

# Efecto de las deficiencias nutricionales en la distribución de la materia seca en plantas de vivero de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey)

Effect of nutrient elements deficiencies on the dry matter partitioning in nursery plants of curuba (*Passiflora mollissima* Bailey)

Marco Cabezas<sup>1</sup> y Carlos A. Sánchez<sup>2</sup>

## RESUMEN

Para confirmar el efecto que tienen las deficiencias de nutrientes minerales mayores en la asignación de la materia seca en órganos vegetativos de *Passiflora mollissima*, se realizó un experimento en condiciones de vivero, mediante la técnica de deficiencia inducida por elemento faltante. Se pudo establecer que las deficiencias de N y K reducen en alta proporción el área foliar y la masa de la planta, mientras que las deficiencias de P afectan el patrón de distribución de la biomasa, al favorecer la mayor acumulación en la raíz. En general, las deficiencias de macronutrientes afectan de forma drástica la distribución de la materia seca en los órganos vegetativos de la planta y producen síntomas específicos que pueden servir como indicadores del estado nutricional en condiciones de campo.

**Palabras clave:** economía del carbono, síntomas de deficiencia, nutrición mineral.

## ABSTRACT

In order to confirm the effect that mineral macronutrient deficiencies have on the dry matter partition in vegetative organs of *Passiflora mollissima*, an experiment was carried out in nursery conditions by means of the induced deficiency technique of lacking element. It was established that nitrogen and potassium deficiencies lessen in high proportion the leaf area and dry matter, whilst the phosphorus deficiency affect the biomass partitioning pattern. That benefits the major carbohydrates accumulation in root. Generally, the macronutrient deficiencies affect in drastic form the dry matter partitioning to vegetative organs of the plant and produce specific symptoms that should serve as indicator of a nutritional status in field conditions.

**Key words:** carbon economy, deficiency symptoms, mineral nutrition.

## Introducción

Las plantas crecen y se desarrollan a partir de variables ambientales como temperatura, radiación solar, disponibilidad de agua y disponibilidad de elementos minerales esenciales. Uno de los mecanismos que utilizan las plantas para ajustar su metabolismo a la deficiencia de recursos exógenos es la modificación de los patrones de distribución de biomasa, en especial, almacenando reservas en los órganos requeridos para buscar y solventar los recursos limitantes (Marschner *et al.*, 1996; Yeh *et al.*, 2000).

De forma general, las deficiencias de N y P inducen una acumulación de carbohidratos en las hojas, grandes cantidades de C distribuido a las raíces y un incremento en la relación alométrica raíz/parte aérea (Gutiérrez Colomer *et*

*al.*, 2006). Estas mismas deficiencias alteran varios eventos fisiológicos, especialmente la fotosíntesis, el metabolismo de azúcares y la asignación de fotoasimilados entre fuentes y demandas (Hermans *et al.*, 2006). En contraste, aunque la acumulación de K y Mg en las hojas puede darse como resultado de la deficiencia de estos elementos en el suelo, no se produce incremento del peso seco de las raíces. Esto se debe a la disminución de la exportación de sacarosa de las hojas, más que a un efecto en la fotosíntesis por deficiencias de Mg y K, aunque sí se observan efectos negativos en la regeneración de pigmentos fotosintéticos, en particular, en las clorofilas (Del Amor y Marcelis, 2004).

Hermans *et al.* (2006) propusieron una hipótesis para explicar cómo las deficiencias de N y P afectan el metabolismo de carbohidratos en los brotes y de qué manera se cambia

Fecha de recepción: 28 de febrero de 2008. Aceptado para publicación: julio 10 de 2008

<sup>1</sup> Docente investigador, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Bogotá. mcabezas@udca.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniero agrónomo, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Bogotá.

la relación de biomasa en la raíz con respecto a la parte aérea. El planteamiento involucra aspectos del transporte de la sacarosa, los cambios en los gastos energéticos para el acondicionamiento de las plantas a las deficiencias de los nutrientes, la actividad de los órganos fuentes y las señales moleculares. De la misma forma, plantearon la explicación del porqué no se incrementa el peso seco de la raíz en condiciones de deficiencia de K y Mg y concluyeron que esto se debe una modificación negativa en el transporte de sacarosa en el floema.

La reducción de las tasas fotosintéticas en plantas deficientes en N es una consecuencia directa de la acumulación de azúcares, que supera la cantidad necesaria para lograr el equilibrio metabólico entre hojas y órganos demanda (Sinclair, 1990; Guo *et al.*, 2007). Algunos efectos de la deficiencia de N en el desarrollo vegetal parecen estar relacionados con la relación C/N en los tejidos, inducida por la presencia misma de carbohidratos libres. Los metabolitos carbonados y la relación C/N regulan la expresión de genes involucrados en la toma y el metabolismo del N, y los nitratos regulan la expresión de muchos genes responsables del metabolismo de los azúcares (Hermans *et al.*, 2006; Guo *et al.*, 2007).

