

## Caracterización de suelos cultivados con amaranto y algunos aspectos agronómicos de la planta\*

### Characterization of soils cultivated with amaranth and some agronomic aspects of the plant

Elizabeth Hernández Acosta<sup>1</sup>, Elizabeth García Gallegos<sup>2§</sup> y José Luis Ramírez Téllez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. Carretera México- Texcoco, km 38.5, Estado de México. C. P. 56230. (elizahac@yahoo.com.mx). <sup>2</sup>Centro de Investigación en Genética y Ambiente-Universidad Autónoma de Tlaxcala. Calle del Bosque S/N, Col. Tlaxcala Centro, Tlaxcala. C. P. 90000. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Tlaxcala- Licenciatura en Biología. <sup>§</sup>Autora para correspondencia: gallegoseg@hotmail.com.

#### Resumen

En el estado de Tlaxcala se produce y consume amaranto, por lo que es importante estudiar sus aspectos agronómicos y las propiedades del suelo donde crece. Para cumplir con este objetivo, en este trabajo, se seleccionaron tres sitios pertenecientes al municipio de Nativitas, Tlaxcala, en el ciclo 2009-2010, donde antes de la siembra se aplica estiércol de bovino. Se evaluaron las propiedades físicas y químicas de los suelos y su contenido nutrimental. En planta, se determinó la biomasa aérea, el rendimiento de semilla, la altura de planta, el contenido nutrimental y la actividad fotosintética, a través de la cuantificación de clorofila. Los resultados mostraron que los suelos tienen deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio, bajo contenido de materia orgánica, pocos sitios de intercambio, bajo contenido de sales y un pH moderadamente ácido. En planta, la concentración de nitrógeno en las hojas fue crítica, en los tres sitios evaluados; los niveles de fósforo y potasio se presentaron en un grado de suficiencia. El Sitio 1 presentó la mayor altura de planta, biomasa aérea y rendimiento de semilla. Se tuvieron correlaciones significativas y positivas entre la capacidad de intercambio catiónico y el rendimiento de semilla, entre la biomasa aérea con el contenido de limo y arcilla, así como la altura de planta con la biomasa aérea y rendimiento de semilla. El contenido de clorofila no fue

#### Abstract

In the state of Tlaxcala and production and consume amaranth, so is important to study their properties and agronomic aspects of the soil where it grows. To meet this goal, in this paper we selected three sites belonging to the municipality of Nativitas, Tlaxcala, cycle 2009-2010, where before sowing cattle manure applied. The physical and chemical properties of the soils were evaluated and its nutritional content. The plant, deterministic or aboveground biomass, seed yield, plant height, chemical composition and photosynthetic activity through quantification of chlorophyll. Results showed that soils have deficiencies of nitrogen, phosphorus and potassium, low in organic matter, few exchange sites. Low salt content and pH in moderately acid plant, with concentration of nitrogen in the leaves was critical, evaluated at the three sites, the levels of phosphorus and potassium were presented at a level of sufficiency in the site. Site 1 had the highest plant height, biomass and yield. Significant and positive correlation between cation exchange capacity and seed yield, aboveground biomass between the content of silt and clay, and plant height with aboveground biomass and seed yield were taken. Chlorophyll content was not statistically significant between sites, but the correlations between chlorophyll and nitrogen concentration and chlorophyll b with potassium were significant.

\* Recibido: agosto de 2013  
Aceptado: marzo de 2014

estadísticamente significativo entre los sitios, pero las correlaciones entre clorofila *a* y concentración de nitrógeno y clorofila *b* con los niveles de potasio fueron significativas.

**Palabras clave:** amaranthaceae, fertilidad del suelo, pigmentos fotosintéticos.

## Introducción

El amaranto (*Amaranthus* spp.) es un cultivo anual que, por su valor nutritivo, tiene un mercado potencial importante (Olufolaji *et al.*, 2010) y se siembra en agroecosistemas del centro y sur de México; su rendimiento medio nacional es de 1 t ha<sup>-1</sup> y los principales estados productores de la República Mexicana son Puebla, Morelos, Estado de México, Distrito Federal, Tlaxcala, Oaxaca, Jalisco y Querétaro (Martínez, 2010). El estado de Tlaxcala destaca por su producción y consumo de semilla de amaranto, donde este se cultiva teniendo en cuenta sus características de resistencia a heladas y sequías. Es un cultivo importante y prometedor como la mejor fuente de proteínas de origen vegetal que se puede obtener en condiciones de temporal, debido a que presenta mayores rendimientos que otros cultivos en circunstancias similares (Trucco *et al.*, 2011).

El amaranto es una planta C<sub>4</sub>, lo que representa una modalidad fotosintética de alta eficiencia en el aprovechamiento de la radiación solar, puede tolerar el ataque de insectos y sus semillas contienen proteínas con un alto valor nutritivo (Olufolaji *et al.*, 2010; Thenmozhi y Paulraj, 2010). El contenido de clorofila juega un papel importante en las plantas cultivadas, ya que está positivamente correlacionado con la fotosíntesis; por lo tanto, una baja en su concentración se considera como una respuesta de las plantas al estrés. Este comportamiento puede perjudicar el proceso fotosintético y ocasionar una menor fijación de carbono (Nagamatsu *et al.*, 2004). En los últimos años se ha observado una relación directa entre la concentración de clorofila y el rendimiento de grano en los cereales, al comprobarse que la tasa de fotosíntesis está estrechamente asociada con la pérdida del pigmento durante el período de llenado del grano de los cereales (Gutiérrez *et al.*, 2005).

Evaluaciones realizadas en el estado de Tlaxcala han demostrado que es posible duplicar el rendimiento medio nacional en condiciones de temporal (Martínez, 2010), lo que depende en gran medida de la fertilidad de los suelos y la respuesta fisiológica de las plantas (Revelli *et al.*, 2010). Por lo anteriormente mencionado, en el presente trabajo

**Keywords:** amaranthaceae, fertile soil ity, photosynthetic pigments.

## Introduction

Amaranth (*Amaranthus* spp.) is an annual crop for its nutritional value, has a significant potential market (Olufolaji *et al.* 2010) and seeded in agro-ecosystems of central and southern Mexico, the national average yield is 1 t ha<sup>-1</sup> and the main producing states of Mexico are Puebla, Morelos, State of Mexico, Mexico City, Tlaxcala, Oaxaca, Jalisco and Querétaro (Martínez, 2010). The state of Tlaxcala is notable for its production and consumption of amaranth seed, where this is grown considering its features frost and drought resistance. It is an important and promising crop as the best source of vegetable protein can be obtained under rainfed conditions, because it has higher yields than other crops in similar circumstances (Trucco *et al.*, 2011).

