

Respuesta de la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) a la relación nitrato:calcio en tres etapas fenológicas*

Response of poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd ex Klotzsch) to nitrate:calcium ratio in three phenological stages

Vicente Torres-Olivar¹, Oscar G. Villegas-Torres², Luis Alonso Valdez-Aguilar^{3§}, Irán Alia-Tejaca², Víctor López-Martínez² y Libia I. Trejo-Téllez⁴

¹Universidad Autónoma del estado de Morelos- Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa. C. P. 62209. Cuernavaca, Morelos, México. ²Universidad Autónoma del estado de Morelos- Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad 1001. C. P. 62209. Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos. ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Departamento de Horticultura, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila., México. ⁴Colegio de Postgraduados- Postgrado en Edafología, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México. §Autor para correspondencia: luisalonso.valdez@uaaan.mx.

Resumen

En el presente trabajo se determinó el efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{Ca}^{2+}$ en la solución nutritiva sobre el crecimiento y calidad de flor de nochebuena en tres etapas fenológicas (crecimiento radical, desarrollo vegetativo y pigmentación). El experimento se llevó a cabo en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. A partir de la solución nutritiva universal de Steiner se estudiaron tres concentraciones de NO_3^- y Ca^{2+} diseñadas a partir de la modificación de la concentración de NO_3^- con base en la relación $\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{SO}_4^{2-}$, 12:1:7 ($\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$) y Ca^{2+} en la relación $\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, 7:9:4 ($\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$). Los resultados mostraron que en la etapa de crecimiento radical es posible disminuir la concentración de NO_3^- de 12 a 10 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ y Ca^{2+} de 9 a 7 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$, sin afectar el crecimiento de nochebuena, mientras que en la etapa de desarrollo vegetativo se debe mantener el NO_3^- en 10 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ y aumentar el Ca^{2+} de 7 a 9 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$. Durante la etapa de pigmentación se obtuvo la mejor respuesta de las plantas con 10 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ de NO_3^- , mientras que el Ca^{2+} debe ser igual que en el desarrollo vegetativo (9 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$).

Palabras clave: aniones, balance nutrimental, cationes, relaciones mutuas, soluciones nutritivas.

Abstract

In the present work was determined the effect of the relationship $\text{NO}_3^-:\text{Ca}^{2+}$ in nutrient solution on growth and quality of poinsettia in three phenological stages (root growth, vegetative development and pigmentation). The experiment was conducted in the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences at the Universidad Autonoma del estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. From the universal Steiner nutrient solution, three concentrations of $\text{NO}_3^-:\text{Ca}^{2+}$ were studied designed from modifying the concentration of NO_3^- based on the ratio $\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{SO}_4^{2-}$, 12:1:7 ($\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$) and Ca^{2+} at ratio $\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, 7:9:4 ($\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$). The results showed that at root growth is possible to decrease the concentration of NO_3^- from 12 to 10 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ and Ca^{2+} from 9 to 7 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$, without affecting the growth of poinsettia, while in vegetative development NO_3^- must be maintained at 10 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ and increase Ca^{2+} from 7 to 9 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$. During the pigmentation stage the best response of plants was obtained with 10 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ NO_3^- , while Ca^{2+} must remain the same as than in the vegetative development (9 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$).

Keywords: anions, cations, mutual relations, nutritional balance, nutrient solutions.

* Recibido: septiembre de 2015
Aceptado: diciembre de 2015

Introducción

La nochebuena es una especie nativa de México utilizada como planta ornamental durante las fiestas decembrinas en todo el mundo (Colinas *et al.*, 2006), siendo el estado de Morelos la principal entidad productora en el país. Es posible obtener plantas de flor de nochebuena de buena calidad cuando se cultivan en condiciones propicias para la obtención de plantas sanas, fuertes y atractivas, por lo que es necesario enfatizar en el estudio de los factores que influyen en su producción. La nutrición es uno de los factores más determinantes en la producción de plantas ornamentales por el impacto en el crecimiento y la calidad al repercutir en el tamaño de las flores, así como en el área foliar, la obtención de colores más firmes y en el desarrollo del sistema radical (Pineda *et al.*, 2008).

La nutrición de las plantas debe realizarse tomando en cuenta factores como: a) la calidad de agua; b) las propiedades del sustrato de cultivo; c) el estado fenológico de la planta; d) el clima; e) el tipo de fertilizante; f) la técnica de cultivo; y g) los objetivos de la nutrición. La nutrición mineral debe ser específica de acuerdo con la demanda según la etapa fenológica, destacando entre estas etapas las siguientes: 1) crecimiento radicular; 2) crecimiento vegetativo; y 3) floración (Vázquez y Salomé, 2004). El conocimiento de la cantidad de nutrimentos absorbidos por la planta en cada fase fenológica proporciona información que permite establecer programas de fertilización adecuados y fraccionados que permiten satisfacer las necesidades durante los periodos críticos de desarrollo determinados por la fenología del cultivo (Funnell *et al.*, 1998; Fageria *et al.*, 2006).

El nitrato (NO_3^-) es la principal fuente de nitrógeno (N) para la mayoría de las especies cultivadas. El N favorece el área foliar y el índice de área foliar (McCullough *et al.*, 1994; Escalante, 1999), intensifica el color verde de las hojas, y es constituyente de componentes celulares esenciales como aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos; además, regula la absorción del fósforo (P), potasio (K^+) y otros nutrimentos, mejorando el grado de succulencia de muchos cultivos y favoreciendo la fotosíntesis debido al aumento en la concentración de clorofila (Aroiee y Omidbaigi, 2004; Taiz y Zeiger, 2006; Sedano *et al.*, 2011). Tanto el déficit como el exceso de N tienen un impacto negativo en las plantas, provocando una disminución en la producción (He *et al.*, 1999; González *et al.*, 2005), aumentando la susceptibilidad a los insectos plaga (Jauset *et al.*, 2000; González *et al.*,

Introduction

Poinsettia is a native species from Mexico used as an ornamental plant for the holidays worldwide (Colinas *et al.*, 2006), being the state of Morelos the main producer in the country. It is possible to obtain poinsettia plants of good quality when grown under proper conditions to obtain healthy, strong and attractive plants, so it is necessary to emphasize in the study of factors that influence their production. Nutrition is one of the most crucial factors in the production of ornamental plants for the impact on growth and quality will have an effect on flower size, as well as leaf area, obtaining stronger colors and in the development of the root system (Pineda *et al.*, 2008).

Plant nutrition should be performed taking into account factors such as: a) water quality; b) substrate properties; c) phenological stage of the plant; d) weather; e) the type of fertilizer; f) culture technique; and g) nutrition goals. Mineral nutrition must be specific based on demand and according to phenological stage, emphasizing between these stages as follows: 1) root growth; 2) vegetative growth and 3) flowering (Vázquez and Salomé, 2004). Knowing the amount of nutrients absorbed by the plant in each phenological phase, it provides information that allows establishing appropriate and fractionated fertilization programs that will satisfy the needs during critical periods of development determined by crop phenology (Funnell *et al.*, 1998; Fageria *et al.*, 2006).

Nitrate (NO_3^-) is the main source of nitrogen (N) for most crops. Nitrogen promotes leaf area and leaf area index (McCullough *et al.*, 1994; Escalante, 1999), intensifies the green color of the leaves, and is a constituent of essential cellular components such as amino acids, proteins and nucleic acids; also regulates the absorption of phosphorus (P), potassium (K^+) and other nutrients, improving the degree of succulence of many crops and favors photosynthesis due to the increase in chlorophyll concentration (Aroiee and Omidbaigi, 2004; Taiz and Zeiger, 2006; Sedano *et al.*, 2011). Both deficit and excess of N have a negative impact on plants, causing a decrease in production (He *et al.*, 1999; Gonzalez *et al.*, 2005), increasing the susceptibility to pest insects (Jauset *et al.*, 2000; González *et al.*, 2005) and to pathogens (Duffy and Défago 1999; González-Raya *et al.*, 2005), thus the incidence of disease (Marschner, 2012).

