



Accumulation and remobilization of Calcium, Magnesium and Phosphorus in Rose plants

Acumulación y removilización de Calcio, Magnesio y Fósforo en plantas de Rosal

Alvarado-Camarillo, D.¹, Valdez-Aguilar, L. A.^{1*}, Alba-Romenous, K.²,
Martínez-Amador, S. Y.³, Hernández-Pérez, A.¹.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ¹Departamento de Horticultura,
²Departamento de Maquinaria Agrícola, ³Departamento de Botánica, Calzada Antonio
Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315.

Cite this paper/Como citar este artículo: Alvarado-Camarillo, D., Valdez-Aguilar, L. A., Alba-Romenous, K., Martínez-Amador, S. Y., Hernández-Pérez, A. (2018). Accumulation and remobilization of Calcium, Magnesium and Phosphorus in Rose plants. *Revista Bio Ciencias* 5, e322. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.05.e322>

ABSTRACT

Production of roses-cut flowers in Mexico takes place with no regulation in the use of fertilizers, which results in economic, social and health problems. The present research was conducted with the objective of determining the dynamics of the accumulation and remobilization of Ca, Mg and P in roses plants according to the phenological stages, to obtain useful information in the design of fertilization programs to be applied in the right time and quantity according to plant demands. The phenological stages included in this study were: 1) sprouting of the zone of active leaves (ALZ) and with shoots with a length of 10 cm; 2) from the shoots of the ALZ with length of 10 cm until debudding and deshooting; 3) pinching of the ALZ; 4) sprouting of the zone of cutting (CZ) and shoots of the CZ with a length of 10 cm; 5) shoots of the CZ with a length of 15 cm; 6) shoots of the CZ with visible floral bud and smaller than a pea; 7) elongation of shoots from the CZ to form the floral stem and 8) flower harvest. The plants presented a cyclic pattern in the accumulation

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: April 20th 2017.

Accepted/Aceptado: June 26th 2017.

Available on line/Publicado: October 09th 2018.

RESUMEN

La producción de flores de rosa para corte en México se realiza sin regulación del uso de fertilizantes, lo que ocasiona problemas económicos, sociales y de salud. La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar la dinámica de la acumulación y removilización de Ca, Mg y P en plantas de rosal de acuerdo a las etapas fenológicas, para obtener información útil en el diseño de fórmulas de fertilización para aplicarse justo en el momento y cantidad que lo demande el cultivo. Las etapas estudiadas fueron: 1) brotación de la zona de hojas activas (ALZ) y con brotes con una longitud de 10 cm; 2) desde los brotes de la ALZ con longitud de 10 cm hasta el descabezado y desbrote; 3) pinzado de la ALZ; 4) brotación de la zona de corte (CZ) y brotes de la CZ con longitud de 10 cm; 5) brotes de la CZ con longitud de 15 cm; 6) brotes de la CZ con botón floral visible y menor al tamaño chícharo; 7) elongación de los brotes de la CZ para formar el tallo floral y 8) cosecha de flores. El rosal presentó un patrón cíclico en la acumulación de los nutrimentos en estudio, lo cual ocurrió en tres etapas. La primera fue durante el brote de la ALZ hasta que estos alcanzaron 10 cm de longitud, la segunda fue desde el pinzado de la ALZ hasta la brotación de la CZ y la aparición del siguiente piso con brotes de 10 cm, mientras que la tercera etapa fue antes de la cosecha de la flor. Cuando los brotes de la ALZ así como los de la CZ se encontraban en su

*Corresponding Author:

Valdez-Aguilar, Luis A., Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. Phone: +52(844)4110 200. E-mail: luisalonso.valdez@uaaan.mx

of the nutrients under study, which occurred in three stages. The first one was during the outbreak of the ALZ until they reached 10 cm in length, the second was from pinching of the ALZ to the budding of the CZ and the appearance of the next floor with shoots of 10 cm in length, while the third stage was before flower harvest. When the shoots of the ALZ as well as those of the CZ were at their maximum growth rate the accumulation of Ca, Mg and P was halted at the whole plant level. However, the aforementioned growing shoots were supplied from the mobilization of the nutrients from the lower parts of the plant (roots, rootstocks and bottom break). The nutrient demand was estimated to be, for Ca, 190, 140 and 86 mg plant⁻¹ for the first, second and third phases, respectively, while for Mg they were 66, 56 y 6 mg plant⁻¹ and for P they were 156, 94, y 11 mg plant⁻¹.

KEY WORDS

Fertilizer use efficiency, mineral nutrition, ornamentals, *Rosa hybrida*.

Introduction

One of the ornamental species with globally the highest demand is the rose (*Rosa hybrida*, L.) The national production of cut flowers of this species reached up to 39 million of dozens of flowers in the year 2015, while as for 2016 some preliminary numbers indicate that it increased to 44 million (SIAP, 2016). Due to the variety of climates and their geographical position according to the main consumer markets for ornamentals, Mexico has a wide opportunity for the development of the flower farming industry, having reaching the first levels at exportation (Tejeda-Sartorius *et al.*, 2015). Nonetheless, in the states where the production of roses is concentrated, several problems arise because they do not have regulations in the use of agrochemicals and fertilizers, which has deteriorated the soil and aquifers, causing a strong environmental impact (Gomora-Jiménez *et al.*, 2006).

With the objective of avoiding a considerable pollution in the environment, in some countries like the Holland, the dumping of fertilizers through lixiviation of irrigation water has been restricted or prohibited (Voogt and Sonneveld, 1997), taking into consideration the fundamental importance of establishing sustainable production models, as well as offering training to producers to strengthen crop management, optimize

máxima tasa de crecimiento, la acumulación de Ca, Mg y P se detuvo a nivel de planta completa. Los mencionados brotes en crecimiento fueron abastecidos de tales nutrientes a partir de la removilización de los mismos desde las partes más bajas de la planta como lo fueron las raíces, el portainjerto y el basal. La demanda de Ca fue de 190 mg planta⁻¹ en la primera etapa, 140 mg planta⁻¹ para la segunda etapa y 86 mg planta⁻¹ para la tercera, mientras que para las mismas etapas la de Mg fue de 66, 56 y 6 mg planta⁻¹ y la de P fue 156, 94, y 11 mg planta⁻¹.

PALABRAS CLAVE

Eficiencia del uso de fertilizantes, nutrición mineral, ornamentales, *Rosa hybrida*.

Introducción

Una de las especies ornamentales de mayor demanda a nivel mundial es la rosa (*Rosa hybrida* L.). La producción nacional de flores cortadas de esta especie llegó a 6.8 millones de gruesas en 2015, mientras que para el 2016 algunas cifras preliminares indican que esta se incrementó a 7.6 millones (SIAP, 2016). Debido a la variedad de climas y a su posición geográfica con respecto a los principales mercados de consumo de ornamentales, México tiene una amplia oportunidad para el desarrollo de la industria florícola, pudiendo incluso llegar a ocupar los primeros niveles en exportación (Tejeda-Sartorius *et al.*, 2015).

Sin embargo, en las entidades en donde se concentra la producción de rosas en México, se presentan diversas problemáticas ya que no cuentan con una regulación en cuanto al uso de agroquímicos y fertilizantes, lo que ocasiona un fuerte impacto ambiental pues hay un marcado deterioro del suelo y los mantos acuíferos (Gomora-Jiménez *et al.*, 2006). Con el objetivo de evitar una contaminación considerable del ambiente, en algunos países como Holanda ya se ha limitado o prohibido la descarga de fertilizantes por la lixiviación del agua de irrigación (Voogt y Sonneveld, 1997), pues en este país ya se ha tomado conciencia de lo fundamental que resulta el establecer modelos sustentables de producción, así como ofrecer capacitación a los productores para fortalecer el manejo del cultivo, optimizar la producción, y el uso de fertilizantes y el agua (Tejeda-Sartorius y Tejeda-Sartorius, 2009).