Amaranth is a C<sub>4</sub> plant, which is a form of high photosynthetic efficiency in the utilization of solar radiation, can tolerate the attack of insects and seeds contain proteins with high nutritional value (Olufolaji *et al.*, 2010; Thenmozhi and Paulraj *et al.*, 2010). Chlorophyll content plays an important role in crop plants, as it is positively correlated photosynthesis, therefore a low at its concentration is regarded as a plant response to stress. This behavior can impair the photosynthetic process and cause less carbon fixation (Nagamatsu *et al.*, 2004). In recent years it has been observed a direct link between with concentration *c* in chlorophyll and performance grain cereals, to check is that the rate of photosynthesis It is closely associated with the loss of pigment per period during grain filling in cereals (Gutiérrez *et al.*, 2005).

The valuations performed in the state of Tlaxcala have shown that it is possible to double the national rainfed conditions (Martínez, 2010) average yield, which depends largely on the soil fertility and the physiological response of plants (Revelli *et al.*, 2010) or P mind the above mentioned, in this work the following objective raised: 1) determine the properties of loose physico-chemical for cultivated amaranth; 2) evaluate the nutritional content, both soil and plant; and 3) determine some agronomic plant variables and their photosynthetic activity by measuring chlorophyll.

se plantearon los siguientes objetivos: 1) determinar las propiedades fisicoquímicas de suelos cultivados con amaranto; 2) evaluar el contenido nutrimental, tanto en suelo como en planta; y 3) determinar algunas variables agronómicas de la planta y su actividad fotosintética mediante la cuantificación de clorofila.

## Materiales y métodos

Para llevar a cabo el trabajo se analizaron tres sitios con cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.), variedad criolla, en la comunidad de San Miguel del Milagro, municipio de Nativitas, Tlaxcala, con una superficie promedio de 0.35 ha. Los sitios se localizan entre las coordenadas 19° 15' 37'' latitud norte y 98° 20' 6'' longitud oeste (sitio 1); 19° 15' 85'' latitud norte y 98° 20' 5'' longitud oeste (sitio 2) y 19° 15' 22'' latitud norte y 98° 20' 03'' longitud oeste (sitio 3). El suelo del lugar pertenece al orden Cambisol. El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano, precipitación de 800-1 000 mm y temperatura de 14 a 16 °C (INEGI, 2009).

El muestreo de suelo se realizó de acuerdo a Rodríguez y Rodríguez (2002). De cada sitio se colectaron seis muestras simples de suelo con la ayuda de una barrena tubular a una profundidad de 0 a 30 cm. Cada muestra se secó a temperatura ambiente y a la sombra y se tamizó con una malla de 2 mm de abertura para homogeneizar el tamaño de partícula. Antes de la siembra se aplicó estiércol de bovino (un promedio de 0.8 t ha<sup>-1</sup>) y se estimó una densidad de 19 442.5 plantas ha<sup>-1</sup>.

En cada punto de donde se obtuvieron las muestras simples de suelo, se colectaron las plantas de amaranto, seis plantas por sitio. Las plantas se cortaron a ras de suelo, previa medición de la altura de planta. De cada una se seleccionó una muestra de hojas maduras de la parte central, con el propósito de cuantificar la concentración de clorofila *a* y *b*.

A cada muestra de suelo se le determinó: textura, por el hidrómetro de Bouyoucos (Rodríguez y Rodríguez, 2002); densidad aparente (Dap) por (Hernández, 2007); pH, en una suspensión de suelo: agua (1:2 p/v) (Jackson, 1976); conductividad eléctrica (CE), en el extracto de saturación (Richards, 1990); contenido de materia orgánica, por el método de Walkley-Black (Jackson, 1976); capacidad de intercambio catiónico (CIC), por la técnica con acetato de amonio (Chapman, 1965); nitrógeno total (Nt), por el método de Kjeldahl (Bremner, 1965); fósforo (P)

## Materials and methods

In order to carry out the work s and analyzed three sites with cultivation of amaranth (*Amaranthus* spp.) landrace, in the community of San Miguel del Milagro, Nativitas Township, Tlaxcala, with an area average of 0.35 ha. L or s sites are located in between the coordinates 19 or 15' 37" north latitude and 98 or 20' 6" west longitude (site 1), 19 or 15' 85 ' north latitude and 98 or 20' 5" west longitude (site 2) and 19 or 15' 22" north latitude and 98 or 20' 03" west longitude (site 3). Cambisol soil. Temperate sub-humid climate, with rainfall in summer rainfall of 800-1 000 mm and temperature of 14-16 o C (INEGI, 2009).

Soil sampling was performed according to Rodríguez and Rodríguez (2002). Collecting in each site six simple soil samples with the help of a tubular at a depth of 0-30 cm. Each sample was sec at room temperature or in the shade and sieve or a 2 mm mesh aperture size to homogenize particle. Before planting bovine manure was applied (an average of 0.8 t ha<sup>-1</sup>) and a density of 19 442.5 plants ha<sup>-1</sup> was estimated.

At each point where the simple soil samples were obtained; amaranth plants were collected, six plants per site. The plants were cut at ground level, foresaw of plant height measument. From each sample of mature leaves of the central part are selected, in order to quantify the concentration of chlorophyll a and b.

Each soil sample was determin: texture by the hydrometer Bouyoucos (Rodríguez and Rodríguez, 2002); density apparent (Dap) by (Hernández, 2007), pH in a soil suspension: water (1:2 w/v) (Jackson, 1976), electrical conductivity (EC) in the saturation extract (Richards, 1990), organic matter content by the Walkley-Black method (Jackson, 1976), cation exchange capacity (CEC) by the ammonium technique (Chapman, 1965) acetate; total nitrogen (Nt), by the Kjeldahl method (Bremner, 1965), phosphorus (P) is available by extraction with ammonium molybdate (Bray and Kurtz, 1945) and exchangeable cations (Ca, Mg, Na and K) determines two extraction with ammonium acetate (Rodríguez and Rodríguez, 2002).