Se asume de forma tácita que la expresión génica está relacionada directamente con la cantidad de proteínas presentes en los tejidos, la actividad enzimática y los niveles de metabolitos (Sinclair, 1990).

Las deficiencias de P incrementan las concentraciones de azúcares y almidón en las hojas, pero no siempre en las raíces, hecho que depende en gran medida de la especie involucrada (Wang *et al.*, 2002; Desnos, 2008). Pueden suceder cambios en la expresión génica y en los niveles de proteínas responsables de la fotosíntesis y la producción de azúcares, cuando las plantas son sometidas a deficiencias de P (Hermans *et al.*, 2006). Las bajas cantidades de fosfato inorgánico en el citosol pueden restringir la síntesis de ATP, lo que ocasiona la desactivación de la ribulosa 1, 5-bifosfato carboxilasa oxigenasa (rubisco) o, directamente, su inhibición. El efecto final será un descenso en las tasas de carboxilación y, por tanto, menor cantidad de carbohidratos producidos en la hoja, con la consecuente acumulación de materia seca en las raíces para favorecer la toma de P y así mitigar el efecto ambiental poco favorable (Wang *et al.*, 2002).

Es posible que las deficiencias de S también afecten las cantidades de almidón en las hojas, al estar involucrado en el metabolismo de los aminoácidos azufrados. También tendrá un efecto sobre el metabolismo del N, sobre

la actividad enzimática para activar el transporte a corta distancia y, por tanto, podrá afectar las relaciones fuente demanda (Scherer, 2001).

Raese y Drake (1995) comprobaron el efecto del Ca en el llenado de frutos de perales; este ensayo condujo a definir la importancia del elemento en el llenado de la fruta y la mayor asignación de carbohidratos en los órganos reproductivos. Adicionalmente, varios experimentos han valorado positivamente la importancia del Ca como elemento clave a la hora de distribuir asimilados, especialmente en los órganos de almacenamiento (Lenz, 2000; Hanafi y Halimah, 2004; Hao y Papadopoulos, 2004)

*Passiflora mollissima* Bailey es originaria de los Andes americanos; tiene un alto potencial como producto de exportación, un valor nutricional alto y es importante en el manejo integrado de sistemas agrícolas, especialmente en zonas de minifundio, en clima frío y frío moderado. Es una especie incluida en la agenda exportadora de Colombia y como tal, se debe encontrar las mejores técnicas de cultivo, para ofrecer un producto de alta calidad y con adecuado rendimiento agronómico. Se ha determinado que la planta muestra poco grado de confiabilidad, cuando se quiere relacionar los síntomas de deficiencia y el estado nutricional, en especial en la parte foliar; además, es muy poco lo que se sabe de la respuesta de la especie a la fertilización edáfica (Alfonso y Peña, 2004). El presente trabajo tuvo como fin establecer el efecto de las deficiencias nutricionales en la acumulación y la distribución de la materia seca en plantas de vivero de *P. mollissima*, cultivada en medio hidropónico, y confrontar los resultados con algunos síntomas visuales producto de las deficiencias inducidas de nutrientes.

## Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la unidad investigativa El Remanso, de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, en Bogotá, bajo condiciones de cubierta plástica tipo invernadero durante seis meses. La temperatura máxima promedio fue 21 °C, mientras que la mínima estuvo en 12 °C y la temperatura media reportada durante el tiempo de experimentación fue 16,5 °C. La humedad relativa fue 78%. Tanto temperatura como HR se midieron con un termohidrómetro Springfield. La radiación fotosintéticamente activa se midió con un sensor cuántico Aqu.PAR 250, marca Licor. El valor promedio de flujo fotónico fotosintético fue de 1.340  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

El material vegetal empleado se propagó por medio de semilla sexual de frutos provenientes de un lote comercial de

curuba de Saboyá (Boyacá). La semilla se extrajo mediante el método manual, se lavó y se dejó secar durante 8 días en sombra (Delanoy *et al.*, 2006). Posteriormente se imbibieron las semillas en agua tibia por una hora y luego se colocaron en bandejas germinadoras de 72 alvéolos. Cuando se obtuvo germinación completa, las plántulas con 4 hojas verdaderas desplegadas se sacaron del germinador, se les lavó la raíz con una solución de hipoclorito de calcio al 2%; luego con chorros de agua a presión se eliminaron los residuos del sustrato germinativo, siguiendo el procedimiento usado por Capera y Leguizamón (1999). Previamente se llenaron bolsas plásticas de 10 L de capacidad con vermiculita lavada con agua destilada; en cada bolsa se sembró una planta.

