

## Eficacia de formulaciones y dosis de calcio en el rendimiento de pimiento morrón\*

### Formulations and dose effectiveness of calcium pimiento performance

Vicente Álvarez Mares, Leopoldo Partida Ruvalcaba<sup>§</sup>, Fidel Godoy Vega, Heidi Melania Medina Montenegro, Sabino Millán Ocampo, Antonio Cárdenas Flores y Héctor Manuel Cárdenas Cota

Universidad Tecnológica de Culiacán. Carretera Culiacán-Imala km 2, colonia Los Ángeles, en la ciudad educadora del saber, C. P. 80014, Culiacán de Rosales, Sinaloa, México. (alvarezmares@utculiacan.edu.mx; fidel\_godoy21@hotmail.com; medina.heidi@utculiacan.edu.mx; sabino.millan@utculiacan.edu.mx; acardenasfa@utculiacan.edu.mx; hectorcardenas@utculiacan.edu.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: parpolo@yahoo.com.mx.

#### Resumen

Con el objetivo de conocer la eficacia de formulaciones de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, así como la dosis más adecuada de cada formulación, para inducir mayor rendimiento de frutos en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.), se realizó la investigación en un invernadero tipo capilla, al trasplantar una planta por maceta de plástico con capacidad de 12 L, en las cuales se aplicaron dosis de 21, 20, 19, 18, 17, 16 y 15  $\text{L ha}^{-1}$  de solución con cada formulación. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento. Las formulaciones más adecuadas fueron la de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1, ya que la primera ocasionó que el peso seco de frutos se incrementara 24.5, 31.9 y 44.4% en relación al que se obtuvo con las formulaciones de  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, respectivamente. Mientras que con el  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 los incrementos fueron de 5.9% en comparación al que se logró con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y 15.9% con respecto al obtenido con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3. De tal manera que el rendimiento de las plantas con  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq superó en los respectivos 11.2, 26.8 y 60.8% a los promedios que se obtuvieron con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, respectivamente. Con base al peso seco de frutos, las dosis más adecuadas fueron 17, 15, 18 y 19  $\text{L ha}^{-1}$ , en el mismo orden de las formulaciones de calcio mencionadas, pero con 15 y 17  $\text{L ha}^{-1}$  se tuvo más influencia en la sustentabilidad agrícola.

#### Abstract

In order to know the effectiveness of formulations  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3 as well as the most appropriate dose of each formulation, to induce greater fruit yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.), research was conducted in a chapel-type greenhouse, transplanting a plant plastic pot with a capacity of 12 L, in which doses were applied of 21, 20, 19, 18, 17, 16 and 15  $\text{L ha}^{-1}$  with each formulation solution. The experimental design was randomized complete block with three replicates per treatment. The most appropriate formulations were of  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1, since the first caused the dry weight of fruits was increased 24.5, 31.9 and 44.4% compared to that obtained with formulations  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, respectively. While the  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 increases were 5.9% compared to that achieved with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and 15.9% compared to that obtained with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3. So that the yield of plants with  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq exceeded the respective 11.2, 26.8 and 60.8% at the averages were obtained  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, respectively. Based on the dry weight of fruit, the most appropriate doses were 17, 15, 18 and 19  $\text{L ha}^{-1}$ , in the order of the formulations of calcium above, but with 15 and 17  $\text{L ha}^{-1}$  more influence had in agricultural sustainability.

\* Recibido: marzo de 2016  
Aceptado: junio de 2016

**Palabras clave:** altura de plantas, clorofila, materia seca de plantas y frutos.

**Keywords:** chlorophyll, dry matter of plants and fruits, plant height.

## Introducción

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) es uno de los cultivos más importantes en México, por su gran consumo en la población (Namesny, 2006) en México, la superficie cosechada es de 143 975 hectáreas con un rendimiento promedio de 16.2 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2015).

El Ca<sup>2+</sup> es un elemento alcalino-térreo (Feyerabend *et al.*, 2008), con radio iónico de 9.9 nm (Hu *et al.*, 2004), que tiene alta correlación con el suministro de La (lantano), de tal manera que con el suministro de lantano se eleva la acumulación de Ca<sup>2+</sup> en hojas por planta (Ramírez *et al.*, 2012). Es abundante en la mayoría de los suelos y rara vez se comporta como un factor limitante, salvo en suelos ácidos donde puede ser necesario el aporte de sales cálcicas (Bonilla, 2008), para complementar el requerimiento nutrimental del cultivo de chile, consistente en: N de 2.4-4 kg t<sup>-1</sup> de frutos, fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de 0.4-1, potasio (K<sub>2</sub>O) de 3.4-5.3, calcio (CaO) de 0.6-1.8 y magnesio (MgO) de 0.3- 0.5, aunque este requerimiento varía en los tipos, órganos y sistemas de producción de chile jalapeño, dulce y pimiento (Salazar y Juárez, 2013). Según Charlo *et al.* (2012), el pimiento puede extraer 81.3 kg ha<sup>-1</sup> y en él se pueden encontrar 0.84 kg t<sup>-1</sup> de fruto; Azoifeifa y Moreira (2004) reportan 38 kg ha<sup>-1</sup> y 0.82 kg t<sup>-1</sup>, respectivamente; Fontes *et al.* (2005) encontraron que el pimiento extrae 114 kg ha<sup>-1</sup> y contiene 2.2 kg t<sup>-1</sup>.

El ión Ca<sup>2+</sup> se difunde hacia el interior de la planta a favor de un gradiente de concentración y se transporta hacia fuera con la ayuda de bombas dependientes de ATP (Salisbury y Ross, 2000), y los síntomas de su deficiencia siempre son más pronunciados en los tejidos jóvenes (Kirkby y Pilbeam, 1984), de tal manera que las zonas meristemáticas de las raíces, tallos y hojas, donde existen divisiones celulares, son las más susceptibles, quizás porque se necesita calcio para que forme una nueva laminilla media en la placa celular que aparece entre las células hijas (Salisbury y Ross, 2000).

En la célula ocurren secuencias de reacciones que requieren Mn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Cl<sup>-</sup> ligados a un conjunto de polipéptidos, y otros datos experimentales sugieren que respuestas inducidas del fitocromo requieren intermediarios como el Ca<sup>2+</sup> y calmodulina y que estas sustancias juegan un papel en la

## Introduction

The cultivation of pepper (*Capsicum annuum* L.) is one of the most important crops in Mexico, for its large consumption in the population (Namesny, 2006) in Mexico, the harvested area is 143 975 hectares with a yield average 16.2 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2015).

The Ca<sup>2+</sup> is an alkaline earth (Feyerabend *et al.*, 2008), with ionic radius of 9.9 nm (Hu *et al.*, 2004) element having high correlation with the supply of La (*lanthanum*), such that with the supply of lanthanum rises the accumulation of Ca<sup>2+</sup> in leaves per plant (Ramírez *et al.*, 2012). It is abundant in most soils and rarely acts as a limiting factor, except in acidic soils where the contribution of calcium salts (Bonilla, 2008) may be necessary to complement the nutritional requirement from chili peppers, consisting of: N of 2.4-4 kg t<sup>-1</sup> fruits, phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) of 0.4-1, potassium (K<sub>2</sub>O) of 3.4-5.3, calcium (CaO) of 0.6-1.8 and magnesium (MgO) of 0.3- 0.5, although this requirement varies in types, organs and systems of production jalapeno pepper, sweet pepper (Salazar and Juárez, 2013). According Charlo *et al.* (2012), the pepper can extract 81.3 kg ha<sup>-1</sup> and it can be found 0.84 kg t<sup>-1</sup> of fruit; Azoifeifa and Moreira (2004) report 38 kg ha<sup>-1</sup> and 0.82 kg t<sup>-1</sup>, respectively; Fontes *et al.* (2005) found that the pepper extract 114 kg ha<sup>-1</sup> and containing 2.2 kg t<sup>-1</sup>.

The Ca<sup>2+</sup> ion diffuses into the ground for a concentration gradient and transported out with the aid of dependent pumps of ATP (Salisbury and Ross, 2000), and symptoms of deficiency are always more pronounced in young tissues (Kirkby and Pilbeam, 1984), such that the meristematic zones of the roots, stems and leaves, where there cell divisions, are most susceptible, possibly because calcium is needed to form a new middle lamella in cell plate that appears between the daughter cells (Salisbury and Ross, 2000).

In the cell occurs reaction sequences require Mn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Cl<sup>-</sup> linked to a set of polypeptides, and other experimental data suggest that induced responses of phytochrome require intermediaries such as Ca<sup>2+</sup> and calmodulin and that these substances play a role in phosphorylation nuclear proteins (Lea and Leegood, 1993). The Ca<sup>2+</sup> is an essential element for plants, since part of the Photosystem II (PS

fosforilación de proteínas nucleares (Lea y Leegood, 1993). El  $\text{Ca}^{2+}$  es un elemento esencial para las plantas, toda vez que forma parte del Fotosistema II (FS II) que está integrado por seis polipéptidos integrales (intrínsecos) que se encuentran conectados entre sí de manera no covalente, en donde el  $\text{Ca}^{2+}$  es esencial para la fotólisis del agua, y hasta donde se incorpora con ayuda de tres polipéptidos extrínsecos (periféricos) que son codificados por genes del núcleo (Salisbury y Ross, 2000).

Actualmente se reconoce que todos los organismos mantienen concentraciones inesperadamente bajas de  $\text{Ca}^{2+}$  libre en el citosol, habitualmente menores de  $1\ \mu\text{M}$  (Hepler y Wayne, 1985). Esto resulta cierto incluso cuando el calcio es tan abundante en muchas plantas, sobre todo leguminosas, como el fósforo, azufre y magnesio. La mayor parte del calcio que contienen las plantas se encuentra en las vacuolas centrales, y en las paredes celulares se encuentra unido a ciertos polisacáridos llamados pectatos (Kinzel, 1989).

En las vacuolas, el calcio suele precipitarse en forma de cristales de oxalato insolubles. En algunas especies, también se encuentra en forma de carbonato, fosfato o sulfato insoluble. Las concentraciones bajas de calcio, casi micromolares, deben mantenerse en parte para impedir la formación de sales de calcio insolubles, obtenidas a partir de ATP y de otros fosfatos orgánicos. Además, las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  por encima del margen micromolar inhiben la corriente citoplasmática (Williamson, 1984). Aunque se activan unas enzimas mediante  $\text{Ca}^{2+}$ , muchas otras quedan inhibidas, lo que hace todavía más necesario que las células mantengan concentraciones muy bajas de  $\text{Ca}^{2+}$  en el citosol, donde existen muchas enzimas (Salisbury y Ross, 2000). Una parte importante del  $\text{Ca}^{2+}$  existente en el citosol se une de forma directa a varias enzimas, como la pequeña proteína llamada calmodulina, con la que se une en forma reversible (Robert *et al.*, 1986), haciendo que la citada proteína se modifique en su estructura y entonces active a varias enzimas (Salisbury y Ross, 2000).

El  $\text{Ca}^{2+}$  también actúa en el huso acromático durante la división celular, el cual se requiere para el normal funcionamiento de las membranas celulares, y ha sido implicado como mensajero secundario en respuesta a condiciones ambientales y señales hormonales (Sanders *et al.* 1999). La aplicación de  $\text{Ca}^{2+}$  en la producción de repollo es indispensable (Amador *et al.*, 2008), porque este elemento asegura procesos, tales como la síntesis de paredes celulares, en la lámina media, donde forma pectato de calcio que confiere estabilidad y mantiene la integridad de éstas (Gordillo *et al.* 2004).

II) is composed of six integral polypeptides (intrinsic) that are connected together noncovalently, wherein the  $\text{Ca}^{2+}$  is essential to photolysis of water, and even where it is incorporated using three extrinsic polypeptides (peripheral) that are encoded by nuclear genes (Salisbury and Ross, 2000).

It is now recognized that all agencies remain unexpectedly low concentrations of free  $\text{Ca}^{2+}$  in the cytosol, usually less than  $1\ \mu\text{M}$  (Hepler and Wayne, 1985). This is true even when calcium is so abundant in many plants, especially legumes, such as phosphorus, sulfur and magnesium. Most plants containing calcium found in the central vacuoles, cell walls and is attached to certain polysaccharides called pectates (Kinzel, 1989).

In the vacuoles, usually calcium precipitated as insoluble oxalate crystals. In some species, also in the form of carbonate, phosphate or sulfate insoluble. The low concentrations of calcium, almost micromolar, should be kept in part to prevent the formation of insoluble calcium salts, obtained from ATP and other organic phosphates. Furthermore,  $\text{Ca}^{2+}$  concentrations in the micromolar range above inhibit cytoplasmic streaming (Williamson, 1984). Although enzymes are activated by  $\text{Ca}^{2+}$ , many others are inhibited, which makes it even more necessary that the cells remain very low concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  in the cytosol, where many enzymes (Salisbury and Ross, 2000) exist. An important part of  $\text{Ca}^{2+}$  existing in the cytosol binds directly to several enzymes, such as small protein called calmodulin, with which it binds reversibly (Robert *et al.*, 1986), making said protein is modified in structure and then to activate various enzymes (Salisbury and Ross, 2000).

The  $\text{Ca}^{2+}$  also acts on the spindle during cell division, which is required for normal functioning of cell membranes, and has been implicated as second messenger in response to environmental conditions and hormonal signals (Sanders *et al.* 1999). The application of  $\text{Ca}^{2+}$  in the production of cabbage is essential (Amador *et al.*, 2008), because this element ensures processes such as the synthesis of cell walls, in the middle lamella, which form calcium pectate which provides stability and maintains the integrity of these (Gordillo *et al.* 2004).

The calcium is very mobile and tends to accumulate in older organs, while higher metabolic activity (growing leaves, flowers, fruits and apical meristems) are the tissues that need a greater contribution; therefore this macronutrient

El calcio es poco móvil y tiende a acumularse en los órganos más viejos, mientras que los de mayor actividad metabólica (hojas en crecimiento, flores, frutos y meristemos apicales) son los tejidos que necesitan un mayor aporte; por tanto la deficiencia de este macronutriente afecta en primer lugar a las partes en formación y meristemos en crecimiento, donde queda fijado y prácticamente inmóvil en sus paredes celulares. Debido a esta inmovilidad, las hojas viejas pueden tener concentraciones normales de calcio, mientras que las hojas jóvenes, frutos u otros órganos, pueden presentar niveles por debajo de la normalidad (Chiu y Bould, 1977).

El proceso de transpiración y contenidos altos de agua en el suelo favorecen el flujo de masa y a su vez la movilidad de  $\text{Ca}^{2+}$  (Ansorena, 1994), de tal manera que con altas dosis de  $\text{Ca}^{2+}$  las cantidades de este elemento que no logran entrar al citosol quedan en la pared celular, situación que genera células más pesadas (Marschner, 2002).

El objetivo de esta investigación fue determinar la eficacia de las formulaciones de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, en el índice de verdor de hojas y rendimiento por unidad de superficie, así como la dosis más adecuada de cada solución, para inducir la producción de más materia seca en plantas y frutos de pimiento morrón.

## Materiales y métodos

La presente investigación se realizó durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2014 a 2015 en un invernadero tipo capilla, instalado en el campo experimental de la Universidad Tecnológica de Culiacán, ubicado en el km 2 de la carretera Culiacán-Imala, colonia Los Ángeles, Culiacán, Sinaloa, con coordenadas  $24^\circ 50' 30''$  latitud norte y  $107^\circ 50' 30''$  longitud oeste, en altura de 58 msnm. Según García (1988), el clima es  $B_1S_1$ , semiárido con lluvias en verano e invierno y 670 mm de precipitación anual. La temperatura media anual es de  $24^\circ\text{C}$ , con máximas de  $41^\circ\text{C}$  en verano y mínimas de  $5^\circ\text{C}$  en invierno, y humedad relativa promedio de 66.6% anual.

El cultivar de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) utilizado fue 'Capia Rojo' Syngenta®; el sustrato consistió en una mezcla de peat moss, perlita, vermiculita y arena en proporciones volumen: volumen (v:v) de 1:1:1:1; antes de depositar el sustrato en las macetas hechas con bolsas de plástico con capacidad de 12 L, éstas fueron tratadas por imbibición en solución con *Trichoderma harzianum*

deficiency primarily affects the parties in forming and growing meristems, where it is fixed and practically motionless in their cell walls. Because of this immobility, older leaves may have normal levels of calcium, while young leaves, fruits or other organs, may have levels below normal (Chiu and Bould, 1977).

Transpiration and high water content in the soil favorable mass flow and in turn the mobility of  $\text{Ca}^{2+}$  (Ansorena, 1994), such that with high doses of  $\text{Ca}^{2+}$  quantities of this element that fail to enter the cytosol remain in the cell wall situation creates heavier cells (Marschner, 2002).

The objective of this research was to determine the efficacy of formulations  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, greenness index leaf and yield per unit area and the best dose of each solution to induce the production of more dry matter in plants and fruits pimiento.

## Materials and methods

This research was conducted during the season autumn-winter 2014-2015 in a greenhouse chapel type, installed in the experimental field of the Technological University of Culiacan, located at km 2 of the Culiacan-Imala highway, colony the Angeles, Culiacan, Sinaloa, with coordinates  $24^\circ 50' 30''$  north latitude and  $107^\circ 50' 30''$  west longitude, height of 58 masl. According to Garcia (1988), the climate is  $B_1S_1$ , semi-arid with rains in summer and winter and 670 mm of annual precipitation. The average annual temperature is  $24^\circ\text{C}$ , with highs of  $41^\circ\text{C}$  in summer and minimum of  $5^\circ\text{C}$  in winter, and average relative humidity of 66.6% annually.

The cultivating pimiento (*Capsicum annuum* L.) used was Capia Rojo' Syngenta®; the substrate consisted of a mixture of peat moss, perlite, vermiculite and sand in proportions volume:volume (v:v) of 1:1:1:1; before depositing the substrate in the pots made with plastic bags with a capacity of 12 L, they were treated by soaking in solution with *Trichoderma harzianum* ( $2 \times 10^{12}$  ufc  $\text{g}^{-1}$ ), *Bacillus subtilis* ( $2 \times 10^{12}$  ufc  $\text{mL}^{-1}$ ) and *Bacillus thuringiensis* ( $2 \times 10^{12}$  ufc  $\text{mL}^{-1}$ ) in order to promote root growth and prevent post-transplant stress. The transplant took place on October 19, 2014, with one plant per pot. Tutored plants two stems were handled with plastic sustained raffia strands of wire stretched horizontally along the greenhouse; defoliation and pruning plants were as they required.

( $2 \times 10^{12}$  ufc  $g^{-1}$ ), *Bacillus subtilis* ( $2 \times 10^{12}$  ufc  $mL^{-1}$ ) y *Bacillus thuringiensis* ( $2 \times 10^{12}$  ufc  $mL^{-1}$ ) a fin de favorecer el crecimiento radicular y evitar el estrés post-trasplante. El trasplante se realizó el 19 de octubre de 2014, con una planta por maceta. Las plantas se manejaron a dos tallos tutorados con rafia de plástico sostenida en hilos de alambre tendidos horizontalmente a lo largo del invernadero; el deshoje y podas se hicieron conforme las plantas lo requirieron.

Las fuentes de calcio (tratamientos) fueron: nitrato de calcio líquido [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> líq] formulado a 18-0-0-16 (CaO), nitrato de calcio soluble [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-1] con formulación de 10.1-0-0-17.3 (CaO), nitrato de calcio soluble [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-2] con fórmula 15.5-0-0-26.5 (CaO) y nitrato de calcio soluble [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-3] con fórmula 15-0-0-26 (CaO), a partir de las cuales se elaboraron las siete dosis o tratamientos siguientes: 21, 20, 19, 18, 17, 16 y 15 L ha<sup>-1</sup>, al considerar como base que son 18 L ha<sup>-1</sup> (testigo uno) lo que de cada formulación se recomienda comercialmente; cada dosis se aplicó tres veces por semana hasta el momento de la última cosecha de frutos mediante 1 200 mL por maceta; como testigo dos se aplicó la solución Steiner (1961) diariamente, excepto cuando se regó con solución de calcio, durante todo el periodo del cultivo (hasta el tercer corte) con la misma cantidad de mL por maceta. El diseño experimental fue bloques completos al azar, con tres repeticiones (tres macetas con una planta cada una) por tratamiento o dosis y 21 plantas por cada fuente de calcio.

Por medio de charolas colocadas por debajo de las macetas se capturó el agua drenada para analizar el pH y CE de la misma. Después de 18 días de haber aplicado los tratamientos, las muestras se tomaron cada tercer día, para hacer un total de 25 muestreos. El pH= 1.8 de entrada y pH= 4.5 de salida se determinaron con medidor portátil HANNA modelo HI-98128 y la CE= 1.2 de entrada y CE= 1.6 dS m<sup>-1</sup> de salida se determinaron con medidor portátil HANNA modelo HI-98331.

Las variables de estudio fueron contenido de clorofila, altura de plantas, peso fresco y seco de plantas, peso fresco y seco de frutos, así como el rendimiento por hectárea. El índice de verdor fue cuantificado por medio de un medidor de clorofila Minolta Spad-502 previamente calibrado, la altura se midió con un flexómetro, el peso seco se obtuvo mediante secado en estufa a 85 °C hasta peso constante, de tal forma que el peso fresco y seco de plantas y frutos, así como el rendimiento se determinaron con báscula de precisión marca Ohaus. Los datos se analizaron estadísticamente con el procedimiento proc glm del SAS Institute (1985) versión 6.12, utilizando

The sources of calcium (treatments) were: liquid calcium nitrate [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> líq] formulated 18-0-0-16 (CaO), calcium nitrate soluble [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-1] with formulation 10.1-0-0-17.3 (CaO), calcium nitrate soluble [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-2] with formula 15.5-0-0-26.5 (CaO) and calcium nitrate soluble ble [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-3] with formula 15-0-0-26 (CaO), from which the seven doses or treatments were made following: 21, 20, 19, 18, 17, 16 and 15 L ha<sup>-1</sup>, the considered base they are 18 L ha<sup>-1</sup> (control one) of each formulation which is commercially recommended; each dose was applied three times a week until the last harvest of fruits by 1 200 mL per pot; as witness two Steiner (1961) solution was applied daily, except when it is watered with calcium solution, throughout the culture period (up to the third cut) with the same amount of mL per pot. The experimental design was randomized complete blocks, with three replicates (three pots with one plant each) per treatment dose and 21 plants for each source of calcium.

Through trays placed below the pots drained water captured to analyze the pH and CE of the same. After 18 days of treatment applied, samples were taken every third day for a total of 25 samples. The pH= 1.8 and pH= 4.5 input output were determined with portable meter HANNA model HI-98128 and CE= 1.2 input and CE= 1.6 dS m<sup>-1</sup> output were determined with portable meter HANNA model HI-98331.

The study variables were chlorophyll content, plant height, fresh and dry weight of plants, fresh weight and dry fruit and yield per hectare. The greenness index was quantified by a chlorophyll meter Minolta SPAD-502 previously calibrated height was measured with a tape measure, the dry weight was obtained by oven drying at 85 °C to constant weight, so that the fresh plants and fruits dry weight and yield were determined with precision scale Ohaus brand. The data were analyzed statistically with proc glm procedure of SAS Institute (1985) version 6.12, using the multiple comparison test of means Duncan, with  $\alpha \leq 0.05$ , and the correlation between variables was done with the procedure proc corr the same statistical program.

## Results and discussion

The greenness index (Table 1) where it can be noted that the averages were statistically similar; however, in plants grown with (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-3 an increase of 4.1% over the average of the plants that were handled with (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> líq and 3.5% compared to the average of the plants had cultured with

la prueba de comparación múltiple de medias Duncan, con  $\alpha \leq 0.05$ , y la correlación entre variables se hizo con el procedimiento proc corr del mismo programa estadístico.

## Resultados y discusión

El índice de verdor (Cuadro 1) en donde puede notarse que los promedios fueron estadísticamente similares; sin embargo, en las plantas cultivadas con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3 se tuvo un incremento de 4.1% con respecto al promedio de las plantas que se manejaron con  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq y de 3.5% en relación a la media de las plantas cultivadas con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1. Además, con la solución de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq los respectivos incrementos fueron de 2.6 y 3.5% comparado con los promedios de las plantas en que se aplicaron  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2.

$(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1. Furthermore, with the solution  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq the respective increases were 2.6 and 3.5% compared to the averages of plants that were applied  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2.

The average height, fresh weight and dry plants were not statistically different, but  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq height increments of 5.1 and 2.4% were obtained in comparison with that of those which were grown with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2, respectively; the biggest increase (24.8%) of fresh weight was obtained  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq compared to the average of plants  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, but with respect to that cultured with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 was 1.8% and 9.1% in relation to expressing those handled with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2. The dry weight of the plants had its greatest expression with the solution of  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq, so that compared to what they achieved those cultured with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, the respective increases were 7.2, 7.6 and 12.1%.

**Cuadro 1. Contenido de clorofila, altura de plantas, peso fresco y seco de plantas de pimiento morrón cultivado con cuatro formulaciones de calcio.**

**Table 1. Contents of chlorophyll, plant height, fresh and dry weight of plants cultivated pimento with four formulations of calcium.**

Tratamientos	Verdor (unidades spad)	Altura de plantas (cm)	Peso fresco de plantas (g)	Peso seco de plantas (g)
$(\text{CaNO}_3)_2$ líq	50.3 a	55.2 a	200.9 a	50.9 a
$(\text{CaNO}_3)_2$ sol-1	48.6 a	53.1 a	197.3 a	47.5 a
$(\text{CaNO}_3)_2$ sol-2	49 a	54.5 a	184.2 a	47.3 a
$(\text{CaNO}_3)_2$ sol-3	50.6 a	55.8 a	161 a	45.4 a

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales Duncan,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Los promedios de altura, peso fresco y seco de plantas tampoco fueron estadísticamente diferentes, pero con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq se obtuvieron incrementos de altura de 5.1 y 2.4% en comparación con la de aquéllas que fueron cultivadas con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2, respectivamente; el mayor incremento (24.8%) de peso fresco se obtuvo con  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq en comparación con el promedio de las plantas con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, pero con respecto a las que se cultivaron con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 fue de 1.8% y de 9.1% en relación a la que expresaron las que se manejaron con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2. El peso seco de las plantas tuvo su mayor expresión con la solución de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq, de tal manera que comparado con lo que lograron las que se cultivaron con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, los respectivos incrementos fueron de 7.2, 7.6 y 12.1%.

The correlation between chlorophyll and plant height was  $r=0.93^*$  ( $p=0.05$ ); between height and fresh and dry weight of plants respective ratios were  $r=0.99^{**}$  ( $p=0.001$ ) and  $r=0.90^*$  ( $p=0.05$ ). The value of the relationship between chlorophyll and fresh weight of the plants was  $r=0.92^*$  ( $p=0.005$ ) and the dry weight reached the value of  $r=0.83$  ns ( $p=0.09$ ); while the ratio between the fresh weight and dry weight of plants was  $r=0.83$  ns ( $p=0.16$ ).

With the values in Table 2 could be calculated that with the solution  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 fresh weight of fruits was 13.1% higher in relation to that obtained with solution  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq; also, 23.8 and 16.7% over what was achieved with the respective solutions  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3; however, dry weight solution  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq which caused

La correlación entre clorofila y la altura de las plantas fue de  $r=0.93^*$  ( $p=0.05$ ); entre la altura y el peso fresco y seco de las plantas las respectivas relaciones fueron de  $r=0.99^{**}$  ( $p=0.001$ ) y  $r=0.90^*$  ( $p=0.05$ ). El valor de la relación entre clorofila y el peso fresco de las plantas fue de  $r=0.92^*$  ( $p=0.005$ ) y con el peso seco alcanzó el valor de  $r=0.83$  ns ( $p=0.09$ ); mientras que la relación entre el peso fresco y el peso seco de las plantas fue  $r=0.83$  ns ( $p=0.16$ ).

Con los valores del Cuadro 2 se pudo calcular que con la solución de  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 el peso fresco de frutos fue 13.1% superior en relación a lo obtenido con la solución  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq; asimismo, 23.8 y 16.7% con respecto a lo que se logró con las respectivas soluciones  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3; sin embargo, en peso seco la solución de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq fue la que ocasionó incrementos de 24.5, 32 y 44.4% en relación a lo que se obtuvo con las soluciones  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, respectivamente. A su vez, el peso seco obtenido de los frutos cosechados de las plantas cultivadas con el  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 superó en 6% al que se logró con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y 16% en comparación al que se obtuvo con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3; mientras que con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 el peso en cuestión superó en 9.4% al estimado a partir de los frutos cosechados de las plantas con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3. De tal manera que el rendimiento de las plantas con  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq superó en 11.2, 26.8 y 60.8% a los promedios que se obtuvieron con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, respectivamente. La correlación entre el peso seco de los frutos y el rendimiento por hectárea fue  $r=0.97$  ( $p=0.0001$ ).

Con los valores del Cuadro 3 se pudo calcular que con la dosis de  $17 \text{ L ha}^{-1}$  de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq, el promedio de peso fresco de frutos superó en 43.5% al promedio que se obtuvo con la solución Steiner y en 26.9% al que se logró con la dosis comercial ( $18 \text{ L ha}^{-1}$ ) de dicha solución; con la dosis de  $15 \text{ L ha}^{-1}$  de  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 el promedio superó en 77.1 y 51.5% a los respectivos promedios que se lograron con solución Steiner y la dosis comercial de dicha formulación, mientras que con la dosis de  $16 \text{ L ha}^{-1}$  los incrementos fueron de 82.6 y 56.3%; con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 la mejor dosis fue la comercial ( $18 \text{ L ha}^{-1}$ ), ya que se tuvo un incremento de 52.2% en relación al promedio logrado con solución Steiner; mientras que con  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3 la mejor dosis fue la de  $16 \text{ L ha}^{-1}$ , toda vez que con ella el incremento fue de 24.6% en comparación al promedio obtenido con solución Steiner y 23.4% al que se obtuvo con la dosis comercial de la misma formulación.

increases was 24.5, 32 and 44.4% compared to what was obtained with solutions  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, respectively. In turn, the dry weight obtained from fruits harvested from plants grown with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 exceeded 6% was achieved with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and 16% compared to that obtained with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3; whereas with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 weight in question exceeded the estimated 9.4% from the fruits harvested from plants with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3. So that the performance of plants  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq exceeded 11.2, 26.8 and 60.8% to the averages were obtained  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1,  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, respectively. The correlation between dry weight of fruits and yield per hectare  $r=0.97$  ( $p=0.0001$ ).

**Cuadro 2. Promedios de peso fresco, seco y rendimiento de frutos de pimiento morrón cultivado con cuatro formulaciones de calcio.**

**Table 2. Average fresh weight, dry and fruit yield cultivated pimiento with four formulations of calcium.**

Tratamientos	Peso fresco de frutos (g)	Peso seco de frutos (g)	Rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
$(\text{CaNO}_3)_2$ líq	126.42 ab	9.95 a	3604.3 a
$(\text{CaNO}_3)_2$ sol-1	142.96 a	7.99 ab	3242.1 ab
$(\text{CaNO}_3)_2$ sol-2	115.49 b	7.54 b	2841.8 ab
$(\text{CaNO}_3)_2$ sol-3	122.47 ab	6.89 b	2241.8 b

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales Duncan,  $\alpha \leq 0.05$ ).

With the values of Table 3 could be calculated with the dose of  $17 \text{ L ha}^{-1}$  of  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq, average fresh fruit weight exceeded the average 43.5% was obtained with the solution Steiner and 26.9% that was achieved with the commercial dose ( $18 \text{ L ha}^{-1}$ ) of said solution; dose of  $15 \text{ L ha}^{-1}$  of  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 the average exceeded 77.1 and 51.5% of the respective averages were achieved with Steiner solution and the commercial dose of said formulation, while with a dose of  $16 \text{ L ha}^{-1}$  increases were 82.6 and 56.3%; with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 the best dose was the commercial ( $18 \text{ L ha}^{-1}$ ), and an increase of 52.2% over the average achieved Steiner solution was held; whereas with  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3 the best dose was  $16 \text{ L ha}^{-1}$ , since with it the increase was 24.6% compared to the average obtained with Steiner solution, and 23.4% to that obtained with the commercial dose of the same formulation.

From the averages listed in Table 4 could be calculated with the dose of  $17 \text{ L ha}^{-1}$  of  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq, the dry fruit weight 15.8% increase relative to the average was achieved with

**Cuadro 3. Peso fresco de pimiento morrón cultivado con diferentes dosis de soluciones de calcio.**  
**Table 3. Fresh weight of pimiento cultivated with different doses of calcium solutions.**

Dosis de soluciones de calcio	(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> líq Peso fresco (g)	(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> sol-1 Peso fresco (g)	(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> sol-2 Peso fresco (g)	(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> sol-3 Peso fresco (g)
S. Steiner	110.7 a	104.46 a	97.04 a	131.8 ab
21 L ha <sup>-1</sup>	109.22 a	156.43 a	114.66 a	101.41 ab
20 L ha <sup>-1</sup>	142.27 a	107.91 a	101.04 a	100.53 ab
19 L ha <sup>-1</sup>	112.64 a	138.69 a	104.05 a	147.43 ab
18 L ha <sup>-1</sup>	125.2 a	122.08 a	147.72 a	133 ab
17 L ha <sup>-1</sup>	158.86 a	138.36 a	127 a	113.34 ab
16 L ha <sup>-1</sup>	108.26 a	190.78 a	130.12 a	164.2 a
15 L ha <sup>-1</sup>	143.63 a	185 a	102.31 a	88.04 b

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales Duncan,  $\alpha \leq 0.05$ .

A partir de los promedios que se indican en el Cuadro 4 se pudo calcular que con la dosis de 17 L ha<sup>-1</sup> de (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> líq, el peso seco de los frutos se incrementó 15.8% en relación al promedio que se logró con la solución Steiner y 33.2% con respecto a la dosis comercialmente recomendada; la mejor dosis de (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-1 fue la 15 L ha<sup>-1</sup>, ya que el incremento fue de 2.5 veces más en comparación al promedio que logrado con la solución Steiner y de 61% con respecto a lo obtenido con la dosis comercial. A partir del (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-2, la mejor respuesta se observó donde se aplicó la dosis comercial (18 L ha<sup>-1</sup>), misma que superó en 58.4% al promedio de peso seco obtenido con la solución Steiner; en tanto que del (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-3, la dosis de 19 L ha<sup>-1</sup> fue la que indujo mayor respuesta, toda vez que el incremento fue de 37.4% en relación al que se logró con la solución Steiner y 41.5% comparado con lo producido con la dosis comercial.

Steiner solution and 33.2% compared to the commercially recommended dose; the best dose of (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-1 was L ha<sup>-1</sup>, since the increase was 2.5 times more compared to the average achieved with the Steiner solution and 61% compared to that obtained with the dose commercial. From (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-2, the best response was observed where the same commercial dose (18 L ha<sup>-1</sup>), which exceeded the average 58.4% dry weight obtained with the Steiner solution was applied; while the (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sol-3, the dose of 19 L ha<sup>-1</sup> was what brought greater response, since the increase was 37.4% compared to that achieved with the Steiner solution, and 41.5% compared produced with the commercial dose.

The relative increases of greenness index, height, fresh and dry weight of crop plants with the solution of (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> líq, indicate that this is a practice which can be applied Ca<sup>2+</sup>

**Cuadro 4. Peso seco de pimiento morrón cultivado con diferentes dosis de soluciones de calcio.**  
**Table 4. Dry weight of pimiento cultivated with different doses of calcium solutions.**

Dosis de soluciones de calcio	(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> líq Peso seco (g)	(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> sol-1 Peso seco (g)	(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> sol-2 Peso seco (g)	(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> sol-3 Peso seco (g)
S. Steiner	10.47 ab	4.67 b	6.823 b	7.247 a
21 L ha <sup>-1</sup>	9.97 ab	10.373 ab	8.42 ab	7.047 a
20 L ha <sup>-1</sup>	11.713 ab	5.103 b	6.753 b	5.217 a
19 L ha <sup>-1</sup>	8.08 b	4.197 b	7.063 b	9.960 a
18 L ha <sup>-1</sup>	9.103 ab	7.797 ab	10.81 a	7.040 a
17 L ha <sup>-1</sup>	12.123 a	9.2 ab	6.723 b	5.877 a
16 L ha <sup>-1</sup>	8.947 ab	10.03 ab	7.213 b	7.6 a
15 L ha <sup>-1</sup>	9.213 ab	12.553 a	6.547 b	5.16 a

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales Duncan,  $\alpha \leq 0.05$ .