We separated the roots, leaves, stems, and grain panicle of each plant. The roots were washed with de-mineralized water and all parts were dried at 70 o C for 96 h in a drying

disponible, por extracción con molibdato de amonio (Bray y Kurtz, 1945) y cationes intercambiables (Ca, Mg, Na y K), determinados por extracción con acetato de amonio (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

Se separaron las raíces, hojas, tallos, panoja y grano de cada planta. Las raíces se lavaron con agua desmineralizada y todas las partes se secaron a 70 °C, por 96 h en un horno de secado marca Riossa. Se determinó biomasa aérea (kg ha<sup>-1</sup>) y rendimiento de semilla (kg ha<sup>-1</sup>). El contenido de clorofila *a* y *b* se evaluó a través de la técnica propuesta por Wellburn (1994), se extrajo en 80% de acetona y se cuantificó empleando un espectrofotómetro de UV-VIS (Perkin Elmer, EUA), la clorofila *a* se determinó a una longitud de 663 nm y la clorofila *b* a 646 nm, la cual se expresó en mg g<sup>-1</sup> de hoja. La concentración de N se determinó por el método Kjeldahl (Bremner, 1965), el P por el método del vanadato-molibdato amarillo (Rodríguez y Rodríguez, 2002) y el K por emisión de flama-flamometría (Millán *et al.*, 1981).

Los datos de las diferentes variables evaluadas en suelo y plantas se sometieron a un análisis descriptivo, de varianza y a una prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre sitios. Se realizó un análisis de correlación Pearson ( $p < 0.05$ ) entre las propiedades edáficas y las variables de crecimiento de las plantas de amaranto. Se analizó la relación lineal entre el contenido de clorofila (*a* y *b*) y la concentración de Nt, P y K de las plantas de amaranto a 95% de confiabilidad. Todo lo anterior utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies, 2011).

## Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan los valores de las variables edáficas y nutrimentales de los suelos cultivados con amaranto. En los suelos evaluados, de acuerdo con la clasificación que establece Castellanos *et al.* (2000) y la NOM-021 (DOF, 2002), el pH fue moderadamente ácido y significativamente superior en el sitio 3 ( $p \leq 0.05$ ). Respecto al porcentaje de materia orgánica, los suelos no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sitios ( $p \leq 0.05$ ) y con base en la NOM-021 (DOF, 2002) el porcentaje fue muy bajo y por Castellanos *et al.* (2000) se clasifican como muy pobre a moderadamente pobre. La materia orgánica influye en la fertilidad del suelo; al aumentar la estructuración, es una reserva de macro y micronutrientes, debido a que presenta características

oven Riossa brand. We determined aboveground biomass (kg ha<sup>-1</sup>) and seed yield (kg ha<sup>-1</sup>). Chlorophyll content *a* and *b* was evaluated through the technique proposed by Wellburn (1994), and extracted in 80% acetone and quantified using a UV-VIS spectrophotometer (Perkin Elmer, E UA), the chlorophyll *a* was determined a length of 663 nm and 646 nm chlorophyll *b*, which is expressed in mg g<sup>-1</sup> leaf's with c in N concentration is deterministic or by Kjeldahl (Bremner, 1965) method, P by the method of v-m yellow volibdato-manadato (Rodríguez and Rodríguez, 2002) and the K flame-emission flamo-metric (Millán *et al.*, 1981).

The data of the different variables evaluated in soil and plants were subjected to a descriptive analysis of variance and a comparison test of Tukey ( $p \leq 0.05$ ) between sites. Pearson correlation analysis ( $p$  was performed  $< 0.05$ ) between soil properties and growth variables to amaranth plants. The linear relationship between the content of chlorophyll (*a* and *b*) and the concentration of N t, P and K of the amaranth plant at 95% confidence was analyzed. All of this, using the statistical package Statgraphics Centurion XVI (Stat Point Technologies, 2011).

## Results and discussion

The values of l and s as nutritional variables of cultivated amaranth soil are presented in Table 1. Soils evaluated in accordance with the classification established Castellanos *et al.* (2000) and NOM-021 (DOF, 2002), and l was moderately acidic pH and significantly higher in the Site 3 ( $p \leq 0.05$ ). Regarding the percentage of organic matter, soil will l showed no statistically significant differences between sites ( $p \leq 0.05$ ) and based on the NOM-021 (DOF, 2002) the rate was very low and Castellanos *et al.* (2000) are classified as very poor to moderately poor Organic matter in soil fertility; increasing the structuring, is a reservation of macro and micro-nutrients, because it has characteristics of adsorption and exchange, providing energy for the microorganisms and infer the mobility of the elements to form complexes (Romanya *et al.*, 2007).

As for the CIC, there were no significant differences between sites ( $p \leq 0.05$ ) its value is considered medium on the soil of site 1 and low in soils of sites 2 and 3, based on Cottenie (1980) and Mexican regulations. Olufolaji *et al.* (2010)

de adsorción e intercambio, proporciona energía para los microorganismos e influye en la movilidad de los elementos para formar complejos (Romanya *et al.*, 2007).

reported an ICC c on amaranth grown from 13.7 to 15 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, similar to those reported in this work and equally few exposed soil exchange sites results.

**Cuadro 1. Variables edáficas y contenido nutrimental de suelos cultivados con amaranto.**

**Table 1. Edaphic variables and nutrient content of soils cultivated with amaranth.**

| Parámetro                      | Sitio 1       | Sitio 2       | Sitio 3       |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| pH <sub>1:2 (p/v) agua</sub>   | 5.9 ± 0.02 b* | 5.9 ± 0.02 b  | 6.0 ± 0.02 a  |
| CE (dS m <sup>-1</sup> )       | 0.1 ± 0.01 b  | 0.3 ± 0.005 a | 0.1 ± 0.01 b  |
| MO (%)                         | 1.7 ± 0.005 a | 1.7 ± 0.01 a  | 1.7 ± 0.005 a |
| CIC [cmol(+)kg <sup>-1</sup> ] | 17.7 ± 0.1 a  | 11.1 ± 0.15 c | 13.7 ± 0.1 b  |
| Arena (%)                      | 31.7 ± 0.4 c  | 59.3 ± 0.05 b | 66.0 ± 0.03 a |
| Limo (%)                       | 42.6 ± 0.04 a | 23.6 ± 0.03 b | 22.3 ± 0.03 b |
| Arcilla (%)                    | 25.9 ± 0.03 a | 16.9 ± 0.02 b | 12.2 ± 0.01 c |
| Dap (g cm <sup>-3</sup> )      | 1.4 ± 0.01 b  | 1.5 ± 0.01 a  | 1.4 ± 0.01 b  |
| Nt (%)                         | 0.1 ± 0.01 a  | 0.1 ± 0.005 a | 0.1 ± 0.005 a |
| P (mg kg <sup>-1</sup> )       | 12.0 ± 0.05 b | 15.0 ± 0.1 a  | 11.1 ± 0.1 c  |
| K (mg kg <sup>-1</sup> )       | 5.1 ± 0.1 a   | 6.0 ± 0.05 a  | 5.1 ± 0.1 a   |
| Ca (mg kg <sup>-1</sup> )      | 12.1 ± 0.1 a  | 9.2 ± 0.1 b   | 9.2 ± 0.1 b   |
| Mg (mg kg <sup>-1</sup> )      | 2.1 ± 0.1 a   | nd            | 1.2 ± 0.1 b   |
| Na (mg kg <sup>-1</sup> )      | 1.1 ± 0.1 a   | 1.0 ± 0.05 a  | 1.1 ± 0.1 a   |

\*Media Tukey ± DE (n = 18).  $p \leq 0.05$ . Medias con la misma letra por fila son estadísticamente iguales. MO = materia orgánica; CE = conductividad eléctrica; CIC = capacidad de intercambio catiónico; Dap = densidad aparente; ND = no detectable.

