

## ACUMULACION Y CONCENTRACION DE NITROGENO, FOSFORO Y POTASIO EN *Gypsophila paniculata* L. cv. Perfecta

### Nitrogen, phosphorus and potassium concentration and accumulation in *Gypsophila paniculata* L. cv. Perfecta

Gladys Adriana Medina<sup>1</sup>, Martha Orozco de Amézquita<sup>1</sup>, Juan Leonardy Bolívar y Pedro José Ramírez.

<sup>1</sup>Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 14490, Santafé de Bogotá, Colombia. [morozco@ciencias.ciencias.unal.edu.co](mailto:morozco@ciencias.ciencias.unal.edu.co)

#### RESUMEN

Sobre las necesidades nutricionales de *G. paniculata* L. bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá, no existe suficiente información publicada. Por lo tanto, teniendo en cuenta la importancia de esta especie para el sector floricultor, el presente trabajo pretende determinar las concentraciones y la acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en todos los órganos de la planta a lo largo del ciclo de vida. De tal forma, que ello permita ampliar el conocimiento biológico de la especie y contribuir a la realización de ajustes en los programas de fertilización.

**Palabras claves:** Nutrición, macronutrientes, flores de corte.

#### SUMMARY

Given the importance that the cut flower industry has acquired in Colombia, the objective of this research was to establish the relationships between growth and nitrogen, phosphorus and potassium content in *Gypsophila paniculata* L. cv. Perfecta under greenhouse conditions. The results shown information on the nutrients status in *Gypsophila paniculata* L. and the growth pattern.

**Key words:** Nutrition, essential elements, cut flower.

#### INTRODUCCION

Las plantas poseen la capacidad de tomar sustancias del medio y utilizarlas para la síntesis de sus componentes o como una fuente de energía (Mengel y Kirby, 1982). Con excepción del carbono, los vegetales pueden absorber del suelo todos los elementos químicos necesarios para la vida (Rojas, 1993). Los nutrientes absorbidos desempeñan tres papeles distintos en la fisiología de las plantas: electroquímico, para el balance y la neutralización de cargas; estructural, siendo componentes químicos de las moléculas biológicas y catalítico, activando enzimas (Malaver, 1993).

La capacidad de extracción de elementos nutritivos del suelo por las plantas, varía según la especie y la edad de ellas, lo

mismo que con las condiciones y hábito de crecimiento (Barceló *et al.*, 1985). Malaver (1993) señala que se presenta relación directa entre el crecimiento de una planta y la absorción de nutrimentos. Al crecer la planta desarrolla área foliar, aumenta la cantidad de tejidos, sintetiza proteínas y enzimas y, a la vez, crea mayor número de sitios de transporte y estimula la absorción de nutrientes.

Con el avance en química analítica, se ha facilitado la determinación de los componentes de los tejidos vegetales. Benton *et al* (1991) señalan que el análisis de los elementos en los distintos órganos de una planta ayuda a: determinar el suplemento de nutrimentos que requiere el suelo, evaluar el efecto de los tratamientos sobre la fertilización, establecer las relaciones entre el estado nutricional de las plantas y el comportamiento del cultivo y predecir necesidades de N, P y K. Además, sirve para establecer aspectos desconocidos y determinar hacia donde orientar la investigación sobre nutrición vegetal.

La concentración de nutrientes varía no sólo entre las diferentes especies, sino también, en los distintos órganos de una misma planta. Esta variación está afectada por el tipo de planta, la edad fisiológica del tejido, la posición del tejido en la planta, la disponibilidad y concentración de minerales en el sustrato, los factores climáticos y las condiciones del suelo. De particular importancia en el diagnóstico de plantas, es que los distintos órganos responden, de manera diferente, a las variaciones en la concentración de nutrientes y en la demanda de éstos durante la ontogénesis (Jones *et al.*, 1991; Kupka (1992).

El nitrógeno es un elemento esencial para los seres vivos, pues forma parte de aminoácidos, aminoenzimas, ácidos nucleicos, clorofila y alcaloides, representa del 1,5% al 6% del peso seco de muchas plantas cultivadas (Corchuelo, 1990; Benton *et al.*, 1991). La deficiencia de nitrógeno origina plantas cloróticas con tallos delgados y leñosos (Rojas, 1993). El nitrógeno del suelo se encuentra, en su mayor parte como nitrato, es decir, en forma completamente oxidada. Sin embargo, las plantas lo absorben como iones amonio o como nitratos, estos últimos deben ser reducidos para ser incorporados en compuestos orgánicos (Malaver, 1993; Maldonado, 1993).

