

## Síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annuum* L.)

Silva Ana Zelia<sup>1</sup>, Wamser Anderson Fernando<sup>2</sup>, Nowaki Rodrigo Hiyoshi<sup>3</sup>, Cecílio Filho Arthur Bernardes<sup>3</sup>, Mendoza-Cortez Juan Waldir<sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Farmácia. Av. dos Portugueses 1966, Baganga, 65080-805, São Luís, Maranhão, Brasil.

<sup>2</sup> Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Estação Experimental de Caçador. Rua Abílio Franco 1500, Bairro Bom Sucesso, 89500-000, Caçador, Santa Catarina, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Departamento de Produção Vegetal. Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane s/n, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

<sup>4,\*</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía, Departamento de Fitotecnia. Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú. Correo electrónico: invic64@hotmail.com

Recibido: 2017-02-17    Aceptado: 2017-05-09

### Resumen

El objetivo del estudio fue describir los síntomas de deficiencia de macronutrientes y determinar sus concentraciones foliares durante la visualización de los síntomas en el pimiento cultivado en el sistema hidropónico *Nutrient Film Technique* (NFT). Los tratamientos consistieron en la omisión individual de macronutrientes en la solución nutritiva más el tratamiento con la solución nutritiva completa. Durante la aparición de los síntomas de deficiencia, las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio fueron 27,6, 0,7, 26,1, 9,6 y 1,1 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. La deficiencia de nitrógeno se caracterizó por la pérdida del color verde de la planta, caída de flores, paralización del crecimiento apical, aparición de puntos negros en las hojas viejas y senescencia de las mismas. La deficiencia de fósforo comenzó con la aparición de una coloración verde oscura de las hojas, seguida por la coloración púrpura de las nervaduras del envés, caída de flores, enrollamiento de las hojas nuevas, paralización del crecimiento, descoloración del limbo y abscisión de las hojas viejas. La deficiencia de potasio empezó con una clorosis y necrosis de las márgenes en las hojas nuevas, evolucionando a las hojas más viejas que presentaban, además, necrosis de la región internerval, seguidas de la paralización del crecimiento apical. La deficiencia de calcio fue caracterizada por la aparición de frutos con podredumbre apical. Las plantas deficientes en magnesio presentaron clorosis internerval en las hojas ubicadas en el tercio medio, progresando, posteriormente, hacia las hojas más viejas.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum* L., disturbio nutricional, diagnosis foliar

## Symptoms of Macronutrients Deficiency in Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.)

### Summary

This study aimed to describe the macronutrients deficiency symptoms and determine the leaf content of the nutrient in the appearance of the symptoms of deficiency in sweet pepper. The experiment was conducted in a greenhouse, using the Nutrient Film Technique (NFT). The treatments consisted of the omission of macronutrients in the nutrient solution, in addition to a treatment with complete nutrient solution. The foliar nutrient contents at the appearance of the symptoms of deficiency were 27.6,

0.7, 26.1, 9.6, and 1.1 g kg<sup>-1</sup> for nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium. Nitrogen deficiency began with the chlorosis of the plant, followed by abortion of flowers, paralysis of apical growth, appearance of black dots and senescence of older leaves. Phosphorus deficiency began with the dark green of the leaves, followed dorsal surface of the veins became purple, abortion of flowers, curling of new leaves, growth stalling, limbo discoloration of old leaves and abscission of older leaves. Potassium deficiency began with chlorosis and necrosis of the margins of young leaves, evolving to older leaves that also presented necrosis in the interveinal region, followed by the paralysis of apical growth. Calcium deficiency symptoms were characterized by the occurrence of fruits with blossom-end rot. Magnesium deficiency symptoms were characterized by interveinal chlorosis of the middle third of the plant, progressing to the older leaves.

**Keywords:** *Capsicum annuum* L., nutritional disorder, leaf tissue analysis

## Introducción

Entre los diversos métodos para evaluar el estado nutricional de las plantas, el diagnóstico visual y el diagnóstico foliar tienen gran relevancia (Römheld, 2012). La evaluación del estado nutricional de las plantas mediante el diagnóstico visual tiene una enorme importancia práctica ya que es realizada directamente en el campo, de forma rápida y poco costosa. Este método permite comparar los síntomas de deficiencia nutricional observados en un determinado cultivo, con los padrones de cada nutriente descritos en la literatura (Fontes, 2006). En ese sentido, una buena caracterización, descripción y toma de fotografías coloridas desde el inicio de la visualización de los síntomas de deficiencia ayudan a mejorar la eficiencia del diagnóstico nutricional de los cultivos.

No obstante, se debe considerar que la visualización de los síntomas, por sí sola, no es suficiente para hacer un diagnóstico definitivo del estatus nutricional de la planta. Así, la diagnosis visual junto a la diagnosis foliar realizada a través del análisis químico de las hojas (órgano con mayor actividad metabólica, donde las variaciones en la nutrición de la planta puede ser observadas con más facilidad), contribuyen a aumentar la seguridad en la evaluación del estado nutricional de las plantas (Römheld, 2012).

Los estudios caracterizando los síntomas de deficiencia nutricional en hortalizas de importancia económica han sido cada vez más frecuentes en Brasil, teniendo destaque la lechuga (Almeida et al., 2011; Tischer y Siqueira Neto, 2012), berenjena (Flores et al., 2015), beterraga (Alves et al., 2008), coliflor (Avalhães et al., 2009a; Bianco, Cecílio Filho y Carvalho, 2015), pepino (Silva et al., 2011; Carmo, Costa y Cecílio Filho, 2015), ají (Flores et al., 2012; Viégas et al., 2013; Silva, 2014), repollo (Avalhães et al., 2009b) y tomate (Oliveira et al., 2009).

Por otro lado, en el cultivo del pimiento no hay estudios recientes caracterizando el inicio de los síntomas de defi-

ciencia de nutrientes asociados a sus concentraciones foliares, ni descripciones de la evolución de los síntomas con imágenes. En el trabajo pionero hecho por Fernandes y Haag (1972) en el pimiento, solamente se describen los síntomas de deficiencia con sus respectivas concentraciones foliares, sin presentar imágenes de los síntomas.

De esta forma, el presente trabajo tuvo como objetivos la descripción de los síntomas de deficiencia de macronutrientes y la determinación de sus concentraciones foliares asociados con el inicio de la visualización de los síntomas en el pimiento.

## Materiales y métodos

El experimento fue realizado en un invernadero localizado en la Universidad Estatal Paulista (UNESP), a 21°15'22" S, 48°18'58" O y altitud de 575 m, en el municipio de Jaboticabal, São Paulo, Brazil. Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en la omisión individual de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre en la solución nutritiva más el tratamiento con la solución nutritiva completa. La unidad experimental estuvo compuesta por un canal de cultivo con cuatro plantas.

Las plántulas del híbrido de pimiento Magali fueron producidas en una placa de espuma fenólica, con 216 celdas de 2,5 x 2,5 x 3,8 cm, con una plántula por celda. A los diez días de la emergencia, las plántulas de la espuma fenólica fueron colocadas y mantenidas en pequeños canales hidropónicos (sistema NFT), de 5 cm de ancho, denominados de «guardería», en que recirculaba la solución nutritiva completa propuesta por Castellane y Araújo (1994). Treinta y cinco días después de la emergencia, las plántulas fueron transferidas a los canales de cultivo definitivos (con dimensiones de 2 m de largo, 0,2 m de ancho y 0,1 m de altura), los cuales estaban cubiertos con papel tipo Tetra Pak y donde se hicieron aberturas circulares de 0,05 m de

diámetro (distanciados en 0,40 m), destinadas a la colocación de las plántulas. Los canales de la «guardería» como los canales definitivos, utilizaban soportes de metal y tenían 5 % de declividad. Al final de cada canal de cultivo definitivo, en el punto más bajo, se colocó un tanque de polietileno (con capacidad de 150 litros) para almacenar la solución nutritiva. Dentro de cada tanque se puso una pequeña bomba (650 L h<sup>-1</sup>), la cual hacía recircular la solución nutritiva, vía manguera, desde las 07:00 hasta las 19:00 h, sin interrupción.

