

Área de Ecología Aplicada

EFECTO DE LAS DEFICIENCIAS DE ALGUNOS NUTRIENTES EN PLANTAS DE LULO (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) EN ETAPA DE VIVERO

EFFECT OF SOME NUTRIENT DEFICIENCIES ON LULO PLANTS
(*Solanum quitoense* var. *quitoense*) EN ETAPA DE VIVERO

María Isabel Vargas Bolívar¹

Luz Andrea Calderón Medellín B. Sc.²

María Mercedes Pérez Trujillo cM. Sc^{3, 4}



Recibido el 16 de julio de 2009

Aceptado el 14 de octubre de 2009

1. Estudiante Biología Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada.
2. Bióloga, Joven Investigadora, Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada.
3. Docente Investigador, Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada.
4. Dirección para correspondencia: maria.perez@unimilitar.edu.co

RESUMEN

La fertilización asegura la expresión del potencial genético de las plantas a través del suministro de nutrimentos que en cantidades adecuadas permiten el desarrollo óptimo del cultivo. El objetivo de este trabajo fue valorar el efecto de las deficiencias nutricionales sobre la sintomatología visual y el crecimiento de plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) en etapa de vivero, cultivadas en un sustrato utilizado comúnmente para su propagación (turba-vermiculita y cascarilla de arroz), con el fin de determinar que ajustes se podrían realizar a la solución fertilizante para mejorar su crecimiento y desarrollo. Se evaluaron ocho tratamientos con ausencia inducida en la solución fertilizante de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro y hierro, así como dos tratamientos testigos, uno con solución completa y otro con agua únicamente. Las plantas de lulo fueron fertirrigadas con las diferentes soluciones nutritivas y semanalmente se midió su altura y área foliar y se describieron los síntomas visuales. El elemento más importante para la nutrición del lulo en etapa de vivero resultó ser el nitrógeno, ya que su deficiencia limitó en mayor medida su crecimiento. El potasio y el calcio se encontraron en niveles excesivos para la planta debido a su alto contenido en el sustrato, generando posibles antagonismos con el magnesio y limitando su absorción; por tal razón se recomienda reducir sus dosis en la solución nutritiva e incluso suprimirlos y conservar o aumentar la concentración del magnesio. La ausencia de fósforo y boro no tuvo efectos significativos en el área foliar pero sí en la altura de la planta, razón por la cual

se recomienda conservar la concentración propuesta para ambos en la solución completa. El área foliar respondió positivamente a las aplicaciones sin azufre, contrario a lo obtenido respecto a la altura y a la clorosis generalizada de las plantas; por ello se recomienda conservar o incluso disminuir la concentración de este elemento en la solución y sin llegar a eliminarlo de la misma. La ausencia de hierro en la solución completa favoreció el crecimiento de las plantas de lulo, por lo cual se sugiere suprimirlo de la solución nutritiva, ya que al parecer el sustrato empleado supliría los requerimientos de la planta en esta etapa.

Palabras clave: *Solanum quitoense*, fertirrigación, deficiencias nutricionales, plantas de lulo en etapa de vivero, propagación de lulo

ABSTRACT

Fertilization ensures the expression of genetic potential of plants by providing nutrients in adequate amounts to enable the optimal development of the crop. The aim of this work was to assess the effect of nutritional deficiencies on growth and visual symptoms of lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) in nursery stage grown in a substrate commonly used in plant propagation (peat-vermiculite and rice husk) in order to determine what adjustments must be made to the nutrient solution for optimal crop development. Eight treatments were evaluated with induced deficiency of nitrogen, potassium, phosphorus, magnesium, sulfur, calcium, iron and boron, and two control treatments (complete solution and water). Height and leaf area of plants were measured weekly and visual symptoms characteristic of these deficiencies

were registered. The most important element in nutrition of lulo in nursery stage was nitrogen, since its deficiency further limited its growth. Potassium and calcium were found in excessive levels for the plant due to their high content in the substrate, creating possible antagonisms with magnesium and limiting its absorption; for that reason it is recommended to reduce the concentration for both in the nutrient solution and even suppress them and increase the magnesium. The absence of boron and phosphorus had no significant effects on leaf area but only in plant height, being less than the complete solution, therefore is better keeping their concentration in the nutrient solution. Leaf area responded positively to the sulfur-free applications, in contrast to the obtained of height and general chlorosis in plants; for this reason it is recommended to decrease the concentration of this element in the solution without eliminating from it. The lack of iron in the complete solution favored the growth of lulo, therefore it is suggested eliminate the nutrient solution, since apparently the substratum replaces plant requirements in this stage.

Key words: *Solanum quitoense*, fertirrigation, nutrient deficiencies, lulo plant in nursery stage, plant propagation

INTRODUCCIÓN

La fertilización es una práctica eficiente que asegura la expresión del potencial genético de las plantas. A través de ella, el agricultor suministra al cultivo las cantidades adecuadas de macro y microelementos que garantizan el cumplimiento de procesos fisiológicos esenciales y permiten el desarrollo del cultivo sin

los factores limitantes de los suelos y sustratos, evitando antagonismos y efectos osmóticos negativos (Cadahia, 2005; Gómez, 2006). Es por esto que una fertilización adecuada busca aumentar la disponibilidad de los nutrimentos de forma balanceada teniendo en cuenta el equilibrio entre suelo (sustrato), planta y producción, bajo criterios de sostenibilidad agrícola (Gómez, 2006). La fertirrigación en un sistema de cultivo hidropónico pretende que las plantas tomen los nutrientes esenciales de forma óptima incorporando a través de una solución, macronutrientes como potasio, calcio y magnesio en forma catiónica y nitratos, fosfatos y sulfatos en forma aniónica, además de los micronutrientes (Botía y Medina, 2002).