Durante tres días las plantas se regaron con agua destilada y a partir del día cuarto, se comenzó a aplicar una solución completa Hoagland 0,25 M para homogenizar el material en crecimiento y porte. Este proceso se realizó durante 4 semanas. A la quinta semana se incrementó la concentración a 0,5 M, la cual se aplicó durante 8 semanas y por 4 semanas más se reacomodó la solución a 1 M. La frecuencia de aplicación fue de dos veces por semana, con una cantidad de 400 mL de solución por bolsa, con base en el procedimiento usado por Cereda *et al.* (1991) y Cabezas *et al.* (2002).

Para inducir deficiencias nutricionales se empleó la técnica del elemento faltante (Capera y Leguizamón, 1999). Las plantas se aleatorizaron para asignar los tratamientos respectivos. Ocho tratamientos se utilizaron para evaluar el efecto de la carencia de N, P, K, Ca, Mg y S, mientras que se dejó un tratamiento sin aplicación como testigo de prueba y un tratamiento que recibió una fórmula completa de fertilización, solución completa de Hoagland 1M, durante todo el desarrollo del ensayo. La unidad experimental fue de 3 plantas y se usaron 4 repeticiones para cada tratamiento, en un diseño completamente aleatorizado. Las bolsas se colocaron en mesas de madera a 1 m del suelo y se aislaron mediante el uso de polisombra verde como cortina para evitar la contaminación de polvo.

Durante 16 semanas después de la inducción de las deficiencias las plantas se regaron con la solución respectiva para cada tratamiento, la cual carecía del respectivo nutriente. 750 mL de solución se aplicó a cada materia dos veces por semana. A medida que pasaba el tiempo, se anotaron los síntomas visibles de las deficiencias nutricionales, se estructuró un registro fotográfico y se midieron algunas variables cuantitativas, como número de hojas, número de ramas y presencia de estructuras reproductivas. Al final del ensayo, 32 semanas después del trasplante, se utilizó una planta por cada unidad experimental para determinar el

área foliar, mediante un planímetro digital CID Inc. 2300. Las restantes 3 plantas se cosecharon, se separaron los diferentes órganos y se llevaron a secado por 72 h a 105 °C, en el laboratorio de Fitotecnia de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), en Bogotá.

Con los datos obtenidos se fabricó el modelo de distribución de materia seca en la curuba sometida a deficiencias inducidas de nutrimentos, mientras que las variables numéricas, como masa seca y área foliar, se sometieron a un análisis clásico de varianza, previa transformación de los datos a  $\sqrt{y+1}$  para disminuir el coeficiente de variación. Se utilizó la prueba de comparación múltiple de Bonferroni para establecer la diferencia estadística entre promedios (Martínez y Martínez, 1997).

## Resultados y discusión

### Área foliar

Las plantas sometidas a deficiencia de N y K presentaron área foliar reducida y estadísticamente diferencias significativas con respecto a aquéllas que fueron tratadas con la solución completa y, a su vez, presentaron diferencias estadísticamente significativas con las plantas que no recibieron solución nutritiva (figura 1). Cuando estos dos elementos son restringidos en la solución nutritiva, se produce efecto negativo en la formación de nuevas hojas y en su expansión. En promedio, el área foliar por planta disminuyó en 50% para ambos casos. Con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,87 y de variación de 12,6%, se puede asegurar que las deficiencias de N alteran la nueva formación de hojas y su desarrollo, debido posiblemente a las bajas tasas de producción de aminoácidos y proteínas indispensables en la división y elongación de células. Se ha demostrado que la deficiencia de N en plantas superiores afecta el tamaño de las hojas, pero no así su número (Kang y Van Iersel, 2004; Ehret *et al.*, 2005), aspecto que se pudo constatar en la presente investigación.

Las deficiencias de N en plantas de curuba producen clorosis generalizada en las hojas del tercio inferior, abscisión temprana y lámina foliar reducida, aspectos que contribuyen a afectar negativamente el área foliar total y que coinciden con lo encontrado por Yeh y Wright (2000) en *Spathiphyllum*, por Avilán (2001) en granadilla y por Cabezas *et al.* (2002) en lulo.

En cuanto a la deficiencia de K y su efecto sobre la composición y desarrollo foliar, es posible que se deba al control que tiene la planta en cuanto a área de transpiración, debido a que el elemento contribuye a regular la apertura y el cierre estomático, pero; al carecer de él, la planta tenderá

a minimizar el tamaño de las hojas más que su número, para así disminuir la resistencia de la capa límite de aire y dar mayor eficiencia al intercambio gaseoso, conceptos bien discutidos por Del Amor y Marcelis (2004). Las hojas de las plantas con deficiencias de K fueron pequeñas y con bordes necrosados, con la lámina foliar más coriácea, respecto a las plantas de control. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos con deficiencias de Ca y S y el tratamiento control, pero no hubo diferencias entre la deficiencia de N y el testigo absoluto, hecho que clarifica la importancia del K en el desarrollo foliar de *P. mollissima*.