El análisis del agua de irrigación utilizada para preparar las soluciones tenía en su composición: CE = 0,17 dS m<sup>-1</sup>, alcalinidad (bicarbonatos) = 87 mg L<sup>-1</sup>, nitrógeno (nitrito) = 0,07 mg L<sup>-1</sup>, potasio = 2 mg L<sup>-1</sup>, calcio = 16 mg L<sup>-1</sup> y magnesio = 0,4 mg L<sup>-1</sup>. Las soluciones nutritivas utilizadas fueron hechas con base en la solución nutritiva de Castellane y Araújo (1994) para pimiento, pero con modificaciones. En la solución nutritiva completa se tenían 154 mg L<sup>-1</sup> de nitrógeno (en la forma de nitrito); 39 mg L<sup>-1</sup> de fósforo; 245 mg L<sup>-1</sup> de potasio; 110 mg L<sup>-1</sup> de calcio; 29 mg L<sup>-1</sup> de magnesio; 38 mg L<sup>-1</sup> de azufre; 0,3 mg L<sup>-1</sup> de boro; 0,05 mg L<sup>-1</sup> de cobre; 3,7 mg L<sup>-1</sup> de hierro; 0,4 mg L<sup>-1</sup> de manganeso; 0,05 mg L<sup>-1</sup> de molibdeno y 0,3 mg L<sup>-1</sup> de zinc. En el Cuadro 1 se observan las cantidades de fertilizantes utilizadas para la preparación de las soluciones nutritivas conteniendo los macronutrientes. En el caso de los micronutrientes se utilizaron para 1000 L de solución 1,76 g de ácido bórico, 0,22 g de sulfato de cobre, 61 g de Fe-EDDHMA, 1,5 g de sulfato de manganeso, 0,09 g de molibdato de amonio y 1,4 g de sulfato de zinc.

El pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva fue mantenida entre 6,0-6,5 y 1,5-1,8 dS m<sup>-1</sup>. Hasta 35 días después de la transferencia de las plántulas para los cana-

les definitivos, coincidiendo con el inicio de la fructificación, todos los tratamientos recibieron la solución nutritiva completa. A partir de ese punto, se omitieron nutrientes conforme cada tratamiento. Las soluciones nutritivas fueron cambiadas cada 21 días hasta el comienzo de la aplicación de los tratamientos y cada 14 días después de la implantación de los mismos. Excepto para el calcio, el mantenimiento del nivel de las soluciones en los tanques, para los demás tratamientos fue hecho con agua de irrigación. Por otro lado, debido a la presencia de 16 mg L<sup>-1</sup> de calcio en el agua de irrigación, la preparación y el mantenimiento de los niveles de las soluciones en los tanques, en relación al tratamiento con la omisión de Ca, fueron realizadas con agua desionizada.

Las plantas fueron conducidas con cuatro tallos, tutorados individualmente (utilizando cinta plástica), distribuyendo dos tallos para cada lado del canal de cultivo, configurando una conducción en forma de «V».

Los síntomas de la omisión de macronutrientes fueron descritos y registrados diariamente, cuando se manifestaron en todas las repeticiones, por medio de fotos, utilizando una cámara digital de 10 megapíxeles de resolución (Sony, modelo DSC-H70). También, fueron determinadas las concentraciones de los macronutrientes (promedio ± desviación estándar) en las hojas donde se iniciaron los síntomas de deficiencia o en la hoja de diagnóstico foliar (Trani y Raij, 1997) cuando comenzaron los síntomas de deficiencia en los frutos. La hoja de diagnóstico foliar para la evaluación del estado nutricional del pimiento corresponde a la colecta de la hoja madura más reciente de la planta, desde el florecimiento hasta la mitad del ciclo.

**Cuadro 1.** Cantidad de fertilizantes de la solución nutritiva completa y de las soluciones con la omisión de macronutrientes en el cultivo del pimiento.

Tratamiento	NC	NK	MAP	MKP	CC	CK	SK	AK	SM	NM	AN
	g 1000 L <sup>-1</sup>								mL 1000 L <sup>-1</sup>		
Completo	579	494	-	170	-	35	-	-	290	-	-
Sin N	-	-	-	170	407	69	-	400	290	-	-
Sin P	579	494	-	-	-	129	-	-	290	-	-
Sin K	579	-	150	-	-	-	-	-	290	-	53
Sin Ca	-	681	150	-	-	-	-	-	290	-	55
Sin Mg	579	255	150	-	-	-	224	-	-	-	16
Sin S	579	303	-	170	-	166,7	-	-	-	358	-

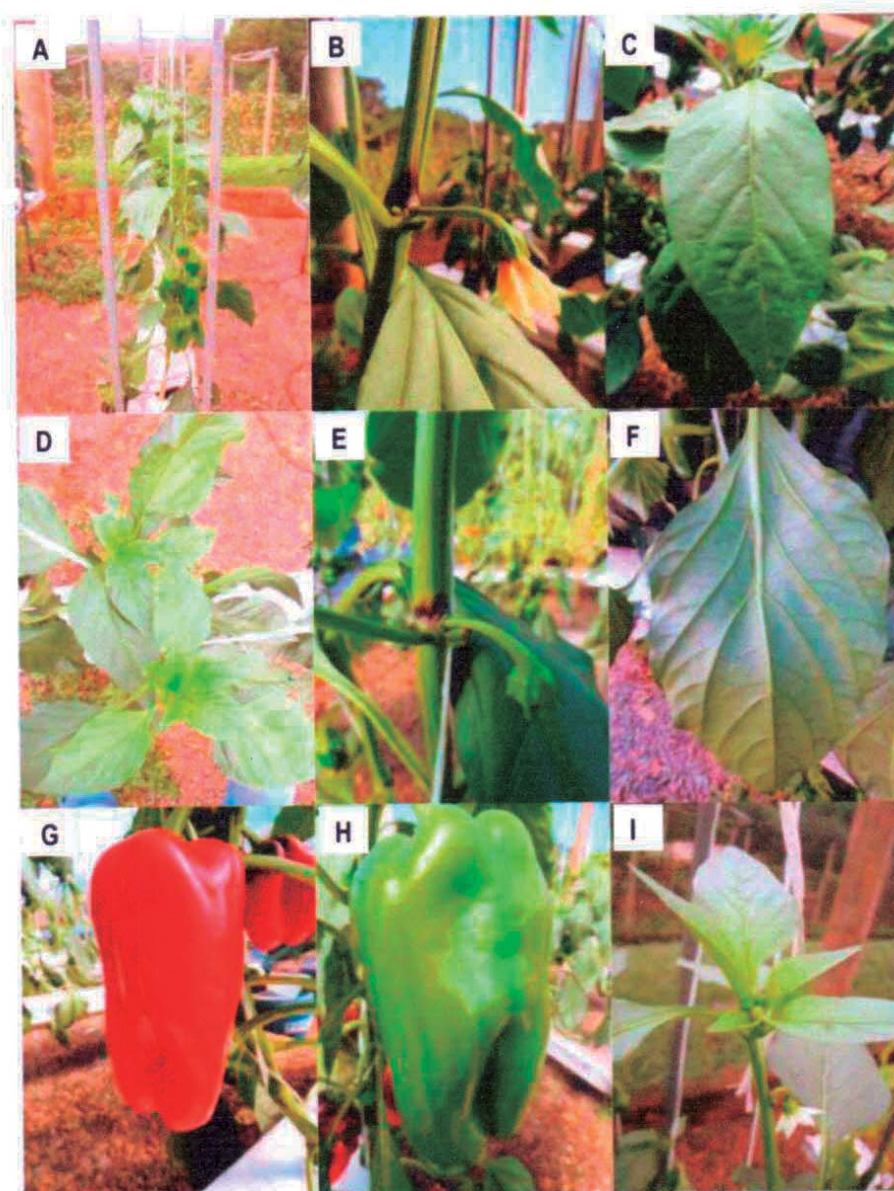
NC = nitrato de calcio; NK = nitrato de potasio; MAP = fosfato monoamónico; MKP = fosfato monopotásico; AN = ácido nítrico; CC = cloruro de calcio; CK = cloruro de potasio; SK = sulfato de potasio; AK = acetato de potasio; SM = sulfato de magnesio; NM = nitrato de magnesio.