En cuanto a la CIC existieron diferencias significativas entre los sitios ( $p \leq 0.05$ ) su valor se considera medio en el suelo del Sitio 1 y bajo en los suelos de los sitios 2 y 3, con base a Cottenie (1980) y a la normatividad mexicana. Olufolaji *et al.* (2010) reportó una CIC en suelos cultivados con amaranto de 13.7 a 15 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, resultados similares a los reportados en este trabajo y que de igual manera exponen pocos sitios de intercambio.

La CE fue significativamente mayor en el sitio 2, pero con cantidades despreciables de sales. Troiani *et al.* (2005) reportaron una CE de 0.41 dS m<sup>-1</sup> en suelos cultivados con amaranto, valor 70.7 y 14.6% más alto que los encontrados en los suelos bajo estudio. Sin embargo, esto no significó un problema para las plantas de amaranto.

En los suelos de los tres sitios predominó la fracción arena y se presentó una densidad aparente mayor de 1.32 g cm<sup>-3</sup>, valor que se relaciona para este tipo de suelos, como lo indica la normatividad mexicana. Olufolaji *et al.* (2010) reportaron que suelos bajo cultivo de amaranto presentaron un promedio de arena de 88.6%, 5.4% de limo, 6% de arcilla y una densidad aparente de 1.4 g cm<sup>-3</sup>, condición que permitió un adecuado desarrollo radical de las plantas.

EC was significantly higher in the site 2 but with negligible quantities of salts. Troiani *et al.* (2005) reported an EC of 0.41 dS m<sup>-1</sup> in cultivated amaranth value 70.7 and 14.6% higher than those found in soils under study soils. However, this did not mean a problem for amaranth plants.

In soils of the three sites dominated the sand fraction and a bulk density of 1.32 g cm<sup>-3</sup>, a value that is related to this type of soil, as indicated by Mexican standards was presented. Olufolaji *et al.* (2010) reported that amaranth cultivated soils present Aron sand averaged 88.6%, silt 5.4%, clay 6% and a bulk density of 1.4 g cm<sup>-3</sup>, a condition that allowed adequate root development of plants.

Regarding the nutritional content, there were no significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between sites, in terms of N t, K and Na. According to Mexican law, and 1 Nt and K level was low, while Na was found within the range set by Trejo (2007), or who mention that in general, the soils should present from 0.1 to 1%. P value was higher in the L site 2, level is Ca and Mg were in the site 1 ( $p \leq 0.05$ ). According to Castellanos *et al.* (2000) concentrations of P, Ca and Mg are classified as very low to moderately low.



Respecto al contenido nutrimental, no existieron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los sitios, en cuanto al Nt, K y Na. De acuerdo con la normatividad mexicana, el nivel de Nt y K fue bajo, mientras que el Na se encontró dentro de los valores establecidos por Trejo (2007), quien mencionó que, en general, los suelos deben presentar de 0.1 a 1%. El valor de P fue mayor en el sitio 2 y los niveles de Ca y Mg lo fueron en el sitio 1 ( $p \leq 0.05$ ). De acuerdo a Castellanos *et al.* (2000) las concentraciones de P, Ca y Mg se clasifican como de muy bajo a moderadamente bajo.

De manera general, los resultados exhibieron una baja fertilidad en los suelos y un bajo contenido nutrimental, aun cuando se aplicaron, en promedio, 0.8 t ha<sup>-1</sup> de estiércol de bovino antes de la siembra. El incorporar estiércol se traduce en una disponibilidad de nutrimentos para el cultivo y entre las propiedades del suelo que pueden estar más influidas se encuentran la materia orgánica, la CIC y el pH, además de favorecer la estructura del suelo, su aireación y la capacidad para retener agua. Sin embargo, al incorporarlo fresco se pierden cantidades significativas de N, debido principalmente a la volatilización (Bolton *et al.*, 2004).

Thenmozhi y Paulraj (2010) reportaron que al aplicar compost elaborado a base de residuos de caña de azúcar a suelos cultivados con amaranto se incrementaron los niveles de N, P y K en 21.2%, 23.5% y 14.2%, respectivamente. Akanni *et al.* (2011) encontraron, en suelos con amaranto valores de 2.7% de N, 0.08 mg kg<sup>-1</sup> de P y 7.1 mg kg<sup>-1</sup> de K, al aplicar 10 t ha<sup>-1</sup> de un fertilizante organomineral, compuesto por gallinaza, lodos residuales y superfosfato simple, valores que difieren de lo reportado en este trabajo. Los abonos orgánicos responden satisfactoriamente para el cultivo de amaranto, particularmente en el rendimiento, además de mejorar las propiedades edáficas del suelo (Taboada y Guadarrama, 2008).

En cuanto a las variables de crecimiento de las plantas de amaranto el sitio 1 fue estadísticamente significativo respecto a las variables altura de planta, biomasa aérea y rendimiento de semilla ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 2). Específicamente en altura de planta, Torres *et al.* (2006) reportaron que en la variedad de amaranto Frondosa se tuvo una altura promedio de 1.5 m, mientras que en la variedad Tulyehualco el promedio fue de 2.5 m. Por otro lado, Taboada y Guadarrama (2008) encontraron en *Amaranthus hypochondriacus* L. una altura promedio de 1.4 m, al aplicar abonos orgánicos, valor menor que el obtenido en las plantas de los sitios analizados. Respecto a la biomasa aérea, Díaz *et al.* (2004) reportaron 28 270 kg ha<sup>-1</sup> y un rendimiento de semilla de 3 460 kg ha<sup>-1</sup>,

Generally, the results showed low soil fertility and low nutrient contents, even when applied, on average, 0.8 t ha<sup>-1</sup> of bovine manure before planting. Incorporating manure results in availability of nutrients for the cultivation and between soil properties that may be more fluid in das are organic matter, CEC and pH, plus it favors soil structure, its Aeration and water retention capacity. However, to incorporate significant amounts of fresh N are lost, mainly due to volatilization (Bolton *et al.*, 2004).

