

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



DINÁMICA DE LA ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN ROSA (*Rosa hybrida* L.)

Tesis

Que presenta DANIELA AVARADO CAMARILLO
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Saltillo, Coahuila

Septiembre 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



DINÁMICA DE LA ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN ROSA (*Rosa hybrida* L.)

Tesis

Que presenta DANIELA ALVARADO CAMARILLO
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Director (UAAAN)

Dra. Ana María Castillo González
Director (Externo)

Saltillo, Coahuila

Septiembre 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



DINÁMICA DE LA ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN ROSA (*Rosa hybrida* L.)

Tesis

Que presenta DANIELA ALVARADO CAMARILLO
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Director (UAAAN)

Dra. Libia Iris Trejo Téllez
Asesor (Externo)

Saltillo, Coahuila

Septiembre 2017

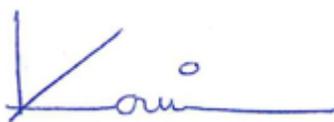
DINÁMICA DE LA ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN ROSA (*Rosa hybrida* L.)

Tesis

Elaborado por DANIELA ALVARADO CAMARILLO como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Protegida con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor



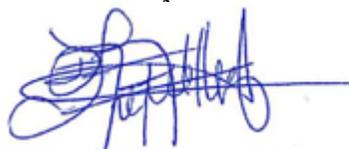
Dr. Karim de Alba Romenus
Asesor



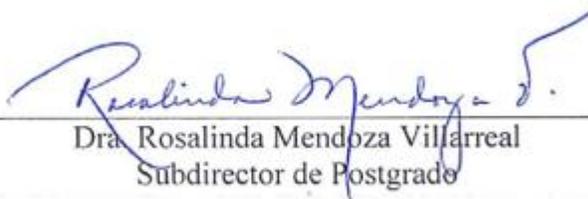
Dra. Silvia Yudith Martínez Amador



Dra. Ana María Castillo González
Asesor



Dra. Libia Iris Trejo Téllez
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado durante mis estudios realizados.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por ofrecerme nuevamente una oportunidad de estar en sus aulas.

A Don Antonio Narro gracias por tener un sueño que al volverlo realidad cumplió muchos de los míos.

A los maestros que forman parte de mi comité y quienes con gran vocación son parte de mi formación: Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, Dr. Karim de Alba Romenus, Dra. Silvia Yudith Martínez Amador, Dra. Ana María Castillo González, Dra. Libia Iris Trejo Téllez.

Al Dr. Irán Alía Tejacal y Dra. Alicia Pérez por abrirme las puertas en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y ser parte de mi formación.

Al Dr. Joel Pineda de la Universidad Autónoma Chapingo por su disposición para brindarme sus conocimientos durante mi estancia en el Laboratorio de Nutrición Mineral y ser parte de mi formación.

A la Dra. Ana María Castillo por abrirme las puertas en Universidad Autónoma Chapingo por todo su apoyo, asesoría y su amable disposición.

A la Dra. Libia Iris Trejo por su apoyo, asesoría, amable disposición y por habernos recibido en el Colegio de Posgraduados lo que nos permitió obtener conocimientos nuevos durante mi estancia en el Laboratorio de Nutrición.

Al técnico ingeniero Don Wenceslao (COLPOS) quien con amistad y paciencia nos enseñó el buen manejo de técnicas y aparatos aplicados al análisis de la nutrición mineral.

A Cony Tello Quintero por su disposición, apoyo y amabilidad durante mi estancia en el programa.

Al Dr. Armando Hernández Pérez por su apoyo durante el desarrollo de la investigación.

A todos los chicos de servicio social y tesis quienes colaboraron en esta investigación, agradezco mucho su valioso tiempo y admiro su dedicación.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por su admirable dedicación en mi formación profesional, por su guía, disposición, paciencia, apoyo y amistad en cada paso de mi formación académica.

A los buenos amigos que siempre me apoyaron, sobre todo en los peores momentos, y me alentaron siempre a salir adelante: Dra. Juana Cruz García Santiago, M.C. Eneida Adeline Pérez Velasco, Daniel H. Vargas Rivera, Martin Rendón Villegas, Abraham Zarazúa Arvizu, gracias por su verdadera amistad.

DEDICATORIA

A mis Padres:

A tí por darme la vida y a mi querido Padre amoroso Julio quien siempre apoyó todos mis sueños y nunca permitió que me detuviera.

A mi Madre por su amoroso apoyo, por tus desvelos, tu confianza, por reír y llorar conmigo en todos los momentos de estos últimos años. Sin tí Mami no hubiera logrado tanto.

A Muñe por tolerar noches sin dormir, largas horas de trabajo, paciencia a largos viajes y paseos perdidos.

A tí, por estar siempre a mi lado, por tu amoroso apoyo, por ser incondicional en lo peor, lo bueno y lo mejor, por tu cuidado, protección y dar a mi vida grandes momentos de entusiasmo, alegría intensa y felicidad. Por hacer de mí una mejor persona, por aceptar mis defectos y amarme a pesar de ello.

CARTA DE ACEPTACIÓN DE LOS ARTÍCULOS



Texcoco, Estado de México, 01 de marzo de 2017
Núm. Ref.: 332-17

Dr. Luis A. Valdez Aguilar
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Presente

Por este medio le agradezco y acuso de recibido su manuscrito intitulado "Dinámica de la acumulación de biomasa, nitrógeno y potasio en plantas de rosal, cuyos autores (as) son: Daniela Alvarado Camarillo, Luis A. Valdez Aguilar, Ana María Castillo González, Libia I. Trejo Téllez, Silvia Y. Martínez Amador, Karim de Alba Romenous que fue enviado para su posible publicación a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Le notificamos que el texto inicial del manuscrito, autores(as) principal y los coautores(as), autor(a) para correspondencia no podrán alterarse y quedarán como se envía en esta versión.

Asimismo, me permito informarle que su contribución será sometida a revisión técnica por los árbitros que se designen en caso de ser aceptado, se le notificará sobre las observaciones correspondientes.

Agradezco su colaboración y le envío un cordial saludo.

Atentamente

DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

c.c.p. * Archivo
DMSJ/cv

Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. Coatlincán, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56250
E-mail: revista_atm@yahoo.com.mx. Tel. 01 800 058 2222 Ext. 83333



Universidad Autónoma de Nayarit
Secretaría de Investigación y Posgrado
Revista Bio Ciencias

**A QUIEN CORRESPONDA:
PRESENTE.-**

Quien suscribe el Dr. Manuel Iván Girón Pérez, Editor de la *Revista Bio Ciencias* (ISSN: 2007-3380) incorporada a los índices: *Web of Science (Thomson Reuters)* DOAJ, IMBIOMED y LATINDEX, hace

CONSTAR

Que el Artículo titulado "**ACUMULACION Y REMOVILIZACIÓN DE CALCIO, MAGNESIO Y FÓSFORO EN PLANTAS DE ROSAL**", de la autoría de *Daniela Alvarado-Camarillo, Luis A. Valdez-Aguilar, Karim de Alba-Romenous, Silvia Y. Martínez-Amador, Armando Hernández-Pérez*. Actualmente se encuentra en calidad de Artículo Aceptado en proceso de edición para su publicación en la Revista Bio Ciencias.

Se extiende la presente a petición de los interesados, para los fines Administrativos que a ellos convengan en la Ciudad de Tepic, Estado de Nayarit México, a los veintiséis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

ATENTAMENTE

**DR. MANUEL IVAN GIRON PEREZ
EDITOR DE LA REVISTA BIO CIENCIAS**



revista
Bio ciencias
ISSN: 2007-3380

Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic Nayarit, México.
(+52) 311 211 88 00 Ext. 8922
revistabiociencias@gmail.com
<http://revistabiociencias.uan.edu.mx>

INTRODUCCIÓN

La rosa (*Rosa hybrida* L.) es la especie ornamental de mayor demanda a nivel mundial. En México, la producción de flores de corte de esta especie llegó a 6.8 millones de gruesas en 2015, mientras que para el 2016 algunas cifras preliminares indican que ésta 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).

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, que se traduce en un marcado deterioro del suelo y mantos acuíferos (Gomora-Jiménez *et al.*, 2006).

Uno de los factores más importantes en la producción de cultivos es la nutrición mineral (Quesada- Roldán y Bertsh-Hernández, 2013) debido a los problemas existentes con la aplicación, dosificación de fertilizantes (Bungarín-Montoya *et al.*, 2013) y al impacto ambiental que pueden causar debido al uso excesivo de éstos (Basheer y Agrawal, 2013; Sepat *et al.*, 2012).

La fertilización utilizada por los productores de rosa en nuestro país es errática y no está diseñada para proporcionar los nutrimentos 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 (Referencia).

Algunos productores de rosa señalan que utilizan una mezcla de fertilizantes cada 15 días, mientras que en los días intermedios solo aplican agua, sin aporte nutrimental. El rosal requiere de un manejo intensivo ya que sufre constantes podas y desarrollo de brotes nuevos para alcanzar finalmente la producción de la flor de corte, por lo que durante el desarrollo tiene periodos de alta y baja demanda nutrimental. Este comportamiento es llamado “patrón cíclico”, el cual está relacionado con periodos de

elongación y detención de los brotes nuevos (Hershey y Paul, 1983). De acuerdo con Cabrera (1995), en California (EEUU) se aplican hasta 8 t N ha^{-1} al año, mientras que en México se aplican de 4 a 5 ton ha^{-1} . En gran medida esta indiscriminada aplicación de N se debe al desconocimiento de los productores de rosa sobre la cantidad correcta y el momento en deben ser aplicados los nutrimentos. Por lo anterior, se requiere conocer la concentración necesaria de los nutrimentos más demandados por las planta de rosal en cada estado fenológico, como es el caso del nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), para un uso adecuado de los fertilizantes.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la dinámica en el contenido de N, P, K, Ca y Mg en los órganos de plantas de rosal para flor de corte establecidas en un sistema hidropónico cerrado y de acuerdo al estado fenológico, con el fin de contar con información básica que permita diseñar programas de fertilización acorde a las necesidades del cultivo, así como elevar la eficiencia en el uso de los mismos.

REVISIÓN DE LITERATURA

El cultivo de la rosa

Es originaria de China, desde hace más de 4 mil años la rosa se fue expandiendo hasta llegar a Europa (Grecia, Italia y España); posteriormente fue traída a América y cultivada para su producción (Aldana, 1999). Hoy en día, las rosas cultivadas son producto de procesos de cruzamiento y selección de la misma especie lo que ha dado lugar a la generación de cultivares con flores de diversos tamaños y capacidad de producción (Caballero, 1997). El rosal es una planta perenne la cual continuamente se encuentra en brotación y formación de flores, por lo que presenta diferentes estadios de crecimiento durante su cultivo, desde la brotación de la yema axilar hasta el desarrollo del botón floral. Las yemas que se encuentran en hojas pentafoliadas ubicadas en la parte media del tallo generan la flor de corte, mientras que las yemas de hojas superiores o inferiores son vegetativas (Hoog, 2001). Algunos autores, como Cáceres *et al.* (2003) mencionan que el ciclo para obtener el tallo floral en promedio es de 10 a 11 semanas, dentro de las cuales se considera que la mitad de este periodo es de crecimiento vegetativo y el resto reproductivo.

El abuso en el uso de los fertilizantes

La aplicación de nutrimentos de forma adecuada eleva el rendimiento. Sin embargo, la aplicación excesiva y el manejo inadecuado de los fertilizantes pueden ocasionar la contaminación de agua y suelo. Esto se debe a los lixiviados, principalmente de N y P, ocasionando la eutrofización de lagos y ríos, así como una contaminación de aguas subterráneas, disminución en la calidad del aire y aumento en el efecto de invernadero (Bruulsema, 2009; Ju *et al.*, 2006; Thorburn *et al.*, 2003), lo cual genera un profundo impacto en el medio ambiente. Por otro lado la calidad del aire puede verse disminuida por la emisión de nitrato de amonio que provienen de los campos agrícolas (Gaskell y Hartz, 2011; Shaviv y Mikkelsen, 1993).

Gaskel y Hartz (2011) mencionan que la mayoría de los productores realizan aplicaciones innecesarias de fertilizante debido a que no son planeadas acorde a la demanda y etapa en la que se encuentra el cultivo. Por ejemplo, en California (EEUU) se realiza la fertilización con P en hortalizas de hoja en la presiembra, sobrepasando el umbral de P para el suelo (Hartz *et al.*, 2007). Se ha señalado que lo ideal es obtener una formulación de fertilizantes con el balance adecuado de nutrimentos para satisfacer las necesidades del cultivo y con ello disminuir las pérdidas hacia el medio ambiente (Hartz *et al.*, 2007). En un estudio en maíz (*Zea mays*), se calculó que este cultivo requería, considerando el porte de residuos de cosechas anteriores, un total de hasta 16.9 kg N ton⁻¹ de grano producido, lo cual está por debajo de las dosis recomendadas, las cuales llegan a ser de hasta 21.4 kg N ton⁻¹. Lo anterior demuestra que las necesidades de N fueron mucho más bajas en el año de mayor productividad mientras que fueron más altos en el año de menor productividad (Below, 2002). El abuso e inadecuada aplicación de fertilizantes arroja una tasa de recuperación del N por debajo del 50% (Wiesler, 1998), mientras que la de P y K están alrededor del 30% y 70%, respectivamente (Havlin *et al.*, 2016), aunque esto depende de la especie cultivada y tipo de suelo y nivel de tecnificación.

Impacto económico del abuso en la fertilización

Los fertilizantes son un componente de los costos de producción que generan los cultivos hortícolas. En California, Estados Unidos de América, los fertilizantes representan alrededor del 10% del total de los costos en la producción de la lechuga (*Latuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), mientras que para maíz o trigo (*Triticum aestivum*) es del 20% (Gaskell y Hartz, 2011). Esto implica que al realizar una aplicación excesiva de fertilizantes se genera una pérdida económica (Mattson y Iersel, 2011). Para el caso del N, la dosis óptima en términos económicos depende igualmente de la fuente que se usará, del periodo de aplicación, así como las prácticas culturales realizadas durante el desarrollo del cultivo (Below, 2002). El nivel tecnológico del sistema de producción es de suma importancia debido a que en parte éste define la selección del fertilizante, reflejándose en la rentabilidad del cultivo. Los fertilizantes de alta solubilidad aplicados a través de sistemas de micro-irrigación favorecen la eficiencia

en el uso de los fertilizantes ya que puede controlarse la dosis y el momento de aplicación cuando las plantas lo requieran (Gaskell y Hartz, 2011).