## Resultados y discusión

### Solución nutritiva completa

A lo largo de todo el ciclo, las plantas que recibieron la solución nutritiva completa mostraron un crecimiento y desarrollo normal de sus hojas, tallos y frutos (Figuras 1A y 1D). Las plantas estaban vigorosas y presentaron un creci-

miento activo hasta el final del experimento. Las hojas tenían una coloración verde uniforme, intensa y brillante (Figuras 1C y 1F), así como los frutos cuando están verdes (Figura 1H). Las flores estaban bien desarrolladas (Figura 1I) y había buena fijación de los frutos (Figuras 1B y 1E). La maduración de los frutos fue uniforme y cuando estuvieron maduros, tenían una coloración roja brillante e intensa (Figura 1G).



**Figura 1.** Aspectos del pimiento cultivado en la solución nutritiva completa: (A) parte aérea a los 13 días después de la omisión de nutrientes (DDO); (B) flor a los 21 DDO; (C) hoja superior a los 32 DDO; (D) ápices de la planta a los 13 DDO; (E) fruto a los 21 DDO; (F) envés de la hoja a los 48 DDO; (G) fruto maduro a los 48 DDO; (H) fruto verde a los 48 DDO; (I) ápice de la planta a los 64 DDO.

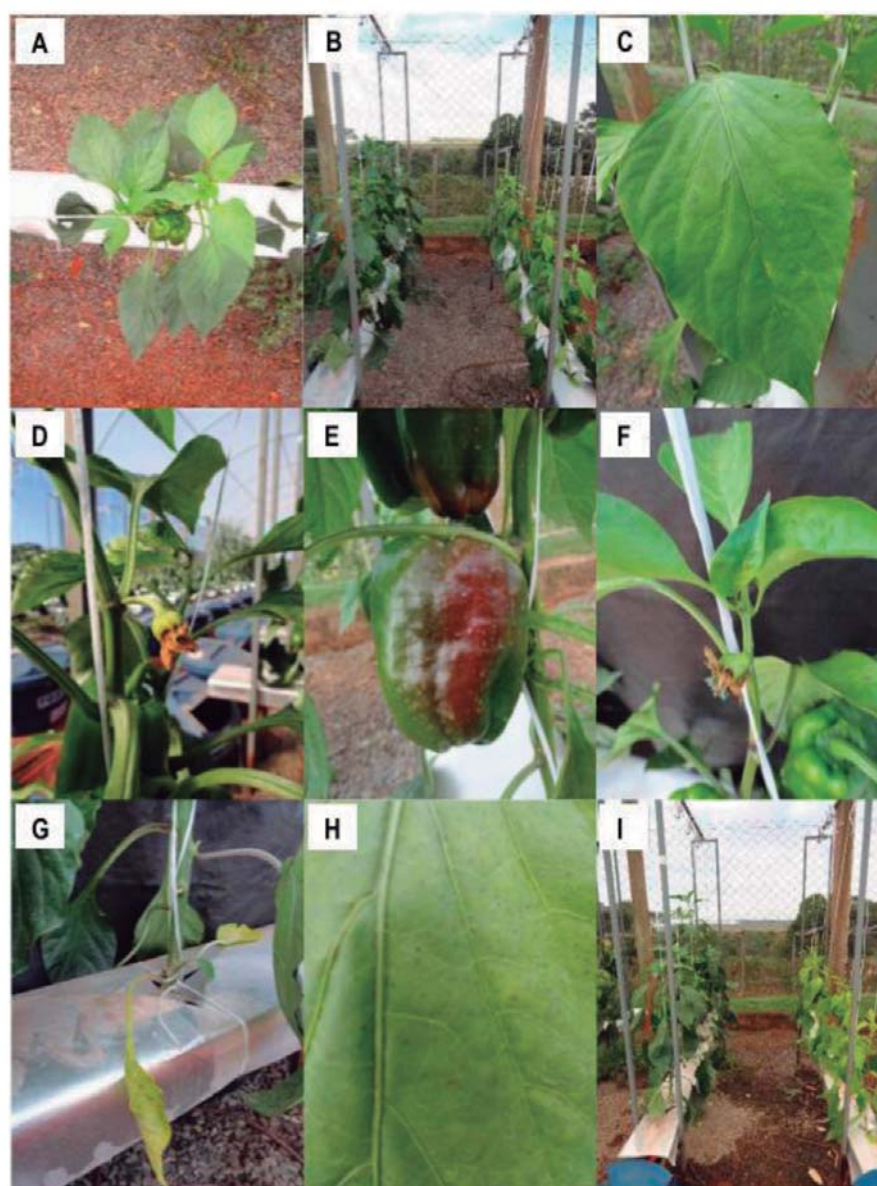


### Omisión de nutrientes

El orden de la aparición de los primeros síntomas de deficiencia nutricional fue: a los 11 días (nitrógeno), 17 días (calcio), 21 días (fósforo), 24 días (potasio) y 34 días (magnesio) después de la omisión (DDO) de nutrientes. Por otro lado, no fueron observados los síntomas de deficiencia de azufre hasta el final del experimento.

### Nitrógeno

La rapidez en la aparición de los síntomas por la falta de nitrógeno, en comparación con los otros macronutrientes, también fue reportada por Fernandes y Haag (1972) en el pimiento. Al momento de la visualización de los síntomas de la deficiencia de nitrógeno, la planta estaba iniciando el proceso de fructificación (79 días de ciclo), período durante el



**Figura 2.** Síntomas de deficiencia de nitrógeno en el pimiento: (A) clorosis de las plantas; (B) plantas con omisión de nitrógeno (derecha) y con la solución completa (izquierda) a los 28 DDO; (C) desverdeamiento del limbo de la hoja nueva; (D) caída de flores; (E) maduración precoz de los frutos; (F) paralización del crecimiento apical; (G) clorosis de las hojas viejas; (H) pequeñas puntuaciones oscuras en el limbo; (I) plantas con omisión de nitrógeno (derecha) y con la solución completa (izquierda) a los 53 DDO.

cual hay una alta demanda por nitrógeno (Charlo et al., 2012).

El síntoma inicial de la deficiencia de nitrógeno, que fue caracterizado por la pérdida o disminución de la tonalidad verde de la planta como un todo (hojas y tallos) (Figuras 2A, 2B y 2C), no ha sido reportado en la literatura. A diferencia de este trabajo, Fernandes y Haag (1972) constataron, inicialmente, la presencia de clorosis en las hojas viejas de la planta de pimiento debido a la deficiencia de nitrógeno.