Los sustratos utilizados en hidroponía consisten en una mezcla de materiales de origen orgánico como turba y cascarilla de arroz e inorgánico como vermiculita, arena y perlita, los cuales logran una proporción adecuada de agua, nutrientes y aire para el crecimiento de las plantas. Se han desarrollado varios tipos de estas mezclas, entre ellas, las que incorporan volúmenes de turba y vermiculita junto con un paquete de nutrientes que conforman el medio base para la propagación de plantas (Fonteno, 1999). La turba es un material conformado principalmente por residuos orgánicos vegetales de descomposición incompleta a causa del exceso de agua y la carencia de oxígeno (Cadahia, 2005); posee baja densidad de masa, alta capacidad recipiente, buena capacidad de intercambio catiónico y pH manejable. La vermiculita es un silicato de aluminio-hierro-manganeso altamente porosa, posee alto contenido de nutrientes, retención de agua y baja densidad de masa. La cascarilla de arroz

es el sustrato más empleado para los cultivos hidropónicos en Colombia bien sea cruda o parcialmente carbonizada; es un subproducto de la industria molinera y presenta propiedades físico-químicas como bajo peso, buen drenaje y buena aireación (Fonteno 1999). Generalmente los estudios de nutrición vegetal se realizan sobre sustratos, aunque algunos de estos aportan ciertas cantidades de macro y microelementos que pueden afectar el crecimiento de las plantas al alterar los balances entre elementos.

Para medir la fertilidad del suelo y el estado de nutrición de un cultivo se utilizan varios métodos, entre ellos el diagnóstico visual de deficiencias nutricionales, los análisis foliares y de suelos (Ortega, 2008). Dentro del diagnóstico visual, mediante la técnica del

elemento faltante es posible evaluar la respuesta de las plantas ante la carencia de determinados nutrientes. El método consiste en la preparación de soluciones que carecen del elemento que se quiere evaluar; se tiene en cuenta además un tratamiento sin ningún nutriente y otro con todos los elementos. La respuesta de la planta se mide a través de variables como altura, área foliar, peso seco y fresco de sus estructuras, distribución de materia seca y rendimiento, además de parámetros de calidad de los frutos

como acidez titulable, pH o madurez (Guerrero, 1986; Salisbury y Ross, 1992; Salas y Ramírez, 2001; Cabezas y Sánchez, 2008; Martínez et al, 2008).

En Colombia, se han realizado estudios de las deficiencias nutricionales en diversas especies de frutales de clima frío y frío moderado. Botía y Medina (2002) determinaron los síntomas de deficiencia inducida para macro

La fertirrigación en un sistema de cultivo hidropónico pretende que las plantas tomen los nutrientes esenciales de forma óptima incorporando a través de una solución, macronutrientes como potasio, calcio y magnesio en forma catiónica y nitratos, fosfatos y sulfatos en forma aniónica, además de los micronutrientes (Botía y Medina, 2002).

y microelementos en uchuva (*Physalis peruviana*), estudiando la respuesta de las plantas en cuanto a biomasa, distribución y acumulación de materia seca, área foliar, altura y producción de estructuras reproductivas utilizando vermiculita como sustrato. Se encontró que el N, P y K fueron los elementos que más afectaron el crecimiento y la acumulación de biomasa en las plantas de lulo, por lo que se reconoce su importancia en la síntesis de fotoasimilados para permitir el óptimo desarrollo de las plantas. Adicionalmente, el

nitrógeno fue el elemento de mayor incidencia en la altura de la planta, siendo menor a la del testigo absoluto (agua). Martínez *et al.* (2008), también evaluaron el efecto de las deficiencias nutricionales sobre el peso fresco, seco, número de frutos y rendimiento de la uchuva bajo condiciones de invernadero, encontrando que el boro fue el elemento que afectó de manera más importante todas las variables medidas y que el N y K redujeron considerablemente el peso fresco y seco de los frutos. Por su parte Franco (2008) realizó guía gráfica para la descripción de las deficiencias de nutricionales en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) encontrando síntomas similares a los reportados por Botía y Medina en cuanto a la ausencia de macronutrientes. Cabezas y Sánchez (2008), estudiaron la distribución de materia seca, área foliar y relación alométrica entre la parte aérea y la raíz en plantas de vivero de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) cultivadas en un sustrato compuesto por vermiculita lavada y deficientes en macroelementos. Se encontró que el N y K fueron los elementos que redujeron en mayor proporción el área foliar y la materia seca de la planta, mientras que el P favoreció la acumulación de biomasa en la raíz.

En cuanto al lulo (*S. quitoense* Lam), según Angulo (2006) en Colombia es el frutal que más problemas fitosanitarios de origen biótico o abiótico registra durante todas las etapas de su ciclo de producción. En las plantas se detectan una serie de síntomas a nivel de patrones de coloración o deformaciones en algunas de sus estructuras que pueden ser indicadores de desbalances nutricionales y que influyen

directamente sobre su crecimiento y productividad (Bernal *et al.*, 1996). La sintomatología puede ser consecuencia de un aporte excesivo o defectuoso de nutrientes, ya sea como resultado de las características propias del suelo o sustrato, del clima o de aplicaciones inadecuadas de fertilizantes. Además, la disponibilidad de nutrientes en un suelo o sustrato está influenciada por el pH, la humedad, la temperatura y por el balance entre los elementos del mismo (Jones *et al.*, 2001). Hasta el momento existen pocos trabajos relacionados con la caracterización y los efectos de las deficiencias de nutrientes sobre el desarrollo de plantas de lulo. Al respecto, Botía y Medina (2002) y Angulo (2006) reportan que el lulo es muy susceptible a deficiencias en boro, magnesio y manganeso y que el fósforo es el causante de retrasos en el crecimiento y maduración de los frutos y es considerado como responsable de malformaciones en las semillas. El azufre ha resultado ser particularmente importante en el lulo para la formación de la clorofila y para el llenado de la raíz, mientras que la ausencia de microelementos como el Mn, Zn y Mo no causan alteraciones significativas en el crecimiento de esta planta.

En esta investigación se valoró el efecto de las deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg), boro (B) y hierro (Fe) sobre algunos parámetros de crecimiento de plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) en etapa de vivero, cultivadas sobre un sustrato comúnmente utilizado en propagación vegetal como lo es la mezcla turba-vermiculita-cascarilla de arroz. Adicionalmente se realizó una caracterización de la sintomatología que a nivel visual puede reconocerse sobre las plantas.

Esta investigación pretende contribuir al ajuste de una solución nutritiva que permita un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas de lulo en dicho sustrato, en su etapa de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el invernadero de Horticultura en la Estación Experimental Hacienda Río Grande, ubicada en Cajicá (Cundinamarca, Colombia), a una altura de 2580 m.s.n.m., una temperatura promedio de 16,7°C y humedad relativa del 69,4%. Se contó con 30 plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) cada una de las cuales fue transplanteda en una matera plástica de 5 Kg. de capacidad, empleando como sustrato una mezcla comercial de turba-vermiculita (Promix PGX®) y cascarilla de arroz lavada, en proporción 1:1.