El Fósforo, incorporado al ATP, juega un papel importante en el metabolismo energético, es componente de los fosfolípidos de las membranas, de enzimas, hormonas y ácidos nucleicos y, en general es esencial para la acción y regulación de diversas vías metabólicas. Representa del 0,15 al 1% del peso seco de los vegetales (Benton *et al.*, 1991). Las plantas con deficiencia de fósforo crecen lentamente, a veces, sus hojas se tornan verde oscuras con áreas rojizas, presentan tallos delgados (Rojas, 1993). Este elemento es absorbido en forma de  $H_2PO_4^-$  y como  $HPO_4^{2-}$  y no es reducido dentro de la planta (Malaver, 1993).

El Potasio se caracteriza por su alta movilidad y fácil translocación, funciona como estabilizador del pH y como osmoregulador, es activador enzimático del transporte a través de la membrana, responsable de los cambios de turgencia de las células de guarda y requerido en la acumulación y translocación de carbohidratos (Taiz y Zeiger, 1991). Representa del 1 al 5% del peso seco del tejido foliar (Benton *et al.*, 1991). La deficiencia de potasio en cereales origina plantas con tallos delgados y raíces que se infestan más fácilmente con microorganismos del suelo. En general, las plantas deficientes en potasio presentan áreas pequeñas de tejido muerto, usualmente, en los ápices, las regiones intervenales y en los márgenes de las hojas (Salisbury y Ross, 1994). Es absorbido como ión  $K^+$  y transportado por el xilema y el floema (Malaver, 1993).

Sobre las necesidades nutricionales de *Gypsophila paniculata* L. cultivada bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá, no existe suficiente información publicada, sólo, se encuentran referencias de cultivos en otras regiones, donde se especifica, únicamente, el contenido de nutrientes en hojas. Teniendo en cuenta lo anterior, el objeto de este trabajo es presentar información sobre la concentración y acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio durante el ciclo de vida de esta especie, de tal forma, que ello permita, ampliar el conocimiento biológico de *G. paniculata*, y contribuir a la realización de ajustes en los programas de fertilización, lo cual puede conducir a minimizar los costos de producción y a reducir la contaminación de suelos y aguas en la Sabana de Bogotá.

## MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se realizó en la finca "La Valvanera", ubicada en la vereda La Fagua, municipio de Chía, departamento de Cundinamarca.

Para el ensayo se utilizaron 2500 esquejes de *G. paniculata* variedad perfecta. Se procuró seleccionar esquejes de características similares, de igual procedencia, de 10 cm de longitud y con 10 pares de hojas. A los esquejes seleccionados, se les cortó el tercio apical y los dos primeros pares de hojas basales, se desinfectaron y se les aplicó en la base ácido indol butírico 7000 ppm como inductor de raíces. A continuación, se sembraron en escoria y se dejaron en los bancos de enraizamiento durante 37 días.

Para el tratamiento de vernalización, las plantas enraizadas se colocaron en cajas de cartón y se pasaron a un cuarto frío con una temperatura de 4 °C durante 40 días. La ambientación, el trasplante y la siembra de los esquejes se efectuó tal como lo

indican Medina *et al.* (1995). Al cultivo, se le proporcionó iluminación suplementaria de cuatro horas día durante 45 días. Se realizaron registros microclimáticos y las prácticas de riego, fertilización y fumigación se hicieron de acuerdo con el método convencional utilizado por la empresa. A partir de la siembra, cada cinco semanas, se realizaron análisis del suelo, con el fin de aplicar los correctivos pertinentes.

Los muestreos se efectuaron desde el momento de selección de los esquejes y hasta el pico de cosecha, tomando doce plantas cada ocho días. De cada planta, se separaron los órganos, se secaron en una estufa con aire circulante a 80 °C durante 48 horas y se tomó de cada órgano una submuestra para analizar el contenido de N, P y K. Aunque la información de campo y laboratorio fue registrada semanalmente, para esta publicación se presentan gráficas con los datos quincenales.