Se constató que al momento de la aparición de los primeros síntomas de la deficiencia de nitrógeno (hojas ubicadas en el tercio inferior de la planta), la concentración de ese nutriente ( $27,6 \pm 0,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) estaba por debajo del rango de concentraciones adecuadas ( $30\text{-}60 \text{ g kg}^{-1}$  de nitrógeno) para el pimiento, según Trani y Rajij (1997) (Cuadro 2). Por otro lado, en las hojas localizadas en la misma posición (tercio inferior) pero en las plantas cultivadas con la solución nutritiva completa, la concentración de nitrógeno ( $34,5 \pm 0,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) estaba dentro del rango de concentraciones adecuadas para el pimiento (Trani y Rajij, 1997) (Cuadro 2).

De acuerdo con el reporte de las concentraciones de nitrógeno (hojas del tercio inferior) de las plantas cultivadas con la solución nutritiva completa y sin nitrógeno, probablemente hubo redistribución de ese nutriente después de su omisión en la solución nutritiva, causando clorosis en las hojas viejas. Este fenómeno se produce debido a la alta movilidad del N en la planta y por la necesidad de acompañar el rápido crecimiento de los órganos jóvenes (Hawkesford et al., 2012). En relación al amarillamiento que se observó en las partes media y superior de la planta, este puede ser atribuido al recorrido del nitrógeno desde las hojas viejas hacia los frutos (drenajes preferenciales en la planta), y debido a la omisión de nitrógeno en la solución nutritiva no hubo cantidad suficiente para atender de forma rápida la demanda por nitrógeno del meristemo apical, de la

parte aérea y de las hojas adyacentes, causándoles también clorosis.

El agravamiento de la deficiencia de nitrógeno causó el aborto de flores (Figura 2D), así como había sido observado por Fernandes y Haag (1972) en el pimiento. También, los frutos presentaron un color verde claro y maduraron prematuramente (Figura 2E) en relación a los frutos de las plantas cultivadas en la solución nutritiva completa.

A los 36 días de la omisión de nitrógeno, en el limbo de las hojas comenzaron a aparecer puntuaciones oscuras y seguidamente las hojas presentaron una clorosis marcada (Figura 2H). Con la permanencia de las plantas de pimiento en la solución nutritiva sin nitrógeno, el color verde pálido que tenían las hojas inferiores (viejas) cambió a un color amarillento y sin brillo (Figura 2G), mientras que las hojas superiores permanecieron con un color verde claro y con el crecimiento paralizado (Figura 2F). La evolución de los síntomas de deficiencia de nitrógeno observados en este trabajo concuerda con el descrito por Fernandes y Haag (1972) en el pimiento, y por Flores et al. (2012) en el ají (*Capsicum frutescens*).

Durante todo el ciclo del pimiento, las plantas deficientes en nitrógeno tuvieron un menor crecimiento hasta su paralización total (Figura 2I). Este hecho se explicaría por la alta demanda de ese nutriente en muchos componentes de la célula vegetal, incluyendo enzimas, aminoácidos y ácidos nucleicos necesarios para la división y para la multiplicación celular, procesos relacionados con el crecimiento de las plantas (Taiz y Zeiger, 2013).

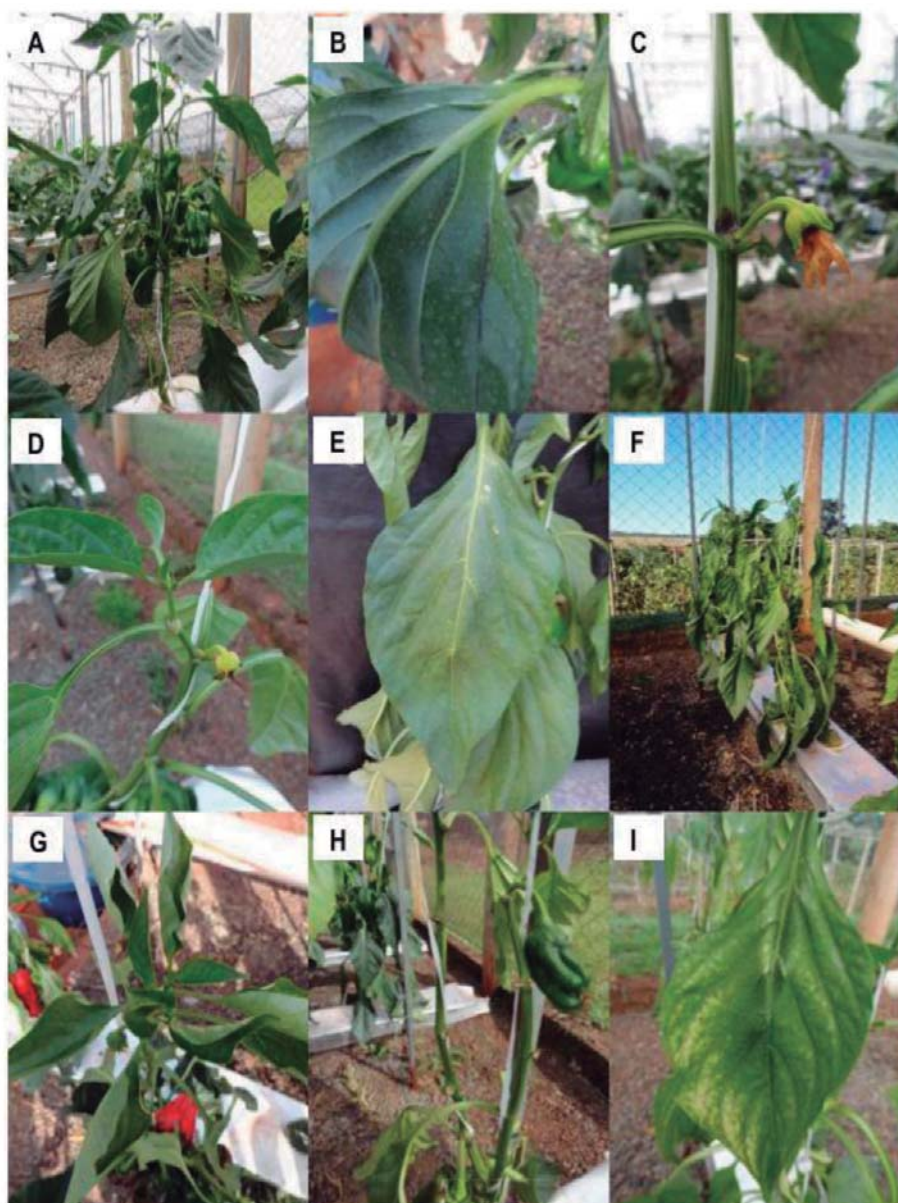
#### Fósforo

El síntoma inicial de la deficiencia de fósforo fue caracterizado por la aparición de un color verde más oscuro en las partes más jóvenes de la planta en relación a las más viejas (Figura 3A). Ese síntoma concuerda con el descrito por

**Cuadro 2.** Concentraciones foliares del nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), debido a la omisión de nutrientes y en las plantas cultivadas en la solución nutritiva completa, en comparación a los rangos adecuados de nutrientes para el pimiento.

Fuente	N g kg <sup>-1</sup>	P g kg <sup>-1</sup>	K g kg <sup>-1</sup>	Ca g kg <sup>-1</sup>	Mg g kg <sup>-1</sup>
Hoja deficiente <sup>1</sup>	27,6 ± 0,4	0,7 ± 0,0	26,1 ± 3,0	9,6 ± 0,4	1,1 ± 0,1
Hoja (solución completa) <sup>2</sup>	34,5 ± 0,4	4,7 ± 0,2	69,4 ± 6,0	14,0 ± 0,6	5,6 ± 0,4
Trani y Rajij (1997) <sup>3</sup>	30 - 60	3 - 7	40 - 60	10 - 35	3 - 12

<sup>1</sup> Concentración foliar del nutriente omitido en la solución nutritiva cuando se observó la deficiencia; <sup>2</sup> concentración del nutriente en plantas cultivadas en la solución nutritiva completa; <sup>3</sup> estado nutricional adecuado.