Las deficiencias de Ca y S no influyeron estadísticamente sobre el área foliar individual por planta. Es conocido que el Ca cuando está deficiente en los tejidos foliares puede causar quemazones en los bordes de la hoja, pero no afecta su grado de expansión, a diferencia de lo encontrado cuando se presentan deficiencias de K, según lo expresado por Saure (1998). Las plantas de curuba que crecieron con deficiencias de Ca presentaron ligeros necrosamientos en los bordes, en especial en la parte terminal, pero esto no influyó en el área foliar individual.

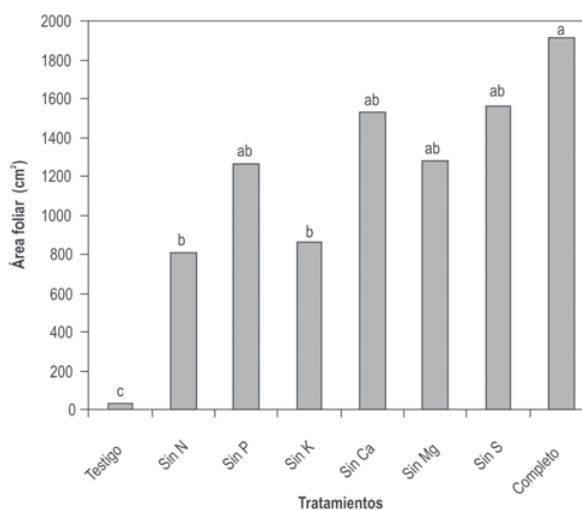
El P, al estar comprometido de forma directa con la producción de carbohidratos de reserva y de estructura, tiene un efecto negativo cuando su deficiencia es marcada. Al no haber suficiente cantidad de P en los tejidos foliares, las tasas de división celular se reducen, las células no son favorecidas con la expansión de sus tejidos y se restringe la brotación aérea. Es posible que haya una reacomodación en la distribución de fotoasimilados, que son trasladados en particular a la zona radical, con sacrificio de la formación de nuevos brotes foliares y de la misma extensión de la hoja. Se ha encontrado que una deficiencia de P en el suelo afecta también la absorción de N por la raíz, ya que los iones fosfato y amonio deben estar en permanente equilibrio para permitir la regulación del pH en la zona adyacente radical (Salt, 2004). Una limitada oferta de P afecta la toma de N y, por tanto, la baja expansión de hojas y el pobre desarrollo foliar pueden deberse a esta combinación de efectos.

### Peso seco total

La falta de nutrientes en el crecimiento de *P. mollissima* causa serias limitaciones en la acumulación de masa en los tejidos (figura 2). Se evidencia la diferencia altamente significativa entre los tratamientos con deficiencia de cada uno de los macronutrientes y el tratamiento control. También es notable el efecto que tienen las deficiencias de N y K en el peso seco total de la planta. La deficiencia de P no mostró diferencias significativas con el tratamiento en el que se fertilizó con solución completa de nutrientes.

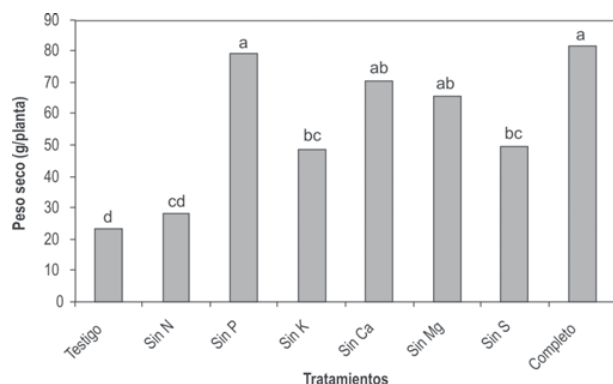
Plantas con deficiencias de Ca no mostraron diferencias estadísticamente significativas con aquellas que crecieron sin deficiencia de elementos nutritivos. Las deficiencias de Mg evidenciaron algunos problemas en la acumulación de masa, sin ser tan determinantes como las de N y K. La falta de S sí afectó la acumulación de materia seca y presentó diferencias significativas con respecto al control, pero fue superior a la de las plantas que crecieron con deficiencia de N y de aquellas que sólo fueron regadas con agua.