El enfoque 4R para elevar la eficiencia en el uso de fertilizantes

El impacto económico, ambiental y social de la aplicación de fertilizantes genera un desafío a escala global en busca de un desarrollo sostenible (Fixen, 2009). La fuente, proporción, tiempo y lugar correcto de la aplicación de los fertilizantes, conocidas como las “cuatro R” (4R), se basa en la decisión de tipo de fertilizante a aplicar así como la dosis y el momento en que la planta los necesita, además del lugar correcto en donde el fertilizante debe colocarse para favorecer el acceso nutrimental (Mikkelsen, 2011). Este enfoque permite mejorar el manejo nutrimental considerando el medio ambiente así como el aspecto económico (Mikkelsen, 2011). El concepto de las 4R se basa en realizar aplicaciones de fertilizantes de manera responsable así como asegurar su absorción, el momento adecuado para aplicarlos y el desarrollo de modelos de absorción nutrimental (Mattson e Iersel, 2011). Con los modelos de absorción, también conocidos como curvas de absorción, se genera conocimiento para apoyar a los productores en el uso eficiente de fertilizantes y nutrientes.

Empleo de las curvas de extracción para elevar la eficiencia en el uso de fertilizantes

Así como el concepto 4R, las curvas de extracción nutrimental son una de las opciones para llevar a cabo un manejo adecuado en la aplicación de fertilizantes, obteniendo una buena productividad y manteniendo un balance con el medio ambiente (Santos, 2011). La fertilización óptima difiere para cada especie cultivada, por tanto debe ser ajustada acorde a ésta, sus requerimientos y la etapa de crecimiento. Los programas de fertilización tienen como base la demanda nutrimental según la etapa fenológica, siendo la biomasa el indicador de la concentración y demanda de nutrientes por la planta (Greenwood, 1983). Un método para determinar la cantidad nutrimental absorbida por la planta durante su crecimiento y desarrollo fenológico son las curvas de extracción nutrimental, con las cuales se obtiene la acumulación total del nutriente por etapa fenológica o crecimiento, permitiendo realizar un programa de fertilización acorde a las

necesidades del cultivo, cantidad de fertilizante a aplicar y momento oportuno para realizar estas aplicaciones (Molina *et al.*, 1993; Sancho, 1999). La aplicación de este enfoque permite obtener un ahorro en el uso de fertilizantes y así un menor impacto ambiental.

Nutrición mineral en rosal

El nutrimento de mayor demanda en el rosal es el N ya que es un elemento importante para la composición de aminoácidos, ácidos nucleicos y proteínas, lo que favorece el adecuado desarrollo vegetativo de la planta e incrementa la coloración verde del follaje, asimismo promueve la absorción de otros nutrimentos como el K (Sedano-Castro *et al.*, 2011). Una deficiencia de N impuesta desde la brotación de las yemas hasta la coloración de los pétalos produce un aumento en la brotación de yemas ubicadas en la zona media y basal de las plantas, mientras que la brotación de las yemas apicales fue retrasada (Huché-Thélier *et al.*, 2001), esto produjo una variación en la arquitectura de las plantas, afectando la calidad de las mismas (Huché-Thélier *et al.*, 2001). Estudios realizados en rosal enfocados a la producción de flor de corte reporta un patrón de absorción cíclico de NO_3^- (nitrato)-N (Cabrera *et al.*, 1995). Lo anterior implica que existe una alta tasa de absorción del nutrimento cuando la elongación del tallo es lenta, mientras que cuando la elongación se acelera la tasa de absorción disminuye (Cabrera *et al.*, 1995). La disminución en la absorción de N alcanzada durante la rápida elongación de los brotes puede relacionarse con el abastecimiento limitado de carbohidratos a la parte radicular de la planta, lo que puede tener en consecuencia una disminución de la actividad de este órgano (Cabrera *et al.*, 1995). Hyndman *et al.* (1981), reportan que la pérdida tanto de N y biomasa de la raíz en plantas de rosal puede deberse al envío de señales y al gasto de energía que se requiere en la formación de raíces nuevas, lo cual fue demostrado realizando un experimento en plantas de rosal cultivadas *in vitro*, en donde el N y la sacarosa fueron factores fundamentales para la formación de raíces adventicias.

En un estudio realizado recientemente se observó no solo el patrón cíclico en la absorción de N en rosal si no también una disminución en el contenido de éste nutrimento en la planta; lo anterior sugiere que la parte aérea de la planta puede estar

enviando compuestos nitrogenados hacia la raíz, los cuales pueden funcionar como señales para la formación de raíces nuevas. Estas sustancias pueden ser las poliaminas, ya que se ha demostrado que su aplicación exógena estimula la formación de raíces nuevas en rosal (Yeo *et al.*, 2010).

Roca *et al.* (2004) señalan que la concentración de N en rosal es atribuible a las variaciones estacionales. Por ejemplo, indican que la menor concentración de N (1.85%) se presenta en primavera y es debido a un efecto de dilución por la mayor cantidad de biomasa producida en esta estación; sin embargo, la variación también depende del órgano de planta pues en la raíz la concentración de N fue muy estable durante todo el año (2.20% a 2.36%), mientras que tiende a ser más alta en las flores y hojas durante el otoño e invierno.

La aplicación excesiva de N en cultivo de rosal, hasta 8 t ha⁻¹ de N al año en EEUU (Cabrera *et al.*, 1995) y hasta 4 a 5 t ha⁻¹ en México, ocasionan daños ambientales ya señalados anteriormente; sin embargo, adicionalmente a estos impactos negativos, una fertilización excesiva se traduce en una mayor incidencia de araña roja en el rosal; se ha comprobado que disminuir la fertilización hasta en un 50% disminuye la incidencia de esta plaga sin ocasionar resultados negativos en la producción de flores (Chow *et al.*, 2009). Una técnica para disminuir el impacto ambiental ocasionado por las pérdidas de N por lixiviación ya comprobadas en el cultivo del rosal consiste en la aplicación de urea junto con inhibidores de la nitrificación, como el 3,4-fosfato de dimetilpirazol (DMPP) (García-Castro y Restrepo-Díaz, 2013); estas pérdidas pueden reducirse hasta en un 66% aproximadamente.

Otro elemento esencial para el crecimiento de la planta es el P, el cual se encuentra presente en los ácidos nucleicos, teniendo así un rol importante en la formación de compuestos moleculares y tiene un papel importante en la floración, desarrollo y crecimiento tanto de la parte aérea como en la raíz (Abdulnour *et al.*, 1994). En un estudio realizado por Triana *et al.* (2006) se demostró la importancia del P en rosal ya que éste aumentó a niveles elevados al realizarse el pinzado, así mismo el contenido de P se incrementó al presentarse la aparición del botón floral (estadio menor al tamaño de un chícharo).

La translocación de nutrimentos y fotosintatos así como la síntesis de proteínas y la actividad enzimática están relacionados de forma importante con el K, el cual tiene un rol importante en todos estos procesos (Pardo *et al.*, 2006). La interacción de K con N es de suma importancia ya que la dosis de N influye en la absorción de K según un estudio realizado con trigo (*Triticum aestivum* L.) (Zou *et al.*, 2006) y repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) (Guo *et al.*, 2004). Por tanto, la aplicación balanceada de N y K es importante para realizar un manejo óptimo en la nutrición del cultivo. En rosal, un estudio realizado por Silberbush y Lieth (2004) demostró que la absorción tanto de N como de K durante el crecimiento de los tallos florales fueron paralelos; sin embargo, al tiempo de cosecha de flores, se observó una disminución aproximada del 70% en la acumulación de K.

Tereda *et al.* (1996) demostraron que la máxima acumulación de K en rosal ocurre cuando las plantas son abastecidas con soluciones que contienen de 100 a 200 mg L⁻¹ sin embargo, altos niveles de K en la solución nutritiva estuvieron asociados con una disminución en la acumulación de Ca, probablemente debido a un antagonismo entre ambos iones. Otro antagonismo con K también ha sido reportado en rosal, ya que a los 5 días de iniciar la aplicación de amonio en la solución nutritiva se presentó una disminución en la absorción de K en comparación con plantas de rosal suplementadas únicamente con nitrato, sin embargo la acumulación de K se recuperó posteriormente (Lorenzo *et al.*, 2000).

Otros nutrimentos de gran demanda por el rosal en su etapa de flor de corte son el Ca y Mg (Cabrera, 2002). El Ca está íntimamente relacionado como mensajero secundario en el proceso de transducción y en la adaptabilidad de la planta al medio ambiente como el frío, calor, salinidad y tolerancia al estrés (Sanders *et al.*, 1999). De igual manera el Ca mantiene la integridad en las membranas de los pétalos, aumenta la firmeza de los tallos, reduce la producción de etileno y facilita el transporte de solutos (Torre *et al.*, 1999). En otros estudios queda demostrado que un adecuado suplemento de Ca es de suma importancia para elevar la calidad de la flor de corte en postcosecha (Starkey y Pedersen, 1997). Tereda *et al.* (1996) señalan que la máxima acumulación de Ca en plantas de rosal ocurre cuando la solución nutritiva contiene entre 80 y 160 mg Ca L⁻¹; sin

embargo, esto se asocia con una disminución en la absorción de Mg, probablemente debido a un antagonismo entre estos cationes.

Un compuesto importante, constituyente estructural de la molécula de clorofila y de la cual depende la fotosíntesis es el Mg. El Mg tiene un papel importante como activador o regulador de la ATPasa, RuBP oxigenasa y carboxilasa así como del grupo de kinasas y otras enzimas envueltas en el metabolismo de los carbohidratos (Hawkesford *et al.*, 2012). Investigaciones acerca de la flor de corte en rosal reportan una absorción cíclica en Ca y Mg de una cosecha previa a la siguiente, mientras que antes de la cosecha y durante la maduración del tallo floral se presenta un incremento en la absorción de Ca (Mattson y Lieth, 2007). Lo anterior fue observado en investigaciones recientes en donde el P también muestra la misma tendencia así como el movimiento de otros nutrimentos de forma simultánea en todo el ciclo de crecimiento de la planta, es decir, existe una exportación e importación de nutrimentos, la cual es llamada “removilización nutrimental”. La removilización consiste en el movimiento nutrimental a través de los órganos de la planta durante todo su ciclo de crecimiento de tal manera que tanto las raíces, hojas, tallos u otros órganos de la planta se convierten en órganos de demanda en alguna fase pero también en órganos fuente por lo que llega a existir una competencia entre éstos (Marschner, 1995).

ARTÍCULOS

1 DINÁMICA DE LA ACUMULACION DE BIOMASA, NITRÓGENO Y POTASIO EN 2 PLANTAS DE ROSAL

3
4 **Daniela Alvarado-Camarillo¹, Luis A. Valdez-Aguilar^{1§}, Ana María Castillo-González²,
5 Libia I. Trejo-Téllez³, Silvia Y. Martínez-Amador⁴, Karim de Alba-Romenous⁵**

6 ¹Departamento de Horticultura-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio
7 Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 25315. Tel. 018444110200
8 (dalcam_1@hotmail.com), ²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo
9 (anasofiacasg@hotmail.com), ³Campus Montecillo, Programa de Edafología, Colegio de
10 Posgraduados (tlibia@colpos.mx), ⁴Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria
11 Antonio Narro (syma_mx@yahoo.com), ⁵Departamento de Maquinaria Agrícola, Universidad
12 Autónoma Agraria Antonio Narro (karimdealba@yahoo.com). [§]Autor para correspondencia:
13 luisalonso.valdez@uaan.mx.

15 RESUMEN

16 El rosal es una de las especies ornamentales de mayor importancia y valor comercial. Los
17 sistemas de producción modernos se orientan hacia el cultivo bajo condiciones de invernadero y
18 cultivo sin suelo, por lo que se requiere de un programa de nutrición acorde a las necesidades
19 durante el ciclo de crecimiento, particularmente para N y K, pues estos son los elementos más
20 demandados. En el presente estudio se determinó el contenido de nitrógeno (N) y de potasio (K)
21 en rosal en función de las etapas fenológicas. Se realizaron muestreos destructivos para
22 determinar la biomasa seca y el contenido nutrimental. La acumulación de N y K aumentó en
23 algunas etapas del cultivo, estas fueron de la brotación de la zona de hojas activas hasta que
24 estos brotes alcanzaron 10 cm de longitud, y del pinzado de la zona de hojas activas hasta que
25 los brotes de la zona de corte alcanzaron una longitud de 15 cm. A partir de los datos obtenidos
26 es posible calcular la demanda de estos nutrimentos en tales fases; en el caso del N, la demanda
27 fue de 30.6 mg planta⁻¹ en la primera etapa y de 48.6 mg planta⁻¹ para la segunda etapa; mientras
28 que en el caso del K la demanda es de 10.0 mg planta⁻¹ en la primera etapa y de 7.0 mg planta⁻¹
29 en la segunda etapa.

30 **Palabras clave:** eficiencia del uso de fertilizantes, nutrición, ornamentales, *Rosa* sp.

32 ABSTRACT

33 Rose is one of the ornamental species of major importance and economic value. Modern
34 production systems are oriented soilless greenhouse cultivation. Nevertheless, a fertilization
35 program is required according to the needs of the crop during its growing cycle including the
36 most demanded nutrients, avoiding excessive applications. In the present study, the content of
37 nitrogen (N) and potassium (K) in rose plant was determined according to the phenological
38 phases. Destructive samples were taken periodically to determine dry biomass and N and K
39 content. Dry biomass increased during the first phase as well as the accumulation of N and K.
40 However, in the second phase, total biomass did not show a significant difference between the
41 stages of the crop, while the accumulation of N and K decreased throughout the entire plant. The
42 accumulation of N and K increased in some stages, especially in the zone of cutting flowers.
43 From the data obtained, it is possible to calculate the demand of these nutrients in such phases;
44 in the case of N, the demand was 30.6 mg plant⁻¹ in the first stage and 48.6 mg plant⁻¹ for the
45 second stage. On the other hand, K, demand was 10.0 mg plant⁻¹ in the first stage and 7.0 mg
46 plant⁻¹ in the second stage.