**Figura 3.** Síntomas de deficiencia de fósforo en el pimiento: (A) coloración verde oscura de las hojas; (B) coloración púrpura de las nervaduras; (C) caída de flores; (D) paralización del crecimiento apical; (E) clorosis de las hojas viejas; (F) aspecto general de las plantas a los 36 DDO; (G) enrollamiento de las hojas nuevas; (H) senescencia de las hojas viejas; (I) manchas cloróticas en el limbo foliar.

Pinto et al. (2006), pero en las hojas más viejas de las plantas de ají, las cuales tenían un color verde oscuro o verde azulado.

En las hojas ubicadas en el tercio superior de la planta donde aparecieron los primeros síntomas, la concentración de fósforo fue  $0,7 \pm 0,0 \text{ g kg}^{-1}$ , mientras que en esas mismas hojas, pero en las plantas sometidas al tratamiento

con la solución nutritiva completa, la concentración de fósforo fue  $4,7 \pm 0,2 \text{ g kg}^{-1}$ , estando dentro del rango de niveles adecuados ( $3-7 \text{ g kg}^{-1}$ ) para el pimiento, según Trani y Raij (1997) (Cuadro 2).

A los 32 días de la omisión de fósforo, las hojas más viejas comenzaron a mostrar en las nervuras tonos violáceos (Figura 3B). La deficiencia de fósforo puede causar,

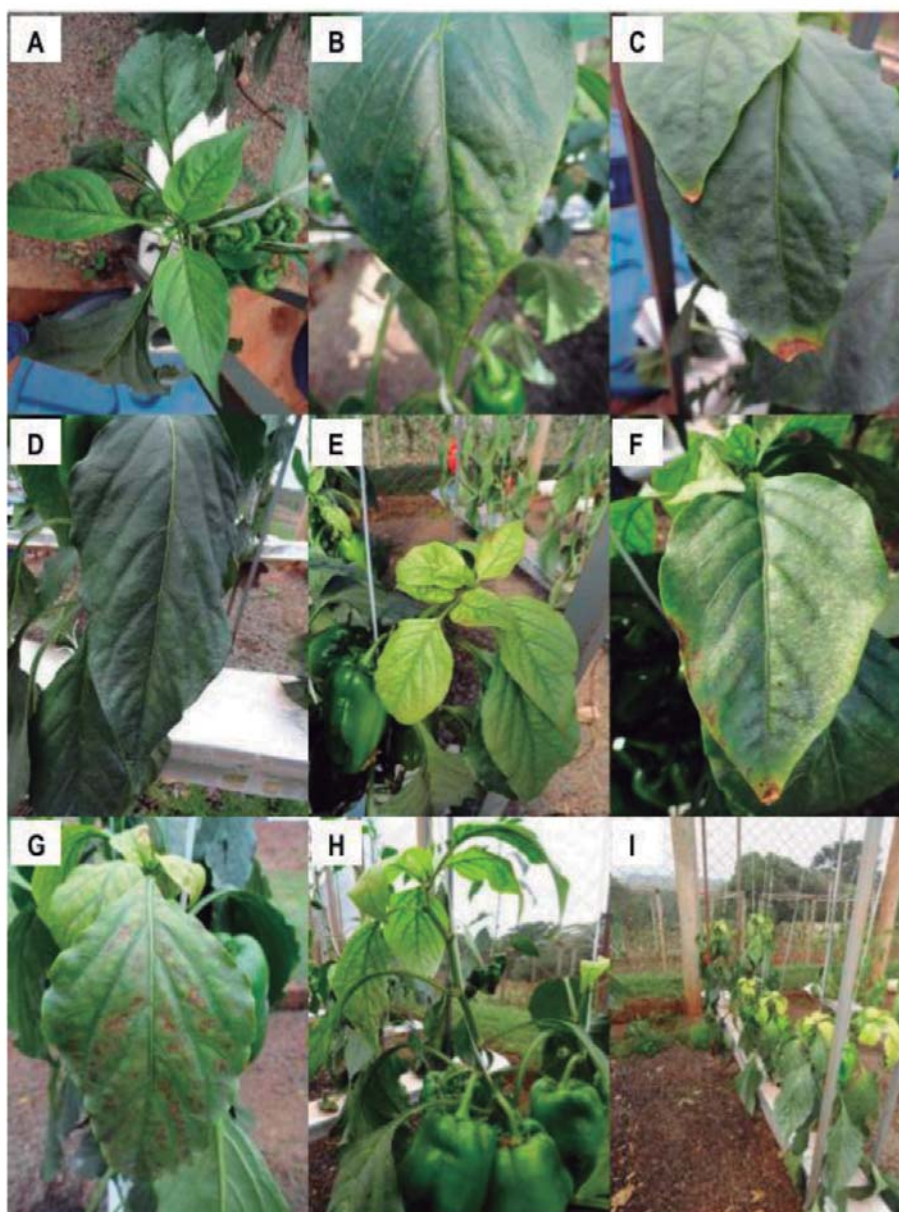


especialmente a lo largo de las nervuras de las hojas, la visualización de pigmentos rojos, violáceos y marrones, debido a la acumulación de antocianina en las vacuolas (Epstein y Bloom, 2006).

Posteriormente, las hojas más viejas comenzaron a mostrar un desverdezado (Figura 3E), que más tarde evolucionó a manchas cloróticas (Figura 3I). El desverdeamiento puede ser debido a la descomposición moderada

de las clorofilas y a la redistribución de fósforo para las hojas nuevas. La clorosis en las hojas más viejas del pimiento también fue relatada por Fernandes y Haag (1972), pero en el ápice del limbo con la porción basal de color verde oscuro.

La deficiencia de fósforo causó el amarillamiento de los pedúnculos y cálices antes de la severa caída de flores (Figura 3C), además de entrenudos cortos, hojas con



**Figura 4.** Síntomas de deficiencia de potasio en el pimiento: (A) clorosis en las hojas nuevas; (B) necrosis del borde de las hojas; (C) necrosis del ápice de la hoja; (D) inicio de la clorosis internerval en las hojas viejas; (E) paralización del crecimiento apical; (F) puntuaciones cloróticas en el limbo foliar; (G) necrosis internerval de las hojas; (H-I) aspecto general de las plantas a los 59 DDO.



aparición quebradiza (Figuras 3F y 3H), abscisión foliar y enrollado de la hoja con el haz para adentro (Figura 3G). Por otro lado, no hubo caída de los frutos ya establecidos. En deficiencia avanzada de fósforo, Fernandes y Haag (1972) verificaron la caída de flores y el enrollado de la hoja en el pimiento y Pinto et al. (2006) constataron la caída de hojas en el ají. Adicionalmente, las hojas nuevas de la planta, a pesar de mostrar un color verde menos intenso, no estaban amarillentas, caracterización que también concuerda con el reporte hecho por Fernandes y Haag (1972) en el pimiento.

La paralización del crecimiento de las plantas de pimiento fue constatada 41 días después de la omisión de fósforo (Figura 3D). La alta movilidad de fósforo en la planta favorece la rápida redistribución de ese nutriente no metabolizado, desde la vacuola de las células presentes en las hojas a los nuevos órganos, cuyo crecimiento cesa cuando acaba la reserva del nutriente en el sustrato del cultivo (Schachtman, Reid y Ayling, 1998). Flores et al. (2012) observaron que la omisión de fósforo causó perjuicio sobre el crecimiento de las plantas de la especie *capsicum frutescens*, que quedaron raquíticas.