Las plantas de curuba sometidas a deficiencia de N mostraron: disminución en el peso seco, con valores promedio de 58,25%, respecto a las plantas que crecieron en solución completa; hojas cloróticas y un incremento en su senescencia; confirmando lo planteado por varios autores (Clark y Richardson 2002; Halafi y Halimah, 2004; Tagliavina *et al.*, 2005). Cuando se presenta deficiencia de N, se produce acumulación de azúcares y almidón en las hojas y luego comienza un incremento en el transporte de sacarosa a la raíz, como respuesta de la planta a esta condición estresante, tal y como lo describe Guo *et al.* (2007). La producción de fotoasimilados se reduce por efecto de la acumulación de carbohidratos de reserva en la hoja y se afecta la relación C/N, lo que provoca disminución del N empleado para renovar la rubisco y, por ende, limitación del proceso fotosintético. Esta situación conlleva la disminución de producción de triosas fosfato, claves para la síntesis de sacarosa; la asignación de azúcares a las hojas se reduce considerablemente y la planta es afectada integralmente en su metabolismo.



**FIGURA 1.** Efecto de la deficiencia inducida de nutrientes en el área foliar por planta de *P. mollissima*. El testigo corresponde a plantas sin nutrición mineral durante 4 meses y completo, a las que recibieron nutrición completa. Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la prueba de Bonferroni ( $P \leq 0,05$ ).





**FIGURA 2.** Efecto de las deficiencias nutricionales inducidas en el peso seco individual de plantas de *P. mollissima*. El testigo corresponde a plantas sin nutrición mineral durante 4 meses y completo, a las que recibieron nutrición completa. Promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente, según la prueba de Bonferroni ( $P \leq 0,05$ ;  $R^2$  0,87; CV 19%).

La anterior consideración, unida a la falta de bases nitrogenadas para activar la división celular y la acción de los genes regulados por la acumulación de carbohidratos, que causan en especial alteraciones en la síntesis de aminoácidos y de glutamato (Hermans *et al.*, 2006; Guo *et al.*, 2007), darán como resultado retraso en el crecimiento de las plantas y desórdenes en el desarrollo vegetal, aspectos de suma importancia en la producción de fruta.

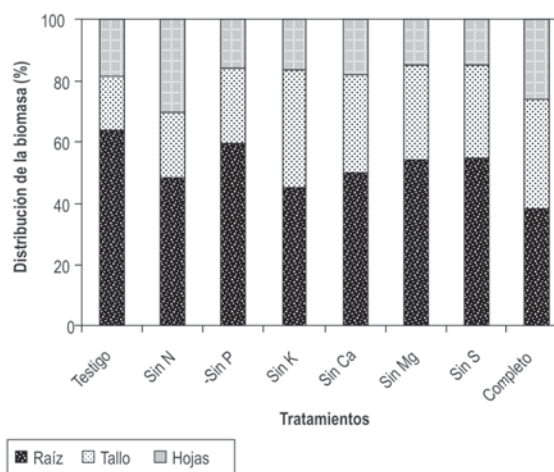
Es importante ver cómo la deficiencia de P no alteró el peso seco total de las plantas, pero, en términos de comportamiento fenológico, se presentaron desórdenes foliares, como disminución en el área de la hoja, color verde intenso en la lámina foliar y entrenudos más cortos. Esta sintomatología se explica por la alta concentración de peso seco en el sistema radical, producto de una descompensación en la relación fuente/demanda, explicada más adelante. Esta observación es muy distinta a la encontrada en otras especies, como granadilla (Avilán, 2001), piña (Hanafi y Halifah., 2004), rosas (Ehret, 2005), cítricos (Pestana *et al.*, 2005) y tomate de árbol (Pillimue *et al.*, 1998), en las que la deficiencia de P disminuyó de forma drástica el peso seco total de las plantas.

En promedio, se encontró que las plantas de *P. mollissima* con deficiencia de K tuvieron 36% menos de peso seco, respecto a las plantas que crecieron sin ninguna deficiencia nutricional. Este dato es idéntico al reportado por Del Amor y Marcellis (2004) en tomate al que se le suprimió el aporte de K en condiciones de hidroponía; esto se relaciona estrechamente con lo encontrado en lulo por Cabezas *et al.* (2002) y en tomate de árbol por Clark y Richardson

(2002). De igual forma, el peso seco total se afectó considerablemente. Si se tiene en cuenta que el K tiene funciones fisiológicas no estructurales en la planta: como activación enzimática, osmoregulación, formación de carbohidratos, ácidos nucleicos y proteínas, fortalecimiento del floema y el xilema, así como regulador en los sistemas de transporte a corta y larga distancia; se entiende claramente el descenso de peso seco total en la planta cuando el elemento es escaso o está totalmente ausente.