47 **Keywords:** fertilizer use efficiency, nutrition, ornamentals, *Rosa* sp.

48

1 INTRODUCCIÓN

2 La rosa (*Rosa* sp.) es una de las especies ornamentales de mayor valor e importancia dentro del
3 sector florícola ya que destaca por su volumen de producción, al ser la especie más demandada
4 por los consumidores. Se estima que su valor en el mercado de 2500 millones de dólares anuales
5 (SAGARPA, 2009). En la actualidad, los sistemas de producción modernos implican el cultivo
6 bajo condiciones de invernadero y en sistemas de cultivo sin suelo, sin embargo, esta tecnología
7 en nuestro país está principalmente enfocada a la producción de hortalizas y no a la producción
8 de flores de corte. La incorporación de la floricultura a estos sistemas de producción permitirá
9 obtener mayor rendimiento y calidad de flores para los mercados de exportación (Barrera-
10 Aguilar *et al.*, 2012). Sin embargo, para lograr este objetivo se requiere llevar a cabo estudios
11 pertinentes ya que los productores de rosa cultivan sin los lineamientos de un paquete
12 tecnológico que les permita obtener rendimientos equiparables a los reportados en otros países
13 (SAGARPA, 2009). Quesada-Roldán y Bertsh-Hernández (2013) reportan que, en general, para
14 la mayoría de las especies cultivadas no se cuenta con un plan de fertilización acorde a la
15 demanda real de nutrimentos a lo largo del ciclo de producción.

16 Uno de los problemas actuales en las actividades agrícolas es la aplicación excesiva de
17 fertilizantes, lo que conlleva a la contaminación del suelo y mantos freáticos (Yu-kui *et al.*,
18 2009), y aguas subterráneas (Ju *et al.*, 2004; Thorburn *et al.*, 2003), contribuyendo al
19 calentamiento global (Scheer *et al.*, 2008). Por lo anterior, se requiere conocer la concentración
20 necesaria de los nutrimentos más demandados por las plantas, como es el caso del nitrógeno (N)
21 y el potasio (K), para realizar un uso adecuado de los fertilizantes. La aplicación de K ha sido
22 descuidada en muchos países en desarrollo, resultando en un agotamiento del mismo en los
23 suelos agrícolas y disminución de los rendimientos (Zhang *et al.*, 2010).

24 Según Sedano-Castro *et al.* (2011), el N favorece el desarrollo vegetativo e intensifica el color
25 verde del follaje, así mismo, es un constituyente de componentes celulares esenciales como los
26 aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, y promueve la absorción de otros nutrimentos,
27 incluyendo el K. El K tiene un papel importante en procesos como la síntesis de proteínas,
28 activación enzimática, translocación de nutrimentos y fotosintatos (Pardo *et al.*, 2006).

29 La dosis de aplicación de N influye en la absorción de K y la interacción de estos nutrimentos
30 puede ser significativa, como se ha reportado en trigo (*Triticum aestivum* L.) (Zou *et al.*, 2006)
31 y repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) (Guo *et al.*, 2004), por lo que una aplicación
32 balanceada entre N y K es necesaria para un mejor manejo de la nutrición en los cultivos. De lo
33 anterior, se concluye que un mejor entendimiento del mecanismo de interacción entre estos
34 nutrimentos podría ser de utilidad para proponer un mejor manejo de la nutrición y así generar
35 altos rendimientos y un uso eficiente de los fertilizantes (Zhang *et al.*, 2010).

36 La presente investigación se diseñó con el objetivo de determinar la dinámica de la acumulación
37 de la biomasa y en el contenido de N y K en rosal para flor de corte, así como las etapas en las
38 cuales la planta presenta una acumulación de estos nutrimentos.

39

40 MATERIALES Y MÉTODOS

41 El presente estudio se realizó bajo condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma
42 Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila. La temperatura mínima y máxima
43 promedio que se registró durante el estudio fue de 9.3 y 24.3 °C, respectivamente. La humedad
44 relativa osciló entre 14.5% y 90.4%. La radiación fotosintéticamente activa incidente durante el
45 periodo de mayor insolación (12:00 a 14:00 h) fue en promedio de 558 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

46 Se utilizaron plantas de rosal (*Rosa* sp.) cv. Freedom injertada sobre Natal Briar. Las plantas se
47 trasplantaron el 2 de julio de 2015 en contenedores de plástico rígido de 30 × 48 × 20 cm. Los
48 contenedores se llenaron con perlita como sustrato, la cual tenía un 33% de capacidad de
49 retención de agua (v/v), 64% de espacio poroso y una densidad aparente de 0.25 g cm⁻³. Los
50 contenedores fueron colocados en una estructura elevada para establecer un sistema hidropónico

1 cerrado con recirculación de la solución nutritiva. Se plantaron cuatro plantas a tresbolillo en
 2 cada contenedor sin cubrir el punto de injerto.
 3 Se empleó una solución con la formulación de Steiner (1984) para la nutrición de las plantas,
 4 misma que fue preparada con agua potable considerando sus propiedades químicas para el aporte
 5 de nutrimentos. El pH de las soluciones fue ajustado a 5.9 y ± 0.1 con H₂SO₄ y la conductividad
 6 eléctrica (CE) fue de 2.0 dS m⁻¹, mismos que se ajustaban diariamente para mantenerlos
 7 uniformes. La solución nutritiva se aplicó mediante un sistema de riego automatizado a través de
 8 goteros de 4 L h⁻¹ y 4 piquetas en cada contenedor. Los riegos se aplicaron 15 min en intervalos
 9 de 30 min entre las 7:00 y 19:00 h.

10 A partir de la fecha de trasplante se empezó la formación de la planta hasta el momento de la
 11 poda, la cual se realizó cortando los basales a una altura de 60 cm el 31 de octubre de 2015.
 12 Durante el periodo de estudio se realizaron siete muestreos destructivos, los cuales
 13 correspondieron a las etapas indicadas en el Cuadro 1.

14
 15 **Cuadro 1. Muestreos realizados durante el estudio, incluyendo cuando estos fueron**
 16 **ejecutados y la fase fenológica en la que se encontraban las plantas.**

Muestreo	Días después de la poda	Etapas
1	30	Brotación de la zona de hojas activas y con brotes con una longitud de 10 cm
2	45	Desde los brotes de la zona de hojas activas con longitud de 10 cm, descabezado y desbrotado
3	60	Pinzado de la zona de hojas activas, brotación de la zona de corte y brotes de la zona de corte con longitud de 10 cm
4	75	Brotes de la zona de corte con longitud de 15 cm
5	97	Brotes de la zona de corte con botón floral visible y menor al tamaño chícharo
6	110	Elongación de los brotes de la zona de corte para formar el tallo floral
7	116	Cosecha de flores

17
 18 En cada muestreo se seleccionaron al azar cinco plantas con un basal, extrayéndolas
 19 completamente del contenedor y fueron seccionadas en raíz, portainjerto, basal, tallo y hojas.
 20 Conforme se desarrollaron las plantas se fueron separando las hojas y tallos de la zona de hojas
 21 activas y de la zona de corte, respectivamente, así como el botón floral en esta última zona. Las
 22 raíces se lavaron con agua destilada para eliminar el exceso de sustrato, al igual que los restantes
 23 órganos. Posteriormente, los órganos separados se introdujeron en un horno de secado a 70 °C
 24 por 72 h, excepto los tallos y basales, los cuales se mantuvieron en la estufa de secado entre 15
 25 y 20 días. Posteriormente se registró el peso de la materia seca utilizando una balanza digital.

1 En los órganos antes referidos se determinaron las concentraciones de N y K. Los tejidos se
2 digestaron con 2 mL de una mezcla de H₂SO₄ y HClO₄, y 1 mL de H₂O₂ grado reactivo. El
3 digestado resultante fue llevado a 25 mL y filtrado. En una alícuota de la muestra resultante se
4 determinó la concentración de N mediante el método semi-microKjeldahl; mientras que la
5 concentración de K mediante lectura directa en un equipo de espectroscopia de emisión atómica
6 de inducción por plasma acoplado (ICP-AES 725 Series Agilent; Mulgrave, Victoria, Australia).
7 Los cálculos del contenido de N y K se realizaron considerando la materia seca y la
8 concentración de éstos en los diferentes órganos de la planta; la sumatoria del contenido de los
9 nutrimentos en los diferentes órganos representó la acumulación total por planta. Los promedios
10 con el error estándar se graficaron utilizando SigmaPlot 12.5.

11

12 **RESULTADOS**

13 *Brotación de la zona de hojas activas a desbrotado*

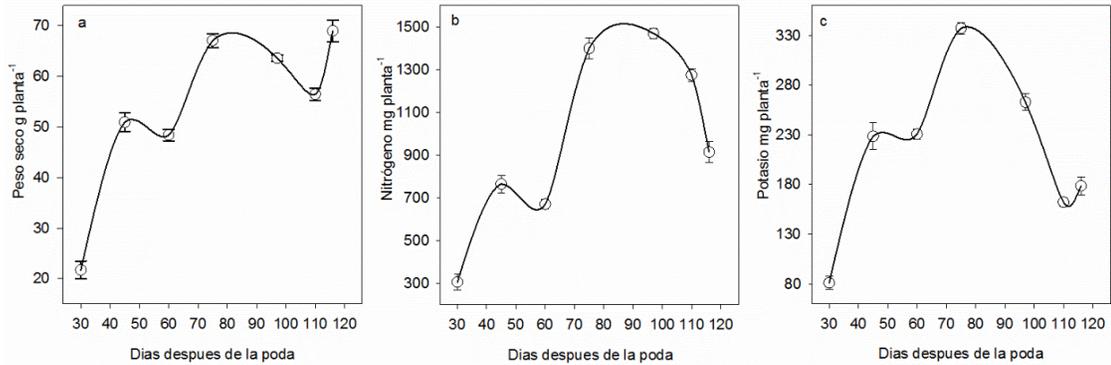
14 Se observó un incremento de la biomasa total de la planta, desde la brotación de la zona de las
15 hojas activas hasta el momento en que se practicó el descabezado y el desbrote en dicha zona
16 (Fig. 1a). El incremento de la biomasa total se asoció con una ganancia parcial de la biomasa en
17 las raíces (Fig. 2a), el portainjerto (Fig. 3a), y la de la zona de hojas activas en desarrollo (Fig.
18 4a); sin embargo, fue el basal el que presentó la mayor ganancia de biomasa (Fig. 5a). La
19 acumulación de N total se relacionó con el incremento en la acumulación de la biomasa seca
20 total (Fig. 1b) y K (Fig. 1c). La acumulación de N y K se observó en todas las zonas de la planta,
21 pero se detectó principalmente en el basal (Fig. 5b-c). La zona de hojas activas también acumuló
22 N (Fig. 4b), especialmente en las hojas, y K especialmente en el tallo (Fig. 4c).

23 *Desbrotado hasta el pinzado de la zona de hojas activas*

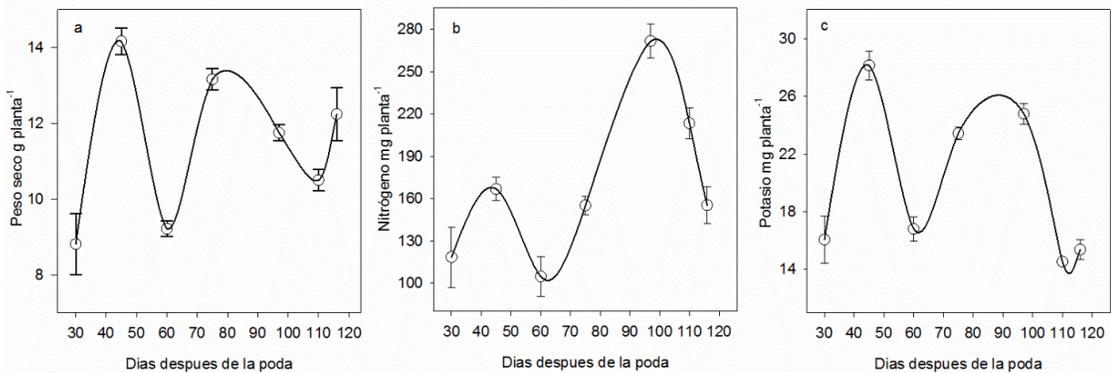
24 La biomasa total no mostró una diferencia considerable entre estas etapas (Fig. 1a), sin embargo,
25 el desbrotado se asoció con una pérdida de 35% y 14% en la biomasa de la raíz (Fig. 2a) y en el
26 portainjerto (Figura 3a), respectivamente. A pesar de esto, la acumulación de biomasa en tallos y
27 hojas de la zona de hojas activas permitió mantener la biomasa total de la planta (Fig. 4a). La
28 variación limitada en la biomasa total se relacionó con una ligera reducción en el N total
29 acumulado (Fig. 1b), mientras que K no fue afectado (Figura 1c), sin embargo, hubo una
30 disminución fuerte de ambos nutrimentos en todas las partes de la planta (Fig. 2b-c, 3b-c, 5b-c),
31 lo cual contrasta con el aumento en el N (Fig. 4b) y K acumulado (Fig. 4c) en la zona de hojas
32 activas.