#### Potasio

Inicialmente, en las plantas deficientes en potasio se observó la presencia de una clorosis marginal en las hojas localizadas en el tercio superior, es decir, en las más nuevas (Figuras 4A, 4H y 4I). Ese síntoma concuerda con el descrito por Fernandes y Haag (1972), aunque los autores hayan informado que antes de la clorosis se constató una alta densidad de hojas en la parte superior del pimiento, debido a la formación de internodios cortos. La clorosis presente en las hojas de la región intermedia de las plantas, que después alcanzó a las hojas más jóvenes, también fue verificada por Pinto et al. (2006) en el ají.

Después de la ocurrencia de la clorosis (Figuras 4D y 4F) hubo necrosis en parte del tejido foliar clorótico ubicado en el ápice y en los bordes de las hojas (Figuras 4B y 4C), concordando con el reporte hecho por Fernandes y Haag (1972) en el pimiento. Pinto et al. (2006) también mencionan la presencia de puntuaciones necróticas entre las nervaduras de las hojas de ají, lo cual también fue verificado en este trabajo (Figura 4G). Debido a que la función más importante del potasio es como activador enzimático, la deficiencia de ese nutriente causa menor síntesis de proteínas y mayor acumulación de compuestos nitrogenados solubles, tales como la putrescina, la N-carbamilputrescina y la agmatina, siendo la putrescina un compuesto fitotóxico y causante de

la necrosis del tejido foliar (Mengel, 2007; Hawkesford et al., 2012).

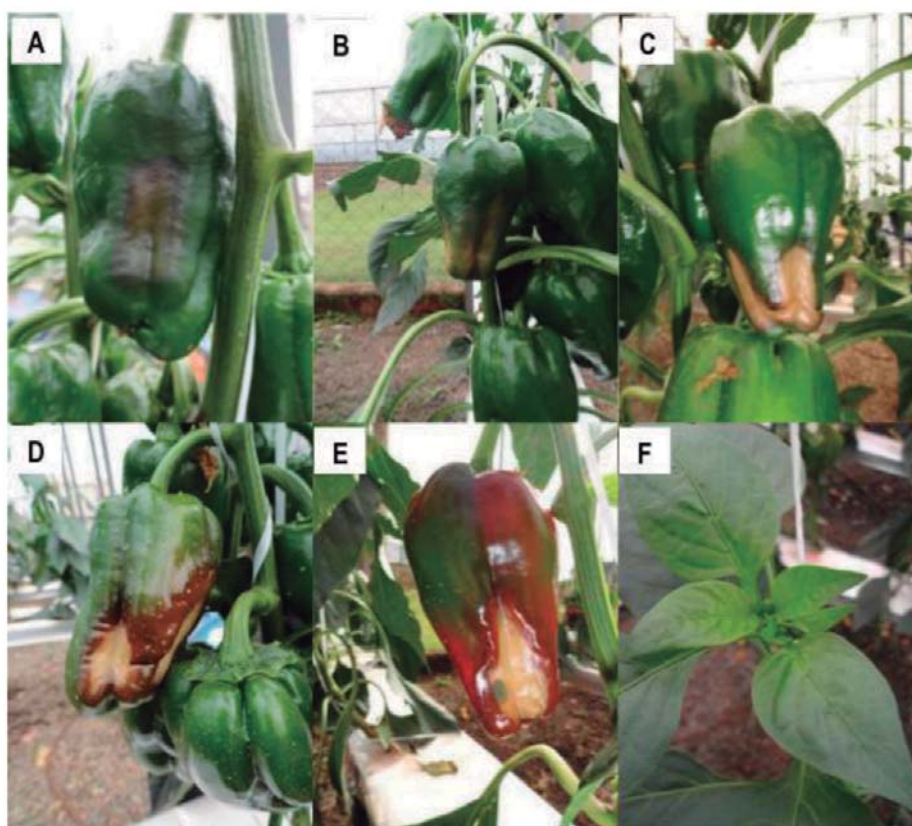
Por otra parte, la ubicación donde fueron observados los síntomas iniciales de la deficiencia de potasio en la planta, que concuerda con los reportes hechos por Fernandes y Haag (1972) y Pinto et al. (2006), diverge de la constatada por Flores et al. (2012) en el ají *Capsicum frutescens*, quienes relataron la aparición de clorosis en las márgenes de las hojas más viejas, expandiéndose en dirección a la nervadura central, pudiendo alcanzar a toda la lámina foliar. El síntoma que fue constatado tanto por estos autores como en este estudio fue la necrosis. Ocurrió principalmente en los ápices foliares, presentándose como un evento posterior a la clorosis.

Hojas curvadas, tallos delgados y débiles, caída de hojas basales y paralización del crecimiento del pimiento (Figura 4E) también fueron verificados con la deficiencia de potasio, lo cual concuerda con el relato de Pinto et al. (2006) en el ají.

La concentración de potasio en las hojas del tercio superior (donde se inició el síntoma de deficiencia) de las plantas cultivadas sin ese nutriente en la solución nutritiva fue  $26,1 \pm 3,0 \text{ g kg}^{-1}$ . Por otra parte, la concentración de potasio en las hojas de la misma posición, pero en plantas cultivadas con la solución nutritiva completa, fue  $69,4 \pm 6,0 \text{ g kg}^{-1}$ . La concentración de potasio verificada en las hojas deficientes fue inferior al rango de concentraciones adecuadas ( $40\text{-}60 \text{ g kg}^{-1}$  de potasio) para el pimiento, según Trani y Raji (1997) (Cuadro 2).

#### Calcio

El síntoma inicial de la deficiencia de calcio fue observado en los frutos en crecimiento. Es conocido como pudrición estilar, pudrición apical o *Blossom-end rot*, y afecta también al tomate, berenjena y melón. Primeramente, fue constatada la aparición de una mancha en la superficie del fruto, en la región opuesta a la inserción del pedúnculo (Figuras 5A y 5B). La mancha se destacaba por ser ligeramente más oscura que el tejido de la epidermis del fruto, dando la impresión de ser un tejido húmedo. La evolución del desorden fisiológico fue caracterizada por la muerte del tejido, retratado por la presencia de manchas de color marrón claro (Figuras 5C, 5D y 5E). Posteriormente, ocurrió la paralización del crecimiento del fruto, la pudrición del tejido necrótico y el aceleramiento de la maduración. Todos los síntomas descritos, así como los factores y mecanismos que la ocasionan, coinciden con la caracterización hecha por



**Figura 5.** Síntomas de deficiencia de calcio en el pimiento: (A-E) evolución de la pudrición apical de los frutos; (F) aspecto del ápice de las plantas a los 64 DDO.

Tonetto de Freitas y Mitcham (2012) sobre este disturbio nutricional.

Así como otros síntomas de deficiencia nutricional, la pudrición apical o estilar es la exteriorización de una serie de eventos que ocurren a nivel molecular y celular, que se iniciaron en los días previos a la visualización. Sin embargo, a diferencia de muchos síntomas como la clorosis, el enanismo y las manchas, en los cuales no hay muerte de tejidos, una vez desencadenado el proceso de la pudrición apical no hay manera de revertirlo, debiendo actuar de forma preventiva para su control. Por lo general, este disturbio nutricional ocurre en las primeras semanas después de la antesis.