Se utilizó la técnica del elemento faltante, adaptada de los trabajos de Guerrero (1986), Salisbury y Ross (1992), Salas y Ramírez (2001), CIAT (1984) citado en Camacaro y Machado (2005), Cabezas y Sánchez (2008) y Martínez *et al.* (2008). Se evaluaron diez tratamientos que consistieron en dos testigos (solución completa y agua) y ocho soluciones carentes de un elemento en particular (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro y hierro). La solución nutritiva completa empleada en el ensayo fue una adaptación de la fórmula de Hoagland &

Arnon No. 2 (1950) (Salisbury y Ross, 1992; Cadahia, 2005) y la propuesta por Angulo (2006) (Tabla 1) y fue preparada con fertilizantes comerciales (Tabla 2). Para la preparación de la solución se consideraron los aportes de nutrientes del agua empleada para el fertirriego, que consistió en agua de acueducto (Tabla 3). Se empleó un diseño completamente al azar y se adecuaron tres unidades experimentales por tratamiento, cada una de las cuales consistió en una planta.

El experimento tuvo una duración de 43 días. Las plantas fueron fertirrigadas con las respectivas soluciones nutritivas aplicadas al sustrato con una frecuencia de tres veces por semana en cantidades que dependieron de la edad de las plantas y de sus requerimientos hídricos (Angulo, 2006), variando entre de 0.5 y 2 L/planta/semana.

Elemento	Solución completa empleada (ppm)	Solución No. 2 Hoagland y Arnon (1950) (ppm) (Salisbury & Ross, 1994)	Angulo (2006)
N (NO ₃)	119.74	196	
N (NH ₄)	6.36	14	
N (N total)	126.1	210	100,4
P	28.04	31	23,2
K	177.06	235	146,2
Ca	84.0	160	60
Mg	36.0	49	27
S	33.41	64	25
Fe	0.816	0.8	0,63
B	0.126	0.5	0,08
Cu	0.024	0.02	0,02
Zn	0.26	0.05	0,15
Mn		0.5	0,21
Mo		0.01	0,1

Tabla 1. Concentración de los elementos nutritivos en la solución completa empleada.

Para evaluar el efecto de cada tratamiento sobre el crecimiento de las plantas, se tomaron mediciones semanales de la altura y del área foliar. Para el análisis de los datos se determinó el incremento en estos dos parámetros considerando la diferencia entre la semana inicial y final del muestreo. Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con el paquete estadístico SPSS para Windows versión 15.0.1 para determinar su significancia. Para encontrar las diferencias entre promedios de los tratamientos respecto a los dos testigos (agua y solución completa), se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Dunnett al 5%.

Se realizó una descripción de los síntomas visuales que se presentaron en las plantas de lulo por efecto de los tratamientos. Esto se hizo mediante la inspección semanal de las plantas con el fin de detectar alteraciones morfológicas

Fuente	Cantidad (gr/14L de solución final)
Nitrato de calcio	4,68
Nitrato de potasio	5,472
Nitrato de amonio	5,472
Fosfato monoamónico	2,016
Sulfato de magnesio	5,328
Quelato de hierro	0,13392
Quelato de manganeso	0,04464
Quelato de cobre	0,00576
Quelato de zinc	0,03168
Borax	0,011
Molibdato de amonio	0,00144
pH	5,85
C.E (µS/cm)	1638

Tabla 2. Fertilizantes empleados para preparar la solución nutritiva completa empleada

Elemento	Cantidad (ppm)
NH ₄	0.20
Ca ⁺⁺	0.72
Mg ⁺⁺	0.18
K ⁺	0.16
Na ⁺⁺	1.11
SO ₄ ⁻	0.54
Cl ⁻	1.07
NO ₃ ⁻	0.17
CO ₃ ⁻	0.00
HCO ₃ ⁻	0.44
P	0.00
Fe	0.02
Mn	0.00
Cu	0.07
Zn	0.57
B	0.04

Tabla 3. Análisis químico del agua de acueducto en la Estación Experimental Río Grande, UMNG, Cajicá (G.R. Chía, 2008).

como coloraciones anormales en las hojas, restricción del crecimiento, malformaciones, entre otras, al ser comparadas con el testigo de solución completa. Estas observaciones se acompañaron de un registro fotográfico.

Estandarización del método para la medición del área foliar

Para estimar el área foliar de las hojas de lulo sin realizar muestreos destructivos y dado que no se contaba con un equipo especializado para su medición, se ensayaron diferentes técnicas. Como método de referencia se utilizó uno en el que se escogieron al azar 30 hojas provenientes de plantas de 2 años de edad, se tomó una fotocopia a cada una, se recortó y se pesó; posteriormente se pesó 1 cm² del papel y con esta información fue posible calcular



Figura 1. Métodos no destructivos de medición de área foliar evaluados para las hojas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*). a. largo máximo*ancho máximo (LM*AM), b. método del rectángulo, c. método del círculo.

el área foliar de cada hoja a partir de su peso. Se evaluaron tres posibles métodos para estimar el área foliar de las hojas de lulo sin retirarlas de las plantas: a) medir el largo máximo por el ancho máximo de cada hoja (LM*AM) asumiendo el área de la misma como un rectángulo (Figura 1a); b) tomar una medida del largo por el ancho (L*A) de la hoja, asumiendo que dentro de ésta cabe un rectángulo (Figura 1b); y c) medir el ancho máximo de la hoja, que normalmente se presenta a partir de la cuarta o quinta punta de arriba hacia abajo y tomarlo como el diámetro de un círculo (Figura 1c.). Los resultados fueron analizados a través de regresiones lineales ($y = ax + b$) comparándolos con el método de referencia, empleando el programa R.2.6.2. donde x corresponde al área foliar de una hoja en cm^2 obtenida con el método a evaluar, y al área foliar obtenida con el método de referencia, a es la pendiente y b el intercepto con el eje y .

Los tres métodos propuestos presentaron una alta correlación con el de referencia (Figura 2) y los parámetros a y b mostraron significancia

(Tabla 4). Para este experimento se escogió la técnica del círculo ya que obtuvo la mejor correlación ($R^2 = 0.96$) y se consideró como la más práctica para los muestreos en campo. De esta forma, se encontró que a partir de la medida del ancho máximo de la hoja de lulo (cm), asumiéndolo como el diámetro de un círculo, se calcula su área (x) (cm^2) y se puede ajustar a una medida más real (y) (cm^2), mediante la ecuación $y = 0.877x + 5.6401$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantas de lulo mostraron una respuesta diferencial en su crecimiento medido a través del incremento en el área foliar (Figura 3) y la altura (Figura 4), respecto a la aplicación de las diferentes soluciones nutritivas evaluadas. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas especialmente para el área foliar ($P = 0.002599^{**}$).