### Distribución de la materia seca

El patrón de distribución de la materia seca en plantas de curuba durante el primer año de crecimiento tiene un alto componente en el sistema radical, superior a 50% del peso seco total (figura 3). Esta especie es de naturaleza herbácea en sus primeras etapas de desarrollo, para organizar luego su arquitectura en tallos bejucosos pero poco lignificados y abundante cantidad de hojas, zarcillos caulinares y, finalmente, estructuras reproductivas. En la figura 4 se presenta una aproximación al modelo de distribución de la materia



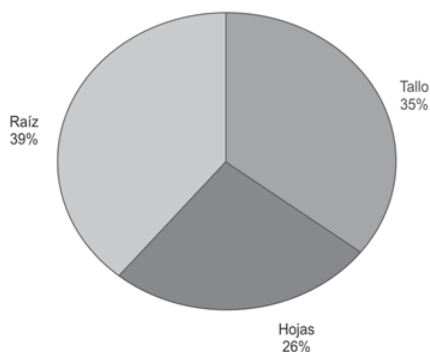
**FIGURA 3.** Efecto de las deficiencias nutricionales en los porcentajes de distribución de la biomasa en órganos vegetativos de *P. mollissima*. El testigo corresponde a plantas sin nutrición mineral durante 4 meses y completo, a las que recibieron nutrición completa.

seca para *P. mollissima* cuando crece en condiciones controladas y favorables de agua y nutrientes.

A partir de ese modelo, se puede afirmar que las deficiencias nutricionales sí afectan a la distribución de fotoasimilados en la curuba. La deficiencia de P es la que presenta los mayores valores de peso seco radical (tabla 1), hecho que se explica por la respuesta de la planta para tomar el elemento cuando falta en la solución del suelo. Según Hermans *et al.* (2006), al existir menos cantidad de P, la planta debe invertir sus

recursos en una mayor producción de raíces para incrementar el espacio de exploración y así poder contactar los iones fosfato, que, a propósito, son muy poco móviles en la fase de solución. El crecimiento de raíces descompensa el patrón de distribución de carbohidratos, de ahí que se vea poca cantidad de tallos y hojas en plantas con deficiencia de P.

La deficiencia de P induce además el desarrollo de una alta ramificación en el sistema radical, en especial, en la zona superficial del suelo, aunque la raíz principal no presenta un marcado desarrollo, en comparación con el tratamiento de nutrición completa. De acuerdo a Sinha *et al.* (2003), la deficiencia de P también puede afectar el papel del B en la promoción de la división celular, aspecto que provoca una alta ramificación de la raíces laterales, pero un bajo desarrollo de la raíz pivotante. Este aspecto discrepa con lo expresado por Hermans *et al.* (2006), quienes sostienen



**FIGURA 4.** Aproximación al modelo de distribución de materia seca en plantas de *P. mollissima* en etapa de vivero, sin restricción de nutrientes ni de agua.

que esa respuesta morfológica se debe tal vez a cambios en la composición hormonal, en especial, por la acumulación de auxinas, lo que provoca un incremento en la longitud de raíces. Esos cambios hormonales son consistentes con las alteraciones morfológicas de la raíz y con la expresión génica, que involucra la regulación de etileno, citoquininas y auxinas en raíces que crecen en deficiencias de P.

La deficiencia de K incrementa la acumulación de carbohidratos en las hojas, como respuesta a un descenso en los osmolitos celulares que controlan la apertura y el cierre estomático. A diferencia de la deficiencia de N y P, la deficiencia de K no produce incremento de almidones en la hoja, aunque sí se puede acumular sacarosa en el citoplasma, disminuyéndose por tanto la fotosíntesis. Al disminuirse el K, se afecta el transporte de sustancias a través del floema, razón que explica la poca cantidad de biomasa acumulada en la raíz.

En cuanto a la deficiencia de Mg, incrementa la concentración de azúcares y almidones en la hoja, producto de la poca cantidad de clorofila a y b formada cuando el elemento escasea en los tejidos. Los incrementos en la masa radical de algunas plantas sometidas a deficiencia de Mg son el resultado de la pobre y a veces nula partición de asimilados a las hojas jóvenes y a los brotes nuevos, más que a la mayor tasa de acumulación de carbohidratos en la raíz. Se debe recordar que el Mg no sólo forma parte de las clorofilas, sino que está asociado con el transporte simplástico, hecho que será determinante en la distribución de fotoasimilados a los distintos órganos vegetales, como lo afirman Hao y Papadopoulos (2004).

Si se parte del modelo planteado en la figura 3, la relación alométrica entre la parte aérea y la raíz en plantas de

**TABLA 1.** Distribución de la materia seca (g) en órganos vegetativos en plantas de *P. mollissima* sometidas a deficiencias inducidas de nutrimentos. Promedios de 4 repeticiones.