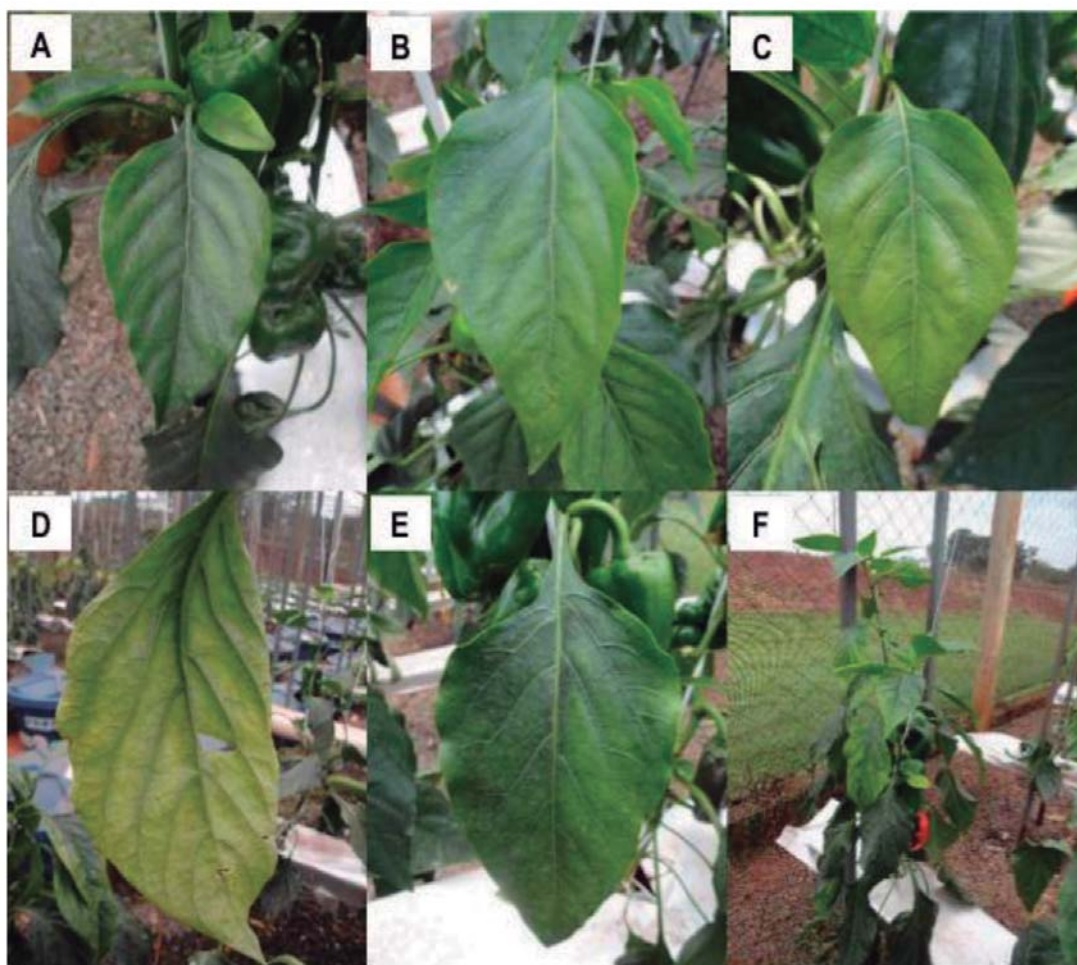
Por otro lado, no se observaron deformaciones en las hojas nuevas ni hubo reducción drástica del crecimiento y del número de hojas; tampoco hubo manchas necróticas entre las nervaduras en las puntas de las hojas y la muerte de brotes (Figura 5F), los cuales son síntomas característicos del desorden conocido como *tipburn* (Olle y Bender, 2009). Tampoco fue observado el amarillamiento de las hojas

viejas, conforme constataron Fernandes y Haag (1972) en el pimiento.

En el momento de la visualización de los síntomas de deficiencia de calcio en los frutos, la concentración de ese nutriente en la hoja de diagnóstico nutricional era de  $9,6 \pm 0,4 \text{ g kg}^{-1}$ . Este valor está por debajo del rango de concentraciones adecuadas para el pimiento ( $10\text{-}35 \text{ g kg}^{-1}$  de calcio), citado por Trani y Raij (1997) (Cuadro 2). En el mismo tipo de hojas y en la misma época de aparición del primer síntoma de deficiencia de calcio pero en plantas cultivadas con la solución nutritiva completa, la concentración de calcio era de  $14,0 \pm 0,6 \text{ g kg}^{-1}$ , valor que está dentro del rango recomendado para el pimiento por Trani y Raij (1997) (Cuadro 2).

#### *Magnesio*

Inicialmente, fue constatada una clorosis internerval en las hojas situadas en el tercio medio de las plantas (Figuras 6A y 6B), creciendo en intensidad y expandiéndose hacia



**Figura 6.** Síntomas de deficiencia de magnesio en el pimiento: (A-E) clorosis de las hojas del tercio medio y tercio superior; (F) aspecto general de las plantas a los 53 DDO.

las hojas del tercio superior (Figuras 6C, 6D, 6E y 6F) a medida que avanzaba el ciclo de cultivo del pimiento.

El síntoma de la clorosis se debe a la disminución de la clorofila, lo cual puede haber causado la rápida desestructuración del cloroplasto (Bondada y Syvertsen, 2003; Feller, Anders y Demirevska, 2008). En las hojas de las plantas deficientes en magnesio, los cloroplastos desarrollan grandes gránulos de almidón, la grana reduce su tamaño, queda irregular y vacuolizado, y a veces ocurre la lisis o rompimiento de la membrana de los cloroplastos (Chatterjee y Dube, 2004).

El síntoma de la deficiencia de magnesio observado en el presente trabajo, con respecto a su localización inicial y la descripción de parte de los síntomas, concuerda con los relatos hechos por Fernandes y Haag (1972) y Pinto et al. (2006) en el pimiento y ají, respectivamente. Por otro lado,

en el presente estudio no se constató el enrollamiento de las hojas cloróticas citado por esos autores.

Cuando la deficiencia de magnesio fue visualizada, la concentración de ese nutriente ( $1,1 \pm 0,1 \text{ g kg}^{-1}$ ) en las hojas del tercio medio era inferior al rango de concentraciones adecuadas para el pimiento ( $3\text{-}12 \text{ g kg}^{-1}$  de magnesio), según Trani y Raij (1997) (Cuadro 2). Entre tanto, en las hojas situadas en la misma posición, pero en plantas cultivadas en la solución nutritiva completa, la concentración de magnesio era de  $5,6 \pm 0,4 \text{ g kg}^{-1}$ , estando dentro del rango adecuado para el pimiento, conforme Trani y Raij (1997) (Cuadro 2).

#### *Azufre*

Hasta el final del experimento, no se observaron los síntomas característicos de la deficiencia de azufre,



verificándose solamente la reducción del crecimiento en altura de las plantas de pimiento. Según Malavolta (2006), el síntoma de la deficiencia de azufre se caracteriza por el amarillamiento de las hojas más jóvenes, debido a ser poco redistribuido desde las hojas más viejas, en razón de su baja movilidad en la planta. La poca exigencia de la planta por azufre y el hecho de que la omisión de nutrientes coincidió con el inicio de la fructificación, puede ser la posible explicación de que el azufre acumulado por la planta hasta ese momento fuese suficiente para no permitir la aparición de los síntomas visuales de deficiencia.

Las concentraciones de azufre en la hoja de diagnóstico nutricional y en las hojas localizadas en el ápice de las plantas de pimiento, realizadas a los 41 y 71 días después de la omisión, fueron  $5,8 \pm 0,1$  y  $6,1 \pm 0,2$  g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. En las mismas épocas, pero en las plantas cultivadas con la solución nutritiva completa, las concentraciones de azufre fueron  $6,2 \pm 0,3$  g kg<sup>-1</sup> (hoja de diagnóstico nutricional) y  $5,5 \pm 0,5$  g kg<sup>-1</sup> (hojas ubicadas en el ápice). Todas las concentraciones de azufre verificadas en este trabajo están por encima de la concentración adecuada (4 g kg<sup>-1</sup> de azufre) reportado por Malavolta, Vitti y Oliveira (1997) para el pimiento.