Una opción para incrementar la producción de flores en un menor espacio y con una alta eficiencia en recursos como el agua y los fertilizantes son los sistemas de cultivo sin suelo en un sistema hidropónico cerrado (Massa *et al.*, 2008). La conversión de los sistemas tradicionales de cultivo a un sistema hidropónico cerrado son los métodos más comunes

production, fundamental to establish sustainable models of production, and the use of water and fertilizers (Tejeda-Sartorius and Tejeda-Sartorius, 2009).

One way of increasing the production of flowers in a smaller space and with high water and fertilizers use efficiency are the soilless cultivation technologies with closed hydroponic systems (Massa *et al.*, 2008). The conversion of conventional cultivation systems to a closed hydroponic system are the most common methods used in the greenhouse production industry (Ehret, *et al.*, 2005).

These systems have been focused mainly on the production of vegetables; however, they are being introduced into the production of cut flowers.

Fertilization used by the roses growers in our country is erratic, and it is not designed to provide the nutrients needed at the right moment that the plant requires them, in terms of its phenological growth, nor in the quantity required by the crop. Nutrition of greenhouse roses is based on the elaboration of a solution with fertilizers according to the results of an analysis of soil, which are used only as a guide during the crop's growth. Some roses growers point out that they use a mixture of fertilizers every 15 days, while in the middle days they only apply water with no nutrients; according to the same flower growers, they apply up to 1 kilogram of granulated fertilizer (calcium nitrate) in furrows of 300 m, one or three times a month, according to the crop's growth.

Among the nutrients of higher demand for roses for cut flowers, are calcium (Ca), magnesium (Mg), and phosphorus (P) (Cabrera, 2002). An adequate supplement of Ca is important in order to increase postharvest quality (Starkey and Pedersen, 1997). Calcium acts as a secondary messenger on the transduction signals and adaptation of the plant in response to the environment like stress tolerance, salinity, cold, heat, and oxidative stress (Sanders *et al.*, 1999). In roses, Ca promotes plant growth and allows the maintenance of cell membrane integrity in the petals, reduces the production of ethylene, facilitates solute transport and increases the firmness of the stems (Torre *et al.*, 1999).

Magnesium is a structural constituent of the molecule of chlorophyll on which photosynthesis depends, and

usados en la industria bajo producción de invernaderos (Ehret *et al.*, 2005).

Estos sistemas han sido enfocados principalmente a la producción de hortalizas; sin embargo, se han ido introduciendo hacia la producción de flores de corte.

La fertilización utilizada por los productores de rosa en nuestro país es errática y no está diseñada para proporcionar los nutrientes necesarios en el momento justo que los requiere la planta en función de su desarrollo fenológico ni en la cantidad que demanda el cultivo. La nutrición de las rosas de invernadero se basa en la elaboración de una solución con fertilizantes de acuerdo a los resultados de un análisis de suelo; sin embargo, estos análisis solo los usan como una guía durante el crecimiento del cultivo. Algunos productores de rosa señalan que utilizan una mezcla de fertilizantes cada 15 días, mientras que en los días intermedios solo aplican agua con ningún aporte nutricional; de acuerdo a los mismos floricultores, llegan a aplicar en surcos de 300 m hasta 1 kg de fertilizante granulado (nitrato de calcio) de una o hasta tres veces por mes, según el crecimiento del cultivo.

Entre los nutrientes de mayor demanda por el rosal para flor de corte se encuentra el calcio (Ca), magnesio (Mg) y el fósforo (P) (Cabrera, 2002). Un adecuado suplemento de Ca es importante para incrementar la calidad de la rosa en postcosecha (Starkey y Pedersen 1997). El Ca está involucrado como mensajero secundario en las señales de transducción y adaptación de la planta en respuestas al ambiente como tolerancia al estrés, salinidad, frío, calor y estrés oxidativo (Sanders *et al.*, 1999). En rosa, el Ca promueve el crecimiento de la planta y permite mantener la integridad de las membranas en los pétalos, reduce la producción de etileno, facilita el transporte de solutos y aumenta la firmeza de los tallos (Torre *et al.*, 1999).

El Mg es un constituyente estructural de la molécula de clorofila de la cual depende la fotosíntesis y actúa como un activador o regulador del grupo de kinasas, ATPasa, RuBP oxigenasa y carboxilasa, así como de otras enzimas involucradas en el metabolismo de los carbohidratos (Hawkesford *et al.*, 2012). Por otro lado, el fósforo (P) es considerado uno de los elementos esenciales para el crecimiento de la planta debido a que se encuentra presente en el ARN y ADN; éste nutriente tiene un papel importante en la maduración de la planta, floración, crecimiento de raíces y en el contenido de nitrógeno (N) y Mg (Abdulnour *et al.*, 1994).

acts as an activator or regulator for group of kinases, ATPase, RuBP oxygenase and carboxylase as well as for other enzymes involved in the metabolism of carbohydrates (Hawkesford *et al.*, 2012). On the other hand, P is considered to be an essential element for plant growth because it is found on DNA and RNA; this nutrient has an important role in the plant's ripening, blooming, roots' growth and in the content of Nitrogen (N) and Mg (Abdulnour *et al.*, 1994).

The purpose of this research was to determine the dynamics of the accumulation and remobilization of Ca, Mg, and P on plant parts of roses, cultivated in perlite and established in a closed hydroponic system. This information will be useful for designing fertilization programs that flower growers can apply quantity and the right moment to meet plant demands.

Methods and Materials

This study was performed in a greenhouse at the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, located in Buenavista, Saltillo, Coahuila (north latitude of 25° 22' and west longitude of 101° 02', at 742 meters above sea level). The average temperature recorded during the study was 9.3 minimum and 24.3 °C maximum. Relative humidity oscillated between 14.5 and 90.4 %. Incident active photosynthetic radiation during the period of higher insolation (12:00 to 14:00 hours) was on average 558 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Roses cultivar Freedom grafted on Natal Briar were used. The plants were transplanted on July 2nd, 2015, in rigid plastic containers of 30 x 48 x 20 centimeters. Perlite was used as substrate (33 % of water retention capacity (v/v), 64 % of porous space and an apparent density of 0.25 grams per cm^3). The containers were placed in an elevated structure in order to establish a closed hydroponic system with recirculation of the nutrient solution. Four plants were placed in each container without covering the grafting point.

A solution with Steiner's formulation (1984) was used for the nutrition of the plants, which was prepared with drinkable water considering their chemical properties for the nutrient supply. The pH of the solutions was adjusted to 5.9 ± 0.1 with H_2SO_4 and the electrical conductivity was 2.0 dS m^{-1} , which were adjusted daily. The nutrient

El objetivo de la presente investigación fue determinar la dinámica de la acumulación y removilización de Ca, Mg y P en los órganos de plantas de rosal cultivadas en perlita y establecidas en un sistema hidropónico cerrado. Esta información sería útil para diseñar las fórmulas de fertilización que los floricultores pueden aplicar justo en el momento y cantidad que los demande el cultivo.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila (25° 22' de latitud norte y 101° 02' longitud oeste y 742 msnm). La temperatura mínima y máxima promedio que se registró durante el estudio fue de 9.3 y 24.3 °C, respectivamente. La humedad relativa osciló entre 14.5 y 90.4 %. La radiación fotosintéticamente activa incidente durante el periodo de mayor insolación (12:00 a 14:00 h) fue en promedio de 558 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Se utilizaron plantas de rosal cv. Freedom injertada sobre Natal Briar. Las plantas se trasplantaron el 2 de julio de 2015 en contenedores de plástico rígido de 30 x 48 x 20 cm. Como sustrato se utilizó perlita (33 % de capacidad de retención de agua (v/v), 64 % de espacio poroso y una densidad aparente de 0.25 g cm^{-3}). Los contenedores fueron colocados en una estructura elevada para establecer un sistema hidropónico cerrado con recirculación de la solución nutritiva. Se establecieron cuatro plantas a tresbolillo en cada contenedor sin cubrir el punto de injerto.