33 *Del pinzado de la zona de hojas activas a la brotación de zona de las flores de corte*

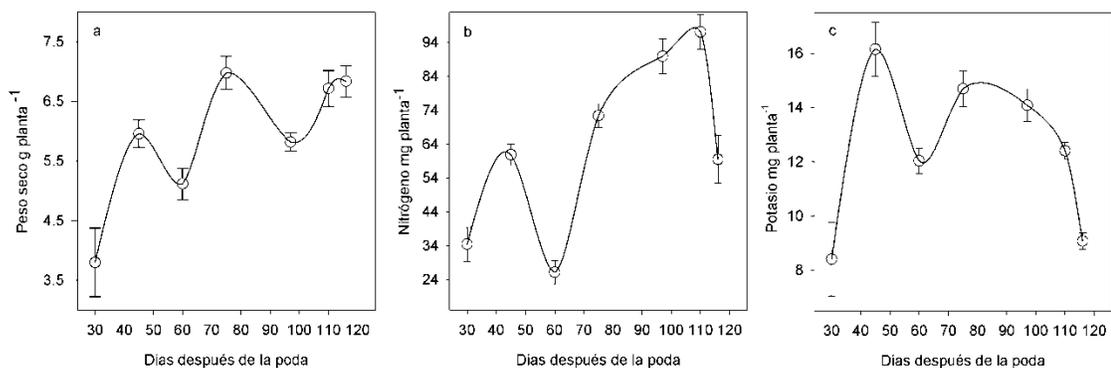
34 La biomasa total de la planta disminuyó en un 39% (Fig. 1a), lo que se debió a un incremento de
35 las reservas de carbohidratos acumulados en todas las partes de la planta (Figs. 2a, 3a, 4a, 5a). El
36 incremento de la biomasa total resultó en una acumulación del 109% de N total en relación al
37 muestreo anterior (Fig. 1b) y 46% del K total (Fig. 1c), lo cual ocurrió especialmente en el
38 portainjerto (Figura 3b-c), en el basal (Fig. 5b-c) y en las hojas de la zona de hojas activas (Fig.
39 4b-c).



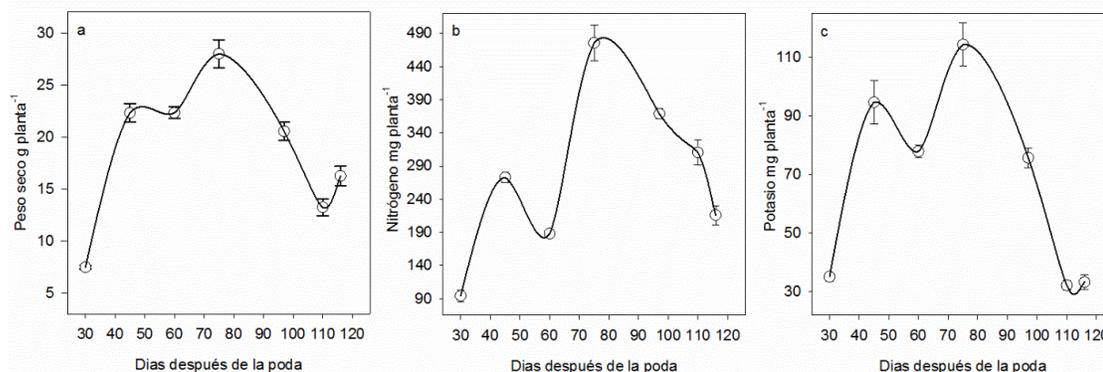
- 1 **Figura 1. Acumulación total de materia seca (a), N (b) y K (c) en plantas de rosal (*Rosa* sp.)**
- 2 **durante el desarrollo de la zona de hojas activas y zona de corte, incluyendo la cosecha de**
- 3 **flores. Las barras indican el error estándar de la media.**



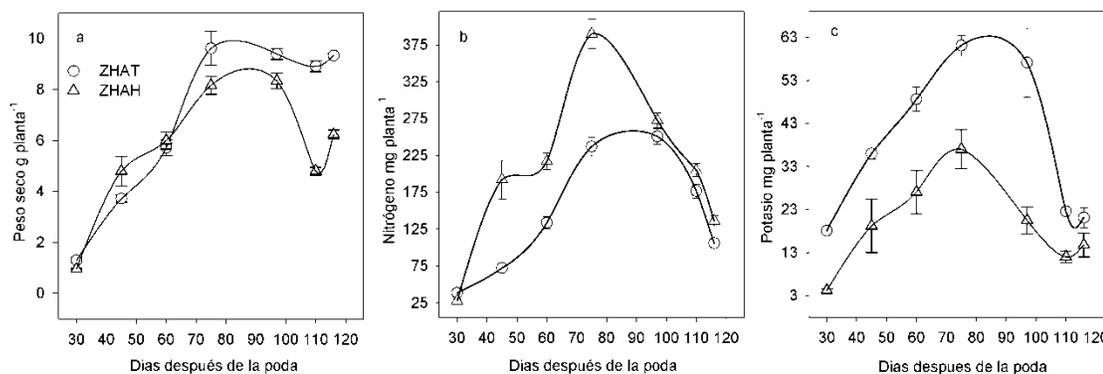
- 4 **Figura 2. Acumulación de materia seca (a), N (b) y K (c) en las raíces de plantas de rosal**
- 5 **(*Rosa* sp.) durante el desarrollo de la zona de hojas activas y zona de corte, incluyendo la**
- 6 **cosecha de flores.**
- 7



- 1 **Figura 3. Acumulación de materia seca (a), N (b) y K (c) en el portainjerto de plantas de**
 2 **rosal (*Rosa* sp.) durante el desarrollo de la zona de hojas activas y zona de corte,**
 3 **incluyendo la cosecha de flores. Las barras indican el error estándar de la media.**



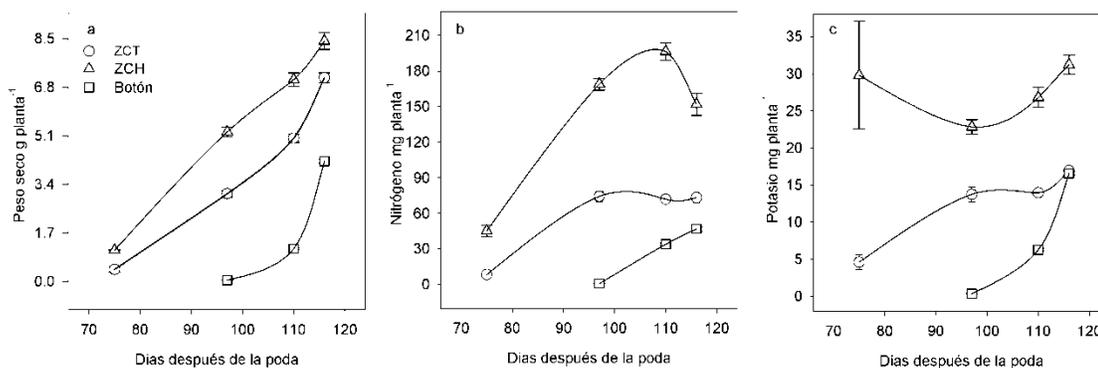
- 4 **Figura 4. Acumulación de materia seca (a), N (b) y K (c) en los tallos y hojas de la zona de**
 5 **hojas activas de plantas de rosal (*Rosa* sp.). ZHAT = tallo de la zona de hojas activas.**
 6 **ZHAH= hojas de la zona de hojas activas. Las barras indican el error estándar de la**
 7 **media.**



- 8 **Figura 5. Acumulación de materia seca (a), N (b) y K (c) en el basal de plantas de rosal**
 9 **(*Rosa* sp.) durante el desarrollo de la zona de hojas activas y zona de corte, incluyendo la**
 10 **cosecha de flores. Las barras indican el error estándar de la media.**

11 *De la brotación de la zona de flores de corte hasta el botón menor al tamaño chícharo*
 12 En contraste con la biomasa total de la planta (Fig. 1a), tanto las hojas como el tallo de la zona
 13 de corte (Fig. 6a) y de la zona de hojas activas (Fig. 4a) aumentaron su biomasa en esta fase, lo
 14 cual fue debido a una disminución en la biomasa de la raíz (Fig. 2a), del portainjerto (Fig. 3a),
 15 así como en el basal (Fig. 5a).
 16 El N total acumulado en la planta disminuyó posterior a la etapa de botón visible (Fig. 1b)
 17 mientras que la reducción de K se detectó desde la misma brotación de la zona de corte (Fig.1c).
 18 En contraste, el contenido de N (Fig. 6a) y K (Fig. 6b) aumentó en tallo y hojas de la zona de
 19

1 corte, por lo que la disminución a nivel de toda la planta fue debido a una reducción de estos
 2 nutrimentos en la raíz después de la fase de botón visible (Fig. 2b-c), en el basal (Fig. 5b-c) y
 3 hojas de la zona de hojas activas (Fig. 4b-c) después de la brotación de la zona de corte (Fig. 4b-
 4 c). La excepción ocurrió en el caso del portainjerto, ya que la concentración de ambos
 5 nutrimentos aumentó en esta fase (Fig. 3b-c).



6 **Figura 6. Acumulación de materia seca (a), N (b) y K (c) en hojas, tallo y botón floral en la**
 7 **zona de corte de plantas de rosal (*Rosa sp.*). ZCT = tallo de la zona de corte. ZCH= hojas**
 8 **de la zona de corte. Las barras indican el error estándar de la media.**

9

10 *Del botón menor al tamaño chícharo hasta la cosecha*

11 Se presentó un incremento de la biomasa de las hojas y de los tallos florales de la zona de flores
 12 de corte (Figura 6a), por lo que hubo un aumento en la biomasa total acumulada cuando la flor
 13 alcanzó el punto de cosecha (Fig. 1a), lo cual estuvo en concordancia con un incremento en
 14 todas las partes de la planta.

15 Durante la última parte del desarrollo del tallo floral, el N y el K acumulados en la planta
 16 disminuyeron marcadamente (Fig. 1b-c), lo que se debió a una reducción en el contenido de
 17 estos nutrimentos en todas las partes de la planta, excepto en los órganos de la zona de las flores
 18 de corte (Fig. 6b-c).

19

20 **DISCUSIÓN**

21 Algunos estudios sobre la producción de flor de corte en rosal reportan un patrón cíclico en la
 22 absorción de NO₃-N (Cabrera *et al.*, 1995a). Esto implica que existe una alta tasa de absorción
 23 del nutrimento cuando la elongación del tallo es lenta, mientras que cuando la elongación se
 24 acelera la tasa de absorción disminuye. Similarmente, Mattson y Lieth (2005) también reportan
 25 que la máxima tasa de absorción de N y K ocurre durante la máxima elongación del tallo floral,
 26 pero disminuyen antes de la cosecha de flores.

27 En el presente estudio se observan respuestas similares ya que la acumulación de N se detuvo
 28 entre el desbrotado y el pinzado de la zona de hojas activas, así como entre la fase en la que los
 29 brotes de la zona de corte tenían 15 cm de longitud y el estado de botón visible; en ambos casos,
 30 los tallos en desarrollo están alcanzado la máxima tasa de acumulación de materia seca. Después
 31 de la poda de la zona de hojas activas se permitió el desarrollo del tallo floral correspondiente a
 32 la zona de corte por otros 60 días. Durante los primeros 40 días, nuestros resultados se asemejan
 33 mucho a los reportados por Kim y Lieth (2012) en cuanto a la acumulación de biomasa y son
 34 equivalentes entre la acumulación de N y K por la tasa reportada por esos autores. Sin embargo,
 35 posterior a esos 40 días, en el presente estudio se muestra una reducción tanto en la biomasa

1 como el contenido de N y K, algo que no reportan Kim y Lieth (2012). Esta diferencia puede
2 deberse a que estos autores solo permitieron el desarrollo de los tallos florales por 40 días.
3 Asimismo, se detectó un comportamiento cíclico también en la absorción del K ya que hubo una
4 interrupción en la acumulación de este nutrimento entre el desbrotado y el pinzado de la zona de
5 hojas activas.

6 El comportamiento cíclico, conocido también como “episódico”, en la absorción de N y K
7 durante el crecimiento se ha reportado también en plantas perennes (Eissentat y Yanai, 2002). El
8 crecimiento episódico se caracteriza por una rápida expansión en tallos y hojas, lo cual se
9 alterna con periodos de desarrollo de los brotes nuevos. El desarrollo de estos brotes nuevos
10 ocasiona la detención de la elongación o emergencia de hojas, hasta que se presenta un nuevo
11 ciclo en donde el crecimiento inicia nuevamente. Este tipo de crecimiento se presenta en rosal
12 durante la formación de nuevos brotes que se desarrollan por arriba de los tallos del ciclo
13 anterior, lo cual se conoce como “pisos” en el caso de este cultivo, y durante la fase de rápida
14 elongación y acumulación de materia seca en los tallos florales.

15 El comportamiento cíclico se ha asociado con una reducción en la tasa de crecimiento de la raíz
16 durante el desarrollo de hojas y brotes nuevos, como se ha demostrado en roble blanco (*Quercus*
17 *alba* L.) (Reich *et al.*, 1980). En el presente estudio también fue posible detectar la declinación
18 en la biomasa de raíces, la cual coincidió con el desarrollo de los brotes de la zona de hojas
19 activas y de la zona de corte, así como con la detención en la acumulación de N y K (Figura 2a).
20 Es probable que la pérdida de materia seca en las raíces se deba a una muerte de tejidos en este
21 órgano.

22 En *Ilex crenata* Thunb., una especie con crecimiento episódico (Gilliam y Wright, 1978a, b), se
23 reportó que el crecimiento de raíces ocurre solo después de la terminación del crecimiento de los
24 brotes (Mertens y Wright, 1978). Lo anterior no coincide con lo observado en el presente
25 estudio, ya que la acumulación de materia seca en las raíces se presentó cuando ocurrió la
26 brotación de las yemas de la zona de hojas activas así como de la zona de corte, y cuando la flor
27 está lista para la cosecha, de tal forma que la planta ya está preparada para iniciar el desarrollo
28 del siguiente piso o nueva brotación. La baja absorción de N reportada durante la rápida
29 elongación de los brotes puede estar relacionada con el suministro limitado de carbohidratos a
30 las raíces, lo que trae como consecuencia una reducción de la actividad de este órgano (Cabrera
31 *et al.*, 1995a).

32 En el presente estudio se observó que la máxima acumulación de N y K se presentó cuando
33 existe se almacena la mayor cantidad de biomasa en toda la planta así como en la raíz y en otros
34 órganos, mientras que la acumulación de N se detuvo antes de que los brotes en desarrollo
35 alcancen la etapa de formación de flores, es decir, después del descabezado de la flor en la zona
36 de hojas activas, lo cual ocurre también para K, así como en la formación del botón visible de la
37 zona de corte.