Los incrementos relativos del índice de verdor, altura, peso fresco y seco de las plantas cultivadas con la solución de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq, indican que ésta es una práctica con la que se puede aplicar  $\text{Ca}^{2+}$  al suelo, y que con ella se facilita más su difusión hacia el interior de las plantas de pimiento, ya que según Salisbury y Ross (2000) el  $\text{Ca}^{2+}$  se difunde hacia el interior de la planta a favor de un gradiente de concentración y se transporta hacia fuera con la ayuda de bombas dependientes de ATP. De tal manera que con la solución de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq las zonas meristemáticas de las raíces, tallos y hojas, donde ocurrieron divisiones celulares, fueron las más beneficiadas, quizás porque se necesitó calcio para que formaran nuevas laminillas medias en la placa celular que debieron aparecer entre las células hijas.

También tienen relación con lo reportado por Lea y Leegood (1993), quienes descubrieron que en la célula ocurren secuencias de reacciones que requieren  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Cl}^-$  ligados a un conjunto de polipéptidos, lo que quizás ocurrió en las plantas de pimiento, toda vez que al activarse enzimas que favorecen la síntesis de clorofila, ésta se incrementó y, en consecuencia, el proceso de fotosíntesis para generar más materia fresca y seca en los frutos y plantas en general. Materia que quizás también se incrementó debido a la fosforilación de proteínas en el núcleo, con las consecuencias en la división celular y en el rendimiento por unidad de superficie.

Estos resultados tienen relación con lo que reportan Salisbury y Ross (2000), ya que al existir más calcio disponible éste puede ser absorbido e incorporado en las partes celulares e influir en la división de las células para inducir el crecimiento y peso de los frutos, que son dos componentes del rendimiento de pimiento por unidad de superficie. Además, permiten comprender de mejor manera las diferencias en extracción de  $\text{Ca}^{2+}$  que mencionan Charlo *et al.* (2012), ya que éstos reportan que el pimiento puede extraer  $81.3 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras que Azofeifa y Moreira (2005) encontraron  $38 \text{ kg ha}^{-1}$  y Fontes *et al.* (2005) mencionan que el pimiento extrae  $114 \text{ kg ha}^{-1}$ . Es decir, dependiendo del estado del ión  $\text{Ca}^{2+}$  y la dosis, en este caso cada una de las formulaciones de donde se elaboraron las dosis, será la facilidad con que éste pueda ser absorbido por las plantas.

Los resultados que se lograron con las formulaciones de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1, en términos de materia seca y rendimiento por unidad de superficie, también tienen fuerte relación con lo reportado por Gordillo *et al.* (2004), toda vez que éstos descubrieron que el  $\text{Ca}^{2+}$  es el elemento que asegura procesos, tales como la síntesis de paredes celulares, en la

to the ground, and that comes with it more diffusion into pepper plants, since according Salisbury and Ross (2000) the  $\text{Ca}^{2+}$  diffuses into the ground for a concentration gradient and transported out with the aid of dependent pumps ATP. So that the solution  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq meristematic zones of the roots, stems and leaves, where cell divisions occurred, were the main beneficiaries, perhaps because calcium is needed to form new middle lamella in the cell plate they must appear between the daughter cells.

Also they related to what was reported by Lea and Leegood (1993), who found that in the cell occurs sequences of reactions requiring  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Cl}^-$  linked to a set of polypeptides, which perhaps occurred in pepper plants, all once activated enzymes that favor the chlorophyll synthesis, this increased and therefore, the process of photosynthesis to generate more fresh and dry matter in fruits and plants in general. Matter that perhaps due to increased phosphorylation of proteins in the nucleus, with the consequences in cell division and the yield per unit area.

These results are related to the reporting Salisbury and Ross (2000), since when there is more calcium available it can be absorbed and incorporated into the cell parts and influence the division of cells to induce growth and fruit weight, are two components of pepper yield per unit area. They also allow better understand the differences in  $\text{Ca}^{2+}$  extraction mentioning Charlo *et al.* (2012), as they report that the pepper can extract  $81.3 \text{ kg ha}^{-1}$ , while Azofeifa and Moreira (2005) found  $38 \text{ kg ha}^{-1}$  and Fontes *et al.* (2005) mention that the pepper extract  $114 \text{ kg ha}^{-1}$ . That is, depending on the state of the  $\text{Ca}^{2+}$  ion and the dose in this case each of the formulations which were prepared doses, will be the ease with which it can be absorbed by plants.

The results were achieved with formulations  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1, in terms of dry matter yield per unit area, also have strong relationship with those reported by Gordillo *et al.* (2004), since they found that  $\text{Ca}^{2+}$  is the element that ensures processes, such as synthesis of cell walls in the middle lamella, which form calcium pectate providing stability and maintaining the integrity thereof. Also, the results of this research are related to Chiu and Bould (1977), as they relate to the  $\text{Ca}^{2+}$  is not very mobile and tends to accumulate in older organs, while the most metabolically active (leaves growing, flowers, fruits and apical meristems) greater contribution, which is fixed and practically motionless in their cell walls is needed. The

lámina media, donde forma pectato de calcio que confiere estabilidad y mantiene la integridad de éstas. Asimismo, los resultados de esta investigación se relacionan con los de Chiu y Bould (1977), ya que éstos refieren que el  $\text{Ca}^{2+}$  es poco móvil y tiende a acumularse en los órganos más viejos, mientras que en los de mayor actividad metabólica (hojas en crecimiento, flores, frutos y meristemas apicales) se necesita mayor aporte, donde queda fijado y prácticamente inmóvil en sus paredes celulares. La relación también es evidente con lo reportado por Marschner (2002) quien ha mencionado que con altas dosis de  $\text{Ca}^{2+}$  las cantidades de este elemento que no logran entrar al citosol quedan en la pared celular, situación que genera células más pesadas.

Los efectos ocasionados por las dosis más bajas de  $\text{Ca}^{2+}$  (15 y 17  $\text{L ha}^{-1}$ ) de las soluciones hechas con las formulaciones  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq, respectivamente, coinciden con lo reportado por Williamson (1984), quien menciona que las concentraciones bajas de  $\text{Ca}^{2+}$ , casi micromolares, deben mantenerse en parte para impedir la formación de sales de calcio insolubles, obtenidas a partir de ATP y de otros fosfatos orgánicos. Además, las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  por encima del margen micromolar inhiben la corriente citoplasmática. De tal manera que con las dosis aquí mencionadas (15 y 17  $\text{L ha}^{-1}$ ) quizás se limitó más la formación de sales de calcio insolubles y se favoreció la corriente citoplasmática, para que en las plantas de pimiento ocurrieran las reacciones químicas necesarias y dichas plantas produjeran más materia seca.

## Conclusiones

Con las soluciones de  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 se cultivó pimiento morrón de manera más sustentable que con las soluciones de  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 y  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, ya que para mejor respuesta en rendimiento se necesitó de una dosis menor a la recomendada comercialmente y, en consecuencia, disminuyó la posibilidad de que a través del tiempo y por alta concentración el calcio se convirtiera en un agente contaminante en el sustrato utilizado.

## Literatura citada

- Amador, M. J. A.; Álvarez H. J. G. y Balaguera, L. H. E., 2008. Efecto del calcio y láminas de riego en la producción y calidad del repollo (*Brassica oleracea* L.). Revista U. D. C. A. Actualidad y Divulgación Científica. 11(2):153-162.
- relationship is also evident with those reported by Marschner (2002) who mentioned that high doses of  $\text{Ca}^{2+}$  amounts of this element that fail to enter the cytosol are in the cell wall, a situation that generates heavier cells.
- The effects at lower doses of  $\text{Ca}^{2+}$  (15 and 17  $\text{L ha}^{-1}$ ) of the solutions made with the formulations  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq, respectively coincide with those reported by Williamson (1984), who mentions that low concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$ , almost micromolar, should be kept in part to prevent the formation of insoluble calcium salts, obtained from ATP and other organic phosphates. Furthermore,  $\text{Ca}^{2+}$  concentrations in the micromolar range above inhibit cytoplasmic streaming. So that the doses contained herein (15 and 17  $\text{L ha}^{-1}$ ) perhaps was more limited the formation of insoluble calcium salts and cytoplasmic current is favored, so that in pepper plants occur chemical reactions necessary and such plants produce more dry matter.
- ## Conclusions
- With solutions  $(\text{CaNO}_3)_2$  líq and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-1 the red pepper was grown in a more sustainable way with solutions  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-2 and  $(\text{CaNO}_3)_2$  sol-3, since for better response performance needed a dose less than the recommended commercially and, accordingly, the possibility that decreased over time and high concentration calcium become a pollutant on the substrate used.
- End of the English version*
- 
- 
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 172 p.
- Azofeifa, A. y Moreira, M. 2004. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot) en Alajuela, Costa Rica. Agron. Costarric. 32:19-29.
- Bonilla, I. 2008. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. In: fundamentos de fisiología vegetal. Azcon-Bietos J. y Talón M. (Eds.). McGraw-Hill Interamericana de España. 656 p.
- Charlo, H.; Oliveira, S. F.; Vargas, P. F.; Castoldi, R.; Barbosa, J. C. and Braz, L. T. 2012. Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. Hort. Bras. 30:125-131.
- Chiu, T. E. and Bould, C. 1977. Sand-culture studies on the calcium nutrition of young apple trees with particular reference to bitter pit. J. Hort. Sci. 52:19-28.
- Feyerabend, F.; Siemers, C.; Willumeit, R. and Rösler, J. 2008. Cytocompatibility of a free machining titanium alloy containing lanthanum. J. Biomed. Mater. Res. 90A:931-939.

- Fontes, P. C. R.; Dias, E. N. e Graça, R. N. 2005. Acúmulo de nutrientes e método para estimar doses de nitrogênio e de potássio na fertirrigação do pimentão. *Hortic. Bras.* 23:275-280.
- García, A. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM, México. 217 p.
- Gordillo, O.; Fischer, G. y Guerrero, R. 2004. Efecto del riego y de la fertilización sobre la incidencia del rajado en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sylvania (Cundinamarca). *Agron. Col.* 22(1):53-62.
- Hu, Z.; Richter, H.; Sparovek, G. and Schnug, E. 2004. Physiological and biochemical effects of rare earth elements on plants and their agricultural significance: A review. *J. Plant Nutr.* 27: 183-220.
- Hepler, P. K. and Wayne, R. O. 1985. Calcium and plant development. *Annual Review of Plant Physiology.* 36:397-439.
- Kinzel, H. 1989. Calcium in the vacuoles and cell walls of plant tissue. *Flora.* 182: 99-125.
- Kirkby, E. A. and Pilbeam, D. J. 1984. Calcium as a plant nutrient. *Plant Cell Environ.* 7(6):397-405.
- Lea, J. P. and Leegood, C. R. 1993. Photosynthetic formation of ATP and NADPH AND regulatory mechanisms. *In: plant biochemistry and molecular biology.* Editorial John Wiley & Sons. 10-231 pp.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition, Academic Press London. 889 p.
- Namesny A. 2006. Pimientos. Compendios de horticultura No. 16. Segunda Edición de Horticultura, Barcelona, España. 167 p.
- Ramírez, M. M.; Trejo, T. L. I.; Gómez, M. F. C.; Castillo, G. A. M.; Hernández, R. I. y Hernández, A. E. 2012. Bioacumulación de potasio, calcio y lantano en tulipán tratado con lantano. *Terra Latinoam.* 30(3):229-238.
- Robert, D. M.; Lukas, T. J. and Watterson, D. M. 1986. Structure, function, and mechanism of action of calmodulin. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 4:311-339.
- Salazar, J. F. I. y Juárez, L. P. 2013. Requerimiento macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista Bio.* 2(2):27-34.
- Salisbury, F. B. & Ross C. W. 2000. Fisiología de las plantas. Paraninfo Thomson Learning, Madrid, España. 988 p.
- Sanders, D.; Brownlee, C. and Harper, J. 1999. Communicating with calcium. *Plant Cell.* 11:691706.
- SAS Institute. 1985. SAS User's Guide: Basics, 5<sup>th</sup> Edition. SAS Institute Inc., Cary, N. C. 1181-1191 pp.
- SIAP. 2015. Producción agrícola por cultivo. En línea: <http://www.siap.gob.mx>.
- Steiner, A. A. 1961. A Universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil.* 15(2):134-154.
- Williamson, R. E. 1984. Calcium and the plant cytoskeleton. *Plant, Cell Envir.* 3:431-440.