

Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 29:654-661. (2017)
 ISSN: 2343-6468 Digital / Depósito Legal ppi 198702SU4231 ISSN: 1315-0162 Impreso / Depósito Legal pp 198702SU187

DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN EL CULTIVO DE FRIJOL (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

NUTRITIONAL DEFICIENCIES IN THE COWPEA (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) CROP

VÍCTOR FRANCO-SALAZAR, RAQUEL MÁRQUEZ, RAUXELIZ RODRÍGUEZ, PAOLA MORENO, JESÚS BOADA, BEDA ACUÑA,
 LUIS GUTIÉRREZ, MIGUEL SALAZAR, WILMARYS RIVAS, JURANNY GUTIÉRREZ, FABYOLA SUCRE, JOSÉ VÉLIZ

*Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Escuela de Ciencias, Departamento de Biología,
 Laboratorio de Fisiología Vegetal, Cumaná, Venezuela
 E-mail: vafrancos@gmail.com*

RESUMEN

El diagnóstico de las deficiencias nutricionales de los cultivos, permite ajustar las prácticas de fertilización para alcanzar los rendimientos económicos esperados. Para determinar deficiencias nutricionales en el frijol, se realizó una investigación mediante la técnica del elemento faltante en hidroponía. El trabajo se llevó a cabo en la Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. Se usó solución Hoagland con todos los nutrientes o restándole cada vez uno de los elementos constitutivos (-N, -P, -K, -Mg y -Fe). Se evaluó longitud, número de folíolos, biomasa, tasa relativa de crecimiento y síntomas visuales de deficiencia. En general, bajo la carencia de los elementos probados se vieron afectadas las variables evaluadas y se observó clorosis, necrosis y poco desarrollo foliar, radical y de la planta. El Fe fue el elemento faltante que más limitó el crecimiento y desarrollo del frijol, mientras que el -P fue el que menos lo afectó.

PALABRAS CLAVE: Hidroponía, síntomas de deficiencia, nutrientes.

ABSTRACT

The diagnosis of the nutritional deficiencies of the crops, allows adjusting the fertilization practices to reach the expected economic yields. To determine nutritional deficiencies in the cowpea, a research was done using the missing element technique in hydroponic culture. The work was carried out at the Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. Hoagland solution was used with all the nutrients or subtracting one of the constituent elements (-N, -P, -K, -Mg and -Fe). The length, number of leaflets, biomass, relative growth rate and visual symptoms of deficiency were evaluated. In general, under the lack of the tested elements, the evaluated variables were affected and chlorosis, necrosis and little leaf, root and plant development were observed. Fe was the missing element that most limited the growth and development of cowpea, while -P was the one that least affected it.

KEY WORDS: Hydroponic culture, symptoms of deficiency, nutrients.

Las plantas para garantizar el exitoso crecimiento y desarrollo de los tejidos vegetativos y reproductivos, pueden obtener un número de elementos minerales inorgánicos del ambiente, los cuales actúan como componentes estructurales en macromoléculas, factores en reacciones enzimáticas, solutos osmóticos para el mantenimiento del potencial hídrico y especies ionizadas para proveer el balance de carga en compartimientos celulares (Grusak 2001).

La caracterización del desarrollo foliar y de la planta en general, sumado a los síntomas de deficiencias de nutrientes pueden ser una ayuda en el diagnóstico de desórdenes y desbalances nutritivos (Yeh *et al.* 2000), siendo un valioso aporte para técnicos y productores, información que complementada con análisis de suelo y foliar, conduce a un diagnóstico adecuado del estado nutricional de la planta, lo cual es clave para una apropiada recomendación de fertilización.

Las deficiencias minerales afectan el crecimiento, limitando la biosíntesis o expresión

de componentes claves de captura de energía y/o metabolismo. Por ejemplo, deficiencias de N, Mg o Fe reducen la síntesis de clorofila y así la capacidad fotosintética, lo que resulta en clorosis de las hojas. Deficiencias de P, K o S afectan metabolitos o enzimas envueltas en la fotosíntesis o respiración; esto conduce a la inadecuada transferencia de energía luminosa hacia los enlaces químicos, o en el exporte de azúcares a partir del cloroplasto, y puede resultar en el desarrollo de lesiones necróticas en las hojas (Grusak 2001).

Los síntomas de deficiencia obedecen a la movilidad o no de los elementos. Los elementos de poca movilidad, conducen a síntomas más agudos en hojas nuevas, ya que las necesidades de éstas no son satisfechas por la redistribución del nutriente acumulado en las hojas viejas; notándose un gradiente del síntoma visual de arriba hacia abajo. Sin embargo, en el caso de los nutrientes móviles, los síntomas aparecen primero en las hojas viejas, ocasionando un gradiente del síntoma que es más fuerte en las hojas inferiores y

que se hace menos acentuada, conforme se expande hacia arriba (Bonilla 2008).

Considerando todo esto, el presente trabajo tuvo por objetivo determinar el efecto de deficiencias nutricionales (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y hierro) en plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivadas hidropónicamente, con el fin de contribuir al diagnóstico del estado nutricional en campo y se puedan tomar medidas de corrección a tiempo.