2005) y a los patógenos (Duffy y Défago, 1999; González-Raya *et al.*, 2005), así como la incidencia de enfermedades (Marschner, 2012).

El calcio (Ca^{2+}) es un nutrimento básico para el correcto crecimiento de las plantas y es esencial en la división y expansión celular (White *et al.*, 2000). En la nochebuena, una deficiencia de Ca^{2+} reduce el crecimiento de las hojas, causa acortamiento de los entrenudos cerca de la yema apical, induce tallos débiles así como necrosis en brácteas (Stromme *et al.*, 1994; Ayala *et al.*, 2008). El Ca^{2+} se encuentra involucrado en los mecanismos regulatorios que le permiten a la planta realizar ajustes bajo condiciones de estrés causado por altas y bajas temperaturas, y por estrés osmótico causado por sequía y salinidad (Liang *et al.*, 2009).

La absorción del Ca^{2+} , dependiendo de su concentración relativa en la solución nutritiva, puede ser disminuida sustancialmente debido al antagonismo con K^+ , magnesio (Mg^{2+}) y amonio (NH_4^+); sin embargo, su absorción es estimulada por el NO_3^- (Jones *et al.*, 1991; Villegas *et al.*, 2005). En México se ha realizado poca investigación con respecto a la nutrición de nochebuena en función de las etapas fenológicas. En el contexto anterior, el presente estudio se estableció con el objetivo de comprender cómo el crecimiento y la calidad de nochebuena son influenciadas por la modificación de la relación $\text{NO}_3^-:\text{Ca}^{2+}$ en la solución nutritiva, así como el determinar la relación óptima en las etapas fenológicas: 1) formación de raíces; 2) crecimiento vegetativo; y 3) floración.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo bajo invernadero de cubierta plástica en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del estado de Morelos, ubicado en el campus Chamilpa ($18^\circ 58' 52.87''$ latitud norte y $99^\circ 13' 57.92''$ longitud oeste, 1 875 m de altitud) en Cuernavaca, Morelos. Las condiciones ambientales durante el experimento incluyeron una temperatura mínima y máxima promedio de 13.7 y 34.7 °C respectivamente, mientras que la humedad relativa osciló entre 55% y 73%. La radiación fotosintéticamente activa incidente diurna fue en promedio de $203 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Esquejes enraizados de nochebuena cultivar Prestige se trasplantaron el 01 de julio de 2012 en contenedores de plástico negro de 15.2 cm de diámetro con un sustrato

Calcium (Ca^{2+}) is a basic nutrient for proper plant growth and is essential for cell division and expansion (White *et al.*, 2000). On poinsettia, Ca^{2+} deficiency reduces leave growth, cause shortening of internodes near the apical bud, induces weak stems and necrosis in bracts (Stromme *et al.*, 1994; Ayala *et al.*, 2008). Ca^{2+} is involved in regulatory mechanisms that allow the plant to make adjustments under stress conditions caused by high and low temperatures, and by osmotic stress caused by drought and salinity (Liang *et al.*, 2009).

Ca^{2+} absorption, depending on their relative concentration in the nutrient solution may be substantially reduced due to antagonism with K^+ , magnesium (Mg^{2+}) and ammonium (NH_4^+); however, its absorption is stimulated by NO_3^- (Jones *et al.*, 1991; Villegas *et al.*, 2005). In Mexico there has been little research regarding poinsettia nutrition in function of phenological stages. In the above context, the present study was established in order to understand how the growth and quality of poinsettia are influenced by the change in the ratio $\text{NO}_3^-:\text{Ca}^{2+}$ in nutrient solution, as well as to determine the optimum ratio in phenological stages: 1) root formation; 2) vegetative growth; and 3) flowering.

Materials and methods

The experiment was conducted in a greenhouse with plastic cover on the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences at the Universidad Autónoma del estado de Morelos, located on the Chamilpa campus ($18^\circ 58' 52.87''$ N and $99^\circ 13' 57.92''$ W, altitude 1875 m) in Cuernavaca, Morelos. The environmental conditions during the experiment included an average minimum temperature and maximum temperature of 13.7 and 34.7 °C respectively, while relative humidity ranged between 55% and 73%. Photosynthetically active radiation incident daytime averaged $203 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Prestige poinsettia rooted cuttings were transplanted on July 1, 2012 in black plastic containers 15.2 cm in diameter with a substrate made from a mixture of soil sifted leaf, coconut fiber and red volcanic rock (with particle size between 0.1 to 0.5 cm diameter) in a ratio 60:20:20 (%).

Three concentrations of NO_3^- (10, 12 and 14 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$) and three of Ca^{2+} (7, 9 and 11 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$) were evaluated, designed from a modification of the Steiner (1984)

elaborado con una mezcla de tierra de hoja cernida, fibra de coco y tezontle rojo (con granulometría entre 0.1 a 0.5 cm de diámetro) en una proporción de 60:20:20 (%).

Se evaluaron tres concentraciones de NO_3^- (10, 12 y 14 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$) y tres de Ca^{2+} (7, 9 y 11 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$) diseñadas a partir de una modificación de la solución nutritiva universal de Steiner (1984) en la relación porcentual de iones, pero manteniendo las relaciones mutuas entre cationes y entre aniones y la cantidad total de iones. Tal modificación se realizó dentro de ciertos límites de concentración relativa de los iones involucrados ya que de otra manera la interacción entre los mismos puede influenciar fuertemente la absorción y la distribución o función de algún otro nutrimento por la planta, induciendo deficiencias o toxicidades (Schwarz, 1995; Villegas *et al.*, 2005). Se modificó la concentración de NO_3^- con base en la relación $\text{NO}_3^- + \text{fosfato} (\text{H}_2\text{PO}_4^-) + \text{sulfato} (\text{SO}_4^{2-})$ de 12:1:7 (en $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$), y Ca^{2+} con base en la relación $\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ de 7:9:4 (en $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$); se ajustó el potencial osmótico a -0.072 MPa con una conductividad eléctrica de 2 dS m^{-1} y el pH se ajustó a 5.5.

Considerando la interacción de ambos factores se obtuvieron nueve soluciones nutritivas (Cuadro 1), las cuales se suministraron en cada una de las etapas fenológicas de la nochebuena: crecimiento radicular, desarrollo vegetativo y pigmentación. La etapa de crecimiento radicular se consideró a partir del trasplante hasta la poda de las plantas, la cual se realizó cuando la raíz estaba visible en la parte externa del cepellón. La etapa de desarrollo vegetativo se consideró desde la poda hasta la aparición de las brácteas de transición, en tanto que la etapa de pigmentación se consideró desde la aparición de las brácteas de transición hasta la presencia de polen visible.

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas.
Table 1. Chemical composition of nutrient solutions.

Solución nutritiva	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
	(mol ₍₊₎ m ⁻³)					
1	10.08	1.26	8.82	8.34	7.06	4.77
2	10.3	1.29	9.01	7.21	9.27	4.12
3	10.53	1.32	9.21	6.03	11.58	3.44
4	11.75	0.98	6.85	8.1	6.85	4.63
5	12	1	7	7	9	4
6	12.26	1.02	7.15	5.85	11.24	3.34
7	13.33	0.71	5	7.87	6.66	4.5
8	13.6	0.73	5.1	6.8	8.74	3.89
9	13.89	0.74	5.21	5.68	10.91	3.24

universal nutrient solution in the percentage ratio of ions, while maintaining the mutual ratios between cations and anions and the total amount of ions. Such modification was made within certain limits of relative concentration from the ions involved as otherwise the interaction between them can strongly influence the absorption and distribution or function of any other nutrient by the plant, inducing deficiencies or toxicities (Schwarz, 1995; Villegas *et al.*, 2005). NO_3^- concentration was modified based on the ratio $\text{NO}_3^- + \text{phosphate} (\text{H}_2\text{PO}_4^-) + \text{sulfate} (\text{SO}_4^{2-})$ of 12:1:7 ($\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$), and Ca^{2+} based on the ratio $\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ of 7:9:4 (in $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$); osmotic potential to -0.072 MPa with an electrical conductivity of 2 dS m^{-1} and adjusting pH to 5.5.