A pesar de las diferencias encontradas en el área foliar, éstas no fueron estadísticamente significativas cuando se practicó la prueba de

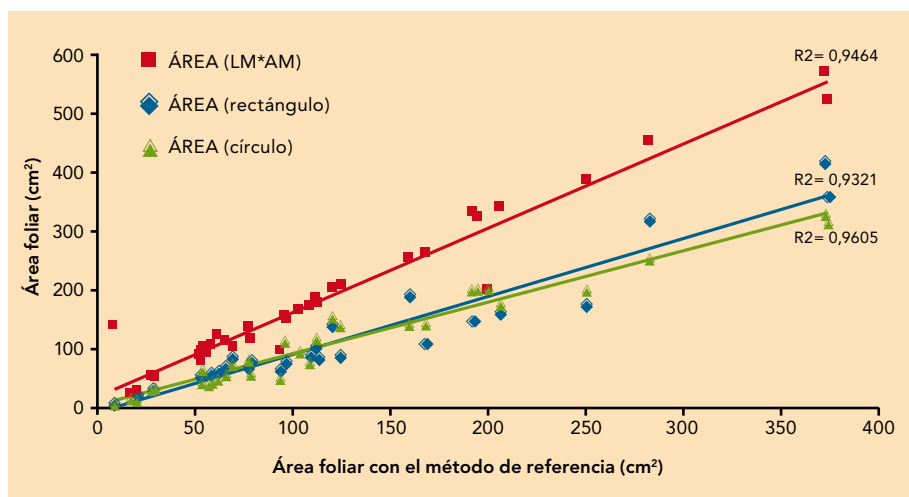


Figura 2. Regresiones lineales y coeficientes de correlación obtenidos con cada uno de los métodos evaluados para calcular el área foliar de las hojas del lulo (*Solanum quitoense*), frente al método de referencia escogido.

comparación de Dunnett comparando las plantas fertirrigadas con las diferentes soluciones nutritivas frente al testigo con solución completa. Cuando el testigo evaluado fue el tratamiento de las plantas de lulo regadas con agua, las plantas tratadas con soluciones carentes de calcio, potasio y azufre, estadísticamente presentaron un mayor incremento del área foliar (Figura 3).

Para la variable altura no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos frente a ambos testigos ($P=0.4634$). Pese a ello, en todos los tratamientos a excepción del magnesio, se evidenció un incremento en la altura

nescencia típica de las hojas maduras y bajas (Figura 5). En las plantas del testigo absoluto, regadas únicamente con agua, se produjeron hojas cóncavas o curvadas hacia arriba y con una coloración amarilla o clorótica tanto en hojas jóvenes como maduras (Figura 6), esto debido quizá a la expresión conjunta de las deficiencias de diferentes nutrientes que no permiten que se lleven a cabo adecuadamente las funciones fisiológicas en las plantas. En general, éstas se observaron muy similares a las del tratamiento de deficiencia de nitrógeno y se presentó una disminución importante en el número de hojas y en el área foliar

de las plantas de lulo respecto a aquellas sometidas al riego sin ningún aporte de nutrientes (Figura 4, Tabla 5).

Respecto a los testigos empleados en el ensayo, las plantas fertirrigadas con la solución nutritiva completa se mantuvieron en buenas condiciones y no se registró ningún tipo de amarillamiento diferente de la se-

	Método del Círculo		Método del rectángulo		Método LM*AM	
	B	a	b	a	b	a
Estimado	5.64010	0.87700	-6.14257	0.97618	21.09504	1.41874
Error estándar	4.73861	0.03143	7.02124	0.04657	9.00229	0.05972
Valor t	1.19	27.90	-0.875	20.960	2.343	23.758
Pr(> t)	0.243	<2e-16 ***	0.388	<2e-16 ***	0.0255 *	<2e-16 ***

Tabla 4. Coeficientes de regresión lineal para métodos de medición de área foliar. Códigos de significancia: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 * 0.1 ' ' 1

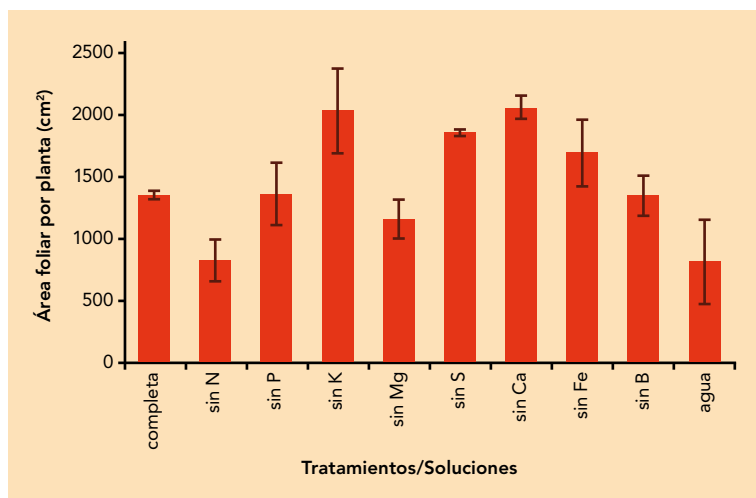


Figura 3. Respuesta de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) en etapa de vivero a la aplicación de las diferentes soluciones nutritivas evaluadas respecto al incremento en área foliar.

(Figura 3), por la aceleración de la senescencia y la disminución en la tasa de emisión de nuevas hojas, situación que concuerda con lo reportado para este frutal por Botía y Medina (2002).

La ausencia de nitrógeno limitó el crecimiento de la planta de lulo tanto en altura como en

área foliar, encontrando valores menores respecto al testigo con solución completa (Tabla 5). Esto puede explicarse debido a que la pérdida generalizada de clorofila ocasionada por la deficiencia en este elemento produce grandes trastornos fisiológicos en la planta (Botía y Medina, 2002). Este resultado sugiere que el nitrógeno se comporta como un elemento crítico para la nutrición del lulo en etapa de vivero, ya que al agregarlo en la solución nutritiva la planta mostró un incremento del 24% en altura y del 38,9% en área

foliar, mientras que la magnitud de la limitante ante la ausencia de este nutriente fue estadísticamente similar al de las plantas sometidas a inanición total con el testigo agua ($P=0.407$ y 1.000 respectivamente) (Figuras 3 y 4).