Se empleó una solución con la formulación de Steiner (1984) para la nutrición de las plantas, misma que fue preparada con agua potable considerando sus propiedades químicas para el aporte de nutrimentos. El pH de las soluciones fue ajustado a 5.9 ± 0.1 con H_2SO_4 y la conductividad eléctrica fue de 2.0 dS m^{-1} , mismos que se ajustaban diariamente.

La solución nutritiva se aplicó mediante un sistema de riego automatizado a través de goteros con un gasto de 4 L h^{-1} y 4 piquetas en cada contenedor. Los riegos tuvieron una duración de 15 min y se aplicaban en intervalos de 30 min, entre las 7:00 y 19:00 horas.

A partir de la fecha de trasplante se dio inicio a la formación de la planta, hasta el momento de la poda, la cual se realizó cortando los basales a una altura de 60 cm el 31 de octubre de 2015. Las plantas seleccionadas para el

solution was applied through an automated drip irrigation system dispensing 4 liters h⁻¹ and 4 picks in each container. Irrigation had a duration of 15 minutes and they were applied at 30 min intervals, between 7:00 and 19:00 h.

Plant formation started from the day they were trasplanted until the pruning time, which was done by cutting the bottom breaks to a height of 60 cm on October, 31st, 2015. The plants selected for the study were handled with only one bottom break. During the

estudio se manejaron con un solo basal. Durante el periodo de estudio se realizaron siete muestreos destructivos, los cuales correspondieron a las etapas fenológicas indicadas en el Tabla 1.

En cada muestreo se seleccionaron al azar cinco plantas con un basal, extrayéndolas completamente del contenedor para posteriormente fraccionarlas en raíz, portainjerto, basal, tallo, hojas y flores. Conforme se desarrollaron las plantas, en cada muestreo, se fueron separando las hojas y tallos de la zona

Table 1.
Samplings performed during the study, including the days after pruning and the phenological phase when they were conducted.

Tabla 1.
Muestreos realizados durante el estudio, incluidos los días posteriores a la poda y la fase fenológica cuando se realizaron.

Sampling	Days after pruning	Phenological phase
1	30	Sprouting of the zone of active leaves and with shoots of 10 cm length
2	45	From sprouting of the zone of active leaves with shoots of 10 cm length to debuding and deshooting
3	60	Pinch of the zone of active leaves, sprouting of the cutting flowers zone and shoots of the cutting flowers zone of 10 cm length
4	75	Shoots of the cutting flowers zone of 15 cm length
5	97	Shoots of the cutting flowers zone with flower bud visible and smaller than a pea
6	110	Elongation of the shoots of the cutting flowers zone to form the flowering stem
7	116	Harvest of flowers

period of study, seven destructive samplings were performed, according to the phenological phases shown in Table 1.

On each sampling, five plants with one bottom break were randomly selected removing them from the container and separated into root stock, bottom break, leaves and flowers. While plants grew, on each sampling, leaves and stems were separated from the zone of active leaves and the zone of cutting flowers, respectively, as well as the flower bud in this last zone. The roots were washed using distilled water, just like the remaining organs, to remove the excess of substrate. Subsequently, the separated organs were introduced in a drying oven at 70 °C for 72 hours, except the stems and

de hojas activas y de la zona de corte, respectivamente, así como el botón floral en esta última zona. Las raíces se lavaron con agua destilada, al igual que los restantes órganos, para eliminar el exceso de sustrato. Posteriormente, los órganos separados se introdujeron en un horno de secado a 70 °C por 72 h, excepto los tallos y basales, los cuales se mantuvieron entre 15 y 20 días.

Se determinó la concentración de Ca, Mg y P. Para ello, los tejidos se digitaron en 5 mL de H₂SO₄ y 1 mL de H₂O₂ grado reactivo. El digestado resultante fue llevado a 25 mL y filtrado. En una alícuota de la muestra resultante se determinó la concentración de Ca, Mg y P mediante lectura directa en un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción

bottom breaks, which were kept between 15 and 20 days. The concentration of Ca, Mg, and P was determined, the tissues were digested in 5 mL of H₂SO₄ and 1 mL of H₂O₂ reactive degree. The digest was brought to 25 mL and filtered. In an aliquot of the resulting sample, the concentration of Ca, Mg, and P was determined through direct reading using atomic absorption spectroscopy inductively coupled plasma (ICP-AES 725 Series Agilent; Mulgrave, Victoria, Australia). The calculation of the content of Ca, Mg, and P was done considering the dry material and the nutrient concentration; the sum of the nutrients in every organ was considered the total nutritional content of the plant. The averages with standard error were plotted and the tendencies were softened using Spline modeling with SigmaPlot 12.5.

Results and Discussion

Phase: sprouting to deshooting of the active leaves zone

At a whole plant level, an increase in accumulation of Ca, Mg, and P was observed, from the sprouting of the active leaves zone (ALZ) to the deshooting and pinching of this zone. The total increase of the three elements (Figure 1a-c) was associated to the increase in their accumulation in the root (Figure 2a-c), rootstock (Figure 3a-c), bottom break (Figure 4a-c), as well as the leaves and stems of the ALZ (Figure 5a-c). Although the accumulation of Ca in the stems and leaves of the ALZ could seem negligible, the absorption of this element in this zone impacted on the total accumulation of the plant.

Phase: from deshooting to pinching of the active leaves zone

At a whole plant level, an increase in the accumulation of Ca in this phase was observed (Figure 1a), however, compared to the previous sampling, there was a 44 % decrease in the content of this element in the root (Figure 2a) and the rootstock (Figure 3a). As for the bottom break (Figure 4a), leaves and stems of the ALZ (Figure 5a), the content of Ca increased.

As for Mg, at a whole plant level, it was observed that Mg showed no variation according to the previous sampling (Figure 1b); nonetheless, in the root (Figure 2b) and rootstock (Figure 3b), a strong decrease in the content of this nutrient was detected, reaching similar levels to those at transplant time. In the case of P, there was a similar behavior as Mg, it remained constant at a whole plant level (Figure 1c) and decreased in the root (Figure 2c) and rootstock (Figure 3c). In contrast to the root and rootstock, the leaves and stems

por plasma acoplado (ICP-AES 725 Series Agilent; Mulgrave, Victoria, Australia). Los cálculos del contenido de Ca, Mg y P se realizaron considerando la materia seca y la concentración de éstos en los órganos de la planta; la sumatoria del contenido de los nutrimentos en todos los órganos representó el contenido nutrimental total de la planta. Los promedios con el error estándar se graficaron y las tendencias se suavizaron utilizando modelación Spline con SigmaPlot 12.5.

Resultados y Discusión

Etapa: brotación a desbrote de la zona de hojas activas

A nivel de planta completa, se observó un incremento en la acumulación de Ca, Mg y P desde la brotación de la zona de hojas activas (ALZ) hasta la práctica de desbrote y pinzado de esa zona. El incremento total de los tres elementos (Figura 1a-c) se asoció con el incremento de la acumulación en la raíz (Figura 2a-c), portainjerto (Figura 3a-c), basal (Figura 4a-c), así como las hojas y tallos de la ALZ (Figura 5a-c). Aunque la acumulación de Ca en los tallos y hojas de la ALZ pudiera parecer mínima, la absorción de éste elemento en ésta zona se vio reflejada en la acumulación total de la planta.

Etapa: desbrote hasta el pinzado de la zona de hojas activas

A nivel de planta completa, se observó un incremento en la acumulación de Ca en esta etapa (Figura 1a), sin embargo, con respecto al muestreo anterior, hubo una disminución del 44 % en el contenido de éste elemento en la raíz (Figura 2a) y el portainjerto (Figura 3a). En cuanto al basal (Figura 4a), hojas y tallos de la ALZ (Figura 5a), el contenido de Ca fue en aumento.