Considering the interaction of both factors there were obtained nine nutrient solutions (Table 1) which were administrated in each of the phenological stages of poinsettia: root growth, vegetative development and pigmentation. The stage of root growth was considered from transplant to plant pruning, which was made when the root was visible on the outside of the root ball. The vegetative growth stage was considered from pruning to appearance of bracts transition, while pigmentation stage was considered from the appearance of bracts transition till the presence of visible pollen.

Before the vegetative and pigmentation stage the plants were irrigated with Steiner (1984) nutrient solution, but upon reaching the respective phenological stage, plants were watered with nutrient solutions from the treatments. Watering was done manually with a volume of 250 mL per plant every third day or when the plant required it.

Previo a la etapa vegetativa y de pigmentación las plantas fueron irrigadas con la solución nutritiva de Steiner (1984), pero al alcanzar la etapa fenológica respectiva, las plantas se regaron con las soluciones nutritivas de los tratamientos. El riego se realizó manualmente con un volumen de 250 mL por planta cada tercer día o cuando la planta lo requiriera.

Las variables de crecimiento evaluadas incluyeron el área de brácteas (LI-3100C, LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, E. U.) y el peso seco total y de cada órgano (brácteas, hojas, raíz y tallo), el cual fue registrado después de secar los tejidos en una estufa con circulación forzada de aire a una temperatura de 70 °C durante 72 h. Para definir la extracción de nutrientes y relacionarlo con la etapa fenológica, al final de cada una de ellas se realizó un muestreo destructivo para extraer las plantas y separar los órganos, a los cuales se les analizó la concentración mineral en los tejidos vegetativos aéreos (hoja + tallo), raíz y brácteas (cuando estuvieron presentes) en tratamientos seleccionados ($\text{NO}_3^-:\text{Ca}^{2+}$ en concentraciones de 10:7 y 14:11 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ durante la etapa de crecimiento radical, 10:9 y 14:11 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ durante la etapa de desarrollo vegetativo, y 10:9 y 12:7 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ en la etapa de pigmentación) siendo estos los tratamientos con mayor y menor efecto en las variables evaluadas en cada una de las etapas. Se determinó la concentración de N total con base al método semi-microKjeldahl (Chapman y Pratt, 1973; Brearen y Mulvaney, 1982) y P, K, Ca y Mg vía digestión húmeda (Alcántar y Sandoval, 1999); posteriormente, los extractos obtenidos se leyeron en el equipo de espectrofotometría de inducción con plasma acoplado ICP-AES VarianTM, Liberty II. El azufre (S) se determinó por turbidimetría (Alcántar y Sandoval, 1999), con un espectrofotómetro (Thermo Spectronic-Genesys 10uv).

Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza para los factores principales (NO_3^- y Ca^{2+}) y la interacción en SAS 8.1 (SAS Inst., Cary, North Carolina, EU); el arreglo de tratamientos fue factorial completo 3^2 con cuatro repeticiones por tratamiento. En aquellos casos en que el análisis de varianza indicó que al menos un tratamiento fue distinto de los otros en cuanto a los resultados ($p \leq 0.05$), los promedios se separaron mediante una comparación de medias de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados

En la etapa de crecimiento radical, el NO_3^- tuvo un efecto adverso en el crecimiento de las plantas al elevarse la concentración a 14 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ porque disminuyó

Growth variables evaluated included bracts area (LI-3100C, LI-COR, Inc., Lincoln, Nebraska, USA) and total dry weight and from each organ (bracts, leaves, roots and stems), which was recorded after drying the tissue in an oven with forced air circulation at a temperature of 70 °C for 72 h. To define the extraction of nutrients and relate it to phenological stage, at the end of each a destructive sampling was performed to remove the plants and separate the organs, to which were analyzed the mineral concentration in aerial vegetative tissues (leaf + stem), root and bracts (when present) in selected treatments ($\text{NO}_3^-:\text{Ca}^{2+}$ in concentrations of 10:7 and 14:11 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ during the root growth stage, 10:9 and 14:11 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ during the vegetative stage of development, and 10:9 and 12:7 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ in the pigmentation stage) being this, the treatments with higher and lower effect on the variables evaluated in each of the stages. The concentration of total N was determined based on the semi-microKjeldahl method (Chapman and Pratt, 1973; Brearen and Mulvaney, 1982) and P, K, Ca and Mg via wet digestion (Alcántar and Sandoval, 1999); subsequently, the extracts were read in spectrophotometry equipment induction coupled plasma ICP-AES VarianTM, Liberty II. Sulfur (S) was determined by turbidimetry (Alcántar and Sandoval, 1999), with a spectrophotometer (Thermo Spectronic-Genesys10uV).

The data obtained was analyzed through an analysis of variance for the main factors (NO_3^- and Ca^{2+}) and the interaction in SAS 8.1 (SAS Inst., Cary, North Carolina, USA); the arrangement of treatments was full factorial 3^2 with four replicates per treatment. In those cases in which the analysis of variance indicated that at least one treatment was different from the others in terms of results ($p \leq 0.05$), the means were separated through means comparison test Tukey ($p \leq 0.05$).

Results

In the root growth stage, NO_3^- had an adverse effect on plant growth by raising the concentration to 14 $\text{mol}_{(+)}\text{m}^{-3}$ because dry matter of stem and leaves had a significant decrease (Table 2); also, the increase in Ca^{2+} concentration was associated with a decrease in dry matter of root (Table 2).

In the vegetative development stage, the increase in the concentration of NO_3^- caused a decrease in plant growth; whereas, the main effect of Ca^{2+} was not statistically

significativamente la materia seca de tallo y hojas (Cuadro 2); asimismo, el aumento en la concentración de Ca^{2+} estuvo asociado con la disminución de la materia seca de las raíces (Cuadro 2).

significant in dry matter from the organs evaluated (Table 2). The interaction of factors in study showed that regardless of the concentration of Ca^{2+} , the increase in NO_3^- concentration from 10 to 12 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ showed a decrease

Cuadro 2. Producción de materia seca y área de brácteas en flor de nochebuena por efecto de la concentración de nitrato (NO_3^-) y calcio (Ca^{2+}) en la solución nutritiva en tres etapas fenológicas.

Table 2. Dry matter production and area poinsettia bracts due to the concentration of nitrate (NO_3^-) and calcium (Ca^{2+}) in the nutrient solution in three phenological stages.

Factor	Crecimiento radical (g planta ⁻¹)			Desarrollo vegetativo (g planta ⁻¹)			Pigmentación (g planta ⁻¹)			Área de brácteas (cm ² planta ⁻¹)	
	Raíz	Tallo	Hojas	Raíz	Tallo	Hojas	Raíz	Tallo	Hojas	Brácteas	
NO_3^- ($\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$)											
14	0.46 b	0.52 b	1.14 b	5.82 b	6.64 b	9.92 b	7.76	9.93	10.04	9.59	2446.9
12	0.61 a	0.67 a	1.38 a	5.19 b	7.61 a	10.27 b	8.61	9.25	9.96	9.32	2404.6
10	0.59 ab	0.69 a	1.42 a	6.94 a	7.83 a	11.42 a	7.76	9.94	9.95	8.93	2318.4
Ca^{2+} ($\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$)											
11	0.5 b	0.6	1.26	6.06	7.11	10.14	8.26	9.57	9.93 ab	8.47 b	2121.9 b
9	0.51 ab	0.6	1.25	5.85	7.37	10.78	7.84	9.27	9.29 b	9.83 a	2623.6 a
7	0.65 a	0.69	1.44	6.05	7.6	10.7	8.04	10.27	10.73 a	9.54 ab	2424.3ab
NO_3^-	$p < 0.028$	$p < 0.003$	$p < 0.011$	$p < 0.001$	$p < 0.008$	$p < 0.003$	ns	ns	ns	ns	ns
Ca^{2+}	$p < 0.036$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	$p < 0.039$	$p < 0.033$	0.0207
$\text{NO}_3^- \times \text{Ca}^{2+}$	ns	ns	ns	$p < 0.034$	$p < 0.021$	$p < 0.032$	ns	ns	ns	$p < 0.001$	0.0007

Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$), ns = no significativo.

En la etapa de desarrollo vegetativo, el aumento en la concentración del NO_3^- causó una disminución en el crecimiento de las plantas; mientras que, el efecto principal del Ca^{2+} no fue estadísticamente significativo en el peso de materia seca de los órganos evaluados (Cuadro 2). La interacción de los factores en estudio mostró que, independientemente de la concentración de Ca^{2+} , el aumento en la concentración de NO_3^- de 10 a 12 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ se presentó una disminución en la materia seca de raíz, misma que incrementó nuevamente con la concentración más alta de NO_3^- tanto con 9 como con 11 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ (Figura 1A). En cuanto al tallo (Figura 1B) y las hojas (Figura 1C), la interacción indicó que al incrementarse la concentración de NO_3^- hubo una reducción en el peso de la materia seca cuando la concentración de Ca^{2+} fue de 9 y 11 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$, pero con 7 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ de Ca^{2+} la materia seca se incrementa sólo cuando se utiliza la solución con 12 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ de NO_3^- .

in dry matter of root, same that increased again with the highest concentration of NO_3^- both with 9 as with 11 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ (Figure 1A). As for stem (Figure 1B) and leaves (Figure 1C), the interaction indicated that by increasing concentration of NO_3^- there was a decrease in the weight of the dry matter when Ca^{2+} concentration was 9 and 11 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$, but with 7 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ of Ca^{2+} , dry matter increased only when the solution with 12 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ of NO_3^- is used.

During pigmentation stage the effect from NO_3^- was not significant on weight of the dry matter of the analyzed organs and bracts area. There was a positive effect on a decreasing dose of Ca^{2+} in dry matter of leaves and bracts, as well as in bracts area (Table 2). The interaction of the factors under study in the bract area shows that a concentration of 7 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ Ca^{2+} had an increase in both the area and dry matter of bracts by increasing the concentration of NO_3^- , response that is detected with Ca^{2+} concentration of 11 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ and

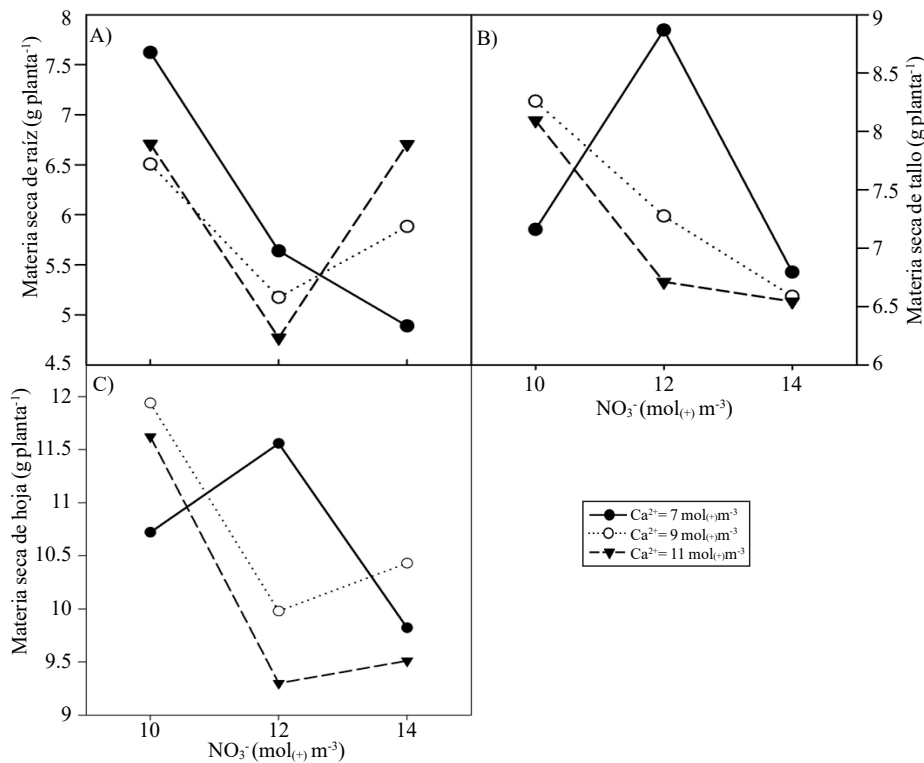


Figura 1. Efecto de la concentración de nitrato (NO₃⁻) y calcio (Ca²⁺) en la solución nutritiva aplicada durante la etapa de desarrollo vegetativo en la acumulación de materia seca de raíz (A), tallo (B) y hoja (C) de nochebuena.
Figure 1. Effect of concentration of nitrate (NO₃⁻) and calcium (Ca²⁺) in the nutrient solution applied during the vegetative growth stage of the accumulation of dry matter of root (A), stem (B) and sheet (C) good night.

Durante la pigmentación no fue significativo el efecto principal del NO₃⁻ en el peso de materia seca de los órganos analizados y en el área de brácteas. Se tuvo un efecto positivo de dosis decreciente de Ca²⁺ en la materia seca de hojas y brácteas, así como en el área de las brácteas (Cuadro 2). La interacción de los factores en estudio en el área de bráctea muestra que con una concentración de Ca²⁺ de 7 mol₍₊₎ m⁻³ se tuvo un aumento tanto en el área como en la materia seca de brácteas al elevarse la concentración de NO₃⁻, respuesta que es detectada con la concentración de Ca²⁺ de 11 mol₍₊₎ m⁻³ y con 14 mol₍₊₎ m⁻³ de NO₃⁻ (Figuras 2A y 2B). En contraste, con 7 mol₍₊₎ m⁻³ de Ca²⁺ se presentó mayor área y materia seca de brácteas con niveles de NO₃⁻ de 10 y 12 mol₍₊₎ m⁻³.

La concentración de N, Ca, Mg, y S en parte aérea y raíz de plantas de nochebuena, no fueron afectadas en forma significativa por la relación NO₃⁻:Ca²⁺ de la solución nutritiva en la etapa de crecimiento radical (Cuadro 3). Resultados similares se observan en la etapa de crecimiento vegetativo, donde no hay efecto de las relaciones evaluadas en las concentraciones de N, K, Mg y S en parte aérea, ni en las concentraciones de N, P, Ca, Mg y S en raíz (Cuadro 4).

14 mol₍₊₎ m⁻³ of NO₃⁻ (Figures 2A and 2B). In contrast, with 7 mol₍₊₎ m⁻³ of Ca²⁺ showed greater area and dry matter of bracts with NO₃⁻ levels of 10 and 12 mol₍₊₎ m⁻³.

The concentration of N, Ca, Mg, and S in shoots and roots of poinsettia plants, were not significantly affected by the ratio NO₃⁻ : Ca²⁺ from the nutrient solution during the stage root growth (Table 3). Similar results are observed in the vegetative growth stage, where there is no effect from the ratios evaluated in the concentrations of N, K, Mg and S in shoot or in the concentrations of N, P, Ca, Mg and S in root (Table 4).

At the stage root growth (Table 3), the concentration of P in shoots of the plant, was statistically higher with with NO₃⁻: Ca²⁺ ratio of 10:7 mol₍₊₎ m⁻³. Similarly, during the vegetative growth, with the ratio 10:9 mol₍₊₎ m⁻³ of NO₃⁻ : Ca²⁺, obtained the highest concentration of in aerial parts (Table 4).

Similarly, K⁺ concentration in the aerial part of the plants increased by reducing the concentration of NO₃⁻ and Ca²⁺ in the nutrient solution during the radical growth stage

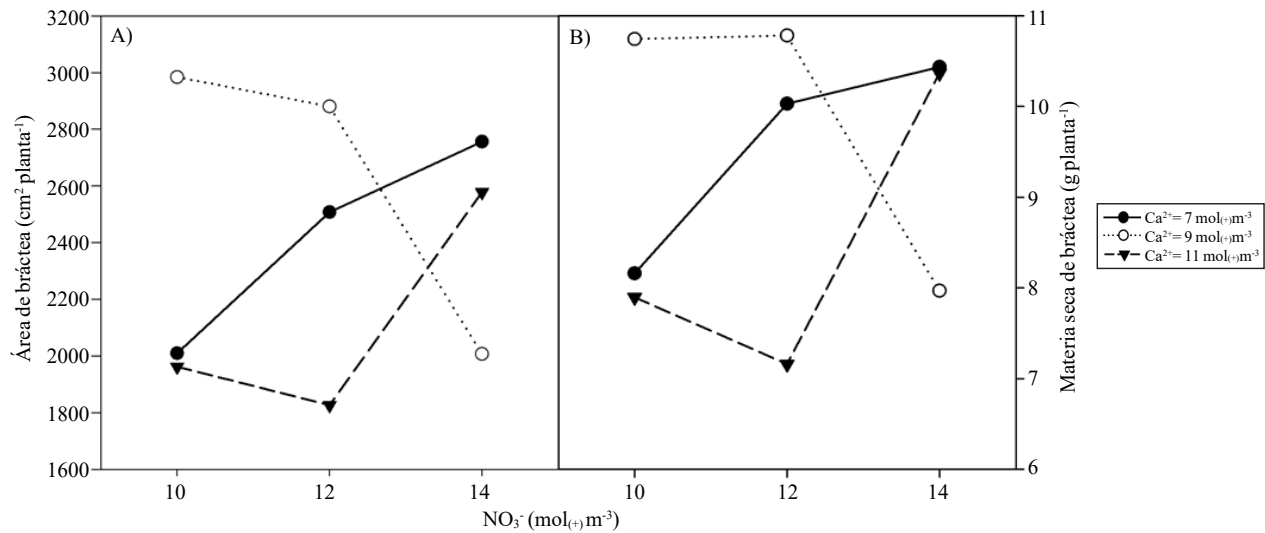


Figura 2. Efecto de la concentración de nitrato (NO₃⁻) y calcio (Ca²⁺) en la solución nutritiva aplicada durante la etapa de pigmentación en el área (A) y materia seca de bráctea (B) en plantas de nochebuena.

Figure 2. Effect of the concentration of nitrate (NO₃⁻) and calcium (Ca²⁺) in the nutrient solution applied during the stage of pigmentation in the area (A) and dry matter of bract (B) in poinsettia plants.

En la etapa de crecimiento radical (Cuadro 3), la concentración de P en la parte aérea de la planta, fue estadísticamente superior con la relación NO₃⁻:Ca²⁺ de 10:7 mol(+) m⁻³. De manera similar, durante el desarrollo vegetativo, con la relación 10:9 mol(+) m⁻³ de NO₃⁻:Ca²⁺, se tuvo la concentración más alta de P en parte aérea (Cuadro 4).

De la misma manera, la concentración de K⁺ en la parte aérea de las plantas aumentó al reducirse la concentración de NO₃⁻ y Ca²⁺ en la solución nutritiva durante la etapa de crecimiento radical (Cuadro 3); la concentración de K⁺ en raíces en la etapa vegetativa, por el contrario, se incrementa con el aumento en las concentraciones de NO₃⁻ y Ca²⁺ en la solución nutritiva (Cuadro 4).

(Table 3); K⁺ concentration in root and vegetative stage, on the contrary, it increases by increasing the concentrations of NO₃⁻ and Ca²⁺ in the nutrient solution (Table 4).

During the pigmentation, N, P, Ca and Mg concentration in aerial part and bracts were not influenced by the ratios NO₃⁻:Ca²⁺ evaluated in the nutrient solution. So in roots, the concentration of P, Ca and Mg were not statistically different (Table 5).

At the pigmentation stage, the concentration of K⁺ was higher in all plant organs when the nutrient solution contained 10 mol(+) m⁻³ of NO₃⁻ and 9 mol(+) m⁻³ Ca²⁺; on the contrary, with this ratio S concentration decreased

Cuadro 3. Concentración de N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y S en parte aérea y raíz de plantas de nochebuena durante la etapa de crecimiento radical, por efecto de la relación NO₃⁻: Ca²⁺ en la solución nutritiva.

Table 3. Concentration of N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and S in shoot and root of poinsettia plants during the period of root growth, the effect of the relationship NO₃⁻: Ca²⁺ in the nutrient solution.

Factor NO ₃ ⁻ :Ca ²⁺ (mol(+) m ⁻³)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
Parte aérea						
10:7	3.36	0.67 a	1.38 a	0.9	0.73	0.31
14:11	3.77	0.42 b	0.72 b	0.92	0.73	0.3
DMSH	1	0.24	0.31	0.04	0.15	0.03
Raíz						
10:7	2.94	0.32	1.49	0.41	0.52	0.38
14:11	2.84	0.27	1.42	0.5	0.45	0.33
DMSH	2.42	0.07	0.8	0.15	0.12	0.05

Medias con la misma literal en la columna, son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$). DMSH, diferencia mínima significativa honesta.

Cuadro 4. Concentración de N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y S en parte aérea y raíz de nochebuena durante la etapa de desarrollo vegetativo, por efecto de la relación NO₃⁻:Ca²⁺ en la solución nutritiva.

Table 4. Concentration of N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and S in shoot and root poinsettia during the vegetative stage of development, the effect of the relationship NO₃⁻: Ca²⁺ in the nutrient solution.

Factor NO ₃ ⁻ :Ca ²⁺ (mol ₍₊₎ m ⁻³)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
	Parte aérea					
10:9	3.48	0.41 a	0.62	0.75 b	0.49	0.3
14:11	4.02	0.33 b	0.63	1 a	0.56	0.29
DMSH	0.85	0.03	0.43	0.12	0.13	0.04
	Raíz					
10:9	2.29	0.46	0.85 b	0.57	0.33	0.37
14:11	2.58	0.35	1.2 a	0.47	0.35	0.3
DMSH	0.56	0.13	0.29	0.21	0.15	0.21

Medias con la misma literal en la columna, son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$). DMSH, diferencia mínima significativa honesta.

Durante la etapa de pigmentación, las concentraciones de N, P, Ca y Mg en parte aérea y en brácteas no fueron influenciadas por las relaciones NO₃⁻:Ca²⁺ evaluadas en la solución nutritiva. Así también en raíces, la concentración de P, Ca y Mg en raíces no fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 5).

En la etapa de pigmentación, la concentración de K⁺ fue más alta en todos los órganos de la planta cuando la solución nutritiva contenía 10 mol₍₊₎ m⁻³ de NO₃⁻ y 9 mol₍₊₎ m⁻³ de Ca²⁺; por el contrario, con esta relación la concentración de S disminuyó en la parte aérea y las brácteas (Cuadro 5). En las raíces, la concentración de S aumentó significativamente con esta solución nutritiva.

in aerial parts and bracts (Table 5). In roots, S concentration increased significantly with this nutrient solution.

Discussion

There have been few studies on the effect of NO₃⁻:Ca²⁺ in plant growth; however, the importance of conducting evaluations of the interaction between these nutrients is exposed in this research because the results suggest that there is a response of poinsettia plants to ratios between NO₃⁻ and Ca²⁺, which was also in function of the phenological stage.

Cuadro 5. Concentración de N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y S en la parte aérea, raíz y bráctea de nochebuena durante la etapa de pigmentación por efecto de la relación NO₃⁻:Ca²⁺ en la solución nutritiva.

Table 5. Concentration of N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and S in the aerial part, root and bract poinsettia during the stage of pigmentation due to the relationship NO₃⁻: Ca²⁺ in the nutrient solution.

Factor NO ₃ ⁻ :Ca ²⁺ (mol ₍₊₎ m ⁻³)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
	Parte aérea					
10:9	3.148	0.374	1.299 a	0.956	0.518	0.263 b
12:7	3.641	0.305	1.014 b	0.917	0.597	0.306 a
DMSH	2.187	0.137	0.37	0.29	0.08	0.021
	Raíz					
10:9	2.56 a	0.513	1.046 a	0.45	0.344	0.322 a
12:7	2.137 b	0.409	0.666 b	0.364	0.277	0.313 b
DMSH	0.044	0.142	0.077	0.158	0.099	0.006
	Brácteas					
10:9	2.442	0.348	1.042 a	0.125	0.229	0.174 b
12:7	2.656	0.332	0.575 b	0.135	0.23	0.185 a
DMSH	0.462	0.082	0.158	0.047	0.041	0.008

Medias con la misma literal en la columna, son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$). DMSH, diferencia mínima significativa honesta.

Discusión

Se han realizado pocos estudios sobre el efecto del NO_3^- y el Ca^{2+} en el crecimiento de las plantas; sin embargo, la importancia de realizar evaluaciones de la interacción entre estos nutrimentos es evidenciada en la presente investigación ya que los resultados sugieren que existe una respuesta de las plantas de nochebuena a las relaciones entre el NO_3^- y el Ca^{2+} , la cual además estuvo en función de la etapa fenológica.

Durante la etapa inicial del crecimiento, la concentración de Ca^{2+} no tuvo efecto sobre el crecimiento de las plantas, en tanto que el NO_3^- tuvo un papel importante en la etapa de desarrollo de las raíces, ya que se acumuló mayor biomasa en la parte aérea y radical cuando se emplearon concentraciones de bajas a moderadas de NO_3^- (Cuadro 2).

En la fase de desarrollo vegetativo, la respuesta a la concentración de NO_3^- estuvo influenciada por la concentración de Ca^{2+} ; en general, se obtuvo una mayor biomasa del tallo y las hojas cuando se emplearon bajos niveles de NO_3^- ($10 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$) en combinación con niveles altos de Ca^{2+} (9 a $11 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$). Igualmente, es posible obtener el mayor crecimiento de las plantas al incrementar el NO_3^- a $12 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$ si esto se combina con una disminución en la concentración de Ca^{2+} a $7 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$ (Figura 1). Por lo anterior, se concluye que en la fase de desarrollo vegetativo, así como en la de crecimiento radical, no se recomiendan altos niveles de NO_3^- para esta especie, lo cual puede ser debido a que en bajas concentraciones el NO_3^- es un activador del desarrollo radical pero tiene un efecto inhibitorio cuando las concentraciones son altas (Zhang *et al.*, 1999; Crawford y Forde, 2002; Antolinez-Delgado y Rodríguez-López, 2008). El desarrollo radical implica una mayor asignación de reservas a la raíz, generando de esta manera un incremento en la superficie para la captación de agua y nutrimentos (Agreen y Franklin, 2003), lo que finalmente se refleja en un mejor desarrollo de la planta.

Los resultados del presente estudio contrastan con los reportados por Conley *et al.* (2002), quienes indicaron que se obtienen plantas de nochebuena con mayor tamaño y con mejor color y forma con niveles altos de N, entre 14.3 a $19.6 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$. Se ha demostrado que la mayor absorción de N en nochebuena ocurre en las primeras fases de crecimiento, antes de la inducción floral, pero desde la inducción floral hasta la formación de flores se incrementa la absorción de P, K^+ , y Mg^{2+} , mientras que la absorción de Ca^{2+} permanece

During the initial growth stage, Ca^{2+} concentration had no effect on plant growth, while NO_3^- played an important role in the stage of root development, as greater biomass was accumulated in the aerial part and radical when low to moderate concentrations of NO_3^- (Table 2) were used.

In the vegetative growth stage, the response to NO_3^- concentration was influenced by the concentration of Ca^{2+} ; overall, there was greater biomass from stem and leaves when low levels of NO_3^- ($10 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$) were used in combination with high levels of Ca^{2+} (9 to $11 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$). It is also possible to obtain the greatest plant growth by increasing NO_3^- to $12 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$ if this is combined with a decrease in the concentration of Ca^{2+} to $7 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$ (Figure 1). Therefore, it is concluded that in plant development and root growth stage are not recommended high levels of NO_3^- for this species, which may be due to low concentrations NO_3^- is an activator of radical development but has an inhibitory effect when concentrations are high (Zhang *et al.*, 1999; Crawford and Forde, 2002; Antolinez-Delgado and Rodríguez-López, 2008). Radical development implies greater allocation of reserves to the root, thereby generating an increase in the surface to obtain water and nutrients (Agreen and Franklin, 2003), which ultimately is reflected in a better plant development.

The results of the present study contrast with those reported by Conley *et al.* (2002), who indicated that poinsettia plants are obtained with larger size and better color and form with high levels of N, from 14.3 to $19.6 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$. It has been shown that higher absorption of N on poinsettia occurs in early growth stages before floral induction, but from floral induction to flower formation, the uptake of P, K^+ , and Mg^{2+} increases, while Ca^{2+} uptake remains unchanged between the initial phase and induction (Scoggins and Mills, 1998); the latter it is also in contrast with the results obtained in this study as it was found that in the flowering stage, bracts growth was markedly influenced by the concentration of Ca^{2+} although this response depended on NO_3^- concentration.

The results of this study suggest that during the stage of pigmentation, NO_3^- levels between 10 and $12 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$ allow greater bracts growth if combined with $9 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$ Ca^{2+} (Figure 2). This is consistent with the information submitted by Rose and White (1994), who indicate that during floral induction, an adjustment is made on the accumulation of dry matter toward the bracts and cyathia, causing a decrease in N requirements. Paparozzi *et al.* (1994), mention that in ornamental plants on pots require less fertilizer once it

sin cambios entre la fase inicial y la de inducción (Scoggins y Mills, 1998); lo anterior también está en contraste con los resultados obtenidos en el presente estudio ya que se detectó que en la fase de floración el crecimiento de las brácteas estuvo influenciado más marcadamente por la concentración de Ca^{2+} , aunque esta respuesta dependió de la concentración de NO_3^- .

Los resultados del presente estudio sugieren que durante la etapa de pigmentación, niveles de NO_3^- entre 10 y 12 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ permiten el mayor crecimiento de las brácteas si se combinan con 9 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ de Ca^{2+} (Figura 2). Lo anterior concuerda con la información presentada por Rose y White (1994), quienes indican que durante la inducción floral, se realiza un ajuste en la acumulación de materia seca hacia las brácteas y ciatios, ocasionando una disminución en los requerimientos de N. Similarmente, Paparozzi *et al.* (1994) señalan que en plantas ornamentales en maceta se requiere menos fertilizante una vez que se alcanza la antesis, lo cual fue confirmado por Kuehny *et al.* (2000) en varios cultivares de nochebuena, indicando que es necesario realizar ajustes en las dosis de fertilización.

El P tiene una gran influencia en el crecimiento de las raíces de las plantas, y específicamente en nochebuena donde la calidad óptima se obtuvo con la tasa de aplicación de P de 1.13 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ (Khandan-Mirkohi *et al.*, 2015), lo cual pudiera explicar la reducción en el crecimiento de las raíces observado cuando se aumentó la concentración de NO_3^- y Ca^{2+} puesto que para mantener un potencial osmótico homogéneo entre las soluciones nutritivas en evaluación, se tuvo que disminuir la concentración de H_2PO_4^- y SO_4^{2-} en aquellas soluciones con mayor concentración de NO_3^- . En el mismo sentido, la mayor concentración de P en la parte aérea de las plantas que se presentó durante la fase de crecimiento radical y vegetativa (Cuadro 3 y 4) en plantas tratadas con bajos niveles de NO_3^- y Ca^{2+} , podría deberse al aumento en la concentración de H_2PO_4^- en la solución nutritiva, por lo que la planta tuvo mayor disponibilidad de este nutriente. Debido al impacto negativo de una deficiencia de P en el crecimiento de las raíces, el crecimiento de la parte aérea también puede ser afectado (Olivera *et al.*, 2007), ya que ésta depende del transporte de nutrientes y otras sustancias desde las raíces, lo que podría explicar también la reducción de la masa seca observada en el presente estudio en cada uno de los órganos al aumentar la concentración de NO_3^- .

Un hecho destacable fue de que a pesar de disminuir la concentración de K^+ en la solución nutritiva para ajustar el potencial osmótico, las plantas lograron acumular una mayor

reaches anthesis, which was confirmed by Kuehny *et al.* (2000) in several poinsettia cultivars, indicating that it is necessary to adjust the fertilization dose.

P has a great influence on root growth of plant, and specifically on poinsettia where high quality was obtained with the application rate of 1.13 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$ of P (Khandan-Mirkohi *et al.*, 2015), which could explain the reduction in root growth observed when NO_3^- and Ca^{2+} concentrations increased as to maintain a homogeneous osmotic potential between the nutrient solution under evaluation, it was necessary to decrease the concentration of H_2PO_4^- and SO_4^{2-} in those solutions with higher concentrations of NO_3^- . Similarly, the highest concentration of P in the aerial part that was present during the radical and vegetative growth (Table 3 and 4) in plants treated with low levels of NO_3^- and Ca^{2+} could be due to increased concentration of H_2PO_4^- in the nutrient solution, so the plant had higher availability of this nutrient. Due to the negative impact of a deficiency of P in the root growth, growth in aerial parts can also be affected (Olivera *et al.*, 2007), since it depends on nutrients transport and other substances from the roots, which could also explain the reduction in dry matter observed in the present study in each of the organs by increasing the concentration of NO_3^- .

A remarkable fact was that despite lowering the concentration of K^+ in the nutrient solution to adjust osmotic potential, the plants managed to accumulate a higher concentration in different organs during the three phenological stages, suggesting that K^+ is a nutrient absorbed in higher amounts by poinsettia (Oliveira *et al.*, 2004) and that there was an adjustment by the plant to increase its absorption despite the decrease in the external concentration.

The highest concentration of S observed during pigmentación in the aerial part and root was recorded with 12 $\text{mol}_{(+)} \text{NO}_3^- \text{m}^{-3}$ (Table 5), which may be due to the relationship between the absorption and metabolism processes of N and S in superior plants (Koprivova *et al.* 2000). The highest concentration of N in plants despite of the lowest concentration of NO_3^- in the nutrient solution was observed in the pigmentación stage which can be explained by the fact that during floral induction makes an adjustment in the translocation of dry matter towards the bracts and cyathia, causing a decrease in the requirements of N (Rose and White, 1994); in addition Ca^{2+} is involved in the absorption of NO_3^- (Tuna *et al.*, 2007) and the concentration of Ca^{2+} increases in the bracts of poinsettia flowers by decreasing the concentration of N and K^+ in the nutrient solution (Starkey and Nielsen, 2001). It has been

concentración en los diferentes órganos durante las tres fases fenológicas, lo cual sugiere que el K^+ es un nutrimento absorbido en mayor cantidad por nochebuena (Oliveira *et al.*, 2004) y que existió un ajuste por parte de las plantas para aumentar su absorción a pesar de la disminución en la concentración externa.

La mayor concentración de S observada durante la pigmentación en parte aérea y raíz se registró con $12 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$ de NO_3^- (Cuadro 5), lo que puede ser debido a la relación entre los procesos de absorción y de metabolismo del N y S en plantas superiores (Koprivova *et al.*, 2000). La mayor concentración de N en las plantas a pesar de la menor concentración de NO_3^- en la solución nutritiva que se observó en la fase de pigmentación puede ser explicado por el hecho de que durante la inducción floral se realiza un ajuste en la translocación de materia seca hacia las brácteas y ciatios, ocasionando una disminución en los requerimientos de N (Rose y White, 1994); además, el Ca^{2+} interviene en la absorción de NO_3^- (Tuna *et al.*, 2007) y la concentración de Ca^{2+} en las brácteas de flor de nochebuena aumenta al disminuir la concentración de N y K^+ en la solución nutritiva (Starkey y Nielsen, 2001). Se ha reportado incluso que las concentraciones de Ca^{2+} y el Mg^{2+} son más altas en plantas de nochebuena cuando se proporciona el N en forma de NO_3^- en lugar de NH_4^+ y que esta especie prefiere el N en forma de NO_3^- pues se obtiene la mayor biomasa (Scoggins y Mills, 1998). Por los datos anteriores se sugiere un cambio de relación por etapa fenológica entre el NO_3^- y el Ca^{2+} en la solución nutritiva para un óptimo crecimiento de plantas de nochebuena.

Conclusiones

La relación óptima entre la concentración de NO_3^- y Ca^{2+} estuvo en función de la etapa fenológica en flor de nochebuena. Durante la etapa de crecimiento radical se acumuló mayor biomasa cuando se emplearon concentraciones bajas de NO_3^- (10 a $12 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$), sin efecto de la concentración de Ca^{2+} ; mientras que, en la etapa de desarrollo vegetativo estos bajos niveles de NO_3^- ($10 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$) deben combinarse con niveles altos de Ca^{2+} (9 a $11 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$). En la etapa de pigmentación, los niveles de NO_3^- entre 10 y $12 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$ permiten el mayor crecimiento de las brácteas si se combinan con concentraciones de Ca^{2+} de $9 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$.

reported that even concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} are higher in poinsettia plants when N is provided in the form of NO_3^- instead of NH_4^+ and that this species prefers N in the form of NO_3^- as it obtains greater biomass (Scoggins and Mills, 1998). From the above data a change in the ratio per phenological stage between NO_3^- and Ca^{2+} in the nutrient solution for an optimal growth of poinsettia plants is suggested.

Conclusions

The optimal ratio between the concentration of NO_3^- and Ca^{2+} was based on the phenological stage in poinsettia flower. During the stage of root growth accumulated greater biomass when low concentrations of NO_3^- (10 to $12 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$) were used, with no effect of Ca^{2+} ; while in the vegetative stage these low levels of NO_3^- ($10 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$) should be combined with high levels of Ca^{2+} (9 to $11 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$). In the pigmentation stage, NO_3^- levels between 10 and $12 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$ allow greater growth of bracts when combined with Ca^{2+} concentrations of $9 \text{ mol}_{(+)} \text{ m}^{-3}$.

End of the English version



Literatura citada

- Agren, G. I. and Franklin, O. 2003. Root: shoot ratios, optimization and nitrogen productivity. Reino Unido. *Ann. Bot.* 92:795-800.
- Alcántar-Gonzalez, G. y Sandoval-Villa, M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A.C. Chapingo, México. 156 p.
- Antolinez-Delgado, C. A. y Rodríguez-López, N. 2008. Plasticidad fenotípica en *Lippia alba* y *Lippia origanoides* (Verbenaceae): respuesta a la disponibilidad de nitrógeno. Colombia. *Acta Biol. Colombiana.* 13:53-64.
- Aroiee, H. and Omidbaigi, R. 2004. Effects of nitrogen fertilizer on productivity of medicinal pumpkin. Bélgica. *Acta Hortic.* 629:415-419.
- Ayala-Arreola, J.; Castillo-González, A. M.; Valdez-Aguilar, L. A.; Colinas-León, M. T.; Pineda-Pineda, J. and Avitia-García, E. 2008. Effect of calcium, boron and molybdenum on plant growth and bract pigmentation in poinsettia. México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:165-172.
- Brearen, L. M. and Mulvaney, S. C. 1982. Nitrogen-total. *In*: Page, A. L.; Miller, R. H. and Keeney, D. R. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (Agronomy 9)*. 2nd (Ed.). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, WI. 595-634 pp.

- Chapman, H. D. y Pratt, P. F. 1973. Manual de análisis para suelos, aguas y plantas. Ed. Trillas, D. F. México. 195 p.
- Colinas-León, M. T.; Alía-Tejacal, I.; Bautista-Bañuelos, C. y Valdez-Aguilar, L. A. 2006. Fluctuación de carbohidratos durante el desarrollo de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd) en dos localidades. México. Rev. Fitotec. Mex. 29:63-68.
- Conley, M. E.; Paparozzi, E. T. and Stroup, W. W. 2002. Leaf anatomical and nutrient concentration responses to nitrogen and sulfur applications in poinsettia. USA. J. Plant Nut. 25:1773-1791.
- Crawford, N. and Forde, B. 2002. Molecular and developmental biology of inorganic nitrogen nutrition. USA. The Arabidopsis Book. 1:1-25.
- Duffy, B. K. and Défago, G. 1999. Macro- and microelement fertilizers influence the severity of *Fusarium* crown and root rot of tomato in a soilless production system. USA. HortScience. 34:287-291.
- Escalante-Estrada, J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. México. Terra Latinoam. 17:149-157.
- Fageria, V. D. N. K.; Baligar, C. V. and Clark, R. B. 2006. Physiology of crop production. Haworth Press. New York, USA. 345 p.
- Funnell, K. A.; Hewett, E.; Warrington, I. and Pummer, J. 1998. Leaf mass partitioning as a determinant of dry matter accumulation in *Zantedeschia*. USA. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 123:973-979.
- González-Raya, E.; Benavides-Mendoza, A.; Ramírez, H.; Robledo-Torres, V.; Maiti, R.; Reyes-López, A.; Aguilera-Carbo, A. F.; Fuentes-Lara, L. O. y Hernández-Valencia, R. E. M. 2005. Crecimiento de jitomate y calidad de frutos con diferentes concentraciones de nitrato. México. Terra Latinoam. 23:105-111.
- He, Y.; Terabayashi, S.; Asaka, T. and Namiki, T. 1999. Effect of restricted supply of nitrate on fruit growth and nutrient concentration in the petiole sap of tomato cultured hydroponically. USA. J. Plant Nut. 22:799-811.
- Jauset, A. M.; Sarasúa, M. J.; Avilla, J. and Albajes, R. 2000. Effect of nitrogen fertilization level applied to tomato on the greenhouse whitefly. Iran. Crop Protection. 19:255-261.
- Jones, J. J. B.; Wolf, B. and Mills, H. A. 1991. Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Publishing. Athens, Georgia, USA. 422 p.
- Khandan-Mirkohi, A.; Schenk, M. K. and Fereshtian, M. 2015. Study on phosphorus supply management of poinsettia grown in peat-based substrate. Iran. J. Agric. Sci. Technol. 17:179-188.
- Koprivova, A.; Suter, M.; Den Camp, R. O.; Brunold, C. and Kopriva, S. 2000. Regulation of sulfate assimilation by nitrogen in Arabidopsis. USA. Plant Physiol. 122:737-746.
- Kuehny, S. F.; Branch, P. C. and Adams, P. W. 2000. Effect of constant versus adjusted commercial fertilizer concentrations on poinsettia. USA. J. Plant Nutrit. 23:551-568.
- Liang, W.; Wang, M. and Ai, X. 2009. The role of calcium in regulating photosynthesis and related physiological indexes of cucumber seedlings under low light intensity and suboptimal temperature stress. Holanda. Scientia Hort. 123:34-38.
- Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. 3rd (Ed.). London, UK. 672 p.
- McCullough, D. E.; Girardin, P.; Mihajlovic, M.; Aguilera, A. and Tollenaar, M. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and new maize hybrid. Canada. Canadian J. Plant Sci. 74:471-477.
- Oliveira, R. H.; Rosolem, C. A. and Trigueiro, R. M. 2004. Importance of mass flow and diffusion on the potassium supply to cotton plants as affected by soil water and potassium. Brasil. Rev. Brasileira de Ciencia do Solo. 28:439-445.
- Olivera, M.; Tejera, N.; Iribarne, C.; Ocaña, A. and Lluch, C. 2007. Growth, nitrogen fixation and ammonium assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris*): effect of phosphorus. Suecia. Physiologia Plantarum. 121:498-505.
- Paparozzi, E. T.; Darrow, P. O.; McCallister, D. E. and Stroup, W. W. 1994. Effect of varying the nitrogen and sulphur supply on the flowering of poinsettia. USA. J. Plant Nutrit. 14:593-606.
- Pineda-Pineda, J.; Castillo-González, A. M.; Morales-Cárdenas, J. A.; Colinas-León, M. T.; Valdez-Aguilar, L. A. y Avitia-García, E. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. México. Rev. Chapingo Serie Horticultura. 14:131-137.
- Rose, M. A. and White, J. W. 1994. Nitrogen rate and timing of nitrogen application in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotz.). USA. HortScience. 29:1309-1313.
- Schwarz, M. 1995. Soilless culture management. Advanced series in agricultural sciences 24. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 197 p.
- Scoggins, H. L. and Mills, H. A. 1998. Poinsettia growth, tissue nutrient concentration, and nutrient uptake as influenced by nitrogen form and stage of growth. USA. J. Plant Nutrit. 21:191-198.
- Sedano-Castro, G.; González-Hernández, V. A.; Saucedo-Veloz, C.; Soto-Hernández, M.; Sandoval-Villa, M. y Carrillo-Salazar, J. A. 2011. Rendimiento y calidad de frutos de calabacita con altas dosis de N y K. México. Terra Latinoam. 29:133-142.
- Starkey, K. R. and Nielsen, N. E. 2001. Reduced N and K application increases the uptake of Ca and improves the quality of Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch). Holanda. Plant Nutrition. 92:312-313.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Lunteren, Netherlands. 633-649 pp.
- Stromme, E.; Selmer, O. A. R.; Gislerød, R. H. and Moe, R. 1994. Cultivar differences in nutrient absorption and susceptibility to bract necrosis in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch). Alemania. Gartenbauwissenschaft. 59:6-12.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant physiology. Third Edition, Sinauer Associate, Inc. United State of America. 690 p.
- Tuna, A. L.; Kaya, C.; Ashraf, M.; Altunlu, H.; Yokas, I. and Yagmut, B. 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. Japon. Environ. Exp. Bot. 59:173-178.
- Vásquez, G. L. M. y Salomé, E. C. 2004. Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) Cuetlaxóchtli. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Ed. Sigome, Toluca, Estado de México. 129 p.
- Villegas-Torres, O. G.; Sánchez-García, P.; Baca-Castillo, G. A.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Trejo, C.; Sandoval-Villa, M. y Cárdenas-Soriano, E. 2005. Crecimiento y estado nutricional de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. México. Terra Latinoam. 23:49-56.
- White, P. J.; Pineros, M.; Tester, M. and Ridout, M. S. 2000. Cation permeability and selectivity of root plasma membrane calcium channel. USA. J. Membrane Biol. 174:71-83.
- Zhang, H.; Jennings, A.; Barlow, P. and Forde, B. 1999. Dual pathways for regulation of root branching by nitrate. USA. Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 96:6529-6534.