La reducción en la fotosíntesis en las plantas deficientes de nitrógeno se da como resultado de la acumulación de azúcares que se ve superada por la cantidad necesaria para alcanzar el equilibrio metabólico entre hojas y órganos demanda (Sinclair, 1990 y Guo et al., 2007 citados en Cabezas y Sánchez, 2008). Según Salisbury y Ross (2000), Azcón y Talón (2000), Marschner (2000), Cabezas et al. (2002) y Angulo (2006), la deficiencia en este elemento retarda el crecimiento de las plantas, ya que hay una menor asimilación y síntesis de productos orgánicos

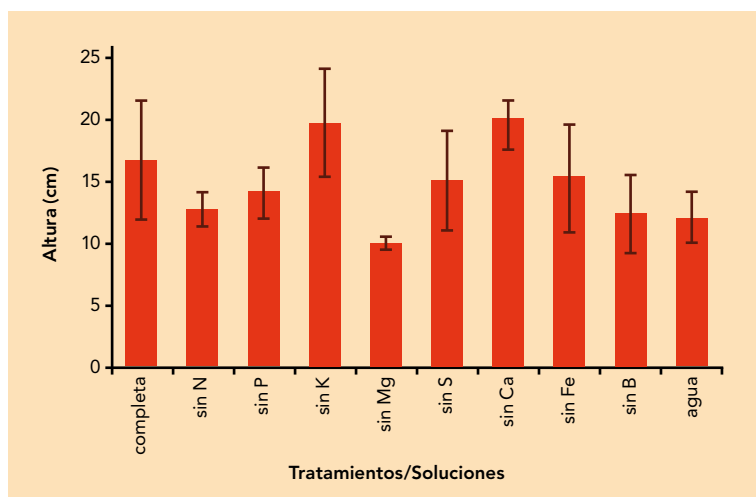


Figura 4. Respuesta de plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) en etapa de vivero a la aplicación de los diferentes tratamientos evaluados respecto al incremento en altura.

Tratamiento	Área foliar (cm ²)	Altura (cm)
Completa	1350,36	16,67
sin N	824,08	12,67
sin P	1365,84	14
sin K	2034,60	19,66
sin Mg	1152,39	10
sin S	1857,72	15
Sin Ca	2056,41	20
Sin Fe	1696,99	15,33
Sin B	1343,52	12,33
Agua	808,69	12

Tabla 5. Promedio de área foliar y altura en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) en etapa de vivero sometidas a deficiencias inducidas de nutrimentos.

se induce a la senescencia precoz de las hojas maduras. La producción de fotoasimilados se reduce a causa de la acumulación de carbohidratos de reserva de la hoja, afectando la relación C/N y generando disminución del N empleado para renovar la rubisco, lo que limita el proceso de fotosíntesis y el metabolismo de la planta (Cabezas y Sánchez, 2008). Además de esto, la falta de bases nitrogenadas necesarias para activar la división celular y las alteraciones en la síntesis de aminoácidos y de glutamato ocasionados por la acumulación de carbohidratos generan desórdenes en el desarrollo de las plantas, afectando directamente la producción de frutos (Hermans et al, 2006 y Guo et al, 2007 citados en Cabezas y Sánchez, 2008). Por otra parte, los suelos y los sustratos generalmente son más deficientes en nitrógeno que en cualquier otro elemento y dado que éste se encuentra presente en muchos compuestos esenciales, es de esperar

que el crecimiento de la planta sea más lento si el sustrato no cuenta con aportes de fuentes nitrogenadas (Salisbury y Ross, 2000).

Los resultados obtenidos en la descripción de la sintomatología visual de las plantas de lulo sometidas a la ausencia de nitrógeno fueron similares a los reportados por Botía y Medina (2002) y Angulo (2006), ya que se presentó una importante disminución en el área foliar que se manifestó en la caída de hojas a causa de la aceleración de la senescencia. Se observó una coloración verde pálida generalizada en la lámina foliar de todas las hojas (jóvenes y maduras), síntoma característico de esta deficiencia (Salisbury y Ross, 2000; Botía y Medina, 2002; Cabezas et al, 2002; Marschner, 2000; Angulo, 2006), la cual puede apreciarse de manera progresiva en la secuencia de fotografías que se presentan en la figura 7.



Figura 5. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) fertilizadas con la solución completa empleada. Foto: M. Vargas, 2006.

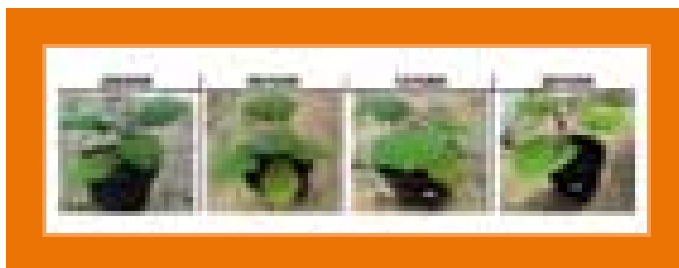


Figura 6. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) pertenecientes al tratamiento testigo, regadas únicamente con agua. Foto: M. Vargas, 2006.

Cuando el potasio fue eliminado de la solución nutritiva, las plantas de lulo en etapa de vivero mostraron un incremento importante en el área foliar (50,7%) frente a las plantas tratadas con solución completa (Figura 3). Con la altura se observó un comportamiento similar en donde las plantas crecieron 18% más respecto al mismo testigo (Figura 4). Frente al testigo agua, se presentó un aumento significativo (151,6%) en el área foliar de las plantas sometidas a la ausencia de potasio en la fertilización ($P=0.005$) (Tabla 5).



Figura 7. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) tratadas con solución carente de nitrógeno. Foto: M. Vargas, 2006.

A pesar de no registrar disminuciones en el área foliar ni en la altura de las plantas, la deficiencia de potasio produjo senescencia en las hojas maduras, coloración ocre en el margen de las hojas y signos evidentes de marchitez en las plantas de vivero (Figura 8), similar a lo reportado por Franco (2008) en plantas de uchuva. Este síntoma puede estar relacionado con la participación del potasio en la apertura y cierre estomático, regulando la transpiración y el potencial hídrico en los tejidos conforme a lo expresado por Salisbury y Ross (2000), Botía y Medina (2002), Angulo (2006) y Cabezas y Sánchez (2008).