38 Posterior a la formación del botón visible se lleva a cabo el desarrollo completo de la flor y una
39 rápida elongación del tallo floral; en el presente estudio, en esta fase se detectó una reducción en
40 la biomasa total de la raíz, del portainjerto y del basal, lo cual estuvo relacionado con una
41 pérdida en el N y K acumulados en la planta, lo que a su vez estuvo antecedida por un aumento
42 en el N de la raíz. Esta pérdida de materia seca y N puede deberse al gasto de energía y envío de
43 señales que se requiere para la formación de nuevas raíces, tal como lo ha reportado Hyndman *et*
44 *al.* (1981), quienes señalan que en plantas de rosal cultivadas *in vitro* la sacarosa así como el N
45 intervienen en la formación de raíces adventicias. En el mismo sentido, Yeo *et al.* (2010)
46 indicaron que la aplicación exógena de sustancias nitrogenadas como las poliaminas estimulan la
47 formación de nuevas raíces en rosal, lo que sugiere que la parte aérea de la planta puede estar
48 enviando compuestos nitrogenados de este tipo que funcionan como señales para la formación de
49 nuevas raíces. En este estudio, el hecho de que previo a la elongación del tallo floral y
50 desarrollo del botón floral se presentó un marcado aumento en la acumulación de N y K en las

1 raíces también sugiere que estos elementos pueden intervenir como señalizadores para estimular
2 la formación de nuevas raíces. La demanda por reservas, N y K por parte de la raíz para
3 estimular la formación de nuevas raíces puede ser más marcado puesto que se ha reportado que
4 Natal Briar, el portainjerto utilizado en el material vegetal en estudio, es un patrón que desarrolla
5 más raíces que otros portainjertos tradicionalmente empleados (Cabrera *et al.*, 1995b).
6 Es importante señalar que, si bien hubo una disminución de la materia seca, N y K acumulados
7 en toda la planta durante el desarrollo de la flor, tanto el tallo como las hojas y botón del tallo
8 floral no mostraron esta tendencia, puesto que en éstos se manifiesta un aumento en tales
9 parámetros. Estos resultados sugieren que la materia seca, N y K que se redujeron en toda la
10 planta pudieron haber sido redistribuidos desde la raíz o bien desde la estaca, basal o zona de
11 hojas activas para mantener la demanda del tallo, hojas y botón floral en desarrollo (Cabrera *et*
12 *al.*, 1995b).
13 En cuanto a la capacidad de absorción del sistema radicular (Glass, 2002), así como el
14 surgimiento de nuevas raíces, se menciona que están íntimamente asociados a la aparición de los
15 brotes nuevos (Silberbrush *et al.*, 2004). De igual manera, se considera que estas variaciones en
16 el crecimiento están relacionadas con la variación en la disponibilidad de carbohidratos a nivel
17 de la planta entera, permitiendo una rápida elongación de la raíz sólo durante los períodos de
18 reposo de los brotes (Thaler y Pagés, 1996b).
19 Mor y Halevy (1979) han reportado que el desarrollo de los brotes en las rosas representa una
20 fuerte demanda de fotoasimilados hasta cuando los botones de las flores se vuelven visibles.
21 Justo después de la aparición de los botones de las flores, la mayoría de las hojas en este nuevo
22 brote se convierten en una fuente de asimilados. Estos resultados soportan el argumento de que
23 la tasa de absorción de N y K en rosas es al menos en parte gobernada por la disponibilidad de
24 asimilados en las raíces. La tasa de absorción de los macronutrientes como K es paralela a los
25 cambios de absorción de N, lo cual concuerda con el comportamiento de la tasa de absorción
26 reportada para *Euonymus japonica* (Hershey y Paul, 1983).
27 De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, en rosal se presentaron dos
28 etapas en las cuales existe una acumulación de N y K. La primera fue durante el desarrollo de la
29 zona de hojas activas, específicamente en la fase que va desde la brotación de esta zona hasta el
30 desbrotado de yemas axilares en el tallo; la segunda fue desde el pinzado de la zona de hojas
31 activas hasta la brotación del siguiente piso de la planta, es decir, la zona de corte. A partir de los
32 datos obtenidos es posible calcular la demanda de estos nutrientes en tales fases; en el caso del
33 N, la demanda fue de 32.7 mg planta⁻¹ en la primera etapa y de 41.1 mg planta⁻¹ para la segunda
34 etapa. En el caso del K, la demanda fue de 10.4 mg planta⁻¹ en la primera etapa y de 7.0 mg
35 planta⁻¹ en la segunda.
36 Los resultados de esta y otras investigaciones sugieren que la productividad y calidad de las
37 rosas de invernadero están influenciadas por un balance dinámico y complejo entre las partes
38 aéreas y la raíz, junto con el almacenamiento de fotoasimilados y la redistribución de la
39 competencia (Fuchs, 1994). En un momento dado, las plantas de rosal tienen distintos niveles de
40 crecimiento y etapas fenológicas debido a las podas realizadas en diferentes niveles o pisos de
41 acuerdo al crecimiento y floración; tales niveles pueden causar periodos de alta y baja demanda
42 de nutrientes minerales, así como de consumo de N y K en rosas bajo invernadero, lo cual no
43 ha sido reportado en México.

44

45 **CONCLUSIONES**

46 Durante el desarrollo inicial de la zona de hojas activas y la zona de corte hay un aumento en la
47 biomasa y en la acumulación de N y K; sin embargo, cuando en ambas zonas se presenta la fase
48 de elongación de los tallos existe una disminución de la biomasa de la raíz, así como de la
49 acumulación de N y K, lo que confirma el patrón cíclico de crecimiento en esta especie. La
50 demanda total de N fue de 30.6 mg planta⁻¹ para la etapa inicial del desarrollo de la zona de

1 hojas activas y de 48.6 mg planta⁻¹ para la etapa de desarrollo inicial de la zona de corte,
2 mientras que la demanda de K fue de 10.4 y 7.0 mg planta⁻¹ para ambas etapas, respectivamente.

3

4 **LITERATURA CITADA**

5 Barrera-Aguilar, E.; Valdez-Aguilar, L. A.; Castillo-González, A. M.; Ibarra-Jiménez, L.;
6 Rodríguez-García, R. and Alia-Tejagal, I. 2012. La nutrición potásica afecta el crecimiento y
7 fotosíntesis en *Lilium* cultivado en turba ácida. México. Revista Mexicana de Ciencias
8 Agrícolas. 3: 1011–1022.

9 Cabrera, R. I.; Evans, R. Y., and Paul, J. L. 1995a. Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses.
10 The Netherlands. Scientia Horticulturae, 63: 57–66.

11 Cabrera, R. I.; Evans, R. Y., and Paul, J. L. 1995b. Nitrogen partitioning in rose plants over a
12 flowering cycle. The Netherlands. Scientia Horticulturae. 63: 67–76.

13 Eissenstat, D.M. and Yanai, R.D. 2002. Root Lifespan, Turnover and Efficiency. In: Waisel, Y.;
14 Eshel, A. and Kafkafi, U. (Eds.). Plant Roots: The Hidden Half. 3rd Ed. Marcel Dekker. New
15 York, USA. 221–238 pp.

16 Fuchs, H.W.M. 1994. Scion–rootstock Relationships and Root Behaviour in Glasshouse Roses.
17 In: Scion–rootstock Relationships and Root Behaviour in Glasshouse Roses Ph.D. Dissertation
18 Abstract. Fuchs, H.W.M. (comp.). Wageningen Agricultural University, The Netherlands. 104–
19 106 pp.

20 Gilliam, C.H. and Wright, R.D., 1978a. Timing of fertilizer application in relation to growth
21 flushes of ‘Helleri’ holly (*Ilex crenata* Thunb.). USA. HortScience. 13: 300–301.

22 Gilliam, C.H. and Wright, R.D. 1978b. Effects of three nitrogen levels on tissue nitrogen
23 fluctuation during a flush of growth on ‘Helleri’ holly (*Ilex crenata* Thunb.). USA. HortScience,
24 13: 301–302.

25 Glass, A.D.M. 2002. Nutrient Absorption by Plants: Regulation of Uptake to Match Plant
26 Demand. In: Waisel, Y.; Eshel, A. and Kafkafi, U. (Eds.). Plant Roots: The Hidden Half. 3rd Ed.
27 Marcel Dekker. New York, USA. 571–586 pp.

28 Guo, X.S.; Zhu, H.B.; Wang, W.J.; Ye, S.Y.; Wu, J. and Wu, L.S. 2004. Effect of different rates
29 of nitrogen and potash on yield and quality of cabbage. China. Plant Nutrition and Fertility
30 Science. 10: 161–166.

31 Hershey, D.R. and Paul, J.L. 1983. Ion absorption by a woody plant with episodic growth. USA.
32 HortScience, 18: 357–359.

33 Hyndman, S. E.; Hasegawa, P. M., and Bressan, R. A. 1981. The role of sucrose and nitrogen in
34 adventitious root formation on cultured rose shoots. The Netherlands. Plant Cell, Tissue and
35 Organ Culture. 1: 229–238.

36 Ju, X.; Liu, X.; Zhang, F., and Roelcke, M. 2004. Nitrogen fertilization, soil nitrate
37 accumulation, and policy recommendations in several agricultural regions of China. Sweden.
38 AMBIO: a Journal of the Human Environment. 33: 300–305.

39 Kim, W. S. and Lieth, J. H. 2012. Simulation of year-round plant growth and nutrient uptake in
40 *Rosa hybrida* over flowering cycles. Korea. Horticulture, Environment, and Biotechnology,
41 53(3): 193–203.

42 Mattson, N. S. and Lieth, J.H. 2005. Modeling Macronutrient Absorption of Hydroponically-
43 Grown Cut Flower Roses. Belgium. Acta Horticulturae In: IV International Symposium on Rose
44 Research and Cultivation. 751(129–135 pp.).

45 Mertens, W.C. and Wright, R.D. 1978. Root and shoot growth rate relationships of two cultivars
46 of Japanese holly. USA. Journal of the American Society for Horticultural Science. 103: 722–
47 724.

48 Mor, Y. and Halevy, A.H. 1979. Translocation of ¹⁴C-assimilates in roses. I. The effect of the
49 age of the shoot and the location of the source leaf. United Kingdom. Physiologia Plantarum. 45:
50 177–182.

- 1 Pardo, J.M.; Cubero, B.; Leidi, E.O. and Quintero, F.J. 2006. Alkali cation exchangers: roles in
2 cellular homeostasis and stress tolerance. United Kingdom. *Journal of Experimental Botany*. 57:
3 1181-1199.
- 4 Quesada-Roldán, G., and Bertsch-Hernández, F. 2013. Obtaining of the absorption curve for the
5 FB-17 tomato hybrid. México. *Terra Latinoamericana*. 31: 1–7.
- 6 Reich, P.B.; Teskey, RO, Johnson, P.S. and Hinckley, T.M. 1980. Periodic root and shoot
7 growth in oak. Czech Republic. *Forest Science*. 26: 590–598.
- 8 SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)-
9 FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido). 2009. México. La infraestructura y sistemas
10 requeridos para el desarrollo de clústeres de horticultura ornamental orientados a la exportación
11 de productos de valor agregado a los Estados Unidos y Canadá. Disponible en:
12 http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/estudios_promercado/ornamental.pdf.
- 13 Scheer, C.; Wassmann, R.; Kienzler, K.; Ibragimov, N. and Eschanov, R. 2008. Nitrous oxide
14 emissions from fertilized, irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in the Aral Sea Basin,
15 Uzbekistan: Influence of nitrogen applications and irrigation practices. United Kingdom. *Soil
16 Biology and Biochemistry*. 40: 290–301.
- 17 Sedano-Castro, G.; González-Hernández, V.A.; Saucedo-Veloz, C.; Soto-Hernández, M.;
18 Sandoval-Villa, M. y Carrillo-Salazar, J.A. 2011. Rendimiento y calidad de frutos de calabacita
19 con altas dosis de N y K. México. *Terra Latinoamericana*. 29: 133–142.
- 20 Silberbush, M. and Lieth, J. H. 2004. Nitrate and potassium uptake by greenhouse roses (*Rosa
21 hybrida*) along successive flower-cut cycles: a model and its calibration. The Netherlands.
22 *Scientia Horticulturae*. 101: 127–141.
- 23 Thaler, P. and Pagés L. 1996b. Root apical diameter and root elongation rate of rubber seedlings
24 (*Hevea brasiliensis*) show parallel responses to photoassimilate availability. United Kingdom.
25 *Physiologia Plantarum*. 97: 365–371.
- 26 Thorburn, P.J.; Biggs, J.S.; Weier, K.L. and Keating, B.A. 2003. Nitrate in groundwaters of
27 intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia. The Netherlands. *Agriculture,
28 Ecosystems and Environment*. 94: 49–58.
- 29 Yeo, K. H.; Cho, Y. Y. and Lee, Y. B. 2010. Estimation of Shoot Development for a Single-
30 Stemmed Rose 'Vital' Based on Thermal Units in a Plant Factory System. Korea. *Korean Journal
31 of Horticultural Science and Technology*. 28(5): 768–776.
- 32 Yu-kui, R.; Shi-ling, J.; Fu-suo, Z. and Jian-bo, S. 2009. Effects of nitrogen fertilizer input on
33 the composition of mineral elements in corn grain. México. *Agrociencia*, 43: 21–27.
- 34 Zhang, F.; Niu, J.; Zhang, W.; Chen, X.; Li, C.; Yuan, L. and Xie, J. 2010. Potassium nutrition
35 of crops under varied regimes of nitrogen supply. The Netherlands. *Plant and Soil*. 335: 21–34.
- 36 Zou, T.X.; Dai, T.B., Jiang, D.; Jing, Q, and Cao, W.X. 2006. Effects of nitrogen and potassium
37 supply on grain yield and quality in weak gluten wheat. The Netherlands. *Journal of Triticeae
38 Crops*. 26: 86–90.