Para el caso del Mg, a nivel de planta completa se observó que este no mostró variación con respecto al muestreo anterior (Figura 1b); sin embargo, en la raíz (Figura 2b) y el portainjerto (Figura 3b) se detectó una fuerte disminución en el contenido de este nutrimento, llegando a niveles similares a los contenidos por estos órganos al momento del trasplante. En el caso del P, el comportamiento fue muy similar al del Mg, se mantuvo constante a nivel de planta completa (Figura 1c) y disminuyó a nivel de la raíz (Figura 2c) y el portainjerto (Figura 3c). En contraste con la raíz y el portainjerto, las hojas y tallos de la ALZ presentaron un incremento en cuanto el contenido de Ca, Mg y P (Figura 5a-c).

Este comportamiento sugiere que para Mg y P se presenta un patrón cíclico de absorción, el cual se detuvo entre la brotación

of the ALZ showed an increase in Ca, Mg, and P (Figure 5a-c). This behavior suggests that there is a cyclic uptake pattern for Mg and P, which was halted between the sprouting and deshooting of the ALZ. Studies performed by Cabrera *et al.*, (1995a) and Mattson and Lieth (2005) report a cyclic pattern in the absorption of $\text{NO}_3\text{-N}$ and K, with a high uptake rate when the stem elongation is slow, and when the stem elongation is reassumed the absorption rate decreases.

However, despite that at a whole plant level there was no accumulation of Mg nor P in the stems and leaves in the ALZ, there was an increase in the content of these elements, which were translocated from the root and rootstock, as suggested by the fact that in these organs there was a decrease in their content. The decrease in the net content of a nutrient is called “remobilization” by White (2012), therefore, Mg and P were remobilized from the root and rootstock to the ALZ. The aforementioned is so because both the stem and leaves of the ALZ are developing, so that they are sink organs with high nutrient demand, while the root and rootstock represent the source organs, as suggested by Mor and Halevy (1979), who reported that the development of shoots in roses represent a strong demand of photoassimilates.

The increase of Ca at a whole plant level suggests that the absorption of this element continued during the deshooting

y el desbrotado de la ALZ. En estudios realizados por Cabrera *et al.*, (1995a) y Mattson y Lieth (2005) se reporta también un patrón cíclico en la absorción de $\text{NO}_3\text{-N}$ y K, con una alta tasa de absorción cuando la elongación del tallo es lenta, mientras que al acelerarse la elongación la tasa de absorción disminuye.

Sin embargo, a pesar de que a nivel de planta completa no hubo acumulación de Mg ni P, en el tallo y hojas de la ALZ si se presentó un aumento en el contenido de estos elementos, los cuales fueron enviados desde la raíz y el portainjertos, como lo sugiere el hecho de que en estos órganos hubo una disminución en su contenido. La disminución en el contenido neto de un nutriente es denominado como “removilización” por White (2012), por lo tanto, el Mg y P fueron removilizados desde la raíz y el portainjertos hacia la ALZ. Lo anterior puede deberse a que tanto el tallo como las hojas de la ALZ se encuentran en desarrollo, por lo que representan órganos de demanda de nutrientes, mientras que la raíz y portainjertos representaron los órganos fuente, como lo sugieren Mor y Halevy (1979), quienes reportaron que el desarrollo de los brotes en rosales representa una fuerte demanda por fotoasimilados.

El incremento en el Ca a nivel de planta completa sugiere que continuó la absorción de este elemento durante la fase

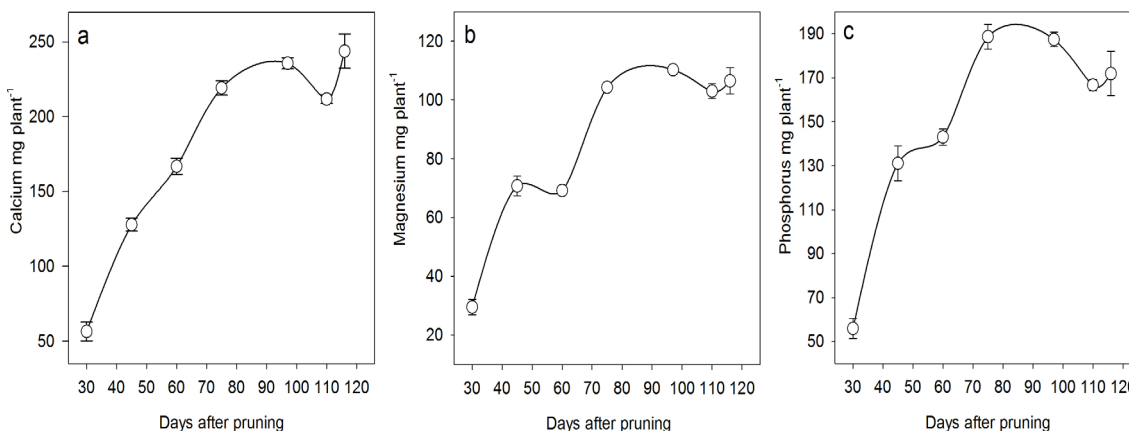


Figure 1. Whole plant content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in rose plants (*Rosa hybrida* L.) during the development of the active leaves and cutting flowers zones, including the harvest of flowers. Bars indicate the standard error of the mean.

Figura 1. Contenido total de (a) Ca, (b) Mg y (c) P en plantas de rosa (*Rosa hibryda* L.) durante el desarrollo de la zonas de hojas activas y zonas de corte, incluida la cosecha de flores. Las barras indican el error estándar de la media.

phase and ends at the pinching of the ALZ, which suggests that there is no a cyclic pattern in the uptake of this element. However, this could be due to the debudding, deshooting and pinching practiced in the ALZ did not allow for the establishment of an extended phase of photoassimilates and nutrients demand. In the same way, a remobilization of this element was observed, as indicated by the decreased content in the root, being transported towards the rootstock, but without concentrating in this organ, as there was no variation in its content. The remobilized Ca from the root was accumulated in the bottom break, but mainly in the leaves of the ALZ. This is so because the laves of the ALZ were developing, since, as reported, the developing leaves are an organ of high demand of this nutrient since Ca mobilizes through the transpiratorial flow (Kumar *et al.*, 2015).

Phase: from pinching of the active leaves zone to sprouting of cutting flowers zone

At a whole plant level, an increase in the content of Ca, Mg, and P was observed (Figure 1a-c), in comparison to the previous sampling, these elements were increased by 30, 50, and 32 % respectively. As for the root (Figure 2a-c), the increase was by 86, 73, and 12 %, and for the rootstock (Figure 3a-c) by 28, 44, and 29 %, respectively. In the bottom break, an increase in the content of these three nutrients was detected, but this was considerable for Mg and P, with a 50 and 32 % increase in regards to the previous phase (Figure 4a-c). Concerning the leaves and the stem of the ALZ,

del desbrochado y que culmina en el pinzado de la ALZ, lo que aparentemente indica que no se presenta un patrón cíclico en la absorción de este elemento. Sin embargo, esto pudo deberse a que el desbotonado, desbrochado y pinzado que se practican en la ALZ no permitieron el establecimiento de una prolongada fase de demanda de fotoasimilados y nutrientes. Asimismo, también se presentó una removilización de este elemento, como lo indica la disminución en el contenido de la raíz, siendo transportado hacia el portainjerto, pero sin concentrarse en este órgano, pues no se detecta variación en su contenido. El Ca removilizado desde la raíz se acumuló en el basal, pero principalmente en las hojas de la ALZ. Esto puede deberse a que las hojas de la ALZ se encontraban en pleno desarrollo, ya que, como se ha reportado, las hojas en desarrollo son un órgano de alta demanda de este elemento puesto que el Ca se moviliza a través de la corriente transpiracional (Kumar *et al.*, 2015).