Pues el frijol, después de la caraota, es la leguminosa de mayor consumo humano tanto a nivel mundial como nacional y constituye una fuente nutricional de proteínas, carbohidratos, grasas, fibras, vitaminas y minerales (Apáez *et al.* 2014, Okonya y Maass 2014, Araméndiz-Tatis *et al.* 2016). Su hábito es de crecimiento semi-erecto y trepador, hojas trifolioladas, ciclo vegetativo de 72 a 88 días, flores blancas y vainas recurvadas de 10 a 25 cm, de color crema pálido al madurar (León 1968). Se adapta a todo tipo de suelo, pero crece mejor en los francos (arenoso, arcilloso o limoso), pH 5,5-7, temperatura 25-30°C y su requerimiento hídrico es de 300 a 400 mm; encontrándose en pisos altitudinales inferiores a los 500 msnm (Pérez *et al.* 2013).

Plántulas de *V. unguiculata* (Fabaceae) de tres semanas de edad, se cultivaron durante 28 días en el Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, en solución nutritiva Hoagland con todos los nutrientes o deficiente de nitrógeno (-N), fósforo (-P), potasio (-K), magnesio (-Mg) y hierro (-Fe) según Ross (1974), con aireación constante, pH $6 \pm 0,5$, fotoperíodo 12:12 y temperatura $28 \pm 2^\circ\text{C}$.

A los 0, 14 y 28 días de aplicados los tratamientos, se registró la longitud de raíces, brote, total y número de folíolos; además, a los 28 días se estimó la biomasa fresca, biomasa seca (a 80°C), biomasa seca Raíz/Brote y tasa relativa de crecimiento (Villar *et al.* 2004). También se realizaron observaciones periódicas a las plantas para visualizar síntomas ocasionados por la deficiencia de los nutrientes y se fotografiaron.

Se utilizaron dos plantas por tratamiento, 12 plantas en total. Luego de 28 días de experimentación, se comprobó la homogeneidad de varianza de los datos y se aplicó ANOVA de una vía, con prueba *a posteriori* de Duncan para establecer los grupos (Sokal y Rohlf 1979). Los datos se analizaron mediante STATGRAPHICS Centurion XV.II.

Los resultados (Fig. 1a-d) muestran que la longitud radical tuvo una tendencia creciente

durante el período de experimentación en todos los tratamientos, con valores un tanto más elevados en las plantas de los tratamientos -P y -N e inferior en -Fe, aun así, no hubo diferencias estadísticamente significativas para esta variable al día 28 ($F_s = 2,77$; $p = 0,123$). La longitud del brote también fue en ascenso en todos los tratamientos, excepto en -Fe, teniéndose al final del experimento máximos ($F_s = 23,05$; $p = 0,0008$) en las plantas cultivadas con todos los nutrientes, seguidas por las de -P y con mínimo en -Fe. La longitud total también tuvo un comportamiento similar a la longitud de brotes ($F_s = 7,00$; $p = 0,0173$). Por su parte, el número de folíolos fue superior en plantas con todos los nutrientes, seguidas por -Mg y los restantes tratamientos formaron un grupo con la mínima cantidad del órgano ($F_s = 4,65$; $p = 0,0441$).

Otros autores también encontraron mayor longitud aérea en el tratamiento con todos los nutrientes; sin embargo, el tratamiento sin nitrógeno fue el que ocasionó mayor retraso en el crecimiento del tallo de mora (*Rubus glaucus*), piñón (*Jatropha curcas*) y parchita (*Pasiflora edulis*) (Castaño *et al.* 2008, Marrone 2009, Malagón y Malagón 2011), en comparación con las demás deficiencias aquí probadas. Al igual que en el presente estudio, Martínez *et al.* (2009) encontraron que la deficiencia de P, tampoco afectó marcadamente el porte de uchuva (*Physalis peruviana*). Similarmente, Yeh *et al.* (2000) encontraron que las deficiencias de N y P redujeron el número de hojas en *Spathiphyllum* sp. y Marrone (2009) también encontró que la deficiencia de los nutrientes, en general, redujeron el número de hojas de piñón.

La biomasa fresca radical fue superior ($F_s = 17,22$; $p = 0,0017$) en -N y -P, seguidas de las plantas con todos los nutrientes; mientras que en el brote fue máxima ($F_s = 7,73$; $p = 0,0136$) en estas últimas plantas, seguidas por -P y, finalmente, -N y -Fe. Las plantas con todos los nutrientes y las de -P mostraron mayor biomasa fresca total ($F_s = 12,04$; $p = 0,0044$) que el resto (Fig. 2a). En la Figura 1b se muestra que hubo menor biomasa seca de raíces ($F_s = 17,26$; $p = 0,0017$), brote ($F_s = 21,75$; $p = 0,0009$) y total ($F_s = 30,89$; $p = 0,0003$) en -N y -Fe. Con respecto a las plantas con todos los nutrientes, la relación biomasa seca raíz/brote (Fig. 2c) fue más elevada en -P y -Fe pero más bajo en -N y -Mg, aunque no estadísticamente ($F_s = 1,07$; $p = 0,4594$). La Figura 1d evidencia que las plantas cultivadas sin deficiencia de nutrientes y las -P fueron las que alcanzaron mayor tasa relativa de crecimiento (TRC) ($F_s = 10,75$; $p = 0,0059$), siendo más afectadas las de -N y -Fe.