Para el análisis del contenido de nitrógeno, se empleó el método de Kjeldhal, para el fósforo, el método colorimétrico de amarillo de molibdato-vanato y para el potasio, se realizó lectura directa en el extracto por medio de absorción atómica

## RESULTADOS Y DISCUSION

En general, a pesar de las reservas de macronutrientes que tenían los esquejes enraizados, el nitrógeno, el fósforo y el potasio fueron absorbidos continuamente desde la iniciación hasta el final del ciclo de vida de las plantas.

Para el análisis de la concentración, acumulación y extracción de N, P, K, se tuvo en cuenta, entre otros, los resultados sobre crecimiento y desarrollo obtenidos por Medina y Bolívar (1993), según los cuales, las fases de desarrollo de *G. paniculata* son: enraizamiento (semanas 0 a 5), desarrollo vegetativo (semanas 5 a 17), inducción floral (semanas 17 y 18), floración (semanas 23 y 24) y antesis (semanas 25 y 26).

En las figuras 1, 2 y 3, se presenta la variación en el tiempo de la concentración de N, P y K en función de la biomasa seca de raíz, tallo y hojas. En ellas, se observa que, en la raíz, el porcentaje de nitrógeno varió entre el 0,48% en la semana siguiente a la siembra de los esquejes y 3,08% en la semana 16, época en la que se inició la iluminación suplementaria. La concentración de fósforo en la raíz presentó valores entre 0,19% (semana 4) y 0,8% (semana 16) y la del potasio, entre 1,12% (semana 4) y 4,46% (semana 18).

Los valores menores de concentración de N, P y K en la raíz se obtuvieron de plantas en época de propagación, mientras que las concentraciones más altas se presentaron durante la etapa de inducción floral, época en la cual se presentó la elongación del tallo central. Al finalizar, el ciclo de crecimiento de la planta, la concentración de N, P y K en este órgano fue de 1,51%, 0,35% y 1,79%, respectivamente.

En el tallo el mayor porcentaje de nitrógeno (4,34%) se obtuvo en los esquejes sin enraizar y el menor en el último muestreo, en la época del pico de cosecha (1,14%). Los porcentajes máximos y mínimos de fósforo y potasio fueron 0,75% (semana 14) y 7,73% (semana 23) y 0,22% (último muestreo) y 1,14% (semana 4) respectivamente.

En las hojas, el mayor porcentaje de nitrógeno (5,07%) se presentó en la semana 22 y el menor (2,35%) en la semana 5.

Los porcentajes máximos y mínimos de fósforo y potasio fueron 0,7% (semana 17) y 5,11% (semana 16) y 0,06% y 1,63% en el último muestreo, respectivamente. Debe tenerse en cuenta que la concentración de elementos en las hojas y en otros órganos varía con la edad fisiológica, la disponibilidad de ellos en el sustrato y su movilidad relativa, como, también, con la acumulación de materia seca (Jones *et al.*, 1991).

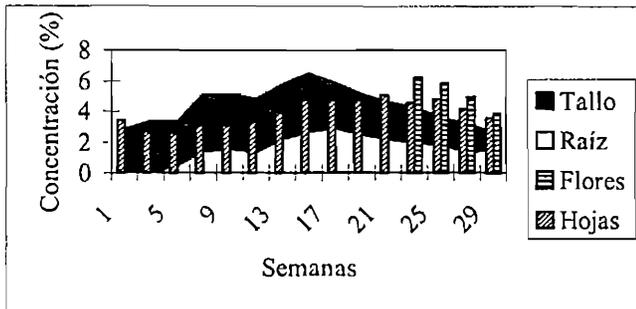


Figura 1. Porcentaje de la concentración de nitrógeno en función de la biomasa seca en cada uno de los órganos de *G. Paniculata*, a través del ciclo de vida.

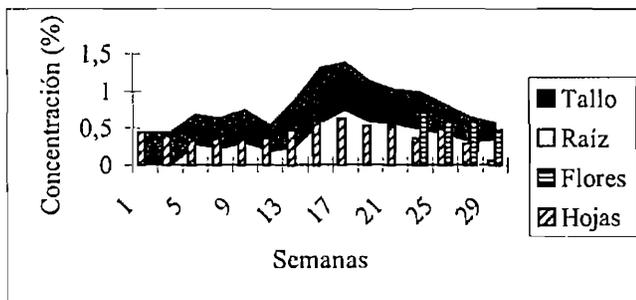


Figura 2. Porcentaje de la concentración de fósforo en función de la biomasa seca en cada uno de los órganos de *G. Paniculata*, a través del ciclo de vida.