Etapa: del pinzado de la zona de hojas activas a la brotación de zona de las flores de corte

A nivel de planta completa, se presentó un incremento en el contenido de Ca, Mg y P (Figura 1a-c). En comparación al muestreo anterior, estos elementos se incrementaron en un 30, 50 y 32 %, respectivamente. En cuanto a la raíz (Figura 2a-c) y portainjerto (Figura 3a-c), se presentó un aumento considerable de éstos tres elementos (86, 73 y 12 % para Ca, Mg y P respectivamente y para el portainjerto de 28, 44 y 29 %, respectivamente). En el basal se detectó un aumento en el contenido de los tres nutrientes, pero este fue

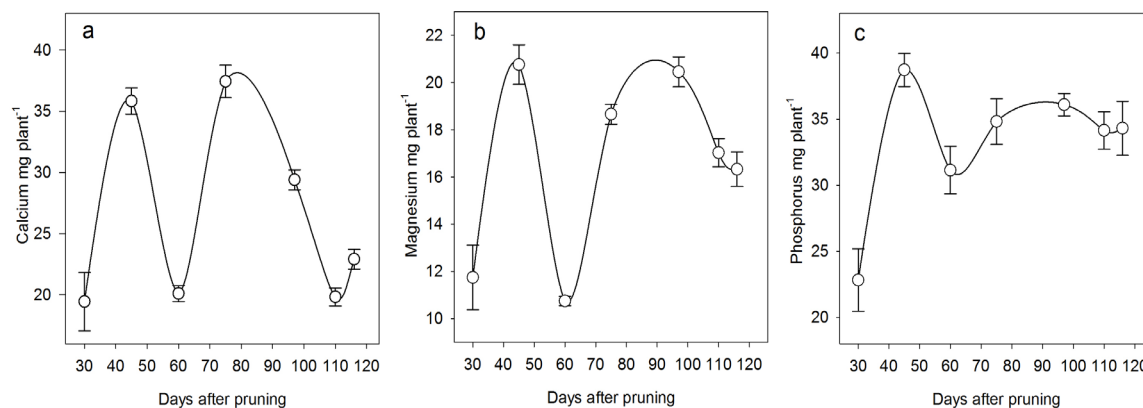


Figure 2. Content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in the roots of rose plants (*Rosa hybrida* L.) during the development of the active leaves and cutting flowers zones, including the harvest of flowers. Bars indicate the standard error of the mean.

Figura 2. Contenido de (a) Ca, (b) Mg y (c) P en raíces de plantas de rosa (*Rosa hibryda* L.) durante el desarrollo de las zonas de hojas activas y zonas de corte, incluida la cosecha de flores. Las barras indican el error estándar de la media.

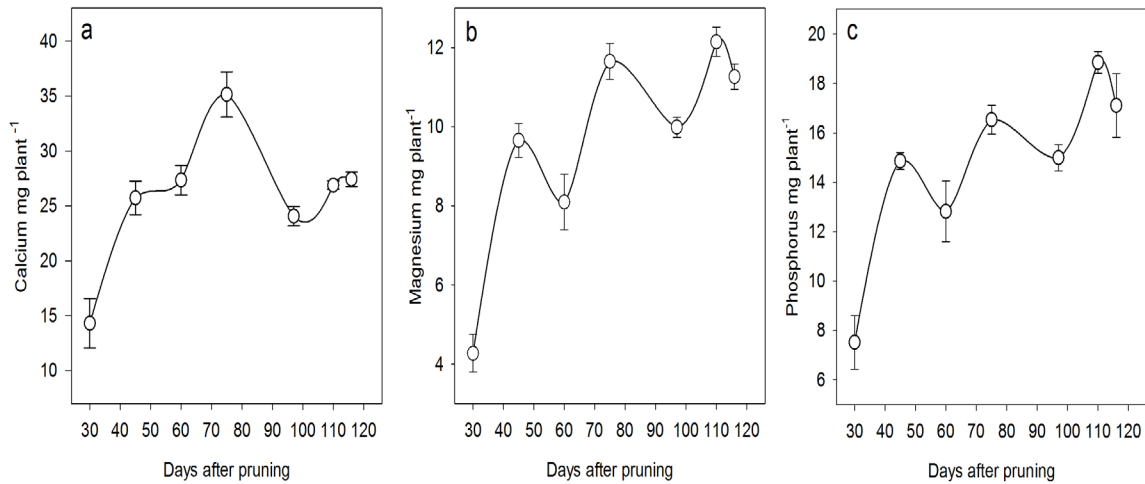


Figure 3. Content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in the rootstock of rose plants (*Rosa hybrida* L.) during the development of the active leaves and cutting flowers zones, including the harvest of flowers. Bars indicate the standard error of the mean.

Figura 3. Contenido de (a) Ca, (b) Mg y (c) P en portainjerto de plantas de rosa (*Rosa hibryda* L.) durante el desarrollo de las zonas de hojas activas y zonas de corte, incluida la cosecha de flores. Las barras indican el error estándar de la media.

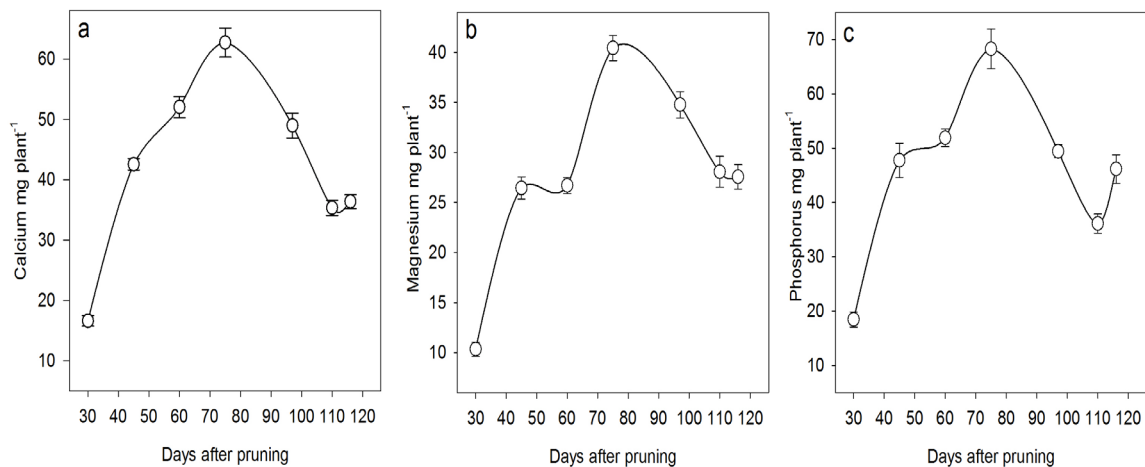


Figure 4. Content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in the bottom breaks of rose plants (*Rosa hybrida* L.) during the development of the active leaves and cutting flowers zones, including the harvest of flowers. Bars indicate the standard error of the mean.

Figura 4. Contenido de (a) Ca, (b) Mg y (c) P basal de plantas de rosa (*Rosa hibryda* L.) durante el desarrollo de las zonas de hojas activas y zonas de corte, incluida la cosecha de flores. Las barras indican el error estándar de la media.

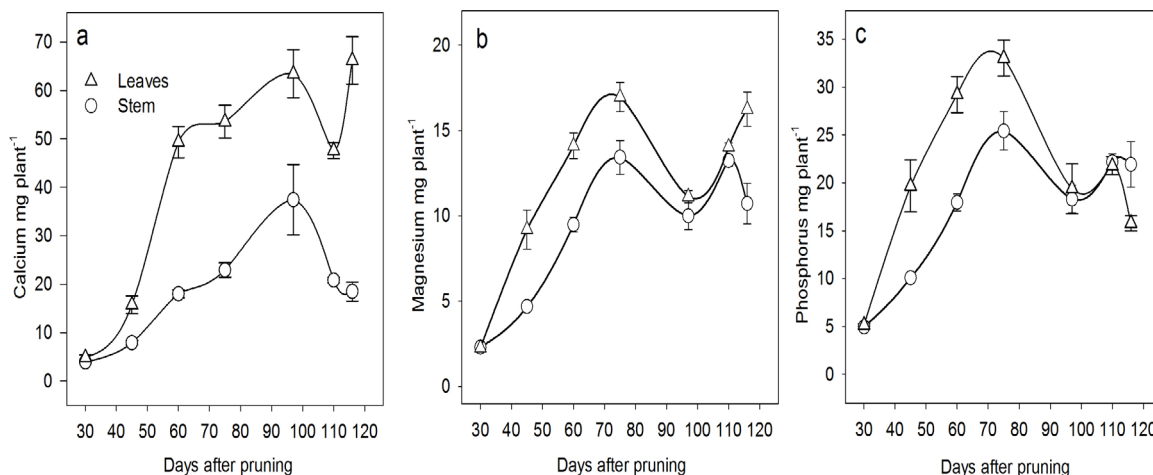


Figure 5. Content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in stems and leaves of the zone of active leaves of rose plants (*Rosa hybrida* L.). Bars indicate the standard error of the mean.