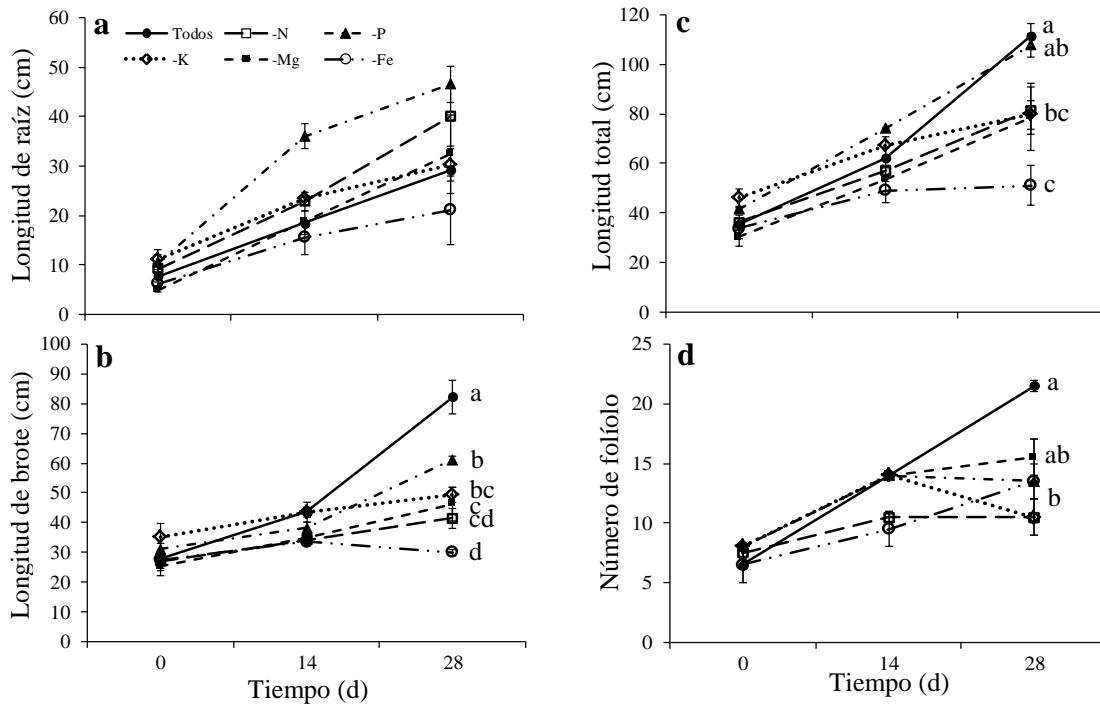


Figura 1. Longitud de raíz (a), brote (b), total (c) y número de folíolos (d) de plantas de frijol (*Vigna unguiculata*) cultivadas hidropónicamente durante 28 días con todos los nutrientes o con alguna deficiencia (-N, -P, -K, -Mg y -Fe). Los valores son los promedios \pm error estándar (n = 2). Las letras al final de las líneas indican diferencias entre condición nutricional a los 28 días según Duncan.