Thenmozhi and Paulraj (2010) reported that applying compost based waste sugarcane cultivated amaranth soil levels of N, P and K increased by 21.2%, 23.5% and 14.2%, respectively. Akanni *et al.* (2011), found that Amaranth values in soils with 2.7% N, 0.08 mg P kg<sup>-1</sup> and 7.1 mg kg<sup>-1</sup> of K, applying 10 t ha<sup>-1</sup> of an organic-mineral fertilizer, comprising manure, sewage sludge and single superphosphate, values that differ from those reported in this paper do. Organic fertilizers respond satisfactorily to grow amaranth, particularly in performance, and improve soil properties of the soil (Guadarrama and Taboada, 2008).

As to the growth variables of the amaranth plant site 1 was statistically significant or respect to plant height, biomass and seed yield to ( $p \leq 0.05$ ) (Table 2). Specifically in plant height, Torres *et al.* (2006) reported that in the variety of amaranth Frondosa an average height of 1.5 m was taken, while the variety Tulyehualco average was 2.5 m. On the other hand, Guadarrama and Taboada (2008) found in *Amaranthus hypochondriacus* L. an average height of 1.4 m, applying organic fertilizers, and l lower value obtained in plants of the site l. Regarding biomass, Díaz *et al.* (2004) reported 28 270 kg ha<sup>-1</sup> and seed yield 3 460 kg ha<sup>-1</sup>, close values to those found in the site 1 and lower than those of 2 and 3 sites variable considered l as more important among producers, because it represents economic, circumstances depending on the nutrient content in the soil, the range of the plant and soil conditions and other factors (Singh *et al.*, 2009).

When analyzing the N content in the leaves of amaranth sites evaluated, concentrations considered criticism then according to the classification of Alcántar and Sandoval (1999), and the percentage of P and K was encountered in a range of proficiency. Troiani *et al.* (2005), in a study on the impact of chemical fertilizers on soil and cultivated amaranth l, obtained with P in plant 0.27%, similar to that found in the leaves of amaranth the site 1 (Table 2). Akanni *et al.*

valores cercanos a los encontrados en el Sitio 1 e inferiores a los de los sitios 2 y 3, variable considerada como la más importante entre los productores, debido a que representa beneficios económicos, circunstancia que depende del contenido nutrimental en el suelo, la variedad de la planta y las condiciones edáficas, entre otros factores (Singh *et al.*, 2009).

Al analizar el contenido de N en las hojas de amaranto en los sitios evaluados, las concentraciones se consideran críticas, de acuerdo con la clasificación de Alcántar y Sandoval (1999), y los porcentajes de P y K se encontraron en un rango de suficiencia. Troiani *et al.* (2005), en un estudio sobre la incidencia de la fertilización química en el suelo cultivado con amaranto, obtuvieron una concentración de P en la planta de 0.27%, valor similar al encontrado en las hojas de amaranto del sitio 1 (Cuadro 2). Akanni *et al.* (2011) reportaron que, al aplicar un fertilizante organomineral al suelo, las hojas de las plantas de amaranto presentaron una concentración de N de 0.74%, 0.27% de P y 0.83% de K; por otro lado, al aplicar diferentes cantidades de compostas elaboradas a base de lodos residuales, se reportó una concentración de N y K en hojas de amaranto de 0.58 y 0.20% (Pradeepkumar *et al.*, 2011).

(2011) reported that applying an organ-mineral fertilizer to the soil, the leaves of the amaranth plant presented a N concentration of 0.74%, 0.27% P and 0.83% K, on the other hand, by applying different amounts of compost produced as sludge base, with an a c was reported in concentration of N and K in leaves Amaranth 0.58 and 0.20% (Pradeepkumar *et al.*, 2011).

The correlation matrix between variables amaranth growth and soil properties are presented in Table 3, there were significant positive correlations ( $p < 0.05$ ) between the CIC, silt and clay with RS, indicating that as the exchange sites in the soil increases, RS increases, mainly due to the availability of nutrients. L BA correlated positively and significantly ( $p < 0.05$ ) with silt and clay. While negatively with sand content soils with a high sand content, are often unable to store enough water to allow good plant growth and therefore large amounts of nutrients by leaching, however lost, soils with a higher proportion of clay and silt are very permeable, are excellent deposit will retain water and nutrients that can be used by plants (Jaramillo, 2002).

#### Cuadro 2. Altura de planta, biomasa aérea, rendimiento de semilla y concentración de Nt, P, K en amaranto.

Table 2. Plant height, biomass, seed yield and concentration Nt, P, K in amaranth.

| Variable                  | Sitio 1       | Sitio 2        | Sitio 3        |
|---------------------------|---------------|----------------|----------------|
| AP (m)                    | 1.9 ± 0.2 a*  | 1.5 ± 0.1 b    | 1.6 ± 0.4 b    |
| BA (kg ha <sup>-1</sup> ) | 20 27 ± 9.3 a | 13 887 ± 5.6 b | 16 665 ± 1.6 b |
| RS (kg ha <sup>-1</sup> ) | 4 583 ± 0.2 a | 433 ± 2.2 b    | 625 ± 2.4 b    |
| N (%)                     | 0.9 ± 0.01 a  | 1.0 ± 0.6 a    | 1.0 ± 0.8 a    |
| P (%)                     | 0.2 ± 0.01 a  | 1.0 ± 0.7 a    | 1.0 ± 0.8 a    |
| K (%)                     | 2.0 ± 0.03 a  | 1.0 ± 0.7 a    | 1.1 ± 0.8 a    |

\*Media Tukey ± DE (n = 18).  $p \leq 0.05$ . Medias con la misma letra por fila son iguales estadísticamente. AP= altura de planta; BA= biomasa aérea; RS= rendimiento de semilla.

En el Cuadro 3 se presenta la matriz de correlación entre las variables de crecimiento de amaranto y las propiedades edáficas, existieron correlaciones positivas y significativas ( $p < 0.05$ ) entre la CIC, contenido de limo y arcilla con RS, lo que indica que a medida que se incrementan los sitios de intercambio en el suelo, aumenta el RS, debido principalmente a la disponibilidad de nutrimentos. La BA correlaciona positiva y significativamente ( $p < 0.05$ ) con el contenido de limo y arcilla; mientras que de forma negativa con el contenido de arena. Los suelos con un contenido elevado de arena, suelen ser incapaces de almacenar agua suficiente como para permitir el buen crecimiento de las plantas y por lo tanto, se pierden grandes cantidades de nutrimentos por lixiviación, en cambio, los suelos con una mayor proporción de arcillas

Among the variables growth amaranth, AP had a positive and significant correlation ( $p < 0.05$ ) with the BA and RS, as well as the BA with the RS. Which means that the more AP you have an increase in BA and the RS. Here, Pospisil *et al.* (2006) reported positive and significant correlations between the AP and the length of the inflorescence and between the length of the inflorescence and the RS.