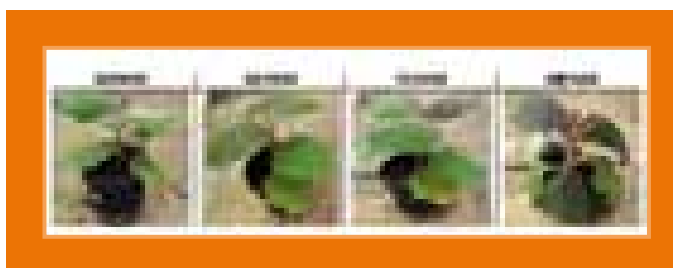


Figura 8. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) tratadas con solución carente de potasio. Foto M. Vargas, 2006.

Al igual que para el potasio, la ausencia de calcio tuvo efectos significativos en el área foliar de las plantas de lulo frente a las plantas regadas con agua ($P=0.004$). El crecimiento de la planta de lulo bajo el sustrato evaluado mostró un incremento en la altura y el área foliar del 20% y 52,3% respectivamente, en comparación con las plantas tratadas con solución completa (Figura 3 y 4) (Tabla 5). Los síntomas observados en las plantas son similares a los que se presentan en la senescencia y se evidenciaron como un amarillamiento generalizado en las hojas maduras y el colapsamiento del tallo en una unidad experimental. Según Botía y Medina (2002), esto ocurre cuando el tallo toma forma de gancho, se torna raquítrico y débil y finalmente colapsa (Figura 9). Probablemente la ausencia de calcio en la fertirrigación no expresó mayores síntomas en las plantas debido a que según Raese y Drake (1995) citados en Cabezas y Sánchez (2008), este elemento no es tan importante en la etapa vegetativa, mientras que resulta muy importante en la etapa reproductiva del lulo, ya que participa en el llenado de los frutos, en la asignación de carbohidratos a los órganos reproductivos,



Figura 9. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) tratadas con la solución nutritiva carente de calcio. Foto M. Vargas, 2006.

regula la maduración de los frutos y afecta la respiración y producción de etileno.

Esta respuesta en cuanto al mayor crecimiento del lulo obtenida al eliminar el Ca y el K de la solución con la que se fertirrigaron las plantas en el vivero, podría ser explicada porque su considerable contenido en el sustrato empleado para el ensayo, especialmente por la mezcla de turba-vermiculita (Tabla 6), cubriría en parte las demandas de la planta en esta etapa de su desarrollo, razón por la cual sería aconsejable reducir su concentración en la solución fertilizante porque podría resultar excesiva limitando el crecimiento de la planta de lulo. Por otra parte, los bajos niveles en los que se presentó el Mg frente al Ca y al K en el sustrato, podrían causar un desbalance que generaría un antagonismo entre estos cationes competidores y limitaría la absorción del magnesio de la solución y del sustrato (Finck, 1988; Jones et al., 2001; Gómez, 2005; G.R Chía, 2008).

Lo anteriormente expuesto, en parte podría explicar la respuesta de crecimiento del lulo ante la carencia del magnesio en la fertilización, ya que las plantas que crecieron sin este elemento tuvieron una disminución en altura del 40% frente a aquellas con fertilización

completa (Figura 4). En el área foliar se observó una disminución del 14% aunque no estadística frente dicho control ($P=0.832$) (Figura 3, Tabla 5), lo que coincide con lo reportado por Cabezas et al. (2002) y Guerrero (1986) para la deficiencia de este elemento, ya que se presenta una disminución en la tasa fotosintética.

El síntoma visual relacionado con la deficiencia de magnesio en las plantas lulo en etapa de vivero coincide con lo descrito por Salisbury y Ross (2000), Botía y Medina (2002) y Franco (2008), el cual se manifiesta en clorosis intervenal que inicia en los bordes de las hojas maduras y se desplaza hacia la nervadura central causando senescencia temprana (Figura 10).

Elemento	Cantidad (ppm)
N-NO ₃	40 – 100
P-PO ₄	5 – 15
K	35 – 75
Ca	25 – 75
Mg	20 – 40
Fe	0,7 – 2
Zn	< 0,2
Cu	< 0,3
Mn	< 0,6
B	< 0,6

Tabla 6. Contenido de macro y microelementos en el sustrato turba-vermiculita PRO-MIX PGX®. Referencia de Internet (1).

Para el fósforo se encontró que su ausencia dentro de la solución nutritiva no tuvo efectos significativos sobre el área foliar de las plantas de lulo frente a las tratadas con solo agua ($P=0.378$), ya que al realizar aplicaciones de la solución carente de este elemento, el área foliar

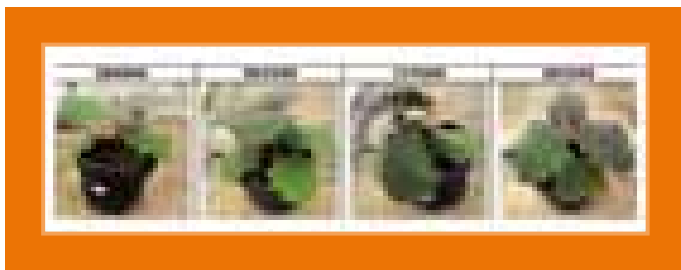


Figura 10. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) tratadas con la solución nutritiva carente de magnesio. Foto M. Vargas, 2006.

se comportó de forma similar a las plantas fertirrigadas con este testigo y con la solución completa (Figura 3, Tabla 5). Lo anterior contrasta con lo citado por Botía y Medina (2002) y Angulo (2006), quienes describen agobio, raquitismo y disminución en el tamaño de las hojas bajas en plantas deficientes de fósforo, debido a que este elemento es indispensable para la formación de las células que componen los tejidos. Sin embargo, es importante considerar que los aportes de fósforo del sustrato turba-vermiculita (Tabla 6), pueden contribuir a suplir los requerimientos de la planta. La sintomatología que si se evidenció en las hojas de las plantas de lulo tratadas con la solución carente de fósforo, fue la coloración verde oscura y una acentuada coloración morada en la vena principal causada por la acumulación de antocianinas (Figura 11), además de la rápida senescencia, dado que este elemento se acumula en hojas jóvenes y estructuras florales (Paul, 1999 y Salisbury y Ross, 2000). Las plantas de este tratamiento tuvieron una altura 16% menor a las fertilizadas con solución nutritiva completa (Figura 4), resultado que concuerda con lo obtenido por Botía y Medina, 2002 y Cabezas y Sánchez, (2008). Al respecto, Paul, (1999),

Salisbury y Ross (2000) y Angulo (2006) reportan que el fósforo participa de manera importante en el crecimiento de la planta a nivel de elongación de entrenudos ya que estimula la división celular y las plantas que carecen de este elemento presentan enanismo o bajas alturas.

Las plantas de lulo durante la etapa de vivero carentes de azufre mostraron una respuesta positiva en el desarrollo de

área foliar al realizar aplicaciones con soluciones sin este elemento, siendo estadísticamente diferentes del riego con agua ($P=0.017$). Se encontraron valores de 129.7 y 37,6% superiores a los testigos agua y solución completa respectivamente (Figura 3). En contraste, la altura tuvo un comportamiento negativo, siendo 10% inferior al de las plantas fertirrigadas con el testigo relativo (Figura 4, Tabla 5). Este resultado coincide con lo reportado por Marschner (1995) y Jones (1998), Havlin et al. (1999) citados en Ramírez (2003), quienes afirman que la deficiencia en azufre produce plantas con disminución en la parte aérea.

Los síntomas visuales detectados ante la ausencia de este elemento destacan una coloración verde pálida en todas las hojas jóvenes y maduras ocasionada por la disminución del contenido de clorofila, además de los síntomas propios de



Figura 11. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) tratadas con la solución nutritiva carente de fósforo. Foto M. Vargas, 2006.

la senescencia precoz en hojas maduras (Figura 12) (Salisbury y Ross, 2000; Botía y Medina, 2002). A pesar que la deficiencia de azufre causa defoliación prematura en las plantas, no se observó disminución en el número de hojas a través de las diferentes fechas de muestreo.

La ausencia de boro en la solución nutritiva no causó reducciones significativas en el área foliar de las plantas de lulo frente a las

se debe a que la ausencia de boro reduce o inhibe el crecimiento de estructuras vegetativas y reproductivas a causa de la pérdida de plasticidad y estructura de la pared celular (Loomis y Durst, 1992 y Matoh et al, 1996 citados en Martínez et al, 2008). Los síntomas detectados ante la deficiencia de boro fueron la coloración pálida en algunas hojas, síntomas de deshidratación, amarillamiento apical

El elemento faltante que más afectó el crecimiento vegetativo de la planta de lulo fue el nitrógeno, lo cual se evidenció en este ensayo, ya que su deficiencia se manifestó con más contundencia mediante clorosis generalizada en toda la planta, disminución en el área foliar y en el número de hojas.

de fertilización completa y las sometidas a iniciación con solo agua ($P=0.420$) (Figura 3); lo contrario sucedió con la altura la cual fue 26% menor aunque no significativo frente a dicho testigo (Figura 4, Tabla 5). Esto quizás

en las hojas maduras y entrenudos cortos, coincidiendo con Capera y Leguizamón, (1999) citados en Botía y Medina (2002) y Marschner, 1995; Lambers et al. 1998; Taiz y Zeiger, 1998; Jones, 1998; Havlin et al. 1999 y Azcon, Bieto & Talon, 2000 citados en Ramírez, 2003 (Figura 13). En contraste a lo expresado por los mismos autores, en las plantas de lulo de vivero sometidas a este tratamiento no se produjo secamiento en brotes nuevos, desprendimiento prematuro de las hojas, encrespamiento de las hojas o muerte de las hojas jóvenes (Cabezas et al, 2002; Guerrero, 1986). A lo anterior, pudo contribuir la presencia de boro



Figura 12. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) tratadas con la solución nutritiva carente de azufre. Foto M. Vargas, 2006.

en el sustrato turba-vermiculita empleado para el estudio (Tabla 6).

Respecto al hierro, eliminarlo de la solución nutritiva, mostró efectos significativos en el área foliar, pero no en la altura de las plantas. Su ausencia causó una mayor área foliar en las plantas, respecto a la solución completa (25,7%) y al agua (109,8%) ($P=0.053$) (Figura 3, Tabla 5). Esto sugiere que la concentración de este elemento dentro de la solución completa puede ser excesiva, más si se considera el contenido de hierro



Figura 13. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) tratadas con la solución nutritiva carente de boro. Foto M. Vargas, 2006.

que posee uno de los componentes del sustrato utilizado en el ensayo (Turba Promix-PGX®) (Tabla 6). Quizás por esta razón luego de seis semanas de la aplicación de la solución nutritiva sin hierro, no se observaron los síntomas típicos reportados en la literatura para la deficiencia de este elemento (Figura 14). Estos síntomas, según Botía y Medina (2002), inician en las hojas jóvenes y consisten en reducción en la lámina foliar, las hojas maduras desarrollan amarillamiento apical que se extiende progresivamente por toda la hoja, se producen puntos necróticos en los bordes y posteriormente se secan y caen.

Según Salisbury y Ross (2000), cuando una planta alcanza los niveles óptimos de nutrición mantiene un crecimiento estable, lugar en el cual también se lleva a cabo la mayor producción de asimilados. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede sugerir para futuros ensayos, que para un adecuado mantenimiento de plantas de lulo en etapa de vivero, utilizando un sustrato compuesto por la mezcla de turba-vermiculita y cascarilla de arroz, el ajuste de la solución nutritiva debe estar enfocado a disminuir los niveles del potasio y calcio o quizás eliminarlos de la solución, ya que el requerimiento de estos elementos en la planta al parecer es suplido por el sustrato y dosis excesivas limitan su crecimiento. Dado que el lulo es muy sensible a la deficiencia en magnesio y pueden presentarse antagonismos con el calcio y el potasio, se recomienda incrementar su concentración en la solución fertilizante.

El elemento faltante que más afectó el crecimiento vegetativo de la planta de lulo fue el nitrógeno, lo cual se evidenció en este ensayo, ya que su deficiencia se manifestó con más contundencia mediante clorosis generalizada en toda la planta, disminución en el área foliar



Figura 14. Registro fotográfico de las plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) tratadas con la solución nutritiva carente de hierro. Foto M. Vargas, 2006.

y en el número de hojas. Cuando hay un suministro adecuado de este elemento se retarda la senescencia y se estimula el crecimiento de la planta, incrementando la productividad y eficiencia agronómica (García, 2008). Por lo anterior es indispensable su presencia en la solución nutritiva para evitar retardo en el crecimiento, defoliación prematura, tallos delgados, baja producción de futuras flores, aumento en la asimilación de amonio y senescencia en hojas viejas (Botía y Medina, 2002; Ramírez 2003). Para trabajos futuros se recomienda evaluar diferentes dosis de este elemento dentro de la solución completa, a fin de encontrar un nivel óptimo desde el punto de vista agronómico y económico.