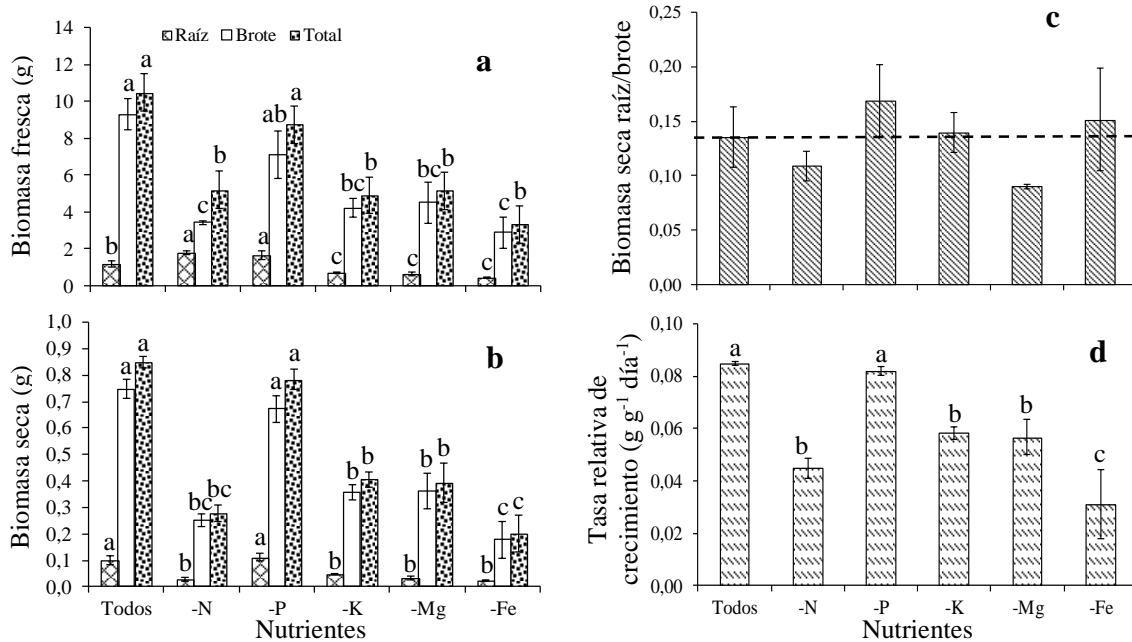


Figura 2. Biomasa fresca (a), seca (b), seca Raíz/Brote (c) y tasa relativa de crecimiento (d) de plantas de frijol (*Vigna unguiculata*) cultivadas hidropónicamente durante 28 días con todos los nutrientes o con alguna deficiencia (-N, -P, -K, -Mg y -Fe). Los valores son los promedios \pm error estándar (n = 2). Las letras sobre las barras indican diferencias entre condición nutricional según Duncan.

Similar al presente estudio, la biomasa seca del tallo en -N y -Fe de *Spathiphyllum* sp. también resultó menor que en el tratamiento con todos los nutrientes (Yeh *et al.* 2000); además, después de -Fe, la deficiencia de nitrógeno propició el menor peso seco en *R. glaucus* (Castaño *et al.* 2008);

mientras que en *J. curcas*, la biomasa fresca y seca radical, aérea y total resultó superior en el tratamiento sin deficiencias y en -K, con respecto a los demás tratamientos probados (Marrone 2009), lo que explica el papel determinante de estos elementos en el crecimiento de las plantas y

la formación de tejidos y, por ende, en el incremento de materia (Martínez 1995). Malagón y Malagón (2011) también evidenciaron mayor biomasa seca aérea en parchita cultivada con todos los nutrientes. Igualmente, Yeh *et al.* (2000) encontraron que el radio biomasa seca raíz/tallo en *Spathiphyllum* sp. fue superior en -P y -Fe, lo que evidencia la mayor incorporación del carbono fotosintético hacia la raíz bajo estas deficiencias. También, en las etapas vegetativas de las especies anuales como el frijol, la planta produce biomasa de manera eficiente y sostenida en respuesta a la

capacidad fotosintética, de allí que los menores valores de biomasa seca y TRC bajo deficiencias nutricionales, evidencian la poca eficiencia de producción de materia seca por fotosíntesis (Villar *et al.* 2004, Santos *et al.* 2010).

Las plantas cultivadas en hidroponía con todos los nutrientes fueron más grandes, vigorosas, con hojas expandidas y raíces abundantes, bien desarrolladas y de color blancuzco (Fig. 3a.1-a.3), a diferencia de aquellas con alguna deficiencia nutricional como se verá a continuación.

