

Análisis de crecimiento de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. ICA Palmira II sometidos a deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B en fase de vivero

Growth analysis of guava (*Psidium guajava* L.) trees var. ICA Palmira II with N, P, K, Mg, Ca and B deficiencies in the nursery phase



SINDY LORENA DUSSÁN C.¹

DANIEL ANDRÉS VILLEGAS H.¹

DIEGO MIRANDA L.²

Nuevo crecimiento apical en plantas de guayaba con buen estado nutritivo.

Foto: S.L. Dussán C.

RESUMEN

La guayaba especie frutícola perteneciente a la familia Myrtaceae; se destaca por ser una fruta de alto contenido vitamínico; es un cultivo con poca investigación y asistencia técnica, especialmente en el área de la fertilización, sin embargo, cuenta con enorme potencial de expansión en cuanto a tecnificación y rentabilidad. Plantas de guayaba var. ICA Palmira II de 3 meses de edad fueron trasplantadas a bolsas plásticas, fueron mantenidas durante 128 días en condiciones de invernadero plástico. Se indujo deficiencia nutricional mediante la técnica del elemento faltante en aplicación de soluciones nutritivas, usando un diseño experimental totalmente aleatorizado con 152 unidades muestrales, 8 tratamientos y 3 repeticiones, de la siguiente forma: T0: aplicación de agua sin adición de elementos minerales; T1: fertilización completa (testigo absoluto); T2: sin nitrógeno (-N); T3: sin fósforo (-P); T4: sin potasio (-K); T5: sin magnesio (-Mg); T6: sin calcio (-Ca) y T7: sin boro (-B). Se determinó la tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), relación de área foliar (RAF) y tasa de asimilación neta (TAN). Se encontró que en comparación con la fertilización completa la omisión de nitrógeno, fue el tratamiento más limitante en etapas tempranas de desarrollo de plántulas de guayaba. En cambio, en el tratamiento sin boro (-B), el crecimiento y desarrollo de las plantas no se limitó, ya que no se reprimió la emisión de nuevos tejidos y la acumulación de materia seca. La carencia de K, P, Mg y Ca no presentó efecto negativo sobre el crecimiento y desarrollo de los árboles de guayaba, sin embargo, las plantas sometidas a estos tratamientos presentaron síntomas característicos de la deficiencia en plantas de interés agronómico

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

² Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

³ Autor para correspondencia. dmirandal@unal.edu.co

Palabras clave adicionales: nutriente, índices, fertilización, elemento faltante.

ABSTRACT

The guava is a fruit species of the Myrtaceae family; it stands out as a fruit with a high vitamin content. It is a crop with little research and technical assistance, especially in the area of fertilization, but has enormous potential for expansion in terms of modernization and profitability. Three-month-old guava trees of the ICA Palmira II variety were used, transplanted into plastic bags and kept for 128 days in a plastic greenhouse. Nutritional deficiency was induced with the missing element technique under a nutrient solution, using a completely randomized experiment design with 152 sampling units and 8 treatments with 3 repetitions: T0: application of water without the addition of mineral elements; T1: complete fertilization (absolute control); T2: -N; T3: -P; T4: -K; T5: -Mg; T6: -Ca and T7: -B. The relative growth rate (RGR), leaf area index (LAI), specific leaf area (SLA), leaf area ratio (RAF) and net assimilation rate (NAR) were determined. It was found that the omission of nitrogen, as compared to complete fertilization, was the most limiting treatment in the early stages of seedling development of the guava. In contrast, in the -B treatment, the growth and development of the plants were not limited, as this treatment did not inhibit the emission of new tissue or dry matter accumulation. The lack of K, P, Mg and Ca presented no negative effect on the growth and development of the guava trees; however, the plants subjected to these treatments showed typical symptoms of deficiency in plants of agronomic interest.

Additional key words: nutrient, indices, fertilization, missing element.

Fecha de recepