

## Fertilización orgánica-mineral del cultivo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.)\*

### Organic-mineral fertilization of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.)

Carlos Osvaldo Romero Romano<sup>1</sup>, Juventino Ocampo Mendoza<sup>1§</sup>, Engelberto Sandoval Castro<sup>1</sup>, Hermilio Navarro Garza<sup>2</sup>, Omar Franco Mora<sup>3</sup> y Francisco Calderón Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. CP. 72760. Tel. 01 (222) 2850738. (carlos.romero@colpos.mx; jocampo@colpos.mx; engelber@colpos.mx; fsanchezs@colpos.mx). <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 01 (595) 9520288. (hermnav@colpos.mx). <sup>3</sup>Universidad Autónoma del Estado de México-Campus El cerrito, Toluca, México. CP. 50200. Tel. 01 (722) 2262300. (ofrancom@uaemex.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: jocampo@colpos.mx.

## Resumen

El objetivo de ésta investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización orgánica-mineral en el rendimiento de grano y altura de planta de amaranto; además, de determinar si existe correlación alguna entre las densidades de plantas y el rendimiento. El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. El experimento se condujo bajo el sistema tradicional de siembra directa durante los ciclos de cultivo (2014-2015). Los tratamientos se obtuvieron por medio de la matriz Plan Puebla I, los factores y niveles de estudio fueron: nitrógeno (20, 40, 80 y 100 kg ha<sup>-1</sup>), fósforo (0, 20, 40 y 60 kg ha<sup>-1</sup>) y composta de estiércol de bovino (0.5, 1, 2 y 3 t ha<sup>-1</sup>), agregándose 40 kg ha<sup>-1</sup> de potasio a los tratamientos y el testigo (00-00-00-00). Las variables evaluadas fueron rendimiento de grano por m<sup>2</sup>, rendimiento por planta y altura de planta. Al momento del corte de panoja también se contó el número de plantas por unidad experimental con la finalidad de correlacionar la densidad de plantas y el rendimiento. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Tukey,  $p < 0.05$ ) en altura de planta, rendimiento por planta y rendimiento por m<sup>2</sup>; en

## Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of different doses of organic-mineral fertilization on grain yield and height of amaranth plant; in addition, to determine if there is any correlation between plant densities and yield. The experimental design used was completely randomized blocks with four replicates. The experiment was conducted under the traditional system of direct sowing during cropping cycles (2014-2015). The treatments were obtained through the Plan Puebla I matrix, the factors and study levels were: nitrogen (20, 40, 80 and 100 kg ha<sup>-1</sup>), phosphorus (0, 20, 40 and 60 kg ha<sup>-1</sup>) and composed of bovine manure (0.5, 1, 2 and 3 t ha<sup>-1</sup>), adding 40 kg ha<sup>-1</sup> of potassium to the treatments and the control (00-00-00-00). The variables evaluated were grain yield per m<sup>2</sup>, yield per plant and plant height. The number of plants per experimental unit was also counted at the time of panicle cut in order to correlate plant density and yield. Statistically significant differences (Tukey,  $p < 0.05$ ) were found in plant height, yield per plant and yield per m<sup>2</sup>; in both performance variables the best treatment was 80-20-00 kg ha<sup>-1</sup> of N-P-K plus one ton of compost. A significant negative correlation ( $r = -0.38982$ ; Pearson,  $p <$

\* Recibido: agosto de 2017  
Aceptado: noviembre de 2017

ambas variables de rendimiento el mejor tratamiento fue 80-20-00 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K más una tonelada de composta. Se encontró una correlación negativa significativa ( $r^2 = -0.38982$ ; Pearson,  $p < 0.05$ ) entre el número de plantas y altura de planta; y entre número de plantas y rendimiento por planta ( $r^2 = -0.73993$ ; Pearson,  $p < 0.05$ ).

**Palabras clave:** altura de plantas, composta, densidad de plantas, rendimiento, sistema tradicional de siembra.

## Introducción

El amaranto es uno de los múltiples cultivos domesticados y utilizados en México desde hace más de 4 000 años (Alejandre y Gómez, 1999; Alejandre *et al.*, 2012). También se cultiva en otros países por su gran diversidad genética y plasticidad fenotípica, que le permite adaptarse a condiciones desfavorable de temperatura y humedad en laderas (Soriano *et al.*, 2015). En la cultura azteca, el amaranto era conocido como “huautli”, el cual tuvo gran valor comercial, ya que se utilizaba como moneda de cambio debido a que fue uno de los tributos que 17 de las 20 provincias del imperio azteca daban a la “Gran Tenochtitlán” (Aguilar y Alatorre, 1978).

La semilla y hoja del amaranto fueron utilizados en ceremonias religiosas (Sauer, 1950), que aunado a la sustitución de los cultivos nativos por los introducidos del Viejo Mundo (que eran preferidos por los españoles), actuaron de manera conjunta para reducir el cultivo de amaranto de manera drástica (Becerra, 2000). Afortunadamente el arraigo de las costumbres en los pueblos es muy dinámico, y el cultivo del amaranto se mantuvo hasta la fecha, aunque a pequeña escala, gracias al conocimiento y la acción de grupos de agricultores (Sauer, 1979; Becerra, 2000). Es por ello, que los potenciales agrícola de los sistemas socioculturales y biológicos en el curso de la coevolución, están presentes en sus sistemas de conocimiento (Kallis y Norgard, 2010).

Algunos estudios han revelado que antes de la llegada de los españoles, el amaranto se cultivaba en áreas productivas desde lo que ahora es el estado de Arizona en Estados Unidos de América hasta la zona central del altiplano mexicano (Bostid, 1984). El conocimiento sobre el manejo del cultivo de amaranto, se concibió con base al método de prueba y error, y experimentando hasta lograr un equilibrio productivo, la conservación de la tierra y el uso cultural de los productos que de ella se obtienen (Abasolo, 2011). El

0.05) was found between the number of plants and plant height; and between plant numbers and yield per plant ( $r^2 = -0.73993$ ; Pearson,  $p < 0.05$ ).

**Keywords:** compost, plant density, plant height, yield, traditional planting system.

## Introduction

Amaranth is one of the many crops domesticated and used in Mexico for more than 4000 years (Alejandre and Gómez, 1999; Alejandre *et al.*, 2012). It is also cultivated in other countries because of its great genetic diversity and phenotypic plasticity, which allows it to adapt to unfavorable conditions of temperature and humidity on slopes (Soriano *et al.*, 2015). In Aztec culture, amaranth was known as “huautli”, which had great commercial value, since it was used as currency of exchange because it was one of the taxes that 17 of the 20 provinces of the Aztec empire gave the “Gran Tenochtitlán” (Aguilar and Alatorre, 1978).

The amaranth seed and leaf were used in religious ceremonies (Sauer, 1950), which, together with the replacement of native crops by the introduced ones of the Old World (which were preferred by the Spanish), acted together to reduce the cultivation of amaranth drastically (Becerra, 2000). Fortunately, the rooting of customs in the villages is very dynamic, and cultivation of amaranth has been maintained to date, albeit on a small scale, thanks to the knowledge and action of farmers’ groups (Sauer, 1979; Becerra, 2000). It is for this reason that the agricultural potentials of sociocultural and biological systems in the course of coevolution are present in their knowledge systems (Kallis and Norgard, 2010).

Some studies have revealed that before the arrival of the Spaniards, amaranth was grown in productive areas from what is now the state of Arizona in the United States of America to the central Mexican highlands (Bostid, 1984). Knowledge about the management of amaranth cultivation was conceived on the basis of the trial and error method and experimenting to achieve a productive equilibrium, the conservation of the land and the cultural use of the products obtained from it (Abasolo, 2011). The cultivation of amaranth allows the farmer to obtain economic resources that contribute income to the production unit (Sánchez *et al.*, 2015). Although the lack of organization of producers to

cultivo de amaranto le permite al agricultor obtener recursos económicos que aporten ingreso a la unidad de producción (Sánchez *et al.*, 2015). Aunque, la falta de organización de los productores para vender el grano, ha sido un aspecto vulnerable de la cadena, debido a que 80% de los productores decide vender a intermediarios, que fijan el precio en la cosecha, esto origina que disminuya o se incremente la oferta y la demanda (Ayala *et al.*, 2014).

El incremento de la superficie de amaranto en México está determinado por el valor de la producción, el rendimiento y el precio medio rural (SIAP, 2015), la diferencia de la media nacional y el estado con mayor superficie 54.55%. La relación con el crecimiento de la productividad, depende de la adopción de innovaciones tecnológicas, que son recomendadas según las características de la zona de producción (Estrada *et al.*, 2006). El amaranto se cultiva en condiciones de temporal, tolera la sequía y su rendimiento puede ser mayor o similar al de otros cultivos en igualdad de circunstancias, aparte de que es una alternativa de producción y consumo adecuada a regiones marginadas del país (Barrales *et al.*, 2010). El cultivo se desarrolla en pequeñas comunidades con escasez de agua y de tecnología para la producción y transformación en las regiones productoras del país (De la O *et al.*, 2012). Sin embargo, los productores no cuentan con un paquete tecnológico adecuado que les permita aumentar sus rendimientos (Ayala *et al.*, 2014).

Por otra parte, el cultivo se asocia pobremente a la disponibilidad de humedad y las necesidades de fertilizantes definidos por las características del suelo. Es conocido que el nitrógeno 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 (Schultz-Schaeffer *et al.*, 1989; Ramírez *et al.*, 2011). Aunque, se sabe que estudios realizados en variedades de amaranto con niveles de 0 a 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, el rendimiento se incrementó en 45% con la dosis más alta (Myers, 1998). En otro estudio sobre fertilización en variedades de amaranto, lograron rendimientos más altos, asociado a las formulas 80-60-40 y 80-30-40 con 1 668.7 y 1 660.9 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, la variedad DGTA alcanzó el rendimiento de 1 78.2 kg ha<sup>-1</sup> con la densidad de 100 000 plantas ha<sup>-1</sup> (Ramírez *et al.*, 2011).

Entre los parámetros de producción de amaranto en México, el estado de Tlaxcala es el que registra la mayor superficie cosechada (2 491 ha) y la mayor producción (3 509.4 t),

sell grain has been a vulnerable aspect of the chain, because 80% of producers decide to sell to intermediaries, who set the price at harvest, this causes increase supply and demand (Ayala *et al.*, 2014).

The increase in the area of amaranth in Mexico is determined by the value of production, the yield and the average rural price (SIAP, 2015), the difference of the national average and the state with the largest area 54.55%. The relationship with productivity growth depends on the adoption of technological innovations, which are recommended according to the characteristics of the production area (Estrada *et al.*, 2006). Amaranth is cultivated under temporary conditions, tolerates drought and its yield may be greater or similar to that of other crops under equal circumstances, apart from being an alternative of production and adequate consumption to marginalized regions of the country (Barrales *et al.*, 2010). The crop is developed in small communities with water shortage and technology for production and processing in the producing regions of the country (De la O *et al.*, 2012). However, producers do not have an adequate technological package that allows them to increase their yields (Ayala *et al.*, 2014).

On the other hand, the crop is poorly associated with the availability of moisture and the needs of fertilizers defined by the characteristics of the soil. It is known that nitrogen is the most restrictive element in the growth of a crop, in amaranth it is mentioned that as the environment is more favorable, more N should be applied (Schultz-Schaeffer *et al.*, 1989; Ramírez *et al.*, 2011). Although studies of amaranth varieties with levels of 0 to 180 kg ha<sup>-1</sup> of N are known, yield increased by 45% at the highest dose (Myers, 1998). In another study on fertilization in amaranth varieties, they achieved higher yields, associated with the formulas 80-60-40 and 80-30-40 with 1 668.7 and 1 660.9 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, the variety DGTA reached the yield of 178.2 kg ha<sup>-1</sup> with the density of 100 000 plants ha<sup>-1</sup> (Ramírez *et al.*, 2011).

Among the Amaranth production parameters in Mexico, the state of Tlaxcala is the one with the highest area harvested (2 491 ha) and the highest production (3 509.4 t), followed by Puebla with 1 950 ha harvested and 2 188.7 t amaranth (SIAP, 2014). In the state of Puebla, the municipality of Tochimilco produced 1 097 t representing 19.77% of national production and 50.12% of state production (SIAP, 2014). However, Tochimilco records an average yield of 1 t ha<sup>-1</sup>, which is far from the yield obtained in municipalities of the State of Mexico (1.95 t ha<sup>-1</sup>) and the national average (1.31 t ha<sup>-1</sup>).

seguido por Puebla con 1 950 ha cosechadas y 2 188.7 t de amaranto (SIAP, 2014). En el estado de Puebla, el municipio de Tochimilco produjo 1 097 t, lo cual representa 19.77% de la producción nacional y 50.12% de la producción estatal (SIAP, 2014). No obstante, Tochimilco registra un rendimiento promedio de 1 t ha<sup>-1</sup>, el cual dista del rendimiento alcanzado en municipios del Estado de México (1.95 t ha<sup>-1</sup>) y de la media nacional (1.31 t ha<sup>-1</sup>).

Por otra parte, debido a la incorporación de abono animal (estiércol) y residuos orgánicos, la fertilización química que realizan al cultivo de amaranto es mínima, ya que en la primera labor aplican un bulto de fosfato diamónico DAP (18-46-00) mezclado con dos bultos de urea (46-00-00), equivalente a una dosis de 55-25-00 kg de N-P-K por ha (Sánchez *et al.*, 2015). Sin embargo, las dosis de fertilización utilizadas en la región por los productores locales pueden variar al aplicar el fertilizante en primera y segunda labor adicionado a compost de lombriz, según el sistema de producción de amaranto. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto que tiene la fertilización orgánica-mineral en el rendimiento de grano y altura de planta de amaranto; además, determinar si existe correlación alguna entre la densidad de plantas y el rendimiento.

## Materiales y métodos

### Localización

El municipio de Tochimilco se encuentra en la parte centro oeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son 18° 49' 12" y 49° 02' 54" de latitud norte y los meridianos 98° 31' 42" y 94° 43' 00" de longitud oeste. El municipio presenta cuatro tipos de clima, en las partes bajas (2% del territorio) el clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano (A) C(w1) (Köppen, 1936), en las laderas inferiores de la Sierra Nevada (69% del territorio) donde se localiza San Miguel Tecuanipa lugar donde fue establecido el experimento en una parcela de productor cooperante (2 300 msnm, tipo de suelo phaeozem, con pH: 5.5, porcentaje de materia orgánica: 1.4, conductividad eléctrica: 0.12 mmhos cm<sup>-1</sup>; capacidad de intercambio catiónico: 16.7 meq 100 g<sup>-1</sup>), el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano C(w1).

En la zona intermedia entre las faldas inferiores de la sierra y las partes más elevada del volcán Popocatepetl 24% del territorio, el clima es semifrío subhúmedo con lluvias en

On the other hand, due to the incorporation of animal manure (manure) and organic waste, the chemical fertilization that they make to the cultivation of amaranth is minimal, since in the first work they apply a bundle of diammonium phosphate DAP (18-46-00) mixed with two bundles of urea (46-00-00), equivalent to a dose of 55-25-00 kg of NPK per ha (Sánchez *et al.*, 2015). However, the fertilizer doses used in the region by local producers may vary when applying the fertilizer in first and second labor added to compost of worm, according to the amaranth production system. Therefore, the objective of the research was to evaluate the effect of organic-mineral fertilization on grain yield and height of amaranth plant; in addition, determine if there is any correlation between plant density and yield.

## Material and methods

### Location

The municipality of Tochimilco is located in the western part of the state of Puebla. Its geographical coordinates are 18° 49' 12" and 49° 02' 54" of north latitude and the meridians 98° 31' 42" and 94° 43' 00" of western longitude. The municipality has four types of climate; in the lower parts (2% of the territory), the climate is subhumid, with rainfall in summer (A)C(w1) (Köppen, 1936), on the lower slopes of the Sierra Nevada (69% of the territory) where the community of San Miguel Tecuanipa is located where the experiment was established in a cooperating producer plot (2 300 meters above sea level, phaeozem soil type, with pH: 5.5, organic matter percentage: 1.4, electrical conductivity: 0.12 mmhos cm<sup>-1</sup>; cation exchange capacity: 16.7 meq 100 g<sup>-1</sup>), the climate is temperate sub-humid with summer rains C(w1).

In the intermediate zone between the lower slopes of the mountain range and the highest parts of Popocatepetl volcano, 24% of the territory, the climate is subhumid semiflora with rainfall in summer Cb' (w2) and in the highest areas of the volcano 5% of the territory, the cold climate (ET) is identified. The average annual precipitation fluctuates from 800 to 1 300 mm and the average monthly rainfall is 60 mm (INEGI, 2009).

### Experimental design and treatments

A completely random experimental block design with four replications was used, the experimental unit size was four furrows 2 m long by 2.4 m wide (0.6 m furrow) and the useful



verano Cb' (w2) y en las zonas más elevadas del volcán 5% del territorio, se identifica el clima frío (ET). La precipitación media anual fluctúa de 800 a 1 300 mm y la precipitación media mensual es de 60 mm (INEGI, 2009).

### Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, el tamaño de la unidad experimental fue de cuatro surcos de 2 m de largo por 2.4 m de ancho (0.6 m entre surco) y la parcela útil fue los dos surcos centrales y eliminando una mata en ambos lados. Los tratamientos se obtuvieron por medio de la matriz Plan Puebla I (Turrent y Laird, 1975).

Los factores y niveles de estudio fueron: nitrógeno a cuatro niveles 20, 40, 80 y 100 kg ha<sup>-1</sup>; fósforo 0, 20, 40 y 60 kg ha<sup>-1</sup>; compost comercial de lombriz a 4 niveles 500, 1000, 2000 y 3000 kg ha<sup>-1</sup>, más 40 kg ha<sup>-1</sup> de potasio para los tratamientos de fertilización y un tratamiento testigo N-P-K (00-00-00) sin aplicación de composta como tratamientos adicionales. El número total de tratamientos fue de dieciséis (Cuadro 1). Las variables evaluadas, durante dos ciclos de cultivo (2014-2015) fueron rendimiento por m<sup>2</sup>, rendimiento por planta y altura de planta. Al momento del corte de panoja también se contó el número de plantas por unidad experimental con la finalidad de evaluar si existe una correlación entre la densidad de plantas y el rendimiento.

### Labores de cultivo y cuantificación de variables

El cultivo se desarrolló bajo el sistema tradicional de siembra directa (Espitia *et al.*, 2010), el cual consiste en sembrar la semilla a lo alto del surco, utilizando la técnica de mateado, a una distancia aproximada de 30 cm. Después de un mes, se eliminan plantas sobrantes (aclareo), dejando de tres a cinco plantas por mata. En la cosecha, se cortan las inflorescencias (comúnmente llamadas panojas) con una hoz y se deja el tallo de pie. Con las panojas se hacen gavillas y se dejan secar sobre los surcos hasta que las semillas se puedan desprender fácilmente "azotándolas" con varas, sobre mantas o lonas; una vez que la semilla se desprende se ciernen para retirar el tamo.

En el año 2014 la siembra se realizó el 16 de junio y en el año 2015 el 12 de junio. En ambos ciclos de cultivo, la primera fertilización, se realizó con 50% de la dosis de N y 100%

plot was the two central furrows and eliminating a forest on both sides. The treatments were obtained through the Plan Puebla I matrix (Turrent and Laird, 1975).

The factors and levels of study were: nitrogen at four levels 20, 40, 80 and 100 kg ha<sup>-1</sup>; phosphorus 0, 20, 40 and 60 kg ha<sup>-1</sup>; commercial compost of worm at 4 levels 500, 1000, 2000 and 3000 kg ha<sup>-1</sup>, plus 40 kg ha<sup>-1</sup> of potassium for fertilization treatments and a control treatment NPK (00-00-00) without application of compost as treatments additional. The total number of treatments was sixteen (Table 1). The variables evaluated during two crop cycles (2014-2015) were yield per m<sup>2</sup>, yield per plant and plant height. The number of plants per experimental unit was also counted at the time of panicle cut in order to evaluate if there is a correlation between plant density and yield.

### Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

Table 1. Evaluated treatments.

Tratamiento	N-P-K-c	Tratamiento	N-P-K-c
1	40-20-0-1	9	20-20-0-1
2	40-20-0-2	10	100-40-0-2
3	40-40-0-1	11	40-0-0-1
4	40-40-0-2	12	80-60-0-2
5	80-20-0-1	13	40-20-0-0.5
6	80-20-0-2	14	80-40-0-3
7	80-40-0-1	15	80-40-40-0
8	80-40-0-2	16	0-0-0-0

N= nitrógeno; P= fosforo; K= potasio; c= composta.

### Cultivation and quantification of variables

The crop was developed under the traditional direct sowing system (Espitia *et al.*, 2010), which consists of planting the seed at the top of the furrow, using the matting technique, at a distance of approximately 30 cm. After one month, leftover plants are removed (thinning), leaving three to five plants per bush. In the harvest, the inflorescences (commonly called panicles) are cut with a sickle and the stem is left standing. With the panicles sheaves are made and allowed to dry on the furrows until the seeds can be easily detached by "lashing" them with sticks, on blankets or canvases; once the seed is sprouted it looms to remove the chaff.

de la dosis de P, K y composta, se aplicó 10 días después de la siembra, una vez que las plantas de amaranto habían emergido. La segunda fertilización, con el otro 50% de las dosis de N, se aplicó a los 40 días después de la siembra. El aclareo de plantas se efectuó 30 días después de la siembra, dejando entre tres y cinco plantas por mata.

La altura de planta se midió, con un estadal (Marca Geosurv), la primera semana del mes de noviembre cuando las plantas ya había alcanzado la madurez fisiológica. El corte de la panoja se realizó la segunda semana del mes de noviembre y la trilla el 15 de diciembre, de forma manual. Posterior a la trilla se limpió la semilla y se pesó en una balanza electrónica (marca Moretti, 15 kg) para cuantificar el rendimiento.

### Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó mediante el procedimiento PROC GLM de SAS (2004), en tanto que para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ). Para las pruebas de correlación se utilizó el PROC CORR y para conocer el nivel de significancia se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson.

## Resultados y discusión

Con los resultados estadísticos el modelo es correcto para explicar el efecto de la fertilización química-orgánica en la altura de planta, rendimiento por  $m^2$  y rendimiento por planta del cultivo de amaranto (Cuadro 2), los cuales fueron significativos ( $p<0.05$ ), y altamente significativos ( $p<0.01$ ).

### Cuadro 2. Cuadrados medio y nivel de probabilidad para las variables altura de planta, rendimiento por $m^2$ y rendimiento por planta en amaranto.

Table 2. Average squares and probability level for the variables plant height, yield per  $m^2$  and yield per plant in amaranth.

Variabes	Fuente	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	Pr > F
Altura de planta (AP)	Modelo	18	0.04911029	2.73**	0.0007
	Error	109	0.0179614		
	Total	127			
Rendimiento por $m^2$ (RM <sup>2</sup> )	Modelo	18	4897.349	10.54***	<0.0001
	Error	109	464.6455		
	Total	127			
Rendimiento por planta (RP)	Modelo	18	654.47568	3.39***	<0.0001
	Error	109	193.27378		
	Total	127			

\*= significativo en valor de Fc ( $\alpha=0.05$ ); \*\*= significativo en valor de Fc ( $\alpha=0.01$ ).

In the year 2014 the sowing took place on June 16, and in the year 2015 on June 12. In both crop cycles, the first fertilization, performed with 50% of the dose of N, and 100% of the dose of P, K and compound, was applied 10 days after sowing, once the amaranth plants had emerged. The second fertilization, with the other 50% of the doses of N, was applied 40 days after sowing. Clearing of plants was done 30 days after planting, leaving between three and five plants per matte.

Plant height was measured, with a state (Mark Geosurv), the first week of November when plants had already reached physiological maturity. The cut of the panaja was realized the second week of the month of November and the threshing the 15 of December, of manual form. After the threshing, the seed was cleaned and weighed on an electronic scale (Moretti brand, 15 kg) to quantify the yield.

### Statistic analysis

Analysis of variance was performed using the procedure PROC GLM of SAS (2004), while Tukey's test ( $p=0.05$ ) was used for the comparison of means. For correlation tests we used the PROC CORR and to know the level of significance was used the coefficient of correlation of Pearson.

## Results and discussion

With the statistical results the model is correct to explain the effect of chemical-organic fertilization on plant height, yield per  $m^2$  and yield per plant of amaranth (Table 2), which were significant ( $p<0.05$ ), and highly significant ( $p<0.01$ ).

El efecto por la fertilización orgánica-mineral en AP, RM<sup>2</sup> y RP, se observa en el Cuadro 3, en general la planta requiere de cantidades de N entre 20 a 80 kg ha<sup>-1</sup>, de P entre 00 a 40 kg ha<sup>-1</sup> y de 1 a 3 t ha<sup>-1</sup> de compost de lombriz. Sin embargo, la mayor altura se logró de manera significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ), con la dosis de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N y el nivel más bajo de fósforo y 1 t ha<sup>-1</sup> de compost de lombriz; al permanecer de manera constante el N y compost de lombriz (11, 1 y 3), se puede observar baja respuesta a fósforo. Resultados cercanos fueron encontrados por Ramírez *et al.* (2011).

The effect by organic-mineral fertilization on AP, RM<sup>2</sup> and RP is shown in Table 3, in general the plant requires amounts of N between 20 and 80 kg ha<sup>-1</sup>, P between 00 and 40 kg ha<sup>-1</sup> and 1 to 3 t ha<sup>-1</sup> of worm compost. However, the highest height was achieved significantly (Tukey,  $p \leq 0.05$ ), with the dose of 40 kg ha<sup>-1</sup> of N and the lowest level of phosphorus and 1 t ha<sup>-1</sup> of compost of worm; as the N and compost of worm (11, 1 and 3) remain constant, a low phosphorus response can be observed. Close results were found by Ramírez *et al.* (2011).

**Cuadro 3. Efectos por la fertilización orgánica mineral en valores promedio de variables en el cultivo de amaranto (2014-2015).**

**Table 3. Effects by organic mineral fertilization on average values of variables in amaranth (2014-2015).**

Elemento	Número	Dosis (N-P-K-c)	AP (m)	RM <sup>2</sup> (g)	RP (g)
N	9	20-20-00-1	1.67 c	182.36 b	41.14 b
	1	40-20-00-1	1.58 b	154.03 b	51.29 b
	5	80-20-00-1	1.73 c	201.81 a	64.63 a
P	11	40-00-00-1	1.83 a	114.69 c	38.52 c
	1	40-20-00-1	1.58 b	154.03 b	51.29 b
	3	40-40-00-1	1.58 b	134.65 c	36.73 c
c	14	80-40-00-3	1.52 b	144.74 c	39.34 c
	8	80-40-00-2	1.72 c	184.64 b	60.66 ab
	7	80-40-00-1	1.62 c	12.32 c	31.58 c
		CV	0.35	14.48	8.2
		DMS	0.23	37.8	24.38

N= nitrógeno; P= Fósforo; K= Potasio; c= composta; AP= altura de planta; RM<sup>2</sup>= rendimiento por metro cuadrado; RP= rendimiento por planta; CV= coeficiente de variación; DMS= diferencia mínima significativa.

Al analizar la variable RM<sup>2</sup> se encontraron diferencias altamente significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Se puede observar en el Cuadro 3, que el rendimiento por m<sup>2</sup> más alto, se obtiene en el tratamiento 5 con la dosis 80-20-00-1 kg ha<sup>-1</sup> y t ha<sup>-1</sup> de N-P-K y c, superando al resto de los tratamientos probados, el testigo fue el de más bajo valor (101.6 kg ha<sup>-1</sup>). Se examinó de forma constante la dosis de fósforo y compost de lombriz, y variando el nivel de nitrógeno (9, 1, 5) para confirmar la dosis de N. De acuerdo con Schultz-Schaeffer *et al.* (1989); Ramírez *et al.* (2011), el N es limitante para el crecimiento del cultivo y a medida que el ambiente es favorable se deberá aplicar mayor dosis de N, y se incrementa el rendimiento de grano de amaranto, donde los rendimientos más altos se asocian a las fórmulas 80-60-40 y 80-30-40 de NPK.

El rendimiento por planta tuvo un comportamiento similar y fue significativo en el mismo tratamiento 5, mostrando efecto en 64.63 g de grano, igualmente superó al resto de

When analyzing the variable RM<sup>2</sup>, we found highly significant differences (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). It can be observed in Table 3 that the yield per m<sup>2</sup> higher is obtained in treatment 5 with the dose 80-20-00-1 kg ha<sup>-1</sup> and t ha<sup>-1</sup> of NPK and c, surpassing the rest of the treatments tested, the control was the lowest value (101.6 kg ha<sup>-1</sup>). The dose of phosphorus and compost of worm was constantly examined, and the level of nitrogen (9, 1, 5) was varied to confirm the dose of N. According to Schultz-Schaeffer *et al.* (1989); Ramírez *et al.* (2011), the N is a limiting element for the growth of a crop, in addition, as the environment is more favorable, a larger amount of the N dose should be applied and the amaranth grain yield increased, where yields higher are associated with NPK formulas 80-60-40 and 80-30-40.

The yield per plant had a similar behavior and was significant in the same treatment 5, showing effect in 64.63 g of grain, also exceeded the rest of the treatments

los tratamientos y por encima del testigo con diferencia de 29.84 g. Sin embargo, es de importancia específica observar respuestas para la variable RP en el tratamiento 8 con la dosis 80-40-00-2 kg ha<sup>-1</sup> de N y 40 de fósforo con dos t ha<sup>-1</sup> de compost de lombriz (Cuadro 3). El RP se atribuye a la composta cuando se deja de manera constante el nivel de N y P, con una diferencia de 3.97 g. Resultados similares muestran Ramírez *et al.* (2011); Myers (1998) para condiciones de temporal con fertilizante químico. De acuerdo con Sánchez *et al.* (2015), el hecho de incorporar estiércol y residuos orgánicos disminuye la dosis de fertilización.

Respecto al CV de cada una de las variables estudiadas se observan que son menores para AP de 0.35, RM<sup>2</sup> de 14.48 y RP de 8.20 (Cuadro 3). Mientras que la DMS es de 0.23, 37.80 y 24.38, respectivamente.

and above the control with difference of 29.84 g. However, it is of specific importance to observe responses for the variable RP in treatment 8 with the dose 80-40-00-2 kg ha<sup>-1</sup> of N and 40 of phosphorus with two t ha<sup>-1</sup> of compost of worm compost (Table 3). In which the RP is attributed to the compost when the level of N and P is left constant, with a difference of 3.97 g. Similar results show Ramírez *et al.* (2011) and Myers (1998) for temporary conditions with chemical fertilizer. According to Sánchez *et al.* (2015), the incorporation of manure and organic residues reduces the fertilization dose.

Regarding the CV of each of the studied variables, it is observed that they are lower for AP of 0.35, RM<sup>2</sup> of 14.48 and RP of 8.2 (Table 3). While the DMS is 0.23, 37.8 and 24.38, respectively.

**Cuadro 3. Efectos por la fertilización orgánica mineral en valores promedio de variables en el cultivo de amaranto (2014-2015).**  
**Table 3. Effects by organic mineral fertilization on average values of variables in amaranth (2014-2015).**

Elemento	Número	Dosis (N-P-K-c)	AP (m)	RM <sup>2</sup> (g)	RP (g)
N	9	20-20-00-1	1.67 c	182.36 b	41.14 b
	1	40-20-00-1	1.58 b	154.03 b	51.29 b
	5	80-20-00-1	1.73 c	201.81 a	64.63 a
P	11	40-00-00-1	1.83 a	114.69 c	38.52 c
	1	40-20-00-1	1.58 b	154.03 b	51.29 b
	3	40-40-00-1	1.58 b	134.65 c	36.73 c
c	14	80-40-00-3	1.52 b	144.74 c	39.34 c
	8	80-40-00-2	1.72 c	184.64 b	60.66 ab
	7	80-40-00-1	1.62 c	124.32 c	31.58 c
		CV	0.35	14.48	8.2
		DMS	0.23	37.8	24.38

N= nitrógeno; P= Fósforo; K= Potasio; c= composta; AP= altura de planta; RM<sup>2</sup>= rendimiento por metro cuadrado; RP= rendimiento por planta; CV= coeficiente de variación; DMS= diferencia mínima significativa.

La distribución de la AP con respecto a los distintos tratamientos evaluados en el análisis de varianza, expresaron diferencias estadísticamente significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Una apreciación más amplia sobre la respuesta a las dosis de N-P-K más compost se observa en la Figura 1. La dosis de fertilización 80-40-00 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K más tres toneladas de composta ha<sup>-1</sup> subestima el valor de 1.52 m en el TR 14.

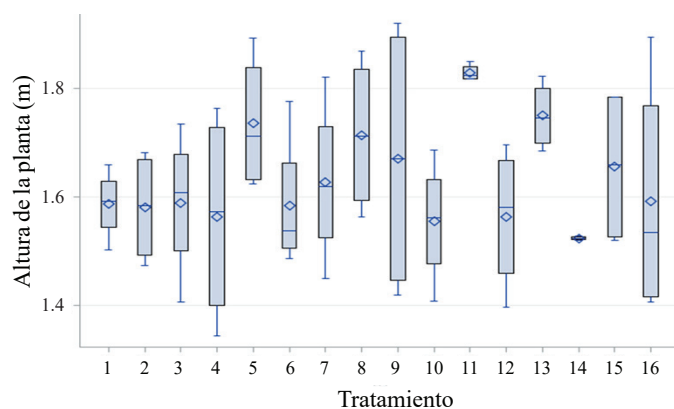
Cuando el tratamiento 40-00-00 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K más una tonelada de composta ha<sup>-1</sup> sobreestimó el valor en altura de 1.83 m en el TR 11 (Figura 1), la planta necesita solo de 1 t ha<sup>-1</sup> de compost de lombriz para aumentar 0.31 m en altura, al bajar el nivel de N, P y compost de lombriz. Estos resultados contrastan con lo reportado por Pospisil *et al.* (2006), quienes

The distribution of the PA with respect to the different treatments evaluated in the analysis of variance, expressed statistically significant differences (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). A more extensive appreciation of the response to NPK doses plus compost is shown in Figure 1. The fertilization rate 80-40-00 kg ha<sup>-1</sup> of N-P-K plus three tonnes of compost ha<sup>-1</sup> underestimates the value of 1.52 m in TR 14.

When treatment 40-00-00 kg ha<sup>-1</sup> of N-P-K plus one ton of compost ha<sup>-1</sup> overestimated the 1.83 m height value in TR 11 (Figure 1), the plant only needed 1 t ha<sup>-1</sup> of worm compost to increase 0.31 m in height, lowering the level of N, P and compost of worm. These results contrast with those reported by Pospisil *et al.* (2006), who mention that fertilization has



mencionan que la fertilización no tiene efecto significativo en la altura de planta de amaranto. Al realizar una prueba de correlación se encontró que a mayor número de plantas por unidad experimental, la altura de planta disminuye (Figura 2), que coincide con lo reportado por Gimplinguer *et al.* (2008), quienes señalan que la altura de planta disminuye con el incremento en la densidad. Por el contrario, Torres *et al.* (2006); Ramírez *et al.* (2011) encontraron que la altura de *A. hypochondriacus* se incrementa con la densidad de plantas.

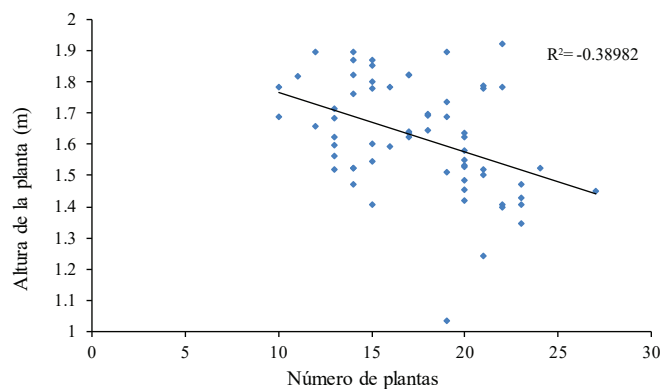


**Figura 1. Altura media de plantas de amaranto obtenidas con diferentes dosis de N-P-K y composta en los años 2014 y 2015.** Las barras verticales representan el intervalo de confianza  $\pm$  de la media de la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

**Figure 1. Mean height of amaranth plants obtained with different doses of N-P-K and compost in the years 2014 and 2015.** Vertical bars represent the confidence interval  $\pm$  of test mean Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) en rendimiento por  $m^2$  y rendimiento por planta. Siendo la fórmula de fertilización 80-20-00  $kg\ ha^{-1}$  de N-P-K más una tonelada de composta  $ha^{-1}$  con la que se obtuvo el mayor rendimiento de grano, en ambas variables (Figura 3 y 4). En relación a las dosis de N, estos resultados son similares a los reportados por Ojo *et al.* (2007) quienes mencionan que en condiciones de temporal las dosis de N óptimas deberán estar en el rango de entre 60 y 80  $kg\ ha^{-1}$ . No obstante, Myers (1998) en un experimento realizado en Missouri, Estados Unidos de América evaluó dosis de 0 a 180  $kg\ N\ ha^{-1}$  y encontró mayor rendimiento con la dosis más alta. Por su parte, Makus (1991) evaluó dosis de 0, 60, 120 y 240  $kg\ N\ ha^{-1}$  y no encontró diferencias estadísticas en el rendimiento.

no significant effect on the height of amaranth plant. When a correlation test was carried out, it was found that at a higher number of plants per experimental unit, plant height decreased (Figure 2), which coincides with that reported by Gimplinguer *et al.* (2008) who indicate that the height of plant diminishes with the increase in the density of plants. In contrast, Torres *et al.* (2006); Ramírez *et al.* (2011) found that the height of *A. hypochondriacus* increases with plant density.

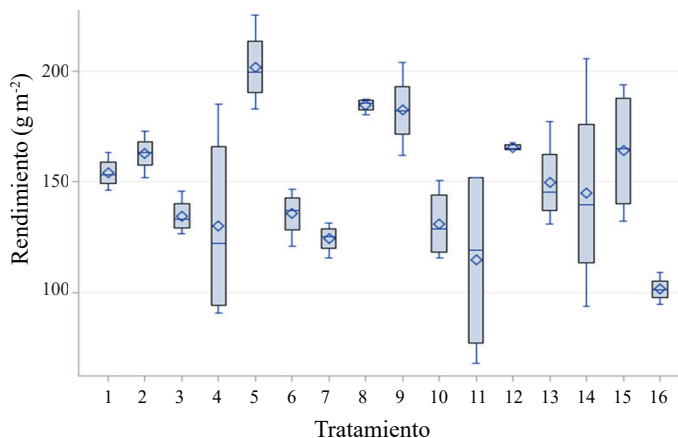


**Figura 2. Correlación entre número de plantas y altura de plantas de amaranto.** La correlación es significativa al nivel 0.05, de acuerdo al coeficiente de Pearson.

**Figure 2. Correlation between number of plants and height of amaranth plants.** The correlation is significant at the 0.05 level, according to the Pearson coefficient.

Statistically significant differences (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) were found in yield per  $m^2$  and yield per plant. The fertilization formula was 80-20-00  $kg\ ha^{-1}$  of N-P-K plus one ton of compost  $ha^{-1}$  with the highest grain yield in both variables (Figure 3 and 4). In relation to the doses of N, these results are similar to those reported by Ojo *et al.* (2007) who mention that under optimal conditions the optimum N doses should be in the range of 60 to 80  $kg\ ha^{-1}$ . However, Myers (1998), in an experiment conducted in Missouri, USA, evaluated doses of 0 to 180  $kg\ N\ ha^{-1}$  and found a higher yield at the highest dose. On the other hand, Makus (1991) evaluated doses of 0, 60, 120 and 240  $kg\ N\ ha^{-1}$  and found no statistical differences in yield.

The highest yield per  $m^2$  (201.81 g), with the dose 80-20-00  $kg$  of N-P-K  $ha^{-1}$  plus one ton of compost  $ha^{-1}$ , is equivalent to 2 018.1  $kg\ ha^{-1}$ , which is considerably higher than (SIAP, 2014), the yield of 1 016  $kg\ ha^{-1}$  obtained with the control



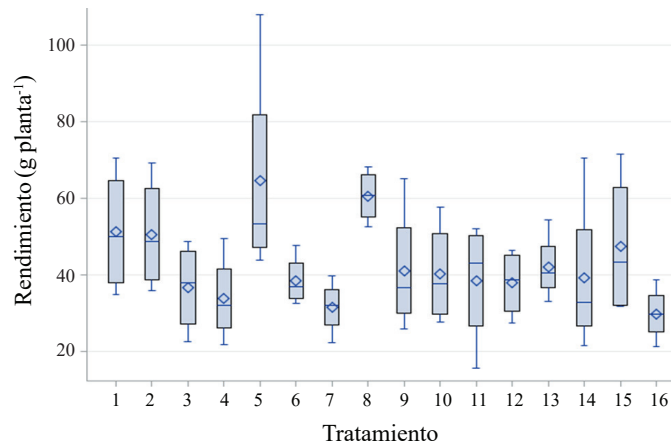
**Figura 3. Rendimiento medio de amaranto obtenido en 1 m<sup>2</sup> con diferentes dosis de N-P-K y composta en los años 2014 y 2015.** Las barras verticales representan el intervalo de confianza  $\pm$  de la media de la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

**Figure 3. Average yield of amaranth obtained in 1 m<sup>2</sup> with different doses of N-P-K and compost in years 2014 and 2015.** Vertical bars represent the confidence interval  $\pm$  of test mean Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

El mayor rendimiento obtenido por m<sup>2</sup> (201.81 g), con la dosis 80-20-00 kg de N-P-K ha<sup>-1</sup> más una tonelada de composta ha<sup>-1</sup>, es equivalente a 2 018.1 kg ha<sup>-1</sup>, el cual es considerablemente mayor al rendimiento promedio de 1 000 kg ha<sup>-1</sup> reportado en el municipio (SIAP, 2014), al rendimiento de 1 016 kg ha<sup>-1</sup> obtenido con el tratamiento testigo y al rendimiento de 1 668.73 kg ha<sup>-1</sup>, obtenido con dosis de 80-60-40 en localidades de San Miguel del Milagro, Tlaxcala y Montecillo, Estado de México (Ramírez *et al.*, 2011).

Se observó una correlación negativa entre el número de plantas y el rendimiento por planta (Figura 5); lo cual significa que un mayor número de plantas no es determinante en el rendimiento por planta. Esto concuerda con lo mencionado por Ramírez *et al.* (2011) quienes reportaron que a menor número de plantas ha<sup>-1</sup> mayor rendimiento de semilla de amaranto. Lo anterior indica, que el rendimiento medio de grano y rendimiento de grano por planta fue afectado por la altura (Cuadro 3) y el número de plantas de modo negativo (Figura 2 y 3), según la dosis de fertilización orgánica-mineral utilizada (Cuadro 3) que requirió el cultivo de amaranto durante los dos años de estudio.

treatment and the yield of 1 668.73 kg ha<sup>-1</sup>, obtained with doses of 80-60-40 in localities of San Miguel of Milagro, Tlaxcala and Montecillo, State of Mexico (Ramírez *et al.*, 2011).



**Figura 4. Rendimiento promedio de amaranto por planta obtenido con diferentes dosis de N-P-K y composta en los años 2014 y 2015.** Las barras verticales representan el intervalo de confianza  $\pm$  de la media de la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

**Figure 4. Average yield of amaranth per plant obtained with different doses of N-P-K and composite in years 2014 and 2015.** Vertical bars represent the confidence interval  $\pm$  of test mean Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

A negative correlation was observed between the number of plants and yield per plant (Figure 5); which means that a greater number of plants is not determinant in the yield per plant. This agrees with what Ramírez *et al.* (2011) who reported that the lowest number of plants ha<sup>-1</sup> increased yield of amaranth seed. This indicates that the average grain yield and grain yield per plant were affected by the height (Table 3) and the number of plants in negative mode (Figure 2 and 3), according to the dose of organic-mineral fertilization (Table 3) that required the cultivation of amaranth during the two years of study.

De acuerdo con López *et al.* (1996) en el caso de trigo, incrementos de N fertilizante por un periodo de tres años, disminuyó significativamente el promedio del peso de grano, debido a dos años secos y por otros factores presentes en el suelo. No obstante, Díaz *et al.* (2004); Torres *et al.* (2006); Arellano y Galicia (2007) encontraron que a mayor densidad de plantas, mayor fue el rendimiento de grano, además, estudiaron el N y la variedad.

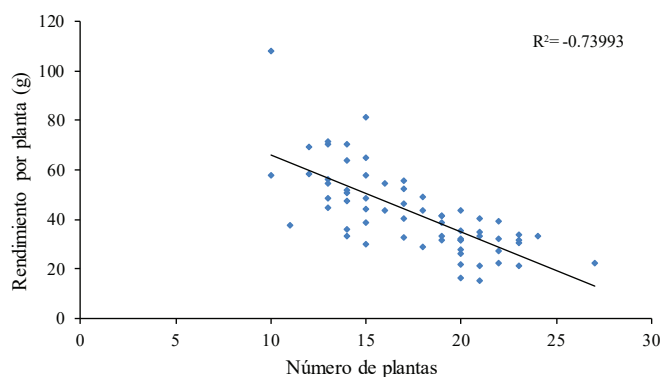
De acuerdo con López *et al.* (1996) en el caso de trigo, incrementos de N fertilizante por un periodo de tres años, disminuyó significativamente el promedio del peso de grano, debido a dos años secos y por otros factores presentes en el ambiente y suelo. No obstante, Díaz *et al.* (2004); Torres *et al.* (2006); Arellano y Galicia (2007) encontraron que a mayor densidad de plantas, mayor fue el rendimiento de grano, además, estudiaron el N y la variedad.

Parece ser, que la tendencia hacia más rendimiento de grano y el número de plantas, sugiere el uso de nuevas variedades que considere el tamaño del tallo, el número de planta con espiga y la densidad de plantas. Sin embargo, algunos de estos factores no parecen estar asociados con el aumento del rendimiento (Wang *et al.*, 2002). Esta parte, concuerda con los resultados obtenidos en su estudio por Henderson *et al.* (2000) que señalan, la densidad de plantas no tiene un efecto significativo en el rendimiento de grano de amaranto. No obstante, los rendimientos se podrán incrementar con la fertilización orgánica-mineral en la región de amaranto y un buen manejo de las condiciones del suelo.

## Conclusiones

Con la fórmula de fertilización orgánica-mineral 80-20-00 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K más una tonelada de composta ha<sup>-1</sup> es posible incrementar significativamente el rendimiento de grano de amaranto localmente. No obstante, la alta correlación negativa encontrada entre el número de plantas y el rendimiento, sugiere ensayos con niveles en la densidad de plantas, según las características propias del sistema tradicional de siembra directa 3 y 5 plantas por mata, que explica densidades de plantas mayor (150 000 y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>) a las reportadas por otros investigadores (100 000 plantas ha<sup>-1</sup>).

Estos resultados muestran que para lograr mejorar los rendimientos de los productores se requiere precisar la dosis, y la densidad de plantas en otras condiciones de manejo del suelo en la región de estudio; y fertilización orgánica-mineral adecuada en la zona de raíces del amaranto. A pesar de los resultados obtenidos, resulta importante ensayar diferentes productos orgánicos en condiciones similares o en otros suelos de la región.



**Figura 5. Correlación entre número de plantas y rendimiento de amaranto por planta.** La correlación es significativa al nivel 0.05, de acuerdo al coeficiente de Pearson.

**Figure 5. Correlation between number of plants and yield of amaranth per plant.** The correlation is significant at the 0.05 level, according to the Pearson coefficient.

It seems to be that the tendency towards more grain yield and number of plants suggests the use of new varieties that consider stem size, number of plant with spike and density of plants. However, some of these factors do not appear to be associated with increased yield (Wang *et al.*, 2002). This part, agrees with the results obtained in his study by Henderson *et al.* (2000) pointing out, plant density does not have a significant effect on yield of amaranth grain. However, yields can be increased with organic-mineral fertilization in the amaranth region and good management of soil conditions.

## Conclusions

With the organic-mineral fertilization formula 80-20-00 kg ha<sup>-1</sup> of N-P-K plus one ton of compost ha<sup>-1</sup> it is possible to significantly increase yield of amaranth grain locally. However, the high negative correlation found between the number of plants and the yield suggests trials with levels in plant density, according to the characteristics of the traditional system of direct seeding 3 and 5 plants per plot, which explains higher plant densities (150 000 and 200 000 plants ha<sup>-1</sup>) to those reported by other researchers (100 000 plants ha<sup>-1</sup>).

These results show that in order to improve the yields of the producers it is necessary to specify the dose and the density of plants in other soil management conditions in the study

## Literatura citada

- Abasolo, P. V. E. 2011. Revalorización de los saberes tradicionales campesinos relacionados con el manejo de tierras agrícolas. *Rev. Cienc. Soc. Univ. Iberoam.* 4(11):98-120.
- Alejandre, I. y Gómez, F. 1999. Cultivo del amaranto en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo (UACH), Texcoco, Estado de México. 245 p.
- Alejandre, I. G.; Valdés, L. C. G. S. y García, P. J. 2012. Selección y adaptación de variedades criollas de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en el Noreste de México. En: Espitia Rangel (ed.), *Amaranto: Ciencia y tecnología*. Libro científico No. 2. INIFAP/SINAREFI. México. 249-256 pp.
- Aguilar, J. y F. Alatorre. 1978. Monografía de la planta de Amaranthus. Grupo de estudios ambientales, A. C. 1(1):157-203.
- Arellano, J. y Galicia, J. 2007. Rendimiento y características de planta y panoja de amaranto en respuesta a nitrógeno y cantidad de semilla. *Agric. Téc. Méx.* 3(3):251-258.
- Ayala, G. A. V.; Rivas, P.; Cortes, E. L.; de la O, O. M.; Escobedo, L. D. y Espitia, R. E. 2014. La rentabilidad del cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) en la región centro de México. *Ciencia Ergo Sum.* 21 (1):47-54. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10429976006> ISSN 1405-0269
- Barrales, D. J.; Barrales, E. y Barrales, E. 2010. Amarantho. Recomendaciones para su producción. Universidad Autónoma Chapingo. Plaza y Valdés y Fundación Produce Tlaxcala. México D. F. 16 p.
- Becerra, R. 2000. El amaranto: nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. *Biodiversidad.* 5(30):1-6. <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv30art1.pdf>.
- Bostid, F. 1984. Amaranth: modern prospects for an ancient crop. National Academy Press, Washington D. C. 74 p.
- De la O, O. M.; Espitia, R. E.; Rivas, V. P. y Elías, T. M. N. 2012. Propuestas y avances del diseño de un paquete tecnológico para el cultivo de amaranto en el Distrito Federal. *In: Propuestas y avances del diseño de un paquete tecnológico para el cultivo de amaranto en el Distrito Federal*. Ayala, G.; Almaguer, V.; Romero, G. y López, T. R. (Coord.). Plaza y Valdés. Distrito Federal, México. 187-202 pp.
- Díaz, A.; Escalante, A.; Trinidad, A.; Sánchez, P.; Mapes, C. y Martínez, D. 2004. Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra Latinoam.* 22(1):109-116.
- Espitia, E.; Mapes, C.; Escobedo, D.; De la O, M.; Rivas, P.; Martínez, G.; Cortés, L. y Hernández, J. 2010. Conservación y uso de los recursos genéticos de Amarantho en México. SINAREFI-INIFAP-UNAM. Celaya, Guanajuato, México. 201 p.
- Estrada, L. A.; Sahagún, C. S.; Muruaga, M. J. S.; Hernández, C. J. M. y Vargas, V. M. L. 2006. Guía para la producción de amaranto en el Distrito Federal. INIFAP. SAGARPA. México. Folleto para productores Núm. 16.
- Gimplinger, M.; Schulte, G.; Dobos G. and Kaul, P. 2008. Optimum crop densities for potential yield and harvestable yield of grain amaranth are conflicting. *Eur. J. Agron.* 28(2):119-125.
- Henderson, T.; Johnson, B. and Schneiter, A. 2000. Row spacing, plant population, and cultivar effects on grain amaranth in the northern Great Plains. *Agron. J.* 92(2): 329-336.
- region; and adequate organic-mineral fertilization in the amaranth root zone. In spite of the results obtained, it is important to test different organic products under similar conditions or in other soils of the region.

*End of the English version*



- INEGI 2009. Prontuario de información geográfica de los Estados Unidos Mexicanos, Tochimilco, Puebla 9 p. [http://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21188.pdf](http://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21188.pdf).
- Kallis, G. and Norgard, R. B. 2010. Coevolutionary ecological economics. *Ecological economics* 69(4):690-699.
- Köppen, W. 1936. Das geographische system der klimate. In: Köppen, W. and Geiger, R. (Eds.). *Handbuch der klimato - logie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin. 44 p.
- López, B. L.; Fuentes, M.; Castillo, J. E.; Garrido, F. J. and Hernández, E. J. 1996. Long-term tillage crop rotation and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. *In Agron. J.* 88(5):783-791.
- Makus, J. 1991. Applied N affects vegetable and seed quality of amaranth. *In: University of Minnesota (Ed.), Proceedings of the fourth amaranth symposium: perspectives on production, processing and marketing*. St Paul, Minnesota. USA. 187-188 pp.
- Myers, R. 1998. Nitrogen fertilizer effect of grain amaranth. *Agron. J.* 90(5):597-602.
- Ojo, D.; Kintomo, A.; Akinrinde, A. and Akoroda, O. 2007. Comparative effect of phosphorus sources for grain amaranth production. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 38(1-2):35-55.
- Pospisil, A.; Pospisil, M.; Varga, B. and Svecnjack, Z. 2006. Grain yield and protein concentration of two amaranth species (*Amaranthus* spp.) as influenced by the nitrogen fertilization. *Eur. J. Agron.* 25(3):250-253.
- Ramírez, M.; Espitia, E.; Carballo, A.; Zepeda, R.; Vaquera, H. y Córdova, L. 2011. Fertilización y densidad de plantas en variedades de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(6):855-866.
- Sauer, J. 1950. Amaranth as dye plants among the Pueblo peoples. *Southwest. J. Anthropol.* 6(4):412-415.
- Sauer, J. 1979. Grain Amaranths: *Amaranthus* spp. (Amaranthaceae). *In: evolution of crop plants*. Simmonds, N. W (Ed.). Longman Inc. New York. 4-7 pp.
- SAS (Statistical Analysis System). 2004. Versión 9.0. SAS, Institute Inc., Cary NC., USA.
- Sánchez, J.; Argumedo, A.; Álvarez, J.; Méndez, J. y Ortiz, B. 2015. Conocimiento tradicional en prácticas agrícolas en el sistema del cultivo de amaranto en Tochimilco, Puebla. *Agric. Soc. Des.* 12(2):237-254.
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria). 2014. Cierre de la producción agrícola por estado. <http://www.siap.gob.mx>.
- Soriano, J.; Reyes, R.; Guerrero, I.; Ponce, E.; Escalona, H.; Almanza, J.; Díaz, G. and Román, R. 2015. Dipeptidyl peptidase IV inhibitory activity of protein hydrolyzates from *Amaranthus hypochondriacus* L. grain and their influence on postprandial glycemia in streptozotolin- induced diabetic mice. *Afr. J. Trad. Compl. Altern. Med.* 12(1):90-98.



- Schultz, S. J.; Stallknecht, G. F.; Baldrige, D. E. and Larson, R. A. 1989. Registration on Montana-3 grain amaranth germplasm. *Crop Sci.* 29(1): 244-245.
- Torres, G.; Trinidad, A.; Reyna, T.; Castillo, H.; Escalante, A. y de León, F. 2006. Respuesta de genotipos de amaranto a densidades de población. *Rev. Fitotecnia Mexicana.* 29(4):307-312.
- Turrent, A. y Laird, J. 1975. La matriz experimental Plan Puebla, para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. *Agrociencia* 19(1): 117-143.
- Wang, H.; McCaig, T. N.; DePaw, R. M.; Clarke, F. R. and Clarke, J. M. 2002. Physiological characteristics of recent Canada Western red spring wheat cultivars: yield components and dry matter production. *Can. J. Plant. Sci.* 83 (4): 699-707.