The content of chlorophyll a and b in leaves of amaranth (Table 4) was determined and no statistically significant differences among the sites tested ( $p \leq 0.05$ ). Nagamatsu *et al.* (2004) reported a chlorophyll a concentration of 69-143 mg g<sup>-1</sup> amaranth sheets, below the value found in this study. Similarly, plants and *Amaranthus cruentus*,

y limo son poco permeables, son depósitos excelentes de agua y retienen nutrientes que pueden ser utilizados por las plantas (Jaramillo, 2002).

Adebooye *et al.* (2008) we obtained chlorophyll concentration of 1.32 mg g<sup>-1</sup>, while chlorophyll b was 4.37 mg g<sup>-1</sup> leaves, lower values depending on the availability of

### Cuadro 3. Análisis de correlación entre las variables de crecimiento de amaranto y edáficas evaluadas.

Table 3. Correlation analysis between the growth variables of amaranth evaluated.

|         | pH | CE      | MO      | CIC      | Dap      | Arena    | Limo     | Arcilla  | AP      | BA       | RS      |
|---------|----|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|
| pH      |    | -0.4912 | -0.0797 | -0.0934  | -0.4328  | 0.5976   | -0.4971  | -0.7023* | -0.3437 | -0.4931  | -0.4016 |
| CE      |    |         | -0.3830 | -0.7946* | -0.9733* | 0.3312   | -0.1813  | -0.4494  | -0.3197 | -0.2054  | -0.5341 |
| MO      |    |         |         | 0.4048   | -0.2553  | -0.3151  | 0.3430   | 0.2669   | 0.3026  | 0.3752   | 0.3669  |
| CIC     |    |         |         |          | -0.8296* | -0.8337* | 0.8977*  | 0.7386*  | 0.6024  | 0.6105   | 0.9330* |
| Dap     |    |         |         |          |          | 0.4074   | -0.5207  | -0.2654  | -0.2879 | -0.1718  | -0.5915 |
| Arena   |    |         |         |          |          |          | -0.9916* | -0.9879* | -0.6219 | -0.7387* | 0.9693* |
| Limo    |    |         |         |          |          |          |          | 0.9598*  | 0.6299  | 0.7231*  | 0.9898* |
| Arcilla |    |         |         |          |          |          |          |          | 0.5963  | 0.7336*  | 0.9231* |
| AP      |    |         |         |          |          |          |          |          |         | 0.8720*  | 0.6836* |
| BA      |    |         |         |          |          |          |          |          |         |          | 0.7428* |
| RS      |    |         |         |          |          |          |          |          |         |          |         |

CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica; CIC= capacidad de intercambio catiónico; Dap= densidad aparente; AP= altura de planta; BA= biomasa aérea; RS= rendimiento de semilla. \*  $p < 0.05$ . Coeficiente de Pearson.

Entre las variables de crecimiento de amaranto, la AP presentó una correlación positiva y significativa ( $p < 0.05$ ) con la BA y el RS, así como la BA con el RS. Lo que significa que a mayor AP se tiene un aumento en la BA y en el RS. En este sentido, Pospisil *et al.* (2006) reportaron correlaciones positivas y significativas entre la AP y la longitud de la inflorescencia, así como entre la longitud de la inflorescencia y el RS.

Se determinó el contenido de clorofila *a* y *b* en las hojas de amaranto (Cuadro 4) y no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los sitios evaluados ( $p \leq 0.05$ ). Nagamatsu *et al.* (2004) reportaron una concentración de clorofila *a* de 69 a 143 mg g<sup>-1</sup> en hojas de amaranto, valores inferiores a los encontrados en este estudio. De la misma manera, en plantas de *Amaranthus cruentus*, Adebooye *et al.* (2008) obtuvieron una concentración de clorofila *a* de 1.32 mg g<sup>-1</sup>, mientras que de clorofila *b* fue de 4.37 mg g<sup>-1</sup> en hojas, valores menores que dependen de la disponibilidad de nutrientes. Sánchez *et al.* (2007) y Nakashima *et al.* (2011) reportaron que los niveles de N y K correlacionan en una dirección positiva con la concentración de clorofila, lo que depende de la especie de la planta, los factores ambientales y condiciones nutrimentales.

nutrients. Sánchez *et al.* (2007) and Nakashima *et al.* (2011) reported that the levels of N and K are correlated in a positive direction with chlorophyll concentration, which depends on the plant species, environmental factors and nutritional conditions.

The linear relationship between the chlorophyll (a and b) and the concentration of N, P and K (Table analyzed 5). The determination coefficient of the different models was less than 30%, however, the adjusted model between chlorophyll and N was significant and explains 26.76% of the variability in the data (Figure 1a) and in the same manner, the pattern between chlorophyll b and K explains 23.77% variability (Figure 1b). The amount of chlorophyll is an indicator of the ability photosynthetic plants, as a measure the dimensions of the photosynthetic apparatus and of its efficiency which determine biomass production of the plant in different operating conditions. Adebooye *et al.* (2008) mention that the chlorophyll is positively associated with the rate of photosynthesis and thereby increases the production of biomass and seed yield. Malathy *et al.* (20 January 2) show that the genetic

### Cuadro 4. Concentración de clorofila (*a* y *b*) en amaranto.

Table 4. Concentration of chlorophyll (*a* and *b*) in amaranth.

| Clorofila                                       | Sitio 1        | Sitio 2      | Sitio 3        |
|---|----------------|--------------|----------------|
| Clorofila <i>a</i> (mg g <sup>-1</sup> de hoja) | 133.4 ± 14.7 a | 155.2 ± 24 a | 164.9 ± 27.2 a |
| Clorofila <i>b</i> (mg g <sup>-1</sup> de hoja) | 32.3 ± 7.6 a   | 62.8 ± 15 a  | 58.8 ± 17.9 a  |

\*Media Tukey ± DE (n = 18).  $p \leq 0.05$ . Medias con la misma letra por fila son iguales estadísticamente.