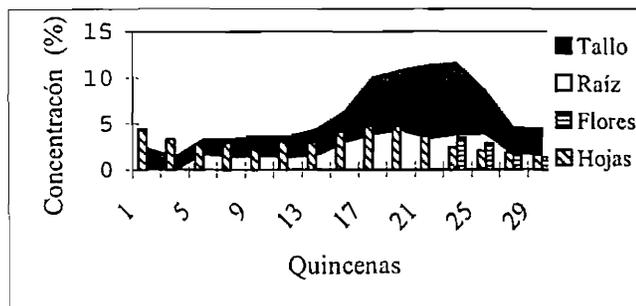


Figura 3. Porcentaje de la concentración de potasio en función de la biomasa seca en cada uno de los órganos de *G. paniculata* a través del ciclo de vida.

Para las flores, la concentración de nitrógeno osciló entre 6,3% y 3,82%, la de fósforo entre 0,71 y 0,47 y la de potasio, entre 3,6% y 1,39%. Los valores mayores coincidieron con la

apertura floral y los mínimos con la antesis.

Durante la época de floración, el nitrógeno (figura 1), el fósforo (figura 2) y el potasio (figura 3) fueron translocados de hojas y tallos hacia las flores, disminuyendo en ellos la concentración de estos nutrientes con la edad de la flor. En la época en la que se aplicó luz suplementaria al cultivo, la concentración de N, P y K varió, debido a cambios en el metabolismo de fotoasimilados. Lo anterior, posiblemente, afectó la relación entre biomasa seca y concentración de cada uno de los elementos.

A partir de la siembra en las camas de producción, la concentración de nitrógeno en los diferentes órganos se incrementó, debido a la elevada demanda, para entrar en las diferentes fases de desarrollo. Aparentemente el descenso en la concentración de nitrógeno estuvo relacionado con los procesos de translocación y dilución. En general, existe una alta translocación de nitrógeno desde las partes viejas hacia los tejidos nuevos en crecimiento activo, como consecuencia de su movilidad (Benton *et al.*, 1991).

Durante los estadios tempranos de crecimiento, la demanda de fósforo fue alta, debido a que es esencial para el metabolismo energético de la planta (Marschner, 1986). El descenso en la concentración del mismo, en las semanas de aparición de los brotes primarios, elongación del tallo y durante la fase reproductiva, en especial cuando se hicieron visibles las flores en la semana 22, estuvo relacionada con fenómenos de dilución y/o translocación. El valor mínimo en la concentración de fósforo, en todos los órganos de la planta, se alcanzó en el pico de cosecha. Según Benton *et al* (1991), el porcentaje de fósforo en hojas jóvenes de *G. paniculata* se encuentra en un rango de suficiencia si oscila entre 0,3% y 0,7%, lo cual concuerda con los datos obtenidos en el presente estudio.

En la figura 3, se observa un descenso en la concentración de potasio en hojas y tallos durante el enraizamiento, debido al transporte de este elemento hacia la raíz en formación. A partir del transplante, aumentó la concentración de potasio en todos los órganos, ya que este macronutriente es esencial en la translocación y acumulación de carbohidratos (Benton, *et al.*, 1991). Sin embargo, durante la fase reproductiva, la concentración de potasio disminuyó en todos los órganos hasta finalizar el ciclo de vida. Es de notar que la concentración de este nutriente en el tallo fue mayor que la correspondiente a los demás órganos, debido a su alta concentración en el floema y a la movilidad acropétala-basipétala la cual le permite redistribuirse fácilmente.

En la figura 4, se presenta la variación en la concentración total por planta de los tres elementos en estudio y, en ella, se evidencia el siguiente orden decreciente: potasio, nitrógeno y fósforo. Los resultados señalados no coinciden con lo reportado por Maldonado (1993), quién dice que el nitrógeno y el azufre son los dos elementos más abundantes en la materia vegetal, precediéndolos el carbono, el oxígeno y el hidrógeno. Entonces, el valor alto en la concentración de potasio, puede estar relacionado con lo que señalan Jones *et al.* (1991) quienes han encontrado que el porcentaje de potasio en hojas maduras de muchas familias de plantas, es igual o mayor que el de nitrógeno.