Figura 5. Contenido de (a) Ca, (b) Mg y (c) P en tallos y hojas de las zonas de hojas activas de plantas de rosa (*Rosa hybrida* L.). Las barras indican el error estándar de la media.

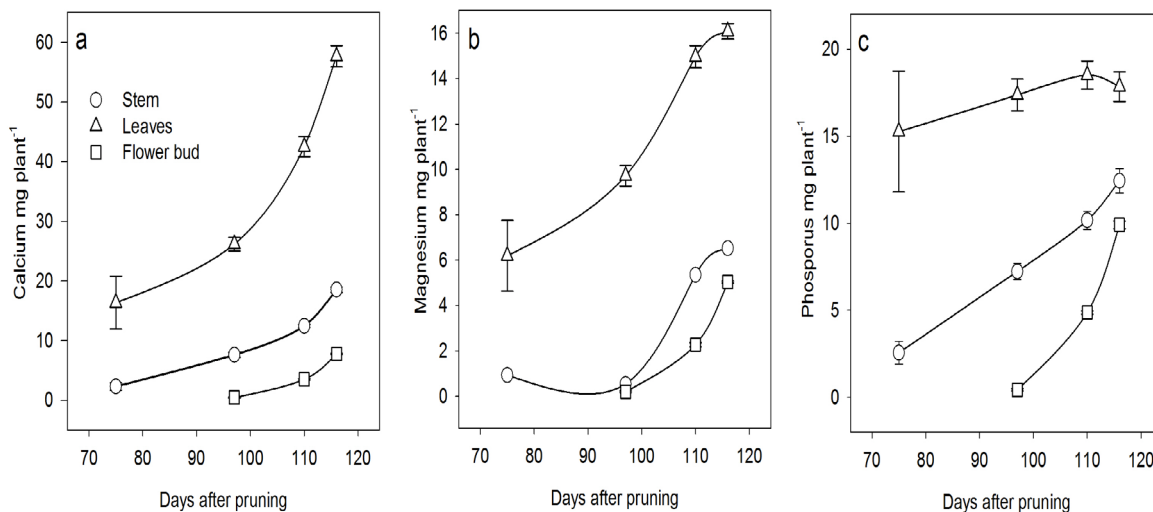


Figure 6. Content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in leaves, stems and flower bud of the zone of cutting flowers of rose plants (*Rosa hybrida* L.). Bars indicate the standard error of the mean.

Figura 6. Contenido de (a) Ca, (b) Mg y (c) P en hojas, tallos y botones de la zona de corte de plantas de rosa (*Rosa hybrida* L.). Las barras indican el error estándar de la media.

the content of Ca remained unaffected, but there was an increase of Mg and P (Figure 5a-c), which could have been caused by the new sprouts that will form the cutting flowers zone (CZ).

The previous results could be associated with a reactivation in the formation of new roots, which are partially disintegrated during sprouting of the ALZ. According to Kim and Lieth (2012), in rose, these new roots have the function of acquiring nutrients and water. The aforementioned, suggests that in roses the growth of the root depends on the growth of the sprouts in terms of reserve of photosynthates (Mattson *et al.*, 2008), because they die after the pruning of the ALZ but new roots are formed when the new sprout completes its development, so that the roots are again able for nutrient uptake.

Phase: from sprouting of the cutting flowers zone to the flower bud smaller than a pea

At a whole plant level, in comparison to the previous phase, the content of Ca, Mg, and P decreased by 8, 6, and 1 % respectively (Figure 1a-c); this was related to a 20 % decrease in the content of Ca in the root (Figure 2a), while as for Mg and P, an increase by 9 and 4 % was observed, respectively (Figure 2b-c). Similarly, the rootstock showed a decrease in the content of Ca, Mg, and P by 32, 14, and 9 % respectively (Figure 3a-c).

As for the bottom break (Figure 4a-c), Ca, Mg, and P decreased in relation to the previous phase by 22, 14, and 28 % respectively. The stems and leaves of the ALZ showed a decrease by 25 and 28 % in the stem and by 34 and 41 % in the leaves in the content of Mg and P, respectively (Figure 5b-c); likewise, the stem of the CZ decrease by 42 % in relation to the previous phase in the content of Mg (Figure 6b).

These results show once more the cyclic behavior in the absorption of nutrients, which may be due to the loss of biomass in the root, rootstock and bottom break, due to the translocation of reserves for the development of sprouts of the CZ. The shortage of reserves in the lower part of the plant caused a loss of biomass in those organs, which is why the plant did not have the required energy for nutrient absorption (Cabrera *et al.*, 1995a).

The cyclic pattern has been associated with a reduction in the root development rate during the development of leaves and new sprouts, as demonstrated in white oak tree (*Quercus alba* L.) (Reich *et al.*, 1980).

considerable para el Mg y P, con un 50 y 32 % con respecto a la etapa anterior (Figura 4a-c). En cuanto a las hojas y el tallo de la ALZ, el contenido de Ca se mantuvo, pero hubo un incremento de Mg y P (Figura 5a-c), lo que puede deberse a los brotes nuevos que empiezan a dar lugar a la aparición de la CZ.

Los anteriores resultados pueden estar asociados con una reactivación en la formación de nuevas raíces, las cuales se desintegran parcialmente durante la brotación de la ALZ. Según Kim y Lieth (2012), en rosal, estas nuevas raíces tienen la función de adquirir nutrimentos y agua. Lo anterior, sugiere que en los rosales el crecimiento de la raíz depende del crecimiento de los brotes en términos de reserva de fotosintatos (Mattson *et al.*, 2008), pues estas mueren después de la poda de la ALZ pero se forman nuevas raíces cuando el brote nuevo completa su desarrollo, con lo que las raíces están de nueva cuenta en capacidad de absorber nutrimentos.

Etapas: de la brotación de la zona de flores de corte hasta el botón menor al tamaño chícharo

A nivel de planta completa, en comparación a la etapa anterior, el contenido de Ca, Mg y P disminuyó en un 8, 6 y 1 % respectivamente (Figura 1a-c); esto estuvo relacionado con la disminución de un 20 % en el contenido de Ca en la raíz (Figura 2a), mientras que para los otros elementos se presentó un aumento del 9 y 4 % de Mg y P, respectivamente (Figura 2b-c). De la misma manera, el portainjerto mostró una disminución del contenido de Ca, Mg y P del 32, 14 y 9 % respectivamente (Figura 3a-c).

En cuanto al basal (Figura 4a-c), el Ca, Mg y P disminuyó con respecto a la etapa anterior en un 22, 14 y 28 %, respectivamente. Los tallos y hojas de la ALZ mostraron una disminución del 25 y 28 % en el tallo y de 34 y 41 % en las hojas en el contenido de Mg y P, respectivamente (Figura 5b-c); así mismo, el tallo de la CZ disminuyó un 42 % con respecto a la etapa anterior en el contenido de Mg (Figura 6b).

Estos resultados muestran de nueva cuenta el comportamiento cíclico en la absorción de nutrimentos, lo cual puede deberse a la pérdida de biomasa en la raíz así como en el portainjerto y en el basal debido a la translocación de reservas para el desarrollo de los brotes de la CZ. La escasez de reservas en la parte baja de la planta ocasionó una pérdida de biomasa en los órganos mencionados, por lo que la planta no tenía la energía requerida para la absorción nutrimental (Cabrera *et al.*, 1995a). El comportamiento

Phase: from the flower bud smaller than a pea to the harvest of flowers

At harvest time, at a whole plant level, an increase in the content of Ca, Mg and P was observed (Figure 1a-c); even though there was a decrease of these elements in the root (Figure 2a-c), rootstock (Figure 3a-c), bottom break (Figure 4a-c) as well as in the leaves and stems of the ALZ (Figure 5a-c), in the leaves, stems, and flower bud of the CZ, they were increased when the flower reached the harvest time (Figure 6a-c). During this phase, the content of the three elements in the flower bud increased considerably, on the contrary, for the stems and leaves of the CZ only the content of Ca was increased.