Se analizó la relación lineal entre la clorofila (*a* y *b*) y la concentración de N, P y K (Cuadro 5). El coeficiente de determinación de los diferentes modelos fue menor a 30%; sin embargo, el modelo ajustado entre clorofila *a* y N fue significativo y explica el 26.76% de la variabilidad de los datos (Figura 1a) y de la misma manera, el modelo entre clorofila *b* y K explica el 23.77% de la variabilidad (Figura 1b). La cantidad de clorofila constituye uno de los indicadores de la capacidad fotosintética de las plantas, ya que representa una medida de las dimensiones del sistema fotosintético y de su eficiencia, lo que determina la producción de biomasa de la planta en diferentes condiciones de explotación. Adebooye *et al.* (2008) mencionan que la clorofila se asocia de forma positiva con la tasa de fotosíntesis y por lo tanto, aumenta la producción de biomasa y rendimiento de la semilla. Malathy *et al.* (2012) señalan que la conformación genética de la planta de amaranto y los factores ambientales influyen de forma significativa en la producción de pigmentos y en el crecimiento.

makeup of the amaranth plant and environmental factors significantly influence the production of pigments and growth.

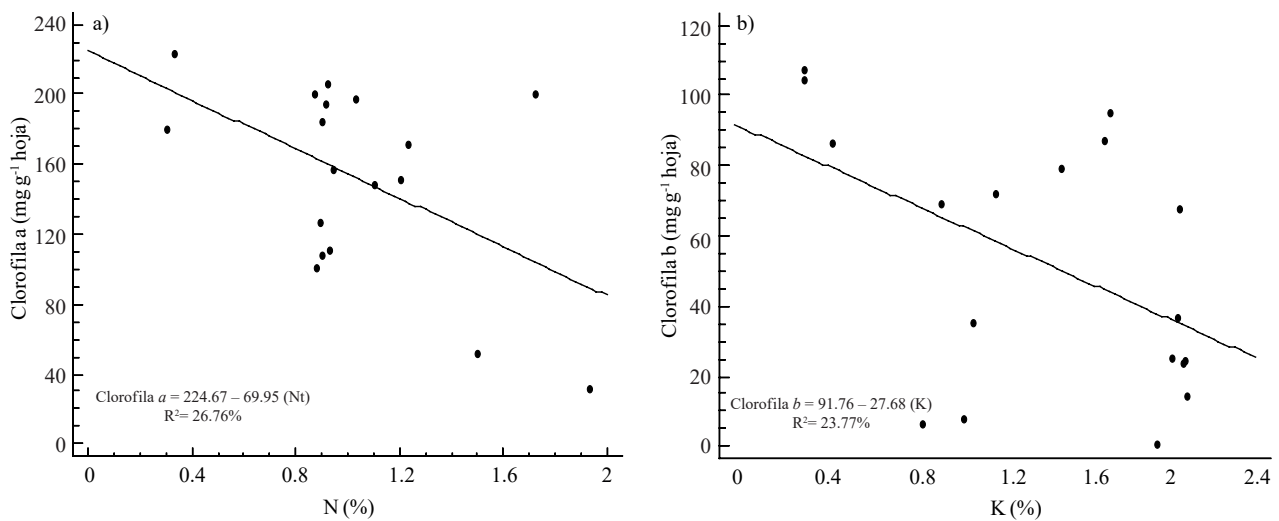
### Conclusions

The soils tested had low fertility even with the application of organic matter in the form of manure. Amaranth plants had critical concentrations of N, while the levels of P and K were sufficient. Site 1 reported the highest seed yield. Significant positive correlations between cation exchange capacity and seed yield, aboveground biomass between the content of silt and clay, and plant height with aboveground biomass and seed yield were taken. The content of chlorophyll (*a* and *b*) was not statistically significant between the sites, however, significant correlations ( $p < 0.05$ ) occurred between

**Cuadro 5. Análisis de regresión lineal entre el N, P y K de las hojas de amaranto y clorofila *a* y *b*.**  
**Table 5. Linear regression analysis between the N, P and K of amaranth leaves and chlorophyll *a* and *b*.**

| Nutrimento | Clorofila <i>a</i> = m(x) + b |          |                | Clorofila <i>b</i> = m(x) + b |         |                |
|------------|-------------------------------|----------|----------------|-------------------------------|---------|----------------|
|            | n=18                          |          |                | n=18                          |         |                |
|            | m                             | b        | R <sup>2</sup> | m                             | b       | R <sup>2</sup> |
| N          | -69.95 *                      | 224.67 * | 26.76% *       | -36.9 ns                      | 90.54 * | 16.52% ns      |
| P          | -13.99 ns                     | 165.04 * | 2.39% ns       | -0.014 ns                     | 52.67 * | 0.54% ns       |
| K          | -33.37 ns                     | 200 *    | 15.57% ns      | -27.68 *                      | 91.76 * | 23.77% *       |

Clorofila *a* y *b* (mg g<sup>-1</sup> hoja). x= nutrimento; Nt= nitrógeno total; P= fósforo; K= potasio. m= pendiente; b= intercepto, R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación. ns= no significativo; \*= nivel de significancia al 95%.



**Figura 1. a) relación entre clorofila *a* (mg g<sup>-1</sup> hoja) y la concentración de N (%). b) relación entre clorofila *b* (mg g<sup>-1</sup> hoja) y la concentración de K (%).**

**Figure 1. a) relation between chlorophyll *a* (mg g<sup>-1</sup> leaf) and the concentration of N (%). b) r elation between chlorophyll *b* (mg g<sup>-1</sup> leaf) and the concentration of K (%).**

## Conclusiones

Los suelos evaluados presentaron baja fertilidad aún con la aplicación de materia orgánica en forma de estiércol. Las plantas de amaranto tuvieron concentraciones críticas de N; mientras que los niveles de P y K fueron suficientes. El Sitio 1 reportó el mayor rendimiento de semilla. Se tuvieron correlaciones positivas y significativas entre la capacidad de intercambio catiónico y el rendimiento de semilla, entre la biomasa aérea con el contenido de limo y arcilla, así como la altura de planta con la biomasa aérea y el rendimiento de semilla. El contenido de clorofila (*a* y *b*) no fue estadísticamente significativo entre los sitios; sin embargo, se presentaron correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ) entre clorofila *a* y concentración de N y clorofila *b* con los niveles de K. De acuerdo a estos resultados, se recomienda continuar con el monitoreo de la fertilidad del suelo y su contenido nutrimental, así como ampliar los estudios sobre determinar la concentración de pigmentos fotosintéticos y su relación con el rendimiento de la planta.