1 **ACUMULACION Y REMOVILIZACION DE CALCIO, MAGNESIO Y FÓSFORO**
2 **EN PLANTAS DE ROSAL**
3 **ACCUMULATION AND REMOBILIZATION OF CALCIUM, MAGNESIUM AND**
4 **PHOSPHORUS IN ROSE PLANTS**

5
6 **RESUMEN**

7 La producción de flores de rosa para corte en México se realiza sin regulación
8 del uso de fertilizantes, lo que ocasiona problemas económicos, sociales y de
9 salud. La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar la
10 dinámica de la acumulación y remobilización de Ca, Mg y P en plantas de rosal
11 de acuerdo a las etapas fenológicas, para obtener información útil en el diseño
12 de fórmulas de fertilización para aplicarse justo en el momento y cantidad que lo
13 demande el cultivo. Las etapas estudiadas fueron: brotación de la zona de hojas
14 activas (ZHA) y con brotes con una longitud de 10 cm; desde los brotes de la
15 ZHA con longitud de 10 cm hasta el descabezado y desbroto; pinzado de la
16 ZHA; brotación de la zona de corte (ZC) y brotes de la ZC con longitud de 10
17 cm; brotes de la ZC con longitud de 15 cm; brotes de la ZC con botón floral
18 visible y menor al tamaño chícharo; elongación de los brotes de la ZC para
19 formar el tallo floral y cosecha de flores. El rosal presentó un patrón cíclico en la
20 acumulación de los nutrimentos en estudio, lo cual ocurrió en tres etapas. La
21 primera fue durante el brote de la ZHA hasta que estos alcanzaron 10 cm de
22 longitud, la segunda fue desde el pinzado de la ZHA hasta la brotación de la ZC
23 y la aparición del siguiente piso con brotes de 10 cm, mientras que la tercera
24 etapa fue antes de la cosecha de la flor. Cuando los brotes de la ZHA así como
25 los de la ZC se encontraban en su máxima tasa de crecimiento, la acumulación
26 de Ca, Mg y P se detuvo a nivel de planta completa. Los mencionados brotes
27 en crecimiento fueron abastecidos de tales nutrimentos a partir de la
28 remobilización de los mismos desde las partes más bajas de la planta como lo
29 fueron las raíces, el portainjerto y el basal. La demanda de Ca fue de 190 mg
30 planta⁻¹ en la primera etapa, 140 mg planta⁻¹ para la segunda etapa y 86 mg
31 planta⁻¹ para la tercera, mientras que para las mismas etapas la de Mg fue de
32 66, 56 y 6 mg planta⁻¹ y la de P fue 156, 94, y 11 mg planta⁻¹.

33 **Palabras clave:** eficiencia del uso de fertilizantes, nutrición mineral,
34 ornamentales, *Rosa hybrida*.

35
36 **ABSTRACT**

37 Production of roses-cut flowers in Mexico takes place with no regulation in the
38 use of fertilizers, which results in economic, social and health problems. The
39 present research was conducted with the objective of determining the dynamics
40 of the accumulation and remobilization of Ca, Mg and P in roses plants
41 according to the phenological stages, to obtain useful information in the design
42 of fertilization programs to be applied in the right time and quantity according to
43 plant demands. The phenological stages included in this study were: sprouting
44 of the zone of active leaves (ALZ) and with shoots with a length of 10 cm; from
45 the shoots of the ALZ with length of 10 cm until debudding and desbudding;

1 pinching of the ALZ; sprouting of the zone of cutting flowers (ZCF) and shoots of
2 the ZCF with a length of 10 cm; shoots of the ZCF with a length of 15 cm; shoots
3 of the ZCF with visible floral bud and smaller than a pea; elongation of shoots
4 from the ZCF to form the floral stem and flower harvest. The plants presented a
5 cyclic pattern in the accumulation of the nutrients under study, which occurred in
6 three stages. The first one was during the outbreak of the ALZ until they reached
7 10 cm in length, the second was from pinching of the ALZ to the budding of the
8 ZCF and the appearance of the next floor with shoots of 10 cm in length, while
9 the third stage was before flower harvest. When the shoots of the ALZ as well as
10 those of the ZCF were at their maximum growth rate the accumulation of Ca, Mg
11 and P was halted at the whole plant level. However, the aforementioned growing
12 shoots were supplied from the mobilization of the nutrients from the lower parts
13 of the plant (roots, rootstocks and bottom break). The nutrient demand was
14 estimated to be, for Ca, 190, 140 and 86 mg plant⁻¹ for the first, second and third
15 phases, respectively, while for Mg they were 66, 56 y 6 mg plant⁻¹ and for P they
16 were 156, 94, y 11 mg plant⁻¹.

17 **Keywords:** fertilizer use efficiency, mineral nutrition, ornamentals, *Rosa hybrida*.

18

19

20 INTRODUCCIÓN

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

29 *al.*, 2015). Sin embargo, en las entidades en donde se concentra la producción de rosas en
30 México, se presentan diversas problemáticas ya que no cuentan con una
31 regulación en cuanto al uso de agroquímicos y fertilizantes, lo que ocasiona un
32 fuerte impacto ambiental pues hay un marcado deterioro del suelo y los mantos
33 acuíferos (Gomora-Jiménez *et al.*, 2006). Con el objetivo de evitar una
34 contaminación considerable del ambiente, en algunos países como Holanda ya
35 se ha limitado o prohibido la descarga de fertilizantes por la lixiviación del agua
36 de irrigación (Voogt y Sonneveld, 1997), pues en este país ya se ha tomado
37 conciencia de lo fundamental que resulta el establecer modelos sustentables de
38 producción, así como ofrecer capacitación a los productores para fortalecer el
39 manejo del cultivo, optimizar la producción, y el uso de fertilizantes y el agua
40 (Tejeda-Sartorius y Tejeda-Sartorius, 2009).

41 Una opción para incrementar la producción de flores en un menor espacio y con
42 una alta eficiencia en recursos como el agua y los fertilizantes son los sistemas
43 de cultivo sin suelo en un sistema hidropónico cerrado (Massa *et al.*, 2008). La
44 conversión de los sistemas tradicionales de cultivo a un sistema hidropónico
45 cerrado son los métodos más comunes usados en la industria bajo producción
46 de invernaderos (Ehret *et al.*, 2005).

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

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

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

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

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

41

42 **MATERIALES Y MÉTODOS**

43 El estudio se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria
44 Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila (25° 22' de latitud norte
45 y 101° 02' longitud oeste y 742 msnm). La temperatura mínima y máxima
46 promedio que se registró durante el estudio fue de 9.3 y 24.3 °C,

1 respectivamente. La humedad relativa osciló entre 14.5% y 90.4%. La radiación
2 fotosintéticamente activa incidente durante el periodo de mayor insolación
3 (12:00 a 14:00 h) fue en promedio de $558 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.
4 Se utilizaron plantas de rosal cv. Freedom injertada sobre Natal Briar. Las
5 plantas se trasplantaron el 2 de julio de 2015 en contenedores de plástico rígido
6 de $30 \times 48 \times 20$ cm. Como sustrato se utilizó perlita (33% de capacidad de
7 retención de agua (v/v), 64% de espacio poroso y una densidad aparente de
8 0.25 g cm^{-3}). Los contenedores fueron colocados en una estructura elevada
9 para establecer un sistema hidropónico cerrado con recirculación de la solución
10 nutritiva. Se establecieron cuatro plantas a tresbolillo en cada contenedor sin
11 cubrir el punto de injerto.
12 Se empleó una solución con la formulación de Steiner (1984) para la nutrición
13 de las plantas, misma que fue preparada con agua potable considerando sus
14 propiedades químicas para el aporte de nutrimentos. El pH de las soluciones
15 fue ajustado a 5.9 ± 0.1 con H_2SO_4 y la conductividad eléctrica fue de 2.0 dS m^{-1} ,
16 mismos que se ajustaban diariamente. La solución nutritiva se aplicó
17 mediante un sistema de riego automatizado a través de goteros con un gasto de
18 4 L h^{-1} y 4 piquetas en cada contenedor. Los riegos tuvieron una duración de 15
19 min y se aplicaban en intervalos de 30 min, entre las 7:00 y 19:00 horas.
20 A partir de la fecha de trasplante se dio inicio a la formación de la planta, hasta
21 el momento de la poda, la cual se realizó cortando los basales a una altura de
22 60 cm el 31 de octubre de 2015. Las plantas seleccionadas para el estudio se
23 manejaron con un solo basal. Durante el periodo de estudio se realizaron siete
24 muestreos destructivos, los cuales correspondieron a las etapas fenológicas
25 indicadas en el Cuadro 1.
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46

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

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

3
 4 En cada muestreo se seleccionaron al azar cinco plantas con un basal,
 5 extrayéndolas completamente del contenedor para posteriormente fraccionarlas
 6 en raíz, portainjerto, basal, tallo, hojas y flores. Conforme se desarrollaron las
 7 plantas, en cada muestreo, se fueron separando las hojas y tallos de la zona de

1 hojas activas y de la zona de corte, respectivamente, así como el botón floral en
2 esta última zona. Las raíces se lavaron con agua destilada, al igual que los
3 restantes órganos, para eliminar el exceso de sustrato. Posteriormente, los
4 órganos separados se introdujeron en un horno de secado a 70 °C por 72 h,
5 excepto los tallos y basales, los cuales se mantuvieron entre 15 y 20 días.
6 Se determinó la concentración de Ca, Mg y P. Para ello, los tejidos se
7 digestaron en 5 mL de H₂SO₄ y 1 mL de H₂O₂ grado reactivo. El digestado
8 resultante fue llevado a 25 mL y filtrado. En una alícuota de la muestra
9 resultante se determinó la concentración de Ca, Mg y P mediante lectura directa
10 en un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma
11 acoplado (ICP-AES 725 Series Agilent; Mulgrave, Victoria, Australia). Los
12 cálculos del contenido de Ca, Mg y P se realizaron considerando la materia
13 seca y la concentración de éstos en los órganos de la planta; la sumatoria del
14 contenido de los nutrimentos en todos los órganos representó el contenido
15 nutrimental total de la planta. Los promedios con el error estándar se graficaron
16 y las tendencias se suavizaron utilizando modelación Spline con SigmaPlot
17 12.5.

18

19 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

20 *Etapa: brotación a desbrotado de la zona de hojas activas*

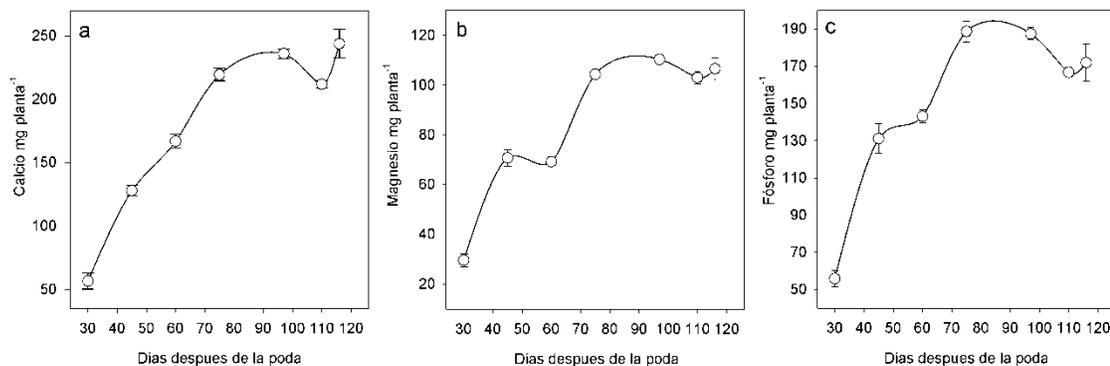
21 A nivel de planta completa, se observó un incremento en la acumulación de Ca,
22 Mg y P desde la brotación de la zona de hojas activas (ZHA) hasta la práctica
23 de desbrotado y pinzado de esa zona. El incremento total de los tres elementos
24 (Figura 1a–c) se asoció con el incremento de la acumulación en la raíz (Figura
25 2a–c), portainjerto (Figura 3a–c), basal (Figura 4a–c), así como las hojas y
26 tallos de la ZHA (Figura 5a–c). Aunque la acumulación de Ca en los tallos y
27 hojas de la ZHA pudiera parecer mínima, la absorción de éste elemento en ésta
28 zona se vio reflejada en la acumulación total de la planta.

29 *Etapa: desbrotado hasta el pinzado de la zona de hojas activas*

30 A nivel de planta completa, se observó un incremento en la acumulación de Ca
31 en esta etapa (Figura 1a), sin embargo, con respecto al muestreo anterior, hubo
32 una disminución del 44% en el contenido de éste elemento en la raíz (Figura
33 2a) y el portainjerto (Figura 3a). En cuanto al basal (Figura 4a), hojas y tallos de
34 la ZHA (Figura 5a), el contenido de Ca fue en aumento.

35 Para el caso del Mg, a nivel de planta completa se observó que este no mostró
36 variación con respecto al muestreo anterior (Figura 1b); sin embargo, en la raíz
37 (Figura 2b) y el portainjerto (Figura 3b) se detectó una fuerte disminución en el
38 contenido de este nutrimento, llegando a niveles similares a los contenidos por
39 estos órganos al momento del trasplante. En el caso del P, el comportamiento
40 fue muy similar al del Mg, se mantuvo constante a nivel de planta completa
41 (Figura 1c) y disminuyó a nivel de la raíz (Figura 2c) y el portainjerto (Figura 3c).
42 En contraste con la raíz y el portainjerto, las hojas y tallos de la ZHA
43 presentaron un incremento en cuanto el contenido de Ca, Mg y P (Figura 5a–c).
44 Este comportamiento sugiere que para Mg y P se presenta un patrón cíclico de
45 absorción, el cual se detuvo entre la brotación y el desbrotado de la ZHA. En
46 estudios realizados por Cabrera *et al.* (1995a) y Mattson y Lieth (2005) se

- 1 reporta también un patrón cíclico en la absorción de $\text{NO}_3\text{-N}$ y K, con una alta
- 2 tasa de absorción cuando la elongación del tallo es lenta, mientras que al
- 3 acelerarse la elongación la tasa de absorción disminuye.