Los resultados fueron similares a los señalados por Marschner

(1986), quien dice que el contenido de nitrógeno y potasio, requerido para un crecimiento óptimo, varía entre el 2% y el 5% y, para el fósforo, del 0,3% al 0,5% de la biomasa seca y depende de la especie, el estado de desarrollo y el órgano. Adicionalmente, Benton *et al.* (1991) señalan que en los rangos de suficiencia del nutriente, el porcentaje de nitrógeno en las hojas de *G. paniculata* cv. perfecta, oscila entre el 4,3% y el 6%. Para este trabajo, se obtuvieron valores menores, que, no necesariamente, indican insuficiencia de nitrógeno.

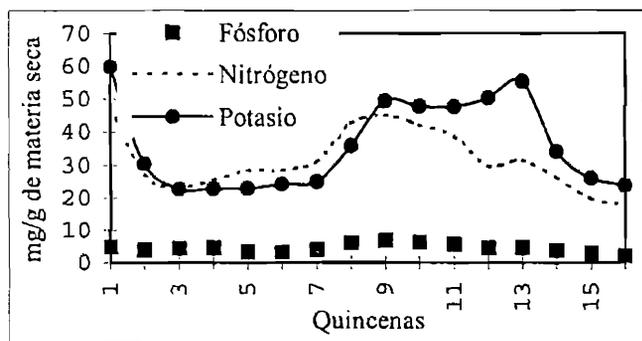


Figura 4. Concentración promedio de nitrógeno, fósforo y potasio en *G. paniculata* L. cv perfecta, a lo largo del ciclo de vida.

Al igual que lo reportado por Jones *et al* (1991), las concentraciones de N, P y K total en hojas disminuyen con la edad del tejido. Además, los cambios con la edad en la composición química en las distintas partes de la hoja no son uniformes. La concentración de elementos en hojas seleccionadas de diferentes posiciones en la planta, usualmente, sigue la tendencia señalada por la edad.

Las figuras 5, 6 y 7, presentan los valores de nitrógeno fósforo y potasio acumulados, a través del tiempo, en los distintos órganos de *G. paniculata*. Las primeras trece semanas de crecimiento y desarrollo, el total de nitrógeno almacenado (figura 5) fue relativamente constante, debido a que la biomasa de cada órgano de la planta era poca; a partir de esta semana, la acumulación del elemento aumentó considerablemente en tallos y hojas (1,68 y 0,15 g/planta respectivamente). La raíz fue el órgano que acumuló menos nitrógeno, porque, allí, había menor biomasa y el elemento se movilizaba hacia la parte aérea. La capacidad de almacenamiento de nitrógeno en flores fue significativamente superior a la de raíz (0,44 g/planta). El nitrógeno acumulado en flores al final del ciclo fue cuatro veces menor que el de tallos y hojas. Lo cual puede, de alguna manera, significar poca eficiencia en la obtención del producto para cosechar.

En forma global, el nitrógeno acumulado durante las fases de desarrollo de *G. paniculata* presentó cuatro cambios importantes: un descenso durante el enraizamiento (0,05 a 0,02 g de N/planta), un valor constante en vernalización, un incremento significativo en la fase vegetativa en las camas de producción y, finalmente, un ligero descenso durante la fase reproductiva. Según el análisis de suelos realizado, la disponibilidad, tanto de  $\text{NO}_3$ , como de  $\text{NH}_4$ , en el suelo fue en

promedio de 90 y 71 ppm, respectivamente.

La acumulación total de nitrógeno por planta fue de 23,62% del total de nutrientes (3,24 g/planta en la semana 27). Es decir, este valor corresponde a aquello que se requiere añadir como mínimo por planta al suelo, para proporcionarle, en condiciones estables, lo requerido para una nueva siembra, o para retribuirle lo extraído por el cultivo.

