. En acame y altura de planta no hubo modificación por el efecto de la localidad.

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de medias para las variables en estudio por dosis de fertilización, puede observarse que a medida que se incrementa la dosis de N se incrementa el rendimiento, correspondiendo los rendimientos más altos a las fórmulas 80-60-40 y 80-30-40 con 1 668.7 y 1 660.9 kg ha<sup>-1</sup>; mientras que los rendimientos más bajos correspondieron a las fórmulas 60-60-40 y 00-30-40 con rendimientos de 1 405.49 y 1 449.8 kg ha<sup>-1</sup>.

### Cuadro 3. Comparación de medias por dosis de fertilización para cuatro variables de variedades de amaranto y densidades de plantas en dos localidades de Valles Altos.

**Table 3. Comparison of means of fertilization rate for four variables of amaranth's varieties and plant densities in two localities in High Valleys.**

Dosis (N-P-K)	Acame (%)	Altura de planta (m)	Longitud de inflorescencia (m)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
00-60-40	24.15 b	1.845 a	0.758 a	1513.03 abc
00-30-40	29.87 b	1.809 a	0.749 a	1449.8 c
60-60-40	37.21 a	1.832 a	0.74 a	1405.49 c
60-30-40	36.98 ab	1.872 a	0.747 a	1639.63 ab
80-60-40	35.9 ab	1.889 a	0.768 a	1668.73 a
80-30-40	24.5 b	1.876 a	0.737 a	1660.9 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

and suitability for mechanical harvesting. Similarly, when changing the variety, the response to plant densities in plant height it's modified too; therefore, it should be taken into account for the definition of these factors, depending if the plant is manually or mechanized for its harvest.

### Comparison of means

The Table 2 presents the means of the variables studied by locality, showing that, the locality of Montecillo, Mexico State had a higher seed yield and length of inflorescence. In lodging and plant height were not modified by the effect of location.

### Cuadro 2. Comparación de medias por localidad para cuatro variables de variedades de amaranto, fertilización y densidades de plantas en Valles Altos.

**Table 2. Comparison of means by location for four variables of amaranth's varieties, fertilization and plant densities in High Valleys.**

Localidad	Acame (%)	Altura de planta (m)	Longitud de inflorescencia (m)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
San Miguel del Milagro, Tlaxcala	36.6 a	1.86 a	0.71 b	1493.28 b
Montecillo, Edo. de México	32.7 a	1.85 a	0.79 a	1619.24 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

The Table 3 shows the comparison of means under the studied variables per fertilization rates, it can be observed that, when increasing N rate the yield also increases, the

En cuanto a P, no se observa una respuesta clara a este elemento como lo reportan Gupta y Thimba (1992); sin embargo, éstos resultados no concuerdan con lo realizado por Ojo *et al.* (2007), quienes encontraron que el incremento de las dosis de P de 0 a 90 kg ha<sup>-1</sup> en amaranto, produce un aumento en el rendimiento de grano y altura de planta y la dosis de 50 kg ha<sup>-1</sup> es la más adecuada en Nigeria, coincidiendo con lo mencionado por Espitia (1992), para México. Para acame se observa que el mayor porcentaje se obtuvo con las fórmulas 60-60-40, 60-30-40 y 80-60-40 con porcentajes de 37.21, 36.98 y 35.90, respectivamente.

La comparación de medias por variedad se presenta en el Cuadro 4, se puede observar que la variedad DGTA, presentó valores más altos en todas las variables evaluadas, Gabriela presentó valores intermedios; mientras que la variedad Revancha fue la que presentó menores valores para rendimiento de semilla y longitud de inflorescencia.

#### Cuadro 4. Comparación de medias por variedad de amaranto para cuatro variables en dosis de fertilización y densidades de plantas en dos localidades de Valles Altos.

Table 4. Comparison of means for a variety of amaranth for four variables at a dose of fertilizer and plant density in two localities in High Valleys.

Variedad	Acame (%)	Altura de planta (m)	Longitud de inflorescencia (m)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
DGTA	36.88 a	2.14685 a	0.83389 a	1778.2 a
Gabriela	35.02 a	1.94685 b	0.74824 b	1448.08 b
Revancha	36.87a	1.46898 c	0.66926 c	1442.51 b

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

En la comparación de medias por densidad de plantas (Cuadro 5), se puede percibir que se obtuvieron mejores rendimientos de semilla a medida que se redujeron las plantas por ha<sup>-1</sup>, caso contrario sucede con la altura que se incrementa ligeramente conforme aumenta la densidad de plantas. Esto no concuerda para rendimiento de semilla con lo examinado por Díaz *et al.* (2004); Torres *et al.* (2006); Arellano y Galicia (2007), quienes en general señalan que conforme se aumentan la densidad de plantas, se incrementa el rendimiento de semilla; sin embargo, las altas densidades de estos autores son muy elevadas comparadas con las del presente estudio.

Para altura de planta, los resultados de este estudio no coinciden con lo reportado por Torres *et al.* (2006), quienes encontraron la altura de *A. hypochondriacus* raza Azteca se incrementa con la densidad de plantas. Por su parte Gimplinguer *et al.* (2007) señalan que la altura de planta se disminuyó con el incremento en la densidad de plantas.

higher yields corresponding to the formulas 80-60-40 and 80-30-40 with a 668.7 and 1 660.9 kg ha<sup>-1</sup>, while lower yields were for 60-60-40 and 00-30-40 formulas with yields of 1 405.49 and 1 449.8 kg ha<sup>-1</sup>.

As for P, there is no clear answer to this element as reported by Gupta and Thimba (1992); however, these results do not concord with those found by Ojo *et al.* (2007), who found that increasing the doses of P from 0 to 90 kg ha<sup>-1</sup> in amaranth, produces an increase in grain yield and plant height and that, the dose of 50 kg ha<sup>-1</sup> is the most appropriated in Nigeria, coinciding with that mentioned by Espitia (1992), for Mexico. For lodging we see that the highest percentage was obtained with the formula 60-60-40, 60-30-40 and 80-60-40 with percentages of 37.21, 36.98 and 35.90, respectively.

The comparison of means for each variety is presented in Table 4, we see that the variety DGTA presented higher values in all variables, Gabriela presented

intermediate values, while the variety Revancha was the one with lower values for seed yield and inflorescence length.

In the comparison of means by plant density (Table 5), it can be perceived better seed yields when reducing the plants ha<sup>-1</sup>, otherwise the case with the plant height that increases slightly with higher plant density. This does not fit for seed yield with that review by Díaz *et al.* (2004); Torres *et al.* (2006); Arellano and Galicia (2007), who generally show that as plant density increases, increases seed yield, but high densities of these authors are very high compared with those of this study.

For plant height, the results of this study agree with those reported by Torres *et al.* (2006), who found the height of *A. hypochondriacus* Azteca race increases with plant density. Gimplinguer *et al.* (2007) indicated that, the plant height was decreased when increasing the plant density.



**Cuadro 5. Comparación de medias por densidad de plantas para cuatro variables de variedades de amaranto y dosis de fertilización en dos localidades de Valles Altos.**

**Table 5. Comparison of means for plant density for four variables of amaranth's varieties and fertilization rates in two localities in High Valleys.**

Densidad de plantas (plantas ha <sup>-1</sup> )	Acame (%)	Altura de planta (m)	Longitud de inflorescencia (m)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
100 000	34.29 a	1.818 b	0.73648 a	1684.57 a
150 000	38.38 a	1.86 ab	0.75852 a	1537.86 b
200 000	31.45 a	1.884 a	0.75639 a	1446.36 b

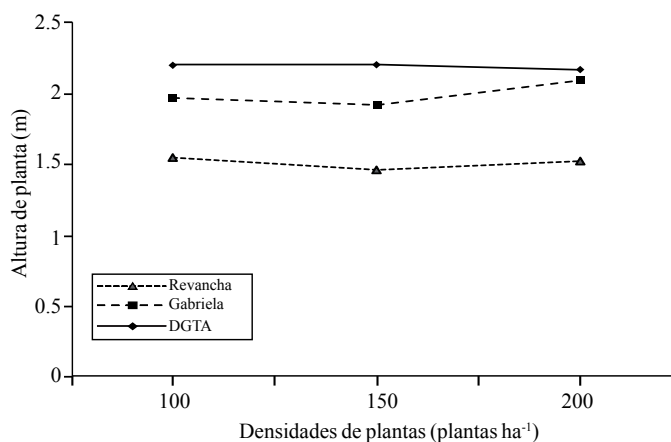
Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

En relación a la interacción variedad\*densidad de plantas (Figura 1), se tiene que las variedades de DGTA y Revancha, tienden a conservar la altura de planta través de las densidades de plantas; mientras que la variedad Gabriela incrementa su porte a la densidad de 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>. La variedad Revancha conservó una altura de planta menor al 1.5 m, lo que la hace muy adecuada para la cosecha mecánica como lo señalan Espitia *et al.* (2009), quienes mencionan que tienen alturas de planta que van desde 101 a 162 cm, dependiendo del manejo agronómico; de igual manera Torres *et al.* (2006) advirtió que la variedad Frondosa (similar a Revancha), mantuvo la altura de planta en bajas y altas densidades de plantas; comportamiento similar al reportado por García-Pereyra *et al.* (2009) para Revancha y otras variedades de *A. hypochondriacus*.