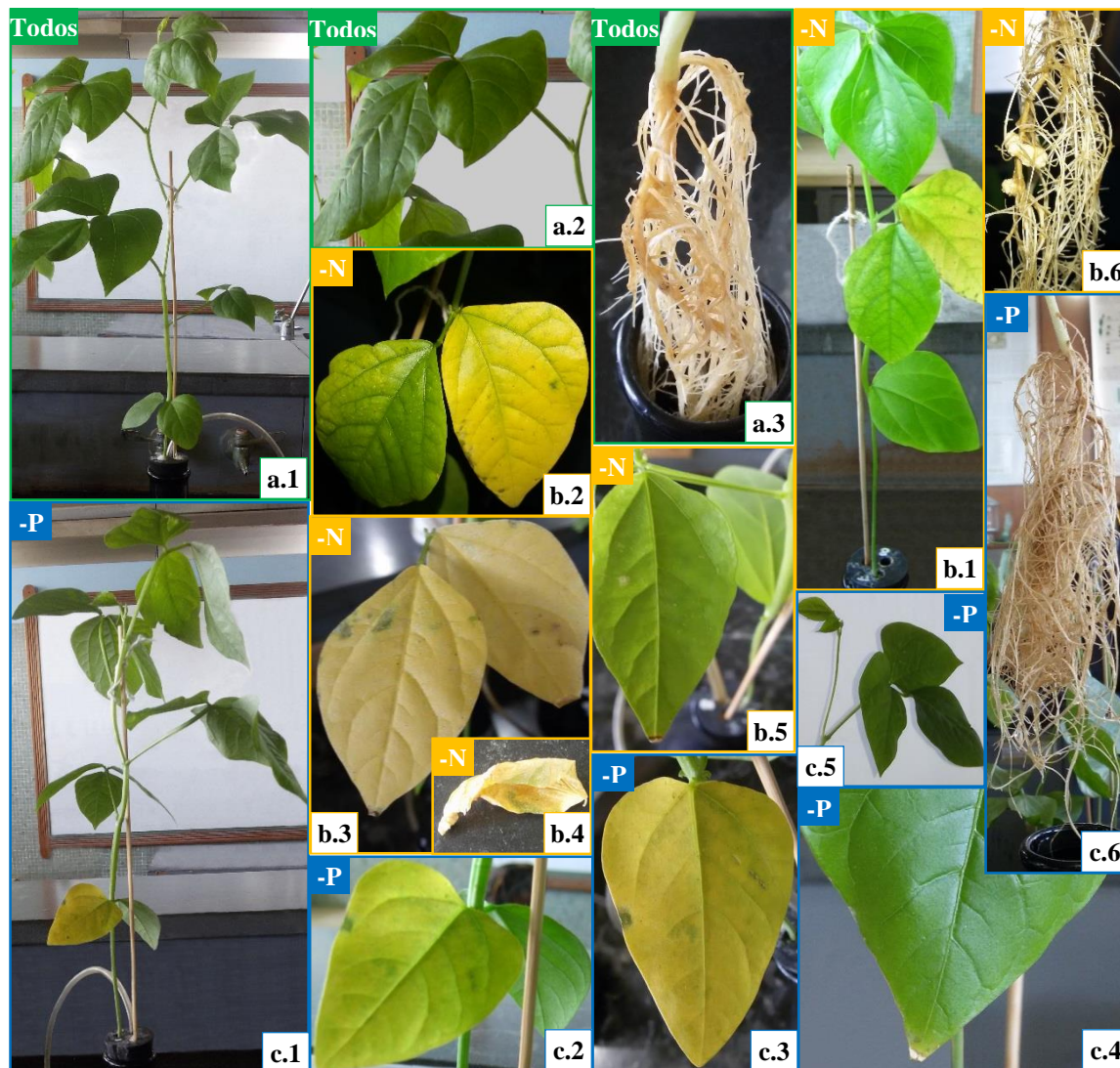


Figura 3. Frijol (*Vigna unguiculata*) cultivado hidropónicamente durante 28 días con todos los nutrientes (todos) o con alguna deficiencia (-N y -P). a.1) planta grande y vigorosa debido a la disposición de todos los nutrientes, a.2) hoja expandida, a.3) raíces abundantes, bien desarrolladas y de color blancuzco, b.1) planta con clorosis intervenal en folíolos de hoja intermedia, b.2) folíolos tornándose clorótico intervenalmente y folíolo con clorosis generalizada más avanzada, aun con las venas verdes, b.3) clorosis total con manchas necróticas en las láminas y ápices, b.4) folíolo desprendido, b.5) ápice necrosado, b.6) raíces alargadas, no tan abundantes y con nódulos de simbiosis *Rhizobium*-leguminosas, c.1) plantas con clorosis generalizada en hoja primordial, c.2) clorosis bastante avanzada, c.3) clorosis generalizada casi total, c.4) necrosis apical, c.5) hoja nueva verde intensa, c.6) raíces alargadas, abundantes y parduzcas.

La deficiencia de N ocasionó en las hojas viejas e intermedias clorosis intervenal que se generaliza a toda la lámina, tornándose completamente amarillas y desprendiéndose antes

de volverse necróticas; también se observó necrosis laminar y apical en estas hojas. Las raíces eran alargadas pero no tan abundantes y se observó presencia de nódulos, producto de la

asociación simbiótica con microorganismos del género *Rhizobium*, aunque estos no evitaron los efectos en las plantas (Fig. 3b.1-b.6).

Aunque la caraota (*Phaseolus vulgaris*) también es una leguminosa y por lo tanto capaz de fijar simbióticamente nitrógeno con la cepa apropiada de *Rhizobium*, las dificultades edáficas, varietales o de inoculación pueden limitar la fijación, y de paso obligan a la planta a depender del nitrógeno del suelo o de los fertilizantes nitrogenados, que al estar ausente, ocasionan que las hojas bajas se tornen verde pálido y eventualmente se amarillean (Howeler 1980), lo que pudo suceder en *V. unguiculata* donde también se observó la simbiosis. En el piñón, cuando hay deficiencia de N, se observa un crecimiento muy reducido de la planta y su follaje es amarillento (Marrone 2009), una coloración púrpura intervenal y verde pálido generalizado, más acentuado en hojas bajas de uchuva, las cuales se desprendían (Martínez *et al.* 2009) y un pobre crecimiento y desarrollo de la mora, con amarillamiento de los limbos foliares (Castaño *et al.* 2008); también se presentó una clorosis general en parchita, con mayores proporciones en las hojas adultas, que luego se extendió a las hojas jóvenes, hasta tener una caída prematura (Malagón y Malagón 2011).

En -P, las plantas de frijol fueron las segundas con mejor desarrollo después de las plantas con todos los nutrientes; sin embargo, mostraron clorosis generalizada en hojas primordiales seguidas de necrosis y abscisión, necrosis apical en hojas intermedias, las hojas nuevas eran de color verde intenso y las raíces alargadas, abundantes y parduzcas (Fig. 3c.1-c.6). Contrario a lo obtenido en el presente trabajo, se ha señalado que la deficiencia de P es probablemente el principal problema nutricional de la caraota en América Latina, teniéndose plantas raquílicas, con hojas bajas cloróticas y necróticas antes de alcanzar la madurez, y las hojas superiores suelen ser pequeñas y verde oscuras (Howeler 1980). En piñón, la deficiencia de P se presentó como una reducción del tamaño de la planta, color amarillento, necrosis y caída de las hojas bajas, en algunos casos se presentaron colores rojizos en la nervadura de las hojas inferiores y superiores (Marrone 2009); en uchuva, se observó una coloración verde levemente más oscura que en el testigo, las hojas de la parte baja eran de coloración púrpura a parda en la venación principal, iniciando en el ápice hasta que la totalidad de la hoja se tornó completamente púrpura a pardo-amarillo y subsiguientemente se dio la abscisión foliar prematura (Martínez *et al.* 2009); mientras que en hojas maduras de parchita, se mostró una coloración verde oscuro, manchas

cloróticas y necróticas que generalmente con el paso del tiempo coalescen hasta abarcar la totalidad de la lámina foliar (Malagón y Malagón 2011).