## Conclusiones

Las concentraciones foliares de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en pimiento, al momento de la aparición de los primeros síntomas de deficiencia son 27,6; 0,7; 26,1; 9,6 y 1,1 g kg<sup>-1</sup>. El orden de la aparición de los primeros síntomas de deficiencia nutricional fueron a los 11 días (nitrógeno), 17 días (calcio), 21 días (fósforo), 24 días (potasio) y 34 días (magnesio) después de la omisión de nutrientes.

La deficiencia del nitrógeno se inicia con la pérdida de la tonalidad verde de toda la planta, seguida por la caída de flores, paralización del crecimiento apical, apareamiento de puntuaciones negras y senescencia de las hojas viejas. La deficiencia de fósforo se manifiesta con la aparición de una coloración verde oscura y por la presencia de una coloración purpúrea en la nervura del envés en las hojas, seguida de la caída de flores, enrollamiento de las hojas nuevas, paralización del crecimiento, decoloración del limbo y aparición de manchas blanquecinas en las hojas viejas, además de la abscisión de las mismas. La deficiencia de potasio comienza con una clorosis internerval en el limbo de las hojas nuevas, seguida por la necrosis de los márgenes y ápices de las hojas, clorosis internerval de las hojas viejas, paralización del crecimiento apical, aparición de manchas

blanquecinas y necrosis acentuada en la región internerval en las hojas.

El síntoma de la deficiencia de calcio se caracteriza, principalmente, por la ocurrencia de frutos con pudrición apical. El síntoma de la deficiencia de magnesio se manifiesta, exclusivamente, por la aparición de una clorosis en las hojas ubicadas en el tercio medio de la planta, expandiéndose posteriormente hacia las hojas más viejas.

## Bibliografía

- Almeida, T. B. F., Prado, R. M., Correia, M. A. R., Puga, A. P. y Barbosa, J. C. (2011). Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. *Biomas*, 24(2), 27-36.
- Alves, A. U., Prado, R. M., Gondim, A. R. O., Fonseca, I. M. y Cecilio Filho, A. B. (2008). Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. *Horticultura Brasileira*, 26(2), 292-295.
- Avalhães, C. C., Prado, R. M., Correia, M. A. R., Rozane, D. E. y Romualdo, L. M. (2009a). Avaliação do estado nutricional de plantas de couve-flor cultivadas em solução nutritiva suprimidas de macronutrientes. *Nucleus*, 6(1), 250-261.
- Avalhães, C. C., Prado, R. M., Romualdo, L. M., Rozane, D. E. y Correia, M. A. R. (2009b). Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de plantas de repolho cultivado em solução nutritiva. *Bioscience Journal*, 25(5), 21-28.
- Bianco, M. S., Cecilio Filho, A. B. y Carvalho, L. B. (2015). Nutritional status of the cauliflower cultivar 'Verona' grown with omission of out added macronutrients. *PLoS One*, 10(4), e0123500.
- Bondada, B. R. y Syvertsen, J. P. (2003). Leaf chlorophyll, net gas exchange and chloroplast ultrastructure in citrus leaves of different nitrogen status. *Tree Physiology*, 23(8), 553-559.
- Carmona, V. V., Costa, L. C. y Cecilio Filho, A. B. (2015). Symptoms of nutrient deficiencies on cucumbers. *International Journal of Plant & Soil Science*, 8(6), 1-11.
- Castellane, P. D. y Araujo, J. A. C. (1994). *Cultivo sem solo: Hidroponia*. Jaboticabal: FUNEP.
- Charlo, H. C. O., Oliveira, S. F., Vargas, P. F., Castoldi, R., Barbosa, J. C. y Braz, L. T. (2012). Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. *Horticultura Brasileira*, 30(1), 125-131.
- Chatterjee, C. y Dube, B. K. (2004). Nutrient deficiency disorders in vegetables and their management. En K. G. Mukerji (Ed.). *Disease management of fruits and vegetables* (pp. 145-188). New York: Springer.
- Epstein, E. y Bloom, A. J. (2006). *Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas*. Londrina: Editorial Planta.
- Feller, U., Anders, I. y Demirevska, K. (2008). Degradation of rubisco and other chloroplast proteins under abiotic stress. *General and Applied Plant Physiology*, 34(1-2), 5-18.
- Fernandes, P. D. y Haag, H. P. (1972). Nutrição mineral de hortaliças: XXI efeito da omissão dos macronutrientes no crescimento e na composição química do pimentão (*Capsicum annum* L., var. *avela*). *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, 29, 223-235.
- Flores, R. A., Almeida, T. B. F., Politi, L. S., Prado, R. M. y Barbosa, J. C. (2012). Crescimento e desordem nutricional em pimenteira malagueta cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7(1), 104-110.

- Flores, R. A., Borges, B. M. M. N., Almeida, H. J. y Prado, R. M. (2015). Growth and nutritional disorders of eggplant cultivated in nutrients solutions with suppressed macronutrients. *Journal of Plant Nutrition*, 38(7), 1097-1109.
- Fontes, P. C. R. (2006). *Diagnóstico do estado nutricional das plantas*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Moller, I. y White, P. (2012). Function of macronutrients. En P. Marschner (Ed.). *Marschner's mineral nutrition* (pp. 135-178). Oxford: Elsevier.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres.
- Malavolta, E., Vitti, G. C. y Oliveira, S. A. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato.
- Mengel, K. (2007). Potassium. En A. V. Barker y D. J. Pillbeam (Eds.). *Hand book of plant nutrition* (pp. 135-178). Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Oliveira, R. H., Lima, M. J. S., Pereira-Junior, H. A., Rebouças, T. N. H., Morais, O. M., Guimarães, B. V. C. y Nolasco, C. A. (2009). Caracterização de sintomas visuais de deficiência de micronutrientes em tomateiro do grupo salada. *Semina: Ciências Agrárias*, 30(1), 1093-1100.
- Olle, M. y Bender, I. (2009). Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: A review. *Journal of the Horticultural Science and Biotechnology*, 84(6), 577-584.
- Pinto, C. M. F., Lima, P. C., Salgado, L. T. y Caliman, F. R. B. (2006). Nutrição mineral e adubação para pimenta. *Informe Agropecuário*, 27(235), 50-57.
- Römheld, V. (2012). Diagnosis of deficiency and toxicity of nutrients. En P. Marschner (Ed.). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 299-312). London: Academic Press.
- Schachtman, D. P., Reid, R. J. y Ayling, S. M. (1998). Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, 116(2), 447-453.
- Silva, M. P. S. (2014). *Macronutrientes e boro em Capsicum annum var. annum: Crescimento, composição mineral, sintomas de deficiência nutricional e produção de capsaicinoides* (Tesis de doctorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Goytacazes.
- Silva, G. F., Fontes, P. C. R., Lima, L. P. F., Araújo, T. O. y Silva, L. F. (2011). Aspectos morfoanatômicos de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) sob omissão de nutrientes. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 6(2), 13-20.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2013). *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre: ArtMed.
- Tischer, J. C. y Siqueira Neto, M. (2012). Avaliação da deficiência de macronutrientes em alface cresspa. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 16(2), 43-57.
- Tonetto de Freitas, S. y Mitcham, E. J. (2012). Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. En J. Janick (Ed.). *Horticultural Reviews* (pp. 107-146). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Trani, P. E. y Raji, B. (1997). Hortaliças. En B. Raji, H. Cantarella, J. A. Quaggio y A. M. C. Furlani (Eds.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* (pp. 157-164). Campinas: IAC. (Boletim Técnico, 100).
- Viégas, I. J. M., Sousa, G. O., Silva, A. F., Carvalho, J. G. y Lima, M. M. (2013). Composição mineral e sintomas visuais de deficiências de nutrientes em plantas de pimenta-longa (*Piper hispidinervum* C. DC.). *Acta Amazônica*, 43(1), 43-50.