En relación al efecto de la interacción variedad\*densidad de plantas sobre el rendimiento de semilla (Figura 2), se tiene que las variedades de porte alto tendieron a reducir el rendimiento de semilla, conforme se incrementó la densidad de plantas; la variedad DGTA fue la que presentó rendimientos más altos en las tres densidades. Las variedades Gabriela y Revancha observaron rendimientos muy similares a 100 000 y 150 000 plantas ha<sup>-1</sup>; sin embargo, al incrementar la densidad de plantas a 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> la variedad Revancha incrementó su rendimiento de semilla hasta el nivel de DGTA. Lo anterior le da una ventaja comparativa a la variedad Revancha, pues además de rendimiento de semilla y la altura de planta adecuada para cosecha mecánica, presenta la mayor precocidad eliminando el riesgo de daño por heladas.

En el presente estudio se encontraron efectos sobre el rendimiento y otras variables de localidad, fertilización, variedad y densidad de plantas. Sin embargo, todavía hay controversia sobre la respuesta a estos factores. Se han encontrado resultados contradictorios sobre todo en lo

Regarding the interaction, variety\*plant density (Figure 1), the varieties of DGETA and Revancha tend to keep the plant height through plant densities; while Gabriela variety increases its size at 200 000 plants ha<sup>-1</sup>. The variety Revancha preserved the plant height smaller than 1.5 m, making it very suitable for mechanical harvesting as pointed out by Espitia *et al.* (2009), who mentioned that they have plant heights ranging from 101 to 162 cm, depending on crop management, just as Torres *et al.* (2006) warned that, the variety Frondosa (like Revancha), remained with the plant height at low and high plant densities; behavior similar to that reported by García-Pereyra *et al.* (2009) for Revancha and other varieties of *A. hypochondriacus*.



**Figura 1. Altura de planta de variedades de amaranto en diferentes densidades de plantas. Primavera-verano 2006.**

**Figure 1. Plant height of varieties of amaranth plants at different densities. Spring-Summer 2006.**

About the effect of the interaction variety\*plant density on seed yield (Figure 2), the high bearing varieties tended to reduce the seed yield, when increasing plant density; the DGETA variety was the one that showed higher yields in

referente a fertilización densidades de plantas y variedades. Una condición puede ser que las interacciones entre estos factores, se torna más compleja por la gran plasticidad fenotípica y fenológica que presenta el amaranto (Espitia, 1994).

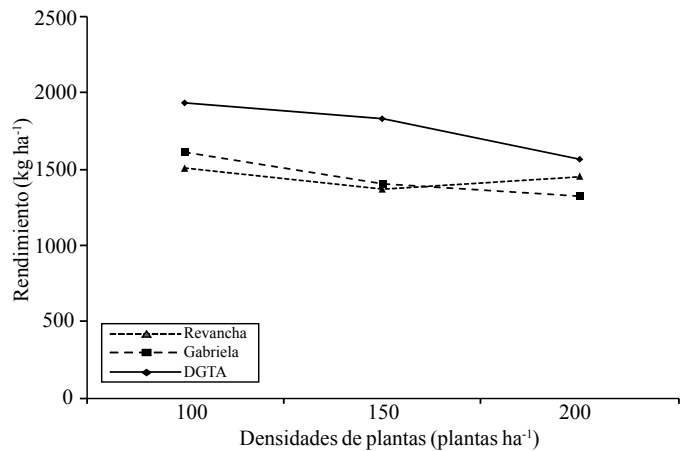
La planta de amaranto tiene la capacidad para modificar su morfología y fenología a fin de contrarrestar los factores adversos y maximizar la producción y en el último de los casos asegurar la producción (sobrevivencia), aunque sea mínima. La otra hipótesis puede ser que hay discrepancia en lo que varios autores mencionan como alta densidad de plantas; para unas altas densidades de plantas es más de un millón de plantas por hectárea, mientras que para otras alta densidad son 200 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Puede decirse que en general hay una respuesta positiva en rendimiento de de semilla para aplicaciones de fertilización con N y P.