Órgano vegetativo	Materia seca (g)							Completo
	Tratamiento							
	Testigo	Sin N	Sin P	Sin K	Sin Ca	Sin Mg	Sin S	
Tallo	4,10*c	5,90c	19,00ab	18,70ab	22,60ab	18,70ab	15,40b	28,50a
Hojas	4,33c	8,60bc	12,70b	8,10bc	12,90b	8,70bc	7,30bc	21,80a
Raíz	14,73c	13,70c	47,50a	21,90bc	35,00ab	38,10ab	26,90bc	31,20ab
Total	23,16d	28,20cd	79,20a	48,70bc	70,50ab	65,50ab	49,60bc	81,50a

\* Promedios dentro de la misma fila seguidos de la misma letra no difieren significativamente, según prueba de Bonferroni ( $P \leq 0,05$ ).

**TABLA 2.** Relaciones alométricas parte aérea/raíz en plantas de *Passiflora mollissima* sometidas a deficiencia inducida de nutrientes.

Tratamiento	Relación parte aérea/raíz
Sin N	1,06:1
Sin P	0,67:1
Sin K	1,22:1
Sin Ca	1,01:1
Sin Mg	0,76:1
Sin S	0,84:1
Completo	1,60:1

curuba de vivero es de 1,6:1 (tabla 29), muy inferior a otras relaciones planteadas en especies menos leñosas, como tomate, piña y plantas ornamentales, pero diferente a la encontrada en uchuva por Salazar *et al.* (2007). Parece ser que *P. mollissima* tiene la tendencia a almacenar grandes cantidades de fotosintatos en la raíz, para luego, cuando así se requiera, translocarlos a otros órganos vitales, como meristemos, flores y frutos. De todas formas, las deficiencias nutricionales y, en especial, las de P, Mg y S, afectan en gran medida esta relación, pues se disminuye el contenido de biomasa en los brotes aéreos y en las hojas, para proveer llenado en la raíz.

Parece ser que este aspecto es bien importante para la producción, pues en condiciones de campo una práctica muy usada es la poda de producción, bastante drástica pero que beneficia las cosechas, tal vez por causa del aporte de fotoasimilados almacenados temporalmente en el sistema radical. Este punto debe ser estudiado con mayor profundidad en el futuro.

## Conclusiones

La curuba es una planta que acumula grandes cantidades de fotoasimilados en la raíz, pero más aún cuando se presentan deficiencias de P en el medio de crecimiento. Esta deficiencia altera posiblemente la distribución de C, para atenuar los daños metabólicos y permitir así la supervivencia en condiciones poco favorables.

A diferencia de la deficiencia de P, cuando escasea el K la planta no acumula carbohidratos en la raíz sino que lo hace en la parte aérea. La deficiencia de K es de las más notorias en *P. mollissima* y puede ser indicativa de una alta necesidad de aplicación de este nutriente en los programas de fertilización.

El N es el elemento que produce las mayores disminuciones el peso seco en *P. mollissima*, afecta su desarrollo foliar y puede causar pérdidas importantes en las cosechas. En contraste con lo encontrado para otras especies, no afecta tanto la relación parte aérea/raíz, pero no permite el desarrollo de *P. mollissima*.

*P. mollissima* es una especie que no permite establecer un diagnóstico visual cuando existen deficiencias de nutrientes, tal vez a causa de su rusticidad y adaptación alta a suelos pobres y ácidos. El conocimiento de la economía del C es una herramienta que facilita la detección de problemas nutricionales y permite hacer correctivos nutricionales eficientes.

Es recomendable realizar investigaciones en condiciones de campo para incluir las fases reproductivas y su efecto en la distribución de fotoasimilados en la planta de *P. mollissima*.

## Literatura citada

- Alfonso, B.B. y E.M. Peña. 2004. Efecto de diferentes programas de nutrición sobre el cultivo de la curuba (*Passiflora mollissima*) variedad Tin Tin y del híbrido T × Mo. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UCDA), Bogotá. 98 p.
- Avilán, L. 2001. Efectos de la deficiencia de macronutrientes sobre el crecimiento y la composición química de la parcha granadina (*Passiflora quadrangularis* L.) cultivada en soluciones nutritivas. *Agronomía Tropical* 24(2), 133-140.
- Cabezas, G.M., T.C. Botía y L.M. Medina. 2002. Determinación de síntomas por deficiencia inducida de nutrientes en *Solanum quitoense* Lamb. y *Physalis peruviana* L. pp. 76-80. En: Memorias del 4° Seminario de frutales de clima frío moderado, Medellín.
- Capera, D. y J. Leguizamón. 1999. Deficiencias minerales en tangelo Mineola, inducidas en condiciones de hidroponía. Avance técnico N° 267. Centro Nacional de Investigaciones del Café, Chinchiná. 8 p.
- Cereda, E., H. Grassi y L. de Almeida. 1991. Disturbios nutricionales en maracuyá dulce (*Passiflora alata*), cultivada en solución nutritiva. pp. 103-106. En: Memorias del Primer simposio internacional de pasifloras, Palmira.
- Clark, C.J. y A.C. Richardson. 2002. Biomass and mineral nutrient partitioning in a developing tamarillo (*Cyphomandra betacea*) crop. *Scientia Hort.* 94, 41-51.
- Del Amor, F.M. y L.F. Marcelis. 2004. Regulation of K uptake, water uptake, and growth of tomato during K starvation and recovery. *Scientia Hort.* 100, 83-101.
- Delanoy, M., P. van Damme, X. Scheldeman y J. Beltrán. 2006. Germination of *Passiflora mollissima* (Kunth) L.H. Bailey, *Passiflora tricuspidata* Mast., and *Passiflora nov sp.* seeds. *Scientia Hort.* 110, 198-203.