La deficiencia de K ocasionó que las hojas primordiales e intermedias se tornaran cloróticas en las venas, generalizándose posteriormente a toda la lámina, además se observó necrosis foliar basal, apical y marginal. Hubo abscisión de hojas primordiales e intermedias luego de la clorosis y necrosis. Los tallos eran delgados en comparación con el resto de las plantas de los demás tratamientos y las raíces eran escasas, cortas y de coloración un poco parduzcas (Fig. 4a.1-a.5) menor a las del tratamiento -P.

Los síntomas típicos de deficiencia de K en caraota son el color amarillento y la necrosis de los ápices y márgenes foliares, que aparecen primero en las hojas bajas y gradualmente se extienden hacia arriba (Howeler 1980). En mora, la deficiencia de K ocasionó, hojas enrolladas hacia adentro, clorosis y necrosis (Castaño *et al.* 2008); en piñón se observó necrosis o quemado en los bordes de las hojas viejas (Marrone 2009); mientras que en uchuva, esta deficiencia conllevó a los síntomas foliares más severos de todas las deficiencias probadas, iniciando con manchas o puntos intervenales en toda la lámina, que se incrementaron haciéndose cloróticas y necróticas hasta cubrir toda la hoja, especialmente las hojas bajas, al punto de perderlas, seguidamente las hojas más jóvenes también presentaron estos síntomas (Martínez *et al.* 2009).

El frijol cultivado en solución -Mg mostró poco desarrollo, clorosis intervenal en hojas basales, intermedias y apicales, seguido de necrosis en ápice, márgenes y lámina, finalmente, hubo abscisión. Las hojas nuevas eran poco desarrolladas, con folíolos acanalados, deformes y pocos expandidos. Las raíces eran poco abundantes, delgadas, no tan largas y de coloración un poco parduzcas (Fig. 4b.1-b.7).

Similarmente, en caraota bajo deficiencia de Mg ocurre clorosis intervenal y necrosis que se presenta primero en las hojas más viejas extendiéndose después a toda la hoja y al follaje más joven (Howeler 1980). En uchuva los síntomas cloróticos intervenales de deficiencia de Mg se presentaron principalmente en las hojas intermedias y, posteriormente, se desarrollaron pigmentos púrpuras o pardos en los márgenes y entre las venas, tornándose completamente cloróticas (Martínez *et al.* 2009); sin embargo, en parchita se manifestaron primero en hojas viejas y luego en las intermedias, empezando por una clorosis, llegando al punto de quemazones en los ápices y bordes de las hojas (Malagón y Malagón

2011).

En *V. unguiculata* bajo deficiencia de Fe se observó el crecimiento más pobre de todos los tratamientos, con hojas nuevas poco desarrolladas, clorosis intervenal, tonalidad rojiza

marginal, necrosis apical, marginal y dispersa en la lámina, terminando en la abscisión. El tallo era delgado y mostraba yemas necrosadas; las raíces eran de coloración parduzca, poco desarrolladas y muy escasas, inclusive hubo pérdida radical al transcurrir el experimento (Fig. 4c.1-c.6).