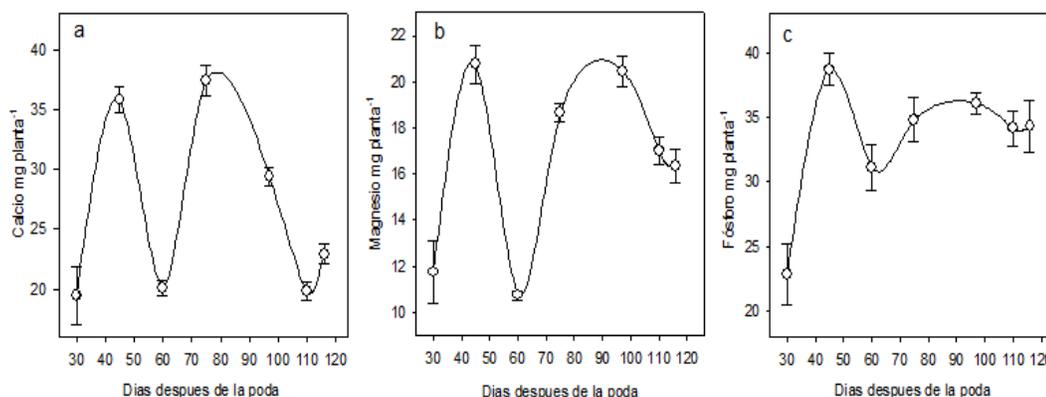
4 **Figure 1. Whole plant content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in rose plants**
 5 **(*Rosa hybrida* L.) during the development of the active leaves and cutting**
 6 **flowers zones, including the harvest of flowers. Bars indicate the standard**
 7 **error of the mean.**

8

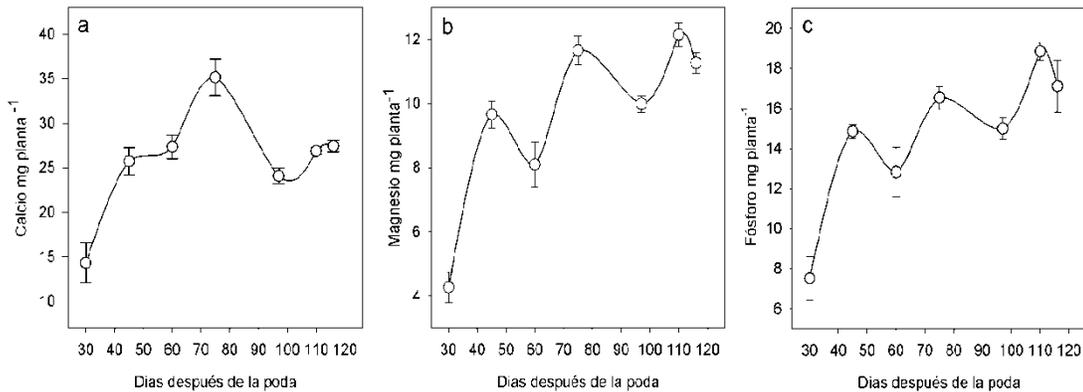
9 Sin embargo, a pesar de que a nivel de planta completa no hubo acumulación
 10 de Mg ni P, en el tallo y hojas de la ZHA si se presentó un aumento en el
 11 contenido de estos elementos, los cuales fueron enviados desde la raíz y el
 12 portainjertos, como lo sugiere el hecho de que en estos órganos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

22 El incremento en el Ca a nivel de planta completa sugiere que continuó la
 23 absorción de este elemento durante la fase del desbrotado y que culmina en el
 24 pinzado de la ZHA, lo que aparentemente indica que no se presenta un patrón
 25 cíclico en la absorción de este elemento. Sin embargo, esto pudo deberse a que
 26 el desbotado, desbrotado y pinzado que se practican en la ZHA no
 27 permitieron el establecimiento de una prolongada fase de demanda de
 28 fotoasimilados y nutrimentos. Asimismo, también se presentó una
 29 removilización de este elemento, como lo indica la disminución en el contenido
 30 de la raíz, siendo transportado hacia el portainjerto, pero sin concentrarse en
 31 este órgano, pues no se detecta variación en su contenido. El Ca removilizado
 32 desde la raíz se acumuló en el basal, pero principalmente en las hojas de la

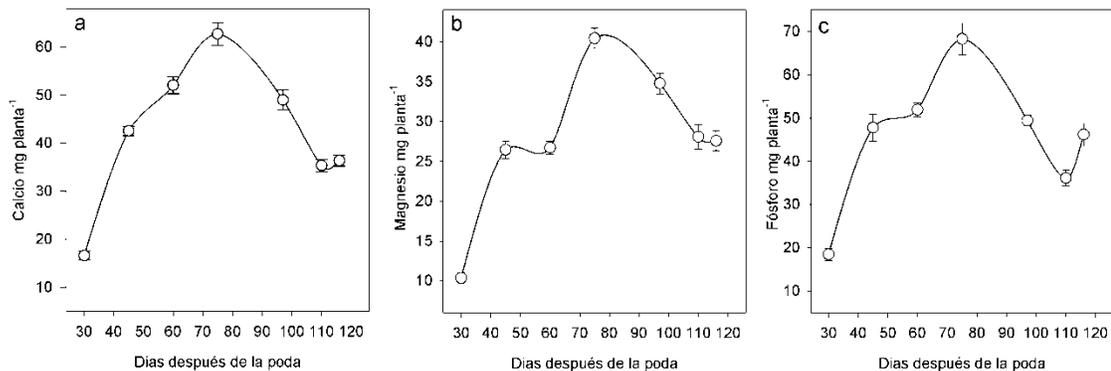
1 ZHA. Esto puede deberse a que las hojas de la ZHA se encontraban en pleno
 2 desarrollo, ya que, como se ha reportado, las hojas en desarrollo son un órgano
 3 de alta demanda de este elemento puesto que el Ca se moviliza a través de la
 4 corriente transpiracional (Kumar *et al.*, 2015).
 5 *Etapas: del pinzado de la zona de hojas activas a la brotación de zona de las*
 6 *flores de corte*
 7 A nivel de planta completa, se presentó un incremento en el contenido de Ca,
 8 Mg y P (Figura 1a–c). En comparación al muestreo anterior, estos elementos se
 9 incrementaron en un 30%, 50% y 32%, respectivamente. En cuanto a la raíz
 10 (Figura 2a–c) y portainjerto (Figura 3a–c), se presentó un aumento considerable
 11 de éstos tres elementos (86%, 73% y 12% para Ca, Mg y P respectivamente y
 12 para el portainjerto de 28%, 44% y 29%, respectivamente). En el basal se
 13 detectó un aumento en el contenido de los tres nutrientes, pero este fue
 14 considerable para el Mg y P, con un 50% y 32% con respecto a la etapa anterior
 15 (Figura 4a–c). En cuanto a las hojas y el tallo de la ZHA, el contenido de Ca se
 16 mantuvo, pero hubo un incremento de Mg y P (Figura 5a–c), lo que puede
 17 deberse a los brotes nuevos que empiezan a dar lugar a la aparición de la zona
 18 de corte (ZC).



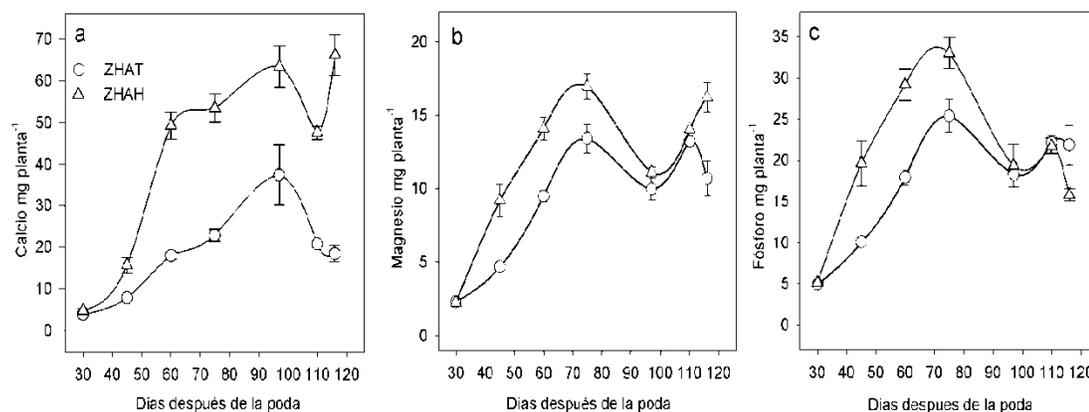
19 **Figure 2. Content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in the roots of rose plants**
 20 **(*Rosa hybrida* L.) during the development of the active leaves and cutting**
 21 **flowers zones, including the harvest of flowers. Bars indicate the standard**
 22 **error of the mean.**



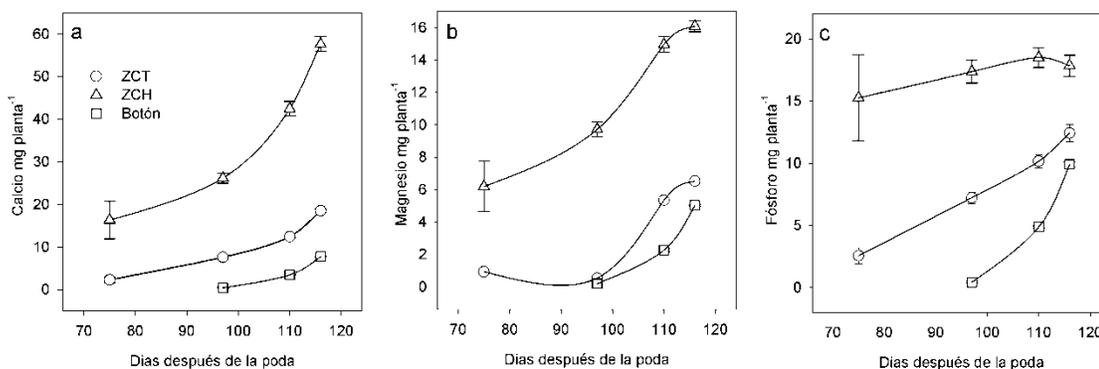
- 1 **Figure 3. Content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in the rootstock of rose plants**
- 2 **(*Rosa hybrida* L.) during the development of the active leaves and cutting**
- 3 **flowers zones, including the harvest of flowers. Bars indicate the standard**
- 4 **error of the mean.**



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



- 1 **Figure 5. Content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in stems and leaves of the**
- 2 **zone of active leaves of rose plants (*Rosa hybrida* L.) during the**
- 3 **development of the active leaves and cutting flowers zones, including the**
- 4 **harvest of flowers. ZHAT = stem. ZHAH = leaves. Bars indicate the**
- 5 **standard error of the mean.**



- 6 **Figure 6. Content of (a) Ca, (b) Mg and (c) P in leaves, stems and flower**
- 7 **bud of the zone of cutting flowers of rose plants (*Rosa hybrida* L.) ZCT =**
- 8 **stem. ZCH = leaves. Botón = flower bud. Bars indicate the standard error**
- 9 **of the mean.**

10

11 Los anteriores resultados pueden estar asociados con una reactivación en la
 12 formación de nuevas raíces, las cuales se desintegran parcialmente durante la
 13 brotación de la ZHA. Según Kim y Lieth (2012), en rosales, estas nuevas raíces
 14 tienen la función de adquirir nutrientes y agua. Lo anterior, sugiere que en los
 15 rosales el crecimiento de la raíz depende del crecimiento de los brotes en

1 términos de reserva de fotosintatos (Mattson *et al.*, 2008), pues estas mueren
2 después de la poda de la ZHA pero se forman nuevas raíces cuando el brote
3 nuevo completa su desarrollo, con lo que las raíces están de nueva cuenta en
4 capacidad de absorber nutrimentos.

5

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

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

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

21 Estos resultados muestran de nueva cuenta el comportamiento cíclico en la
22 absorción de nutrimentos, lo cual puede deberse a la pérdida de biomasa en la
23 raíz así como en el portainjerto y en el basal debido a la translocación de
24 reservas para el desarrollo de los brotes de la ZC. La escasez de reservas en la
25 parte baja de la planta ocasionó una pérdida de biomasa en los órganos
26 mencionados, por lo que la planta no tenía la energía requerida para la
27 absorción nutrimental (Cabrera *et al.*, 1995a). El comportamiento cíclico se ha
28 asociado con una reducción en la tasa de crecimiento de la raíz durante el
29 desarrollo de hojas y brotes nuevos, como se ha demostrado en roble blanco
30 (*Quercus alba* L.) (Reich *et al.*, 1980).

31 *Etapas: del botón menor al tamaño chícharo hasta la cosecha*

32 Al momento de la cosecha, a nivel de planta completa se presentó un
33 incremento en el contenido de Ca, Mg y P (Figura 1a–c), por lo que si bien hubo
34 una disminución en los órganos de la planta de éstos elementos en raíz (Figura
35 2a–c), portainjerto (Figura 3a–c), basal (Figura 4a–c) así como en las hojas y
36 tallos de la ZHA (Figura 5a–c), en las hojas, tallo y botón de la ZC se
37 incrementaron cuando la flor alcanzó el punto de cosecha (Figura 6a–c).
38 Durante ésta última etapa, el contenido de estos tres elementos en el botón se
39 incrementó considerablemente, en cambio, para el tallo y las hojas de la ZC
40 solo se incrementó el contenido de Ca.

41 Los resultados obtenidos indican que la máxima acumulación de Ca, Mg y P
42 coincidió con la mayor tasa de almacenamiento de biomasa en la raíz y en otros
43 órganos, mientras que la acumulación nutrimental se detiene antes de que los
44 brotes en desarrollo alcancen la etapa de formación de flores (Cabrera *et al.*,
45 1995b), es decir, después del descabezado del botón floral en la ZHA así como
46 en la formación del botón visible de la ZC. Lo anterior coincide con reportes que

1 señalan que la poda de las plantas de rosal resulta en la formación de un gran
2 número de órganos de demanda, por lo que las reservas de carbohidratos
3 desde las partes bajas de la planta terminan por agotarse (Calatayud *et al.*,
4 2008). Sin embargo, a pesar de la no acumulación de Ca, Mg y P a nivel de
5 planta completa, en las hojas y tallos de la ZC se elevó el contenido de Ca y
6 Mg, mientras que en el tallo aumentó la de P; el Mg y P de la ZC provino de la
7 removilización de estos nutrimentos desde la ZHA, basal, portainjerto y raíz,
8 mientras que el Ca provino de la removilización desde el basal, portainjerto y
9 raíz.