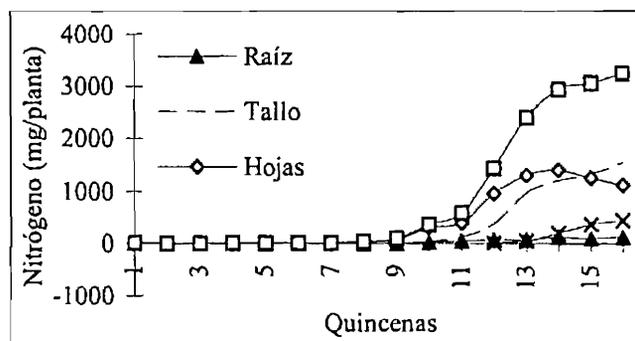


Figura 5. Acumulación de Nitrógeno en cada uno de los órganos de *G. paniculata* L. cv perfecta, a lo largo del ciclo de vida.

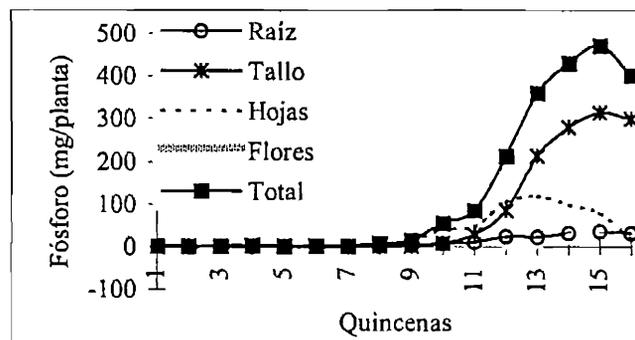


Figura 6. Acumulación de Fósforo en cada uno de los órganos de *G. paniculata* L. cv perfecta, a lo largo del ciclo de vida.

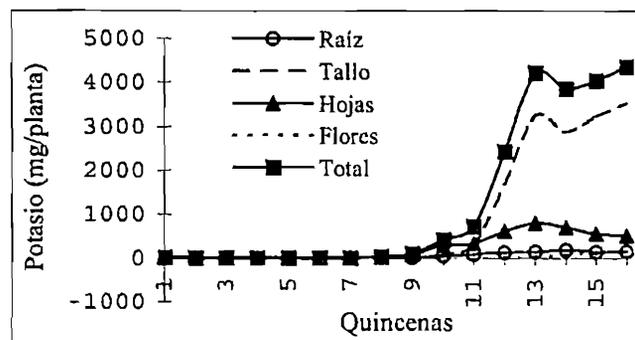


Figura 7. Acumulación de potasio en cada uno de los órganos de *G. paniculata* L. cv perfecta, a lo largo del ciclo de vida.

En la figura 6, se evidencia que la acumulación de fósforo en raíz, tallo y flores estuvo modelada por la acumulación de biomasa en dichos órganos, mientras que, para hojas hasta la semana 24, dependió de esta acumulación y, posteriormente, de la concentración. La máxima acumulación registrada de fósforo fue de 0,31 g/planta en tallo (semana 28) de 0,15 g/planta en hojas (semana 25) de 0,05 g/planta en flores (semana 29) y de 0,05 g/planta en raíz (semana 28).

La figura 7, muestra las variaciones en la acumulación de potasio en cada órgano y, en ella, no se evidencian cambios significativos durante las primeras 15 semanas de vida de la planta. Después de este tiempo, se presentaron incrementos en la acumulación del nutriente, relacionados con el aumento en el contenido de materia seca por órgano. De acuerdo con la distribución porcentual del potasio acumulado, las hojas, durante las 20 semanas iniciales fueron los órganos más importante. Ellas almacenaron el 75,8% del total de potasio, mientras el tallo acumuló 15,4% y la raíz 8,8%. En la semana 29, el tallo alcanzó el 81% (3,5 g/planta) del K total de la planta, las hojas, el 11,7% (0,5 mg/planta), la raíz, el 3,6% y las flores, el 3,7% (0,20 g/planta). En general, el potasio en *G. paniculata* se acumuló, en orden descendente, en tallo, hojas, raíz y flores. Durante el ciclo de vida de la planta, el reservorio del nutriente varió y, es así, como, en estadios tempranos de desarrollo y durante la fase vegetativa, fueron las hojas los órganos que acumularon más potasio, mientras, en la fase reproductiva, el tallo fue el órgano que cumplió con esta función. De acuerdo con los análisis de suelo, el potasio presentaba una disponibilidad media de 58 ppm durante la fase de propagación y alta (190 ppm), durante la etapa de producción.