Para el fósforo y el boro se sugiere conservar la concentración propuesta en la solución completa, para lograr una altura y área foliar adecuadas y particularmente, para el caso del fósforo, disminuir la acumulación de antocianinas en las hojas. De acuerdo a la respuesta de las plantas de lulo ante la ausencia del azufre, se sugiere conservar su concentración en la solución completa, a fin de evitar la clorosis generalizada de la planta ó quizás evaluar soluciones con menores concentraciones. Se evidenció la posibilidad de reducir de manera importante la concentración de hierro en la solución nutritiva completa, e incluso considerar eliminarlo, ya que el sustrato realizaría aportes de este elemento que contribuirían a suplir los requerimientos de la planta de lulo en esta etapa.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias de la Universidad Militar Nueva Granada por el apoyo prestado para la ejecución de este Proyecto de Iniciación Científica.

BIBLIOGRAFIA

1. Angulo, R. 2006. Lulo: el cultivo. Capítulo 1: Generalidades del cultivo y Capítulo 2: Propagación. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Conciencias y Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales. Bogotá. 99p.
2. Azcón, J; M. Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw Hill. Primera edición. Barcelona. 522 p.
3. Bernal, J. A., O. Cordoba, G. Franco, M. Londoño, J. Rodríguez, N. Guevara. 1996. Cultivo de lulo (*Solanum quitoense* lam.). En: Memorias. Primer seminario frutales de clima frío moderado. Oct 10 y 11. Corpoica. Manizales CDTF. pp 61-78.
4. Botía, T. C.; L. M. Medina. 2002. Determinación de síntomas por deficiencias Inducida de nutrientes en lulo (*Solanum quitoense* Lam y Uchuva *Physalis peruviana* L). Corporación Universitaria de ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A).
5. Cabezas, G. M., L. M. Medina, y T. C. Botía. 2002. Determinación de síntomas por deficiencia inducida en nutrimentos en lulo (*Solanum quitoense* Lamb.). Memorias del IV Seminario de frutales de clima frío moderado. pp. 176-181.
6. Cabezas y Sánchez, 2008. Efecto de las deficiencias nutricionales en la distribución de la materia seca en plantas de vivero de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey). Agronomía Colombiana 26 (2), 197-204. Bogotá.
7. Cadahia, C. 2005. Fertirrigación. Capítulos 2, 3 y 4. Editorial Mundi-prensa. Tercera edición. pp. 73-182.
8. Camacaro S., Machado W. 2005. Producción de biomasa y utilización de *Leucaena leucocephala* fertilizada y pastoreada por ovinos. Zootecnia Tropical 23(2):91-103.
9. Finck A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverté. ISBN 8429110100, 9788429110104. Pagina 193.
10. Fonteno, D. C. 1999. Capítulo 5: Sustratos, Tipos y Propiedades Químicas. En: Agua, Sustratos y Nutrición en los Cultivos de Flores bajo Invernadero. D. W. Reed Ed., Editoral Bäll – Hortitecnia, Bogotá, Colombia. p. 93-123.
11. Franco, S. 2008. Guía de deficiencias nutricionales en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en

- estadio prereproductivo. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ciencias. Bogotá. 74 p.
12. García J. 2008. Manejo de nutrición por sitio específico en el cultivo de maíz. Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. Bogotá. 235 p.
 13. Gómez, M.I. 2005. Análisis de suelos como herramienta de diagnóstico en la evaluación de la fertilidad en el cultivo de papa. En: Fisiología y Nutrición Vegetal en el cultivo de papa. Presente y futuro de la investigación en la Cadena agroalimentaria de la papa en Colombia. CEVIPAPA. Bogotá. 99 p.
 14. Gómez. 2006. Manual Técnico de fertilización de cultivos. ISBN: 958-33-8514-X. Editorial Produmédios. Bogotá, Colombia. 116 p.
 15. Guerrero, R. 1986. Diagnóstico visual de deficiencias nutricionales en la planta. Mimeografiado. Guías de Laboratorio. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. pp. 1-21.
 16. G.R Chía S.A. 2008. Tablas de interpretación de resultados de un análisis químico de suelos. Laboratorio de suelos.
 17. Jones J. B., J. P. Jones, R. E. Stall, T. A. Zitter. 2001. Plagas y enfermedades en tomate. The American Phythopathological Society. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona-Mexico. pg. 60-61.
 18. Martínez F., Sarmiento J., Fischer G., Jiménez F. 2008. Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg, y B en componentes de producción y calidad de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Agronomía Colombiana 26(3), 389,-298. Bogotá.
 19. Marschner. 2000. Mineral Nutrition of Higher Plants. Wadsworth Publishing Company. USA.
 20. Ortega D. 2008. Manejo integrado de riego y fertilización en sistemas de producción de flores de corte bajo invernadero. Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. Bogotá. 235 p.
 21. Paul, V. N. 1999. Programa de fertilización con Macronutrientes. En: Agua, Sustratos y nutrición en los cultivos de flores bajo invernadero. Ball Publishing y Ediciones Horti Tecnia Ltda. Illinois. pp. 168.
 22. Ramírez, C. 2003. Fisiología de la nutrición mineral: Hierbas aromáticas frescas tipo exportación. Memorias curso de extensión teórico práctico pp. 35-40.
 23. Sadeghian. 2008. Actualidad y tendencia en la fertilización de café. Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. Bogotá. 235 p.
 24. Salamanca, R. 1999. Suelos y fertilizantes. Universidad Santo Tomas. Bogotá.
 25. Salas E., Ramírez C. 2001. Determinación del N y P en abonos orgánicos mediante la técnica del elemento faltante y un bioensayo microbiano. Agronomía Costarricense 25(2): 25-34.
 26. Salisbury F. B., Ross W. C. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana S.A. Mexico. 759 p.
 27. Salisbury, F. B., W.C. Ross. 1992. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company. California. 682 p.
 28. Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Plant Physiology. Second Edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 764 p.

REFERENCIAS DE INTERNET

1. Ficha técnica PRO-MIX 'PGX'. En: <http://www.premierhort.com>. Fecha de consulta: Marzo de 2009.