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

17 Algunos estudios sobre la producción de flor de corte en rosal reportan que la
18 absorción nutrimental de Ca y Mg desde la cosecha previa hasta la cosecha
19 siguiente tiende a ser cíclica, mientras que antes de la maduración y cosecha
20 del tallo floral se presenta de nuevo una alta tasa de absorción de Ca (Mattson
21 y Lieth, 2008). Estos resultados coinciden con los observados en el presente
22 estudio, aunque nuestra información también señala que existe la misma
23 tendencia para el P.

24 De acuerdo a los resultados obtenidos, a nivel de planta completa, el contenido
25 de P se incrementó después de la brotación de la ZHA así como después del
26 pinzado; Triana *et al.* (2006) reportan resultados similares pues mencionan que
27 el P presentó niveles excesivos en el pinzado. Sin embargo, el aumento
28 detectado por Triana *et al.* (2006) en los siguientes estados fenológicos (como
29 es el caso del estadio de botón visible menor a chícharo), no fue observado en
30 el presente estudio, pues el contenido de P no se incrementó durante los
31 siguientes estados fenológicos, sino más bien se observó una disminución en el
32 estado de botón visible. Mientras tanto, el Ca y Mg presentaron un aumento
33 después del pinzado de la ZHA pero disminuyeron al momento de la aparición
34 del botón visible, lo que también coincide con lo mencionado por Triana *et al.*
35 (2006), quienes señalan que el Ca puede tener un nivel muy elevado después
36 de la aparición del botón visible debido a la baja movilidad de éste nutrimento y
37 al crecimiento de los tallos durante ésta etapa fenológica, tal y como ocurrió en
38 el presente estudio.

39 De acuerdo a los resultados obtenidos en éste estudio, se detectaron tres
40 etapas en las cuales existe una acumulación de Ca, Mg y P. La primera fue
41 durante el brote de la ZHA hasta la aparición de brotes de 10 cm; la segunda
42 fue desde el pinzado de la ZHA hasta la brotación de la ZC y la aparición del
43 siguiente piso con brotes de 10 cm, mientras que la tercera etapa fue durante
44 antes de la cosecha de la flor. A partir de los datos obtenidos es posible calcular
45 la demanda de nutrimentos en tales fases; para Ca, la demanda fue de 190,
46 140 y 86 mg planta⁻¹ para la primera, segunda y tercer etapa, respectivamente.

1 Para Mg, la demanda fue de 66, 56 y 6 mg planta⁻¹ para la primera, segunda y
 2 tercer etapa, respectivamente, mientras que para el P, la demanda es de 156,
 3 94 y 11 mg planta⁻¹ para la primera, segunda y tercer etapa, respectivamente.

4

5 CONCLUSIONES

6 Durante el desarrollo inicial de la ZHA y la ZC, así como antes de la cosecha de
 7 flores hay un aumento en la acumulación de Ca, Mg y P; sin embargo, cuando
 8 se presenta la fase de elongación de los tallos en ambas zonas hay una
 9 detención en la acumulación de estos nutrimentos, lo que sugiere el patrón de
 10 acumulación cíclico. Para la etapa de desarrollo inicial de la zona de hojas
 11 activas, la demanda de Ca, Mg y P fue de 190, 66 y 156 mg planta⁻¹,
 12 respectivamente, mientras que para la etapa de desarrollo inicial de la zona de
 13 corte fue de 140, 56 y 94 mg planta⁻¹, respectivamente. Para la etapa anterior a
 14 la cosecha de flores, la demanda de Ca, Mg y P fue de 86, 6 y 11 mg planta⁻¹,
 15 respectivamente.

16

17 LITERATURA CITADA

- 18 Abdulnour, J., Arnold, N. P. and Barthakur, N. N. 1994. Uptake of labelled
 19 phosphorus by rooted and non-rooted in vitro cultured 'John Franklin'
 20 rose. *Journal of Plant Nutrition* 17: 333-343. doi: 10.1080/01904169409364731.
- 21 Cabrera, R. I. 2002. Rose yield, dry matter partitioning and nutrient status
 22 responses to rootstock selection. *Scientia Horticulturae* 95: 75-83.
 23 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423802000201>
- 24 Cabrera, R. I., Evans, R. Y., and Paul, J. L. 1995a. Cyclic nitrogen uptake by
 25 greenhouse roses. *Scientia Horticulturae* 63: 57-66.
 26 [https://www.researchgate.net/profile/Raul_Cabrera4/publication/222321082_Cyclic_nitrogen_u](https://www.researchgate.net/profile/Raul_Cabrera4/publication/222321082_Cyclic_nitrogen_uptake_by_greenhouse_roses/links/0c96052f140572e8d5000000.pdf)
 27 [ptake_by_greenhouse_roses/links/0c96052f140572e8d5000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Raul_Cabrera4/publication/222321082_Cyclic_nitrogen_uptake_by_greenhouse_roses/links/0c96052f140572e8d5000000.pdf)
- 28 Cabrera, R. I., Evans, R. Y., and Paul, J. L. 1995b. Nitrogen partitioning in rose
 29 plants over a flowering cycle. *Scientia Horticulturae* 63: 67-76. doi: 10.1016/0304-
 30 4238(95)00790-Z.
- 31 Calatayud, Á., Roca, D., Gorbe, E. and Martínez, P. F. 2008. Physiological
 32 effects of pruning in rose plants cv. Grand Gala. *Scientia Horticulturae* 116: 73-
 33 79. doi: 10.1016/j.scienta.2007.10.028.
- 34 Ehret, D. L., Menzies, J. G. and Helmer, T. 2005. Production and quality of
 35 greenhouse roses in recirculating nutrient systems. *Scientia Horticulturae* 106:
 36 103-113. doi: 10.1016/j.scienta.2007.10.028.
- 37 Gomora-Jiménez, J. A., Sánchez-Meza, J. C., Pacheco-Salazar, V. F., Pavón-
 38 Silva, T. B., Adame-Martínez, S. and Barrientos Becerra, B. 2006. Integración
 39 de indicadores de desempeño ambiental para la producción florícola. En:
 40 Fundación PRODUCE-ICAMEX a través del proyecto Folio: 15-2005-2676;
 41 Clave UAEM: 2187/2005E. Universidad Autónoma del Estado de México,
 42 Facultad de Química e Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Estado de
 43 México. 10pp.
 44 http://web.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/GD/EO/GDO-27.pdf
- 45 Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller I.S.,
 46 and White, P. 2012. Functions of macronutrients. In P. Marschner (Ed.),

- 1 *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., pp. 135–189). London,
2 Academic Press.
- 3 Kim, W. S. and Lieth, J. H. 2012. Simulation of year-round plant growth and
4 nutrient uptake in *Rosa hybrida* over flowering cycles. *Horticulture, Environment,
5 and Biotechnology* 53: 193-203. doi: 10.1007/s13580-012-0054-y.
- 6 Kumar, A., Singh, U. M., Manohar, M. and Gaur, V. S. 2015. Calcium transport
7 from source to sink: understanding the mechanism of acquisition, translocation,
8 and accumulation for crop biofortification. *Acta Physiologiae Plantarum* 37:
9 1722.
10 https://www.researchgate.net/profile/Murli_Manohar6/publication/269289493_Calcium_transport_from_source_to_sink_understanding_the_mechanisms_of_acquisition_translocation_and_accumulation_for_crop_biofortification/links/55b7b38608ae9289a08c0b44.pdf
- 11
12
13 Massa, D., Mattson, N. S., and Lieth, H. 2008. An empirical model to simulate
14 sodium absorption in roses growing in a hydroponic system. *Scientia
15 Horticulturae* 118: 228-
16 235.<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.667.2489&rep=rep1&type=pdf>
- 17 Mattson, N. S. and Lieth, J. H. 2005. Modeling macronutrient absorption of
18 hydroponically-grown cut flower roses. *Acta Horticulturae In: IV International
19 Symposium on Rose Research and Cultivation.* 751: 129-135.
20 http://lieth.ucdavis.edu/pub/Pub069_MattsonLieth_ActaHort751p129.pdf
- 21 Mattson, N. S., Lieth, J. H. and Kim, W. S. 2008. Temporal dynamics of nutrient
22 and carbohydrate distribution during crop cycles of *Rosa* spp. 'Kardinal' in
23 response to light availability. *Scientia Horticulturae* 118: 246-254.
24 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.667.3679&rep=rep1&type=pdf>
- 25 Mor, Y. and Halevy, A. H. 1979. Translocation of ¹⁴C-assimilates in roses. I.
26 The effect of the age of the shoot and the location of the source leaf. *Physiologia
27 Plantarum* 45: 177-182. doi: 10.1111/j.1399-3054.1979.tb01683.x.
- 28 Reich, P. B., Teskey, R. O., Johnson, P. S. and Hinckley, T. M. 1980. Periodic
29 root and shoot growth in oak. *Forest Science* 26: 590-598.
30 http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39136682/09e4150b3ed5546786000000.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1492643377&Signature=X5k9mXrzLedn%2BfAeRIxnxUGt2wM%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPeriodic_Root_and_Shoot_Growth_in_Oak.pdf
- 31
32
33
34 Sanders, D., Brownlee, C. and Harper, J. F. 1999. Communicating with
35 calcium. *The Plant Cell* 11: 691-706.
36 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC144209/pdf/110691.pdf>
- 37 SIAP. 2016. Sistema de Información Agropecuaria. En:
38 <https://www.gob.mx/siap/articulos/rosa-reina-entre-las-flores?idiom=es> , última consulta 10
39 de Febrero de 2017.
- 40 Starkey, K. R. and Pedersen, A. R. 1997. Increased levels of calcium in the
41 nutrient solution improves the postharvest life of potted roses. *Journal of the
42 American Society for Horticultural Science* 122: 863-868.
43 <http://journal.ashspublications.org/content/122/6/863.full.pdf>
- 44 Steiner, A. A. The universal nutrient solution. In 6th International Congress on
45 Soilless Culture. 1984. 29 Apr-5 May; Lunteren, Netherlands.

- 1 Tejada-Sartorius, O. and Tejada-Sartorius, I. B. 2009. Diseño Floral. Una opción
2 de valor agregado para la floricultura. Ed. Colegio de Postgraduados.
3 Montecillo, México, 143 p.
- 4 Tejada-Sartorius, O., Ríos-Barreto, Y., Trejo-Téllez, L. I., and Vaquera-Huerta,
5 H. 2015. Caracterización de la producción y comercialización de flor de corte en
6 Texcoco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1105-1118.
7 <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n5/v6n5a16.pdf>
- 8 Torre, S., Borochoy, A. and Halevy, A. H. 1999. Calcium regulation of
9 senescence in rose petals. *Physiologia Plantarum* 107: 214-219. doi:
10 10.1034/j.1399-3054.1999.100209.x.
- 11 Triana, Y., Castiblanco, E. and Flórez, V. 2006. Comportamiento de nutrientes
12 en un sistema de cultivo sin suelo en rosa. *Avances Sobre Fertirriego en la*
13 *Floricultura Colombiana. Bogotá. Unibiblios*, pp. 249-263.
14 [https://www.researchgate.net/publication/292326580_Comportamiento_de_nutrientes_en_un_sis](https://www.researchgate.net/publication/292326580_Comportamiento_de_nutrientes_en_un_sistema_de_cultivo_sin_suelo_en_rosa)
15 [tema_de_cultivo_sin_suelo_en_rosa](https://www.researchgate.net/publication/292326580_Comportamiento_de_nutrientes_en_un_sistema_de_cultivo_sin_suelo_en_rosa)
- 16 Voogt, W. and Sonneveld, C. 1997. Nutrient management in closed growing
17 systems for greenhouse production. In *Plant Production in Closed Ecosystems*
18 Springer Netherlands, pp. 83-102.
19 [https://www.researchgate.net/profile/Wim_Voogt/publication/268104459_Plant_Production_in_](https://www.researchgate.net/profile/Wim_Voogt/publication/268104459_Plant_Production_in_Closed_Ecosystems/links/5461c9230cf27487b452ad5e.pdf)
20 [Closed_Ecosystems/links/5461c9230cf27487b452ad5e.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Wim_Voogt/publication/268104459_Plant_Production_in_Closed_Ecosystems/links/5461c9230cf27487b452ad5e.pdf)
- 21 White, P. J. 2012. Long distance transport in xylem and phloem. In P. Marschner (Ed.),
22 *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., pp. 49-70). London,
23 Academic Press.

CONCLUSIÓN GENERAL

Durante el desarrollo inicial de la zona de hojas activas y la zona de corte hay un aumento en la biomasa y acumulación de N y K; sin embargo, cuando en ambas zonas se presenta la fase de elongación de los tallos existe una disminución de la biomasa de la raíz, así como de la acumulación de N y K. Por otro lado, durante estas mismas etapas fenológicas así como antes de la cosecha de flores, se presenta 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 nutrimentos, lo que confirma el patrón cíclico que presenta el crecimiento de esta especie. De tal manera que se pudo observar una removilización de nutrimentos en todos los órganos de la planta respondiendo a la fase fenológica de crecimiento en la que se encontraba. La demanda total durante la etapa inicial del desarrollo de la zona de hojas activas de N fue de 30.6 mg planta⁻¹ mientras que la de K fue de 10.4. Mientras que para Ca, Mg y P fue de 190, 66 y 156 mg planta⁻¹, respectivamente. Para la etapa de desarrollo inicial de la zona de corte fue de 48.6 mg planta⁻¹ de N y la demanda de K fue de 7.0 mg planta⁻¹. Para Ca, Mg y P durante ésta etapa 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. Se identificó a la zona de hojas activas y de corte como las etapas de alta demanda nutrimental. Con los datos obtenidos se define el mejor momento acorde a la etapa fenológica de aplicación nutrimental en el momento y cantidad correcta.