Bajo las condiciones de cultivo de este experimento, la acumulación de N, P y K en *G. paniculata* obedeció al siguiente orden decreciente: K, N, P (figuras 5; 6 y 7). El elemento acumulado en mayor cantidad fue el potasio, con 31,87% del total de nutrientes almacenados por toda la planta en la semana 29 (4,4 g/planta). El nitrógeno y el fósforo alcanzaron una mayor acumulación 23,62% (3,2 g/planta) y 2,92% (0,40 g/planta) respectivamente en la semana 27, semana, a partir de la cual la concentración de estos elementos empezó a disminuir. La máxima acumulación total de nutrientes se presentó en la semana 29, lo cual coincide con la época de mayor biomasa, esto gracias a la capacidad de *G. paniculata* de translocar los nutrientes, convirtiéndolos en material vegetal o usándolos en procesos energéticos. Las diferencias en composición entre el tallo y las hojas fueron el resultado de procesos de translocación diferencial, relacionada con la movilidad de los elementos. La proporción de potasio decreció en los órganos más antiguos, mientras que el nitrógeno se acumuló en mayor cantidad en las flores, parte comercial de la planta.

Las hojas almacenaron el 30,96% del total de nutrientes contenidos en la planta, en el siguiente orden decreciente nitrógeno, potasio y fósforo. Del total de nutrientes, el tallo almacenó el 56,5%, siendo mayor el contenido de potasio, seguido por el nitrógeno y el fósforo. La raíz, por su parte, fue el órgano de *G. paniculata* que acumuló menor cantidad de nutrientes, con 3,57 del total; en este órgano, los elementos se

acumularon en el siguiente orden descendente K, N y P. Por último, las flores almacenaron el 8,92% del total con el siguiente orden N, K, P.

Es importante tener en cuenta que las hojas maduras son los órganos de la planta más adecuados para una rutina de análisis mineral total (Jones *et al.*, 1991), pero se requiere ampliar la información sobre el tema. Es conveniente recordar, para rutinas de fertilización y para evitar problemas de uso excesivo de fertilizantes y posible lavado de ellos, que las plantas de *G. paniculata* inician un periodo de alta absorción de N, P y K a partir de la semana 10 después de la siembra.

## LITERATURA CITADA

- BARCELO, C. J.; J. RODRIGO; B. SABATER & R. SANCHEZ. Fisiología Vegetal. 3ª Edición, Ediciones Pirámide, Madrid. 780 p. 1985.
- BENTON, J.; B. WOLF & H. MILLS. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Inc. New York. 205 p. 1991.
- CORCHUELO, R. G. Nutrición Mineral. Conferencias de Fisiología de Cultivos. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 1990.
- JONES, B. J., B. WOLF, & H. A. HILLS. Plant analysis handbook. Micro-macro Publishing, Inc. New York. 213 p. 1991.
- KUPKA, J. Physiology of mineral nutrition of plants. In: SEBANEK, J. (Ed.). Plant Physiology. Elsevier, Amsterdam. 159-198. 1992.
- MARSHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. 674 p. 1986.
- MALAVAR, L. V. Conceptos básicos sobre la nutrición mineral en las plantas. En: MALAVAR L. V. Ed. Lecturas selectas de fisiología vegetal: Nutrición mineral. Palmira. 172 p. 1993.
- MALDONADO J. M. Asimilación del nitrógeno y el azufre. In: AZCON-BIETO, J.; M. TALON. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana, Mc Graw Hill, Madrid. p. 215-236. 1993.
- MEDINA, G. A.; J. L. BOLIVAR. Análisis de crecimiento y acumulación de nutrientes de *Gypsophila paniculata* cv Perfecta bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado Biología. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. 193 p. 1993.
- MEDINA, G. A.; J. L. BOLIVAR; M. OROZCO DE AMÉZQUITA & P. J. RAMIREZ. Contribución al conocimiento del cultivo de *Gypsophila paniculata* L. cv Perfecta bajo condiciones de invernadero: Análisis de crecimiento. Revista Comalfi 21(1): 21-32. 1995.
- MENGEL, K.; E. A. KIRBY. Principles of Plant Nutrition. 3 ed. Publisher International Potash Institute. 655 p. 1982.
- ROJAS, M. Fisiología Vegetal Aplicada. Interamericana, Mc Graw Hill, México. 275 p. 1993.
- SALISBURY, B. & F. ROSS. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 682 p. 1994.