En condiciones de temporal las dosis de N deberán ser de entre 60 y 80 como resultó en este estudio y 50  $\text{kg P ha}^{-1}$  (Ojo *et al.*, 2007); para condiciones de riego las dosis deberán ser mayores. Otro aspecto importante a considerar es el efecto de las variedades, hay de diferentes especies con diferentes rangos de adaptación, diferentes respuesta al fotoperiodo, de diferentes grados de madurez, altura de planta, de crecimiento determinado e indeterminado; entonces para sembrar amaranto, se deberá tener cuidado al seleccionar la variedad a sembrar, la densidad de plantas, la fertilización y la localidad.

## CONCLUSIONES

De los factores probados la localidad, fertilización, densidad de plantas y la interacción densidad de plantas\*variedad, tuvieron efectos significativos sobre el rendimiento de semilla. Los rendimientos más altos correspondieron a la localidad Montecillo, Estado de México; a las fórmulas 80-60-40 y 80-30-40 con 1 668.7 y 1 660.9  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente, y a la variedad DGTA (1 778.2  $\text{kg ha}^{-1}$ ) y a la densidad de 100 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Para altura de planta sólo variedad y densidad de plantas, tuvieron efectos significativos siendo la variedad Revancha la que presentó una altura de planta apropiada, para cosecha mecánica en las tres densidades de plantas. En relación al acame sólo la fertilización tuvo efecto, resultando las fórmulas 60-60-40, 60-30-40 y 80-60-40 con porcentajes de 37.21, 36.98 y 35.90, respectivamente. Para longitud de la inflorescencia se tuvieron efectos significativos de localidad y variedad.

the three densities. Revancha and Gabriela varieties had yields quite similar from 100 000 to 150 000 plants  $\text{ha}^{-1}$ ; however, by increasing the plant density to 200 000 plants  $\text{ha}^{-1}$  the variety Revenge increased its seed yield to the level of DGETA's. This gives it a comparative advantage for the variety Revancha, because besides the seed yield and suitable plant height for mechanical harvesting, it also presents the highest precocity, eliminating the risk of frost damage.



**Figura 2. Rendimiento de semilla de variedades de amaranto en diferentes densidades de plantas. Primavera-verano 2006.**

**Figure 2. Seed yield varieties of amaranth plants at different densities. Spring-Summer 2006.**

In this paper, we found effects on yield and other local variables such as, fertilization, variety and plant density. However, there is still controversy about the response to these factors. It has been found conflicting results especially regarding fertilizer plant densities and varieties. A condition may be that, the interactions between these factors become even more complex due to the larger phenological phenotypic presented by amaranth (Espitia, 1994).

The amaranth plant has the capacity to change its morphology and phenology in order to counteract the negative factors and maximize production and in the latter case to ensure production (survival), however slight. The other hypothesis may be that there is a discrepancy in what various authors refer to as high plant density; since, one high plant density it's more than one million plants per hectare, while others are high-density with 200 000 plants  $\text{ha}^{-1}$ . We can establish that, in general there is a positive response in seed yield to N and P fertilization applications.

## LITERATURA CITADA

- Apaza-Gutiérrez, V.; Romero-Saravia, A.; Guillén-Portal, F. R. and Baltensperguer, D. D. 2002. Response of grain amaranth production to density and fertilization in Tarija Bolivia. *In*: Janick, J. and Whipkey, A. (eds.). *Trends in new crops and new uses*. ASHS Press Alexandria, VA. 107-109 pp.
- Arellano, V. J. L. y Galicia, F. J. A. 2007. Rendimiento y características de planta y panoja de amaranto en respuesta a nitrógeno y cantidad de semilla. *Agric. Téc. Méx.* 33(3):251-258.
- Díaz, O. C. A.; Escalante, E. A.; Trinidad, S. A.; Sánchez, G. P.; Mapes, S. C. y Martínez, M. D. 2003. Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra Latinoamericana.* 22:109-116.
- Edwards, A. D. and Volack, B. 1980. Grain amaranth: optimization of field plant density. *Proc. Of the second amaranth conference Kutztown PA.* 13-14 sept. 1979. Rodale Research Center, Rodale Press, Emmaus PA. 91-94 pp.
- Elbehri, A.; Putnam, D. H. and Schmitt, M. 1993. Nitrogen fertilizer and cultivar effects on yield and N-use efficiency of grain amaranth. *Agron. J.* 85:120-128.
- Espitia, R. E. 1986. Situación actual y problemática del cultivo del amaranto en México. *In*: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 101-108 pp.
- Espitia, R. E. 1992. Amaranth germplasm development and agronomic studies in Mexico. *Food Reviews International.* 8(1):71-86.
- Espitia, R. E. 1994. Breeding of grain amaranth. *In*: Paredes, L. O. (ed.). *Amaranth biology, chemistry and technology*. CRC Press, Boca Raton, FL. 23-38 pp.
- Espitia, R. E.; Escobedo, L. D. y Gámez, V. A. J. 2009. Catálogo de productos y servicios 2009: Valles Altos de la región centro de México. Catálogo Núm. 2. CIRC-INIFAP. 150 p.
- Gimplinguer, D. M.; Schulte, G.; Dobos G. and Kaul, H. P. 2008. Optimum crop densities for potential yield and harvestable yield of grain amaranth are conflicting. *European J. Agron.* 28(2):119-125.
- Gupta, V. K. and Timba, D. 1992. Grain amaranth: a promising crop for marginal areas of Kenya. *Food Reviews International.* 8(1):51-69.