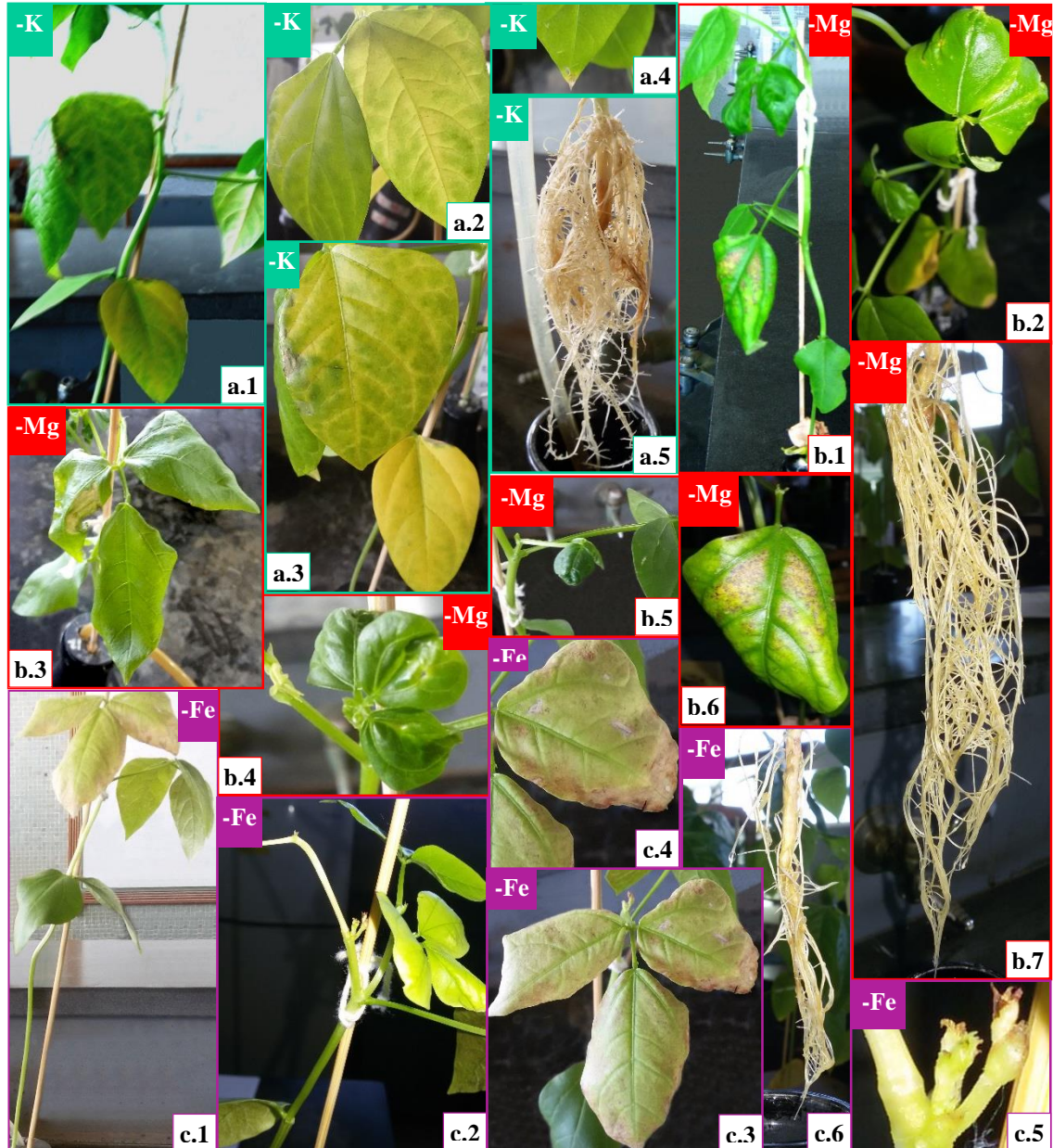


Figura 4. Frijol (*Vigna unguiculata*) cultivado hidropónicamente durante 28 días con alguna deficiencia (-K, -Mg y -Fe). a.1) planta con hoja primordial bastante clorótica y con hojas intermedia cloróticas en las venas, a.2) folíolos de hojas intermedias con distintos grados de clorosis que empieza en las venas y se expande a toda la lámina, a.3) hoja primordial totalmente clorótica con necrosis basal y folíolo de hoja intermedia con clorosis progresiva desde las venas hacia toda la lámina, necrosándose en el margen izquierdo, a.4) necrosis apical, a.5) raíces poco abundantes, cortas y un poco parduzcas, b.1-b.3) plantas poco desarrolladas con clorosis y necrosis intervenal, marginal y laminar en hojas basales, intermedias y apicales, b.3-b.5) folíolos acanalados, deformes y poco expandidos, b.6) folíolo torcido con clorosis y necrosis intervenal, b.7) raíces poco abundantes, delgadas, no tan largas y parduzcas, c.1) planta poco desarrollada con clorosis y necrosis en hojas nuevas, c.2) planta con hojas nuevas poco desarrolladas y pecíolo sin folíolos debido a la abscisión, c.3-c.4) folíolos con clorosis intervenal, necrosis apical, marginal, dispersa en la lámina y tonalidad rojiza, c.5) yemas necrosadas, c.6) raíces poco desarrolladas y muy escasas.

Igualmente, se ha señalado que las hojas superiores de caraota con deficiencia de Fe son levemente amarillas a blancas con las nervaduras

inicialmente verdes (Howeler 1980); además, las plantas de *Spathiphyllum* sp. mostraron clorosis intervenal en hojas jóvenes (Yeh *et al.* 2000);

mientras que la deficiencia de Fe en parchita se manifestó en una clorosis intervenal en hojas adultas pero con parches cloróticos, incluyendo las nervaduras, que en ocasiones se convirtieron en parches necróticos (Malagón y Malagón 2011). A diferencia de los otros elementos aquí estudiados, el hierro es relativamente inmóvil en el floema, dado que no es remobilizado de las hojas viejas hacia los tejidos jóvenes cuando disminuye su suministro y los síntomas de deficiencia se presentan primero en estas últimas, ya que su concentración es alta en hojas viejas y declina en hojas jóvenes (Bonilla 2008).

Los efectos ocasionados por la deficiencia de N, P, K, Mg y Fe sobre las variables y síntomas visibles de *V. unguiculata*, obedecen a las implicaciones de dichos elementos en la biosíntesis o expresión de componentes claves de captura de energía y/o metabolismo de las plantas como ha sido señalado en la literatura (Marschner 1995, Grusak 2001, Bonilla 2008, Pessarakli *et al.* 2015).