- Desnos, T. 2008. Root branching responses to phosphate and nitrate. *Current Opinion Plant Biol.* 11, 82-87.
- Ehret, D.L., J.G. Menzies y T. Helme. 2005. Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems. *Scientia Hort.* 106, 103-113.
- Guo, S-W., Y. Zhou, Y-X. Gao, Y. Li y Q.R. Shen. 2007. New insights into the nitrogen form effect on photosynthesis and photorespiration. *Pedosphere* 17(5), 601-610.
- Gutiérrez-Colomer, R.P., M.M. Gonzalez-Real y A. Baille. 2006. Dry matter production and partitioning in rose (*Rosa hybrida*) flower shoots. *Scientia Hort.* 107, 284-291.
- Hanafi, M.M. y A. Halimah. 2004. Nutrient supply and dry matter partitioning of pineapple cv. Josapine on sandy tin tallings. *Fruits* 59, 359-366.
- Hao, X. y A.P. Papadopoulos. 2004. Effects of calcium and magnesium on plant growth, biomass partitioning, and fruit yield of winter greenhouse tomato. *HortScience* 39(3), 512-515.
- Hermans, C., J.P. Hammond, P.J. White y N. Verbruggen. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends Plant Sci.* 11(12), 611-617.
- Kang, J.C. y M.W. van Iersel. 2004. Nutrient solution concentration affects shoot:root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). *HortScience* 39(1), 49-54.
- Lenz, F. 2000. Effects of fruit load on the nutrient uptake and distribution in *Citrus* trees. *Acta Hort.* 531, 63-72.
- Marschner, H.E., A. Kirkby y I. Cakmak. 1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *J. Exp. Bot.* 47, 1255-1263.
- Martínez, B.R. y R.N. Martínez. 1997. Diseño de experimentos. Análisis de datos estándar y no estándar. 1ª ed. Fondo Nacional Universitario, Bogotá. 480 p.
- Pestana, M., A. de Varennes, J. Abadía y E. Araújo-Faria. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. *Scientia Hort.* 104, 25-36.
- Pillimue, A.G., M.N. Barrera y H.S. de Cantillo. 1988. Evaluación de la deficiencia de elementos mayores en plántulas de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae*). *Acta Agronómica* 48(3-4), 62-67.
- Raese, J.T. y S.R. Drake. 1995. Calcium sprays and timing affect fruit, yield, weight, and cork spot of pears. *HortScience* 30(5), 1037-1039.
- Salazar, M.R., J.W. Jones, B. Chaves y A. Cooman. 2008. A model for the potential production and dry matter distribution of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Scientia Hort.* 115 (2), 142-148.
- Salt, D.E. 2004. Update on plant ionomics. *Plant Physiol.* 136, 2451-2456.
- Saure, M.C. 1998. Causes of the tipburn disorder in leaves of vegetables. *Scientia Hort.* 76, 131-147.
- Scherer, H.W. 2001. Sulphur in crop production. *Europ. J. Agron.* 14 81-111.
- Sinclair, T.R. 1990. Nitrogen influence on the physiology of crops yield. p. 41-55. En: Rabbinge, R. *et al.* (eds.). *Theoretical production ecology: reflections and prospects*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Sinha, P., B.K. Dube y C. Chatterjee. 2003. Phosphorus stress alters boron metabolism of mustard. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 34 (3,4), 315-326.
- Tagliavini, M., E. Baldi, P. Lucchi., M. Antonelli, G. Sorrenti, G. Baruzzi y W. Faedi. 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria × ananassa* Dutch.) grown in soil and soil-less culture. *Europ. J. Agron.* 23 (1), 15-25
- Yeh, D.M., L. Lin y C.J. Wright. 2000. Effects of mineral nutrient deficiencies on leaf development, visual symptoms and shoot-root ratio of *Spathiphyllum*. *Scientia Hort.* 86, 223-233.
- Wang, Y-H., D.F. Garvin y L. Kochian. 2002. Rapid induction of regulatory and transporter genes in response to phosphorus, potassium, and iron deficiencies in tomato roots. Evidence for cross talk and root/rhizosphere-mediated signals. *Plant Physiol.* 130, 1361-1370.