For rainfed conditions, the dose of N should be between 60 and 80 as found in this study and 50 kg P ha<sup>-1</sup> (Ojo *et al.*, 2007); for irrigated conditions, the doses should be higher. Another important aspect to consider is the effect of varieties, there are different species with different ranges of adaptation, different response to photoperiod, in different degrees of maturity, plant height, determinate and indeterminate growth, then, in order to sow amaranth, we should be careful when selecting a plant variety, plant density, fertilization and locality.

## CONCLUSIONS

Out of the factors tested locality, fertilization, plant density and interaction plant density\*variety had significant effects on seed yield. The highest yield corresponded to the town Montecillo, Mexico State, a 80-60-40 and 80-30-40 formulas with a 668.7 and 1 660.9 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, and the variety DGETA (1 778.2 kg ha<sup>-1</sup>) at a density of 100 000 plants ha<sup>-1</sup>. Only for plant height and plant density range, had significant effects Revancha being the variety that presented an appropriate plant height for mechanical harvesting in the three plant densities. In relation to lodging only took effect fertilization, resulting in the formula 60-60-40, 60-30-40 and 80-60-40 with percentages of 37.21, 36.98 and 35.90, respectively. For inflorescence length were significant effects of location and variety.

*End of the English version*



- Hass, P. W. 1983. Amaranth density report. RRC/NC-83/84. New Crops Dep. Rodale Research Center, Rodale Press, Emmaus PA.
- Henderson, L. H.; Jhonson, L. J. and Schneiter, A. A. 2000. Row spacing, plant population and cultivar effects on grain amaranth in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 92(2):329-336.
- Makus, D. J. 1991. Applied N affects vegetable and seed quality of amaranth. *Proc. of the fourth amaranth symposium: perspectives on production, processing and marketing.* Minneapolis MN. 23-25 august 1990. Minn Ext. Serv. St Paul MN. Rodale Research Center, Rodale Press, Emmaus PA. 187-188 pp.

- Myers, L. R. 1998. Nitrogen fertilizer effect of grain amaranth. *Agron. J.* 90:597-602.
- Mujica, S. A. y Berti, M. D. 1997. El cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp.): producción, mejoramiento genético y utilización. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 145 p.
- Ojo, O. D.; Kintomo, A. A.; Akinrinde, E. A. and Akoroda, M. O. 2007. Comparative effect of phosphorus sources for grain amaranth production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 38(1-2):35-55.
- Pospisil, A.; Pospisil, M.; Varga, B. and Svecnjak, Z. 2006. Grain yield and protein concentration of two amaranth species (*Amaranthus* spp.) as influenced by the nitrogen fertilization. *European J. Agron.* 25(3):250-253.
- Putnam, D. 1990. Agronomic practices for amaranth. Proc. of the fourth amaranth symposium: perspectives on production, processing and marketing. Minneapolis MN. 23-25 august 1990. Minn Ext. Serv. St Paul MN. Rodale Research Center, Rodale Press, Emmaus PA. 151-162 pp.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute Inc. 2002. The SAS System. Release V 8.1. Cary N. C. USA. 830 p.
- Schulz-Schaeffer, J.; Stallknecht, G. F.; Baldrige, D. E. and Larson, R. A. 1989. Registration of Montana-3 grain amaranth germplasm. *Crop Sci.* 29:244-245.
- Torres, S. G.; Trinidad, S. A.; Reyna, T. T.; Castillo, J. H.; Escalante, E. A. y de León González, F. 2006. Respuesta de genotipos de amaranto a densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(4):307-312.