En general, bajo la carencia de los elementos probados se vieron afectadas las variables evaluadas y se observó clorosis, necrosis y poco desarrollo foliar, radical y de la planta. El P resultó el elemento cuya ausencia (-P) afectó menos el desarrollo de la planta, ya que alcanzó valores similares al tratamiento con todos los nutrientes; sin embargo, el hierro (-Fe) es uno de los elementos faltantes que más limita el crecimiento y desarrollo de *V. unguiculata*, y puede ser indicativo de una alta necesidad de aplicación de este nutrimento en los programas de fertilización, para que exista un buen desarrollo de los órganos vegetativos y así asegurar una adecuada floración y fructificación.

Aun cuando en esta investigación se evidenciaron efectos producidos en *V. unguiculata* por la carencia de los nutrientes probados durante 28 días, se considera necesario para futuros trabajos, extender el tiempo de experimentación, inclusive hasta la floración y fructificación, para ver si los efectos se acentúan a toda la planta hasta llegar a morir, y si se hacen más pronunciados debido a la deficiencia de P, ya que también es un elemento esencial para las plantas en general. También se deben probar los efectos de la carencia de otros elementos como Ca y S e incluir un tratamiento testigo solo con agua. Por otra parte, es necesario aumentar el número de individuos por tratamiento para minimizar las respuestas propias de cada individuo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÁEZ P, ESCALANTE J, SOSA E, RODRÍGUEZ M,

APÁEZ M. 2014. Fenología, producción y calidad nutrimental del grano de frijol chino en función de la biofertilización y fertilización foliar. *Interciencia*. 39(12):857-862.

ARAMÉNDIZ-TATIS H, CARDONA-AYALA C, COMBATT-CABALLERO E. 2016. Contenido nutricional de líneas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) seleccionadas de una población criolla. *Información Tecnológica*. 27(2):53-60.

BONILLA I. 2008. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. *In: AZCÓN-BIETO J, TALÓN M.* (Eds). *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2^{da} ed. McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España, pp. 123-141.

CASTAÑO C, MORALES C, OBANDO F. 2008. Evaluación de las deficiencias nutricionales en el cultivo de la mora (*Rubus glaucus*) en condiciones controladas para bosque montano bajo. *Agron*. 16(1):75-88.

GRUSAK M. 2001. Plant macro- and micronutrient minerals. *Encyclopedia of Life Sciences*. Nature Publishing Group/ www.els.net.

HOWELER R. 1980. Desórdenes nutricionales. *In: SCHWARTZ H, GÁLVEZ G.* (Eds). *Problemas de producción del frijol*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, pp. 343-358.

LEÓN J. 1968. *Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales*. Editorial IICA, Bogotá, Colombia, pp. 473.

MALAGÓN J, MALAGÓN N. 2011. Determinación de deficiencia inducida de nutrimentos en gulupa (*Pasiflora edulis var edulis* (Sims)). Bogotá: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ingeniería Agronómica [Disertación Grado Ingeniero Agrónomo], pp. 115.

MARRONE J. 2009. Efecto de las deficiencias nutricionales en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*). Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, Ciencia y Producción Agropecuaria [Disertación Grado Ingeniero Agrónomo], pp. 24.

MARSCHNER H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. Academia Press, London, UK, pp. 889.

MARTÍNEZ F, SARMIENTO J, FISCHER G, JIMÉNEZ F. 2009. Síntomas de deficiencia de

- macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agron. Colomb.* 27(2):169-178.
- MARTÍNEZ G. 1995. Elementos de la fisiología vegetal. Ediciones Mundi Prensas, Madrid, España, pp. 1147.
- OKONYA J, MAASS B. 2014. Protein and iron composition of cowpea leaves: an evaluation of six cowpea varieties grown in eastern Africa. *AJFAND.* 14(5):9329-9340.
- PÉREZ D, CAMACARO M, MORROS N, MORO A. 2013. Leguminosas de grano comestible en Venezuela. *In:* BERROTERÁN J. (Ed). *Agricultura en Venezuela*, N° 1. Ediciones ONCTI, Publigráfica66, C.A., Caracas, Venezuela, pp. 1-156.
- PESSARAKLI M, HAGHIGHI M, SHEIBANIRAD A. 2015. Plant responses under environmental stress conditions. *Adv. Plants Agric. Res.* 2(6):00073, doi:10.15406.
- ROSS C. 1974. *Plant physiology laboratory manual.* Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont, USA, pp. 200.
- SANTOS M, SEGURA M, NÚTEZ C. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín.* 63(1):5253-5266.
- SOKAL R, ROHLF J. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica.* H. Blume Ediciones, Madrid, España, pp. 832.
- VILLAR R, RUIZ-ROBLETO J, QUERO J, POORTER H, VALLADARES F, MARAÑÓN T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. *In:* VALLADARES F. (Ed). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante.* Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid, España, pp. 191-227.
- YEH D, LIN L, WRIGTH C. 2000. Effects of mineral nutrient deficiencies on leaf development, visual symptoms and shoot-root ratio of *Spathiphyllum*. *Scientia Hort.* 86(1):223-233.