The results obtained indicate that the maximum accumulation of Ca, Mg, and P were associated with the highest rate of biomass storage in the root and other organs, while nutrient accumulation halted before the developing sprouts reached the phase of flower development (Cabrera *et al.*, 1995b), in other words, after the flower bud removal in the ALZ, as well as when the flower bud of the CZ became visible. These results are in agreement with reports that pointing that pruning of rose plants results in the formation of a great number of sink organs, which is why the carbohydrate reserves from the lower parts of the plant end up depleting (Calatayud *et al.*, 2008). However, despite the non-accumulation of Ca, Mg, and P at a whole plant level, in the leaves and stems of the CZ, the content of Ca and Mg increased, while P increased in the stem; Mg and P of the CZ came from the remobilization of these nutrients from the ALZ, bottom break, rootstock and root, while Ca came from the remobilization from the bottom break, rootstock and root.

Finally, there was no a significant difference in the content of Ca, Mg, and P at a whole plant level, since the flower bud with a size lower than a pea appeared until the flower harvest, nonetheless, in the CZ there was a substantial increase in Ca and Mg in the leaves and of Ca, Mg, and P in the stem and floral bud in this zone. These nutrients came from the remobilization from the root, bottom break and ALZ, specially during the elongation of the sprouts of the CZ and flower harvest.

Some studies about the production of cutting flowers in roses report that the nutrient absorption of Ca and

cíclico se ha asociado con una reducción en la tasa de crecimiento de la raíz durante el desarrollo de hojas y brotes nuevos, como se ha demostrado en roble blanco (*Quercus alba* L.) (Reich *et al.*, 1980).

Etapa: del botón menor al tamaño chícharo hasta la cosecha

Al momento de la cosecha, a nivel de planta completa se presentó un incremento en el contenido de Ca, Mg y P (Figura 1a-c), por lo que si bien hubo una disminución en los órganos de la planta de éstos elementos en raíz (Figura 2a-c), portainjerto (Figura 3a-c), basal (Figura 4a-c) así como en las hojas y tallos de la ALZ (Figura 5a-c), en las hojas, tallo y botón de la CZ se incrementaron cuando la flor alcanzó el punto de cosecha (Figura 6a-c). Durante ésta última etapa, el contenido de estos tres elementos en el botón se incrementó considerablemente, en cambio, para el tallo y las hojas de la CZ solo se incrementó el contenido de Ca.

Los resultados obtenidos indican que la máxima acumulación de Ca, Mg y P coincidió con la mayor tasa de almacenamiento de biomasa en la raíz y en otros órganos, mientras que la acumulación nutrimental se detiene antes de que los brotes en desarrollo alcancen la etapa de formación de flores (Cabrera *et al.*, 1995b), es decir, después del descabezado del botón floral en la ALZ así como en la formación del botón visible de la CZ. Lo anterior coincide con reportes que señalan que la poda de las plantas de rosal resulta en la formación de un gran número de órganos de demanda, por lo que las reservas de carbohidratos desde las partes bajas de la planta terminan por agotarse (Calatayud *et al.*, 2008). Sin embargo, a pesar de la no acumulación de Ca, Mg y P a nivel de planta completa, en las hojas y tallos de la CZ se elevó el contenido de Ca y Mg, mientras que en el tallo aumentó la de P; el Mg y P de la CZ provino de la removilización de estos nutrimentos desde la ALZ, basal, portainjerto y raíz, mientras que el Ca provino de la removilización desde el basal, portainjerto y raíz.

Finalmente, no hubo una marcada variación en el contenido de Ca, Mg y P a nivel de planta completa desde la aparición del botón floral con tamaño menor a un chícharo hasta la cosecha de flores, sin embargo, en la CZ se presentó un sustancial aumento en Ca y Mg en las hojas, y de Ca, Mg y P en el tallo y botón floral de esta zona. Estos nutrimentos provinieron de la removilización a partir de la raíz, basal y ALZ, especialmente durante la elongación de los brotes de la CZ y cosecha de flores.

Algunos estudios sobre la producción de flor de corte en rosal reportan que la absorción nutrimental de Ca y Mg desde la cosecha previa hasta la cosecha siguiente tiende a ser cíclica,

Mg from the previous harvest to the next harvest tend to be cyclic, while before the development and harvest of the floral stem there is another high rate of Ca uptake (Mattson and Lieth, 2008). These results are in agreement with our research, even though our data also show that there is same tendency for P.

According to the results obtained, at a whole plant level, the content of P increased after sprouting of the ALZ, as well as after pinching; Triana *et al.*, (2006) report similar results, as they mention that P content exhibited excessive levels during the pinching. However, the increase detected by Triana *et al.*, (2006) in the next phenological stages (as is for the case of the visible bud smaller than a pea), was not observed in the present research, because the content of P did not increase during the following phenological stages, but rather a decrease was observed when the flower bud became visible. Meanwhile, Ca and Mg showed an increase after the pinching of the ALZ, but decreased at moment the flower bud became visible, which is in agreement with reports by Triana *et al.*, (2006), who point out that Ca can have a very high level after the flower bud became visible, due to the low mobility of this nutrient and the growth of the stems during this phenological phase, as occurred in the present study.

According to the results obtained in this research, three phases were detected in which an accumulation of Ca, Mg, and P is observed. The first one was during the sprouting of the ALZ, to the appearance of 10-centimeter sprouts: the second one was from the pinching of the ALZ to the sprouting of the CZ and the appearance of the next floor with 10-centimeter sprouts, while the third phase was before flower harvest. According to our data, it is possible to calculate the demand of nutrients in these phases; for Ca, the demand was of 190, 140, and 96 mg plant⁻¹ during the first, second and third phase, respectively. For Mg, it was of 66, 56, and 6 mg plant⁻¹, while as for P, the demand was of 156, 94, and 11 mg plant⁻¹, respectively.

Conclusions

During the initial development of the ALZ and the CZ, as well as before flower harvest, there is an increase in the accumulation of Ca, Mg, and P; however, when the shoots from both zones are elongating, there is a halt in the accumulation of these nutrients, which

mientras que antes de la maduración y cosecha del tallo floral se presenta de nuevo una alta tasa de absorción de Ca (Mattson y Lieth, 2008). Estos resultados coinciden con los observados en el presente estudio, aunque nuestra información también señala que existe la misma tendencia para el P.

De acuerdo a los resultados obtenidos, a nivel de planta completa, el contenido de P se incrementó después de la brotación de la ALZ así como después del pinzado; Triana *et al.*, (2006) reportan resultados similares pues mencionan que el P presentó niveles excesivos en el pinzado. Sin embargo, el aumento detectado por Triana *et al.*, (2006) en los siguientes estados fenológicos (como es el caso del estadio de botón visible menor a chícharo), no fue observado en el presente estudio, pues el contenido de P no se incrementó durante los siguientes estados fenológicos, sino más bien se observó una disminución en el estado de botón visible. Mientras tanto, el Ca y Mg presentaron un aumento después del pinzado de la ALZ pero disminuyeron al momento de la aparición del botón visible, lo que también coincide con lo mencionado por Triana *et al.*, (2006), quienes señalan que el Ca puede tener un nivel muy elevado después de la aparición del botón visible debido a la baja movilidad de éste nutrimento y al crecimiento de los tallos durante ésta etapa fenológica, tal y como ocurrió en el presente estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en éste estudio, se detectaron tres etapas en las cuales existe una acumulación de Ca, Mg y P. La primera fue durante el brote de la ALZ hasta la aparición de brotes de 10 cm; la segunda fue desde el pinzado de la ALZ hasta la brotación de la CZ y la aparición del siguiente piso con brotes de 10 cm, mientras que la tercera etapa fue durante antes de la cosecha de la flor. A partir de los datos obtenidos es posible calcular la demanda de nutrimentos en tales fases; para Ca, la demanda fue de 190, 140 y 86 mg planta⁻¹ para la primera, segunda y tercer etapa, respectivamente. Para Mg, la demanda fue de 66, 56 y 6 mg planta⁻¹ para la primera, segunda y tercer etapa, respectivamente, mientras que para el P, la demanda es de 156, 94 y 11 mg planta⁻¹ para la primera, segunda y tercer etapa, respectivamente.