## Literatura citada

- Adebooye, C. O.; Vijayalakshmi, R. and Singh, V. 2008. Peroxidase activity, chlorophylls and antioxidant profile of two leaf vegetables (*Solanum nigrum* L. and *Amaranthus cruentus* L.) under six pretreatment methods before cooking. *Inter. J. Food Sci. Technol.* 43:173-178.
- Akanni, D. I.; Ojeniyi, S. O. and Awodun, M. A. 2011. Soil properties, growth yield and nutrient content of maize, pepper and amaranthus as influence by organic and organomineral fertilizer. *J. Agric. Sci. Technol.* 1:1074-1078.
- Alcántar, G. G. y Sandoval, M. V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- Bolton, A.; Studdert, G. A. y Echeverría, H. E. 2004. Utilización de estiércol de animales en confinamiento como fuente de recursos para la agricultura. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24:53-73.
- Bray, R. H. and Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. *In: methods of soil analysis.* Black, C. A. (Ed.). Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 1149-1178 pp.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle, B. J. X. y Aguilar, S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª. (Ed.). Colección INCAPA. 226 p.
- Chapman, H. D. 1965. Cation Exchange capacity. *In: Black, C. A. (Ed.). Methods of analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.*
- Cottenie, A. 1980. Los análisis de suelos y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. *Boletín de suelos de la FAO 38/2.* FAO, Roma, Italia.
- chlorophyll and N concentration and chlorophyll b levels K. According to these results you, it is recommended to continue the monitoring of soil fertility and nutrient content, and extend studies determining the concentration of photosynthetic pigments and their relationship with plant performance.

*End of the English version*



- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. 31 de diciembre de 2002. 85 p.
- Díaz, O. A. C.; Escalante, J. 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 Latinoamericana.* 22:109-116.
- Gutiérrez, R. M.; Reynolds, P. M.; Escalante, E. J. A. y Larqué-Saavedra, A. 2005. Algunas consideraciones entre la relación entre fotosíntesis y el rendimiento de granos de trigo. *Ciencia Ergo Sum.* 12: 149-154.
- Hernández J. L. 2007. Métodos para el análisis físico de los suelos. Manual de laboratorio. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Ediciones INCA, La Habana, Cuba. 54 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Nativitas, Tlaxcala. Clave Geoestadística 29023. 9 p.
- Jackson, M. L. 1976. Análisis químico de suelos. Trad. al español por Beltrán, M. J. 3ª. (Ed.). Omega. Barcelona, España. 622 p.
- Jaramillo, J. D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. 619 p.
- Martínez, G. J. C. 2010. Variedades sobresalientes de amaranto en el estado de Tlaxcala. Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE)-Sitio Experimental Tlaxcala. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Desplegable para productores Núm. 8. 2 p.
- Malathy, P.; Suraweera, D. D.; Daundasekara, W. A. M.; Nilanthi, W. D. G. P. and Wahundeniya, K. B. 2012. Determination of yielding ability, free radical scavenging activity, protein and carotenoid contents of selected genotypes of *Amaranthus tricolor*. *APCBEE Procedia* 4:243-247.
- Millán, E.; Abadía, J. and Heras, L. 1981. Ca, Mg and K in soil and plant: Analytical methods and relationships between contents. *An. Aula Dei* 15:424-438.
- Nagamatsu, L. Y.; Blanco, L. A.; Délano, F. J. y Pimienta, B. E. 2004. Intensidad luminosa y actividad de inhibidores de tripsina en hojas y semillas de amaranto. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:127-132.
- Nakashima, T.; Araki, T. and Ueno, O. 2011. Photoprotective function of betacyanin in leaves of *Amaranthus cruentus* L. under water stress. *Photosynthetica* 49:497-506.
- Olufolaji, A. O.; Odeleye, F. O. and Ojo, O. D. 2010. Effect of soil moisture stress on the emergence, establishment and productivity of amaranthus (*Amaranthus cruentus* L.). *Agricul. Biol. J. North Am.* 1:1169-1181.

- Pradeepkumar, T.; Sureshkumar, P.; Sureshbabu, K. V. and Krishnakumary, K. 2011. Effect of sludge based compost on bhindi [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench] and amaranth (*Amaranthus dubios* Mart.) and soil fertility. *J. Trop. Agric.* 49:124-127.
- Pospisil, A.; Pospisil, M. and Svecnjak, V. Z. 2006. Grain yield and protein concentration of two amaranth species (*Amaranthus* spp.) as influenced by the nitrogen fertilization. *Europ. J. Agron.* 25:250-253.
- Revelli G. R.; Gagliardi, R. C.; Sbodio, O. A. y Tercero, E. J. 2010. Propiedades fisicoquímicas en suelos predominantes del noroeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero, Argentina. *Rev. Suelo Argentina.* 28:123-130.
- Richards L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ª. Ed. Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América. Editorial Limusa, México. D.F.
- Rodríguez F. H. y Rodríguez A. J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Ed. Trillas, México, D. F. 196 p.
- Romanyà, J.; Rovira, P. y Vallejo, R. 2007. Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. *Ecosistemas* 16:50-57.
- Sánchez, P. G.; Molinos, C. S.; Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 2007. Diagnóstico nutricional en plantas. *En: Alcántar, G. G. y Trejo, T. L. I. (Ed.). Nutrición de cultivos.* Mundi Prensa. México, D. F. 200-247 pp.
- Singh, S.; Kumari, R.; Agrawal, M. and Agrawal, S. B. 2009. Modification of growth and yields responses of *Amaranthus tricolor* L. to UV-B under varying mineral nutrient supply. *Scientia Horticulturae* 120:173-180.
- StatPoint Technologies. 2011. Statgraphics Centurion XVI. Software estadístico versión en español. United States.
- Taboada, S. M. y Guadarrama, R. O. 2008. Empleo de abonos orgánicos en amaranto (*Amaranthus* spp.) un cultivo potencialmente sustentable. *Inv. Agrop.* 5:127-140.
- Thenmozhi, S. and Paulraj, C. 2010. Effect of compost on yield of *Amaranthus* and soil fertility. *Agricultural Sci. Digest.* 30:90-93.
- Torres, S. G.; Trinidad, S. A.; Reyna, T. T.; Castillo, J. H.; Escalante, E. A. y León, G. F. 2006. Respuesta de genotipos de amaranto a densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 307-312.
- Trejo, T. L. I.; Rodríguez, M. N. y Alcántar, G. G. 2007. Fertilización foliar. *In: Alcántar, G. G. y Trejo, T. L. I. (Coord.). Nutrición de cultivos.* Mundi Prensa, México, D. F. 326-363 pp.
- Troiani, R. M.; Sánchez, T. y Antón de Ferramola, L. 2005. Incidencia de la fertilización en amaranto zona semiárida pampeana. *Rev. FCA UNCuyo* 2:65-71.
- Trucco, F. and Tranet, P. J. 2011. *Amaranthus*. *In: Chittaranjan, K. Wild crop relatives: Genomic and Breeding Resources.* Springer-Verlag, Berlin, Germany. 282 p.
- Wellburn. A. R. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant Physiol.* 44:307-313.