Conclusiones

Durante el desarrollo inicial de la ALZ y la CZ, así como antes de la cosecha de flores hay un aumento en la acumulación de Ca, Mg y P; sin embargo, cuando se presenta la fase de elongación de los tallos en ambas zonas hay una detención en la acumulación de estos nu-

suggests a cyclic accumulation pattern. For the phase of initial development of the ALZ, the demand of Ca, Mg, and P, was of 190, 66, and 156 mg plant⁻¹ respectively, while as for the phase of initial development in the CZ the demand was of 140, 56, and 94 mg plant⁻¹ respectively. For the phase previous to flower harvest, the demand of Ca, Mg, and P was of 86, 6, and 11 mg plant⁻¹, respectively.

trimentos, lo que sugiere el patrón de acumulación cíclico. Para la etapa de desarrollo inicial de la ALZ, la demanda de Ca, Mg y P fue de 190, 66 y 156 mg planta⁻¹, respectivamente, mientras que para la etapa de desarrollo inicial de la CZ fue de 140, 56 y 94 mg planta⁻¹, respectivamente. Para la etapa anterior a la cosecha de flores, la demanda de Ca, Mg y P fue de 86, 6 y 11 mg planta⁻¹, respectivamente.

References

- Abdulnour, J., Arnold, N. P. and Barthakur, N. N. (1994). Uptake of labelled phosphorus by rooted and non-rooted *in vitro* cultured 'John Franklin' rose. *Journal of Plant Nutrition* 17: 333-343. <https://doi.org/10.1080/01904169409364731>.
- Cabrera, R. I. (2002). Rose yield, dry matter partitioning and nutrient status responses to rootstock selection. *Scientia Horticulturae* 95: 75-83. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00020-1).
- Cabrera, R. I., Evans, R. Y., and Paul, J. L. (1995a). Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses. *Scientia Horticulturae* 63: 57-66. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(95\)00789-V](https://doi.org/10.1016/0304-4238(95)00789-V).
- Cabrera, R. I., Evans, R. Y., and Paul, J. L. (1995b). Nitrogen partitioning in rose plants over a flowering cycle. *Scientia Horticulturae* 63: 67-76. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(95\)00790-Z](https://doi.org/10.1016/0304-4238(95)00790-Z).
- Calatayud, Á., Roca, D., Gorbe, E. and Martínez, P. F. (2008). Physiological effects of pruning in rose plants cv. Grand Gala. *Scientia Horticulturae* 116: 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.028>.
- Ehret, D. L., Menzies, J. G. and Helmer, T. (2005). Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems. *Scientia Horticulturae* 106: 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.03.002>.
- Gomora-Jiménez, J. A., Sánchez-Meza, J. C., Pacheco-Salazar, V. F., Pavón-Silva, T. B., Adame-Martínez, S. and Barrientos Becerra, B. (2006). Integración de indicadores de desempeño ambiental para la producción florícola. En: Fundación PRODUCE-ICAMEX a través del proyecto Folio: 15-2005-2676; Clave UAEM: 2187/2005E. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química e Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Estado de México. 10pp. <https://docplayer.es/27868732-Integracion-de-indicadores-de-desempeno-ambiental-para-la-produccion-floricola.html>
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Möller I.S., and White, P. (2012). Functions of macronutrients. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., pp. 135–189). London, Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>.
- Kim, W. S. p Lieth, J. H. (2012). Simulation of year-round plant growth and nutrient uptake in *Rosa hybrida* over flowering cycles. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 53: 193-203. <https://doi.org/10.1007/s13580-012-0054-y>
- Kumar, A., Singh, U. M., Manohar, M. and Gaur, V. S. (2015). Calcium transport from source to sink: understanding the mechanism of acquisition, translocation, and accumulation for crop biofortification. *Acta Physiologiae Plantarum* 37: 1722. DOI 10.1007/s11738-014-1722-6
- Massa, D., Mattson, N. S., and Lieth, H. (2008). An empirical model to simulate sodium absorption in roses growing in a hydroponic system. *Scientia Horticulturae* 118: 228-235. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.05.036>
- Mattson, N. S. and Lieth, J. H. (2005). Modeling macronutrient absorption of hydroponically-grown cut flower roses. *Acta Horticulturae In: IV International Symposium on Rose Research and Cultivation*. 751: 129-135. [10.17660/ActaHortic.2007.751.15](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.751.15).
- Mattson, N. S., Lieth, J. H. and Kim, W. S. (2008). Temporal dynamics of nutrient and carbohydrate distribution during crop cycles of *Rosa* spp. 'Kardinal' in response to light availability. *Scientia Horticulturae* 118: 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.06.009>
- Mor, Y. and Halevy, A. H. (1979). Translocation of ¹⁴C-assimilates in roses. I. The effect of the age of the shoot and the location of the source leaf. *Physiologia Plantarum* 45: 177-182. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1979.tb01683.x>
- Reich, P. B., Teskey, R. O., Johnson, P. S. and Hinckley, T. M. (1980). Periodic root and shoot growth in oak. *Forest Science* 26: 590-598. <https://doi.org/10.1093/forestscience/26.4.590>.

- Sanders, D., Brownlee, C. and Harper, J. F. (1999). Communicating with calcium. *The Plant Cell* 11: 691-706. doi.org/10.1105/tpc.11.4.691.
- SIAP. (2016). Sistema de Información Agropecuaria. En: <https://www.gob.mx/siap/articulos/rosa-reina-entre-las-flores?idiom=es>, Last checked: February 10th 2017.
- Starkey, K. R. and Pedersen, A. R. (1997). Increased levels of calcium in the nutrient solution improves the post-harvest life of potted roses. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122: 863-868. [10.17660/ActaHortic.1998.464.126](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.464.126).
- Steiner, A. A. The universal nutrient solution. In 6th International Congress on Soilless Culture. 1984. 29 Apr-5 May; *Lunten, Netherlands*.
- Tejeda-Sartorius, O. and Tejeda-Sartorius, I. B. (2009). Diseño Floral. Una opción de valor agregado para la floricultura. Ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, 143 p. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n5/v6n5a16.pdf>
- Tejeda-Sartorius, O., Ríos-Barreto, Y., Trejo-Téllez, L. I., and Vaquera-Huerta, H. (2015). Caracterización de la producción y comercialización de flor de corte en Texcoco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1105-1118. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n5/v6n5a16.pdf>
- Torre, S., Borochoy, A. and Halevy, A. H. (1999). Calcium regulation of senescence in rose petals. *Physiologia Plantarum* 107: 214-219. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.100209.x>
- Triana, Y., Castiblanco, E. and Flórez, V. (2006). Comportamiento de nutrientes en un sistema de cultivo sin suelo en rosa. *Avances Sobre Fertirriego en la Floricultura Colombiana*. Bogotá. Unibiblios, pp. 249-263. https://www.researchgate.net/publication/292326580_Comportamiento_de_nutrientes_en_un_sistema_de_cultivo_sin_suelo_en_rosa
- Voogt, W. and Sonneveld, C. (1997). Nutrient management in closed growing systems for greenhouse production. In *Plant Production in Closed Ecosystems* Springer Netherlands, pp. 83-102. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8889-8>
- White, P. J. (2012). Long distance transport in xylem and phloem. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., pp. 49-70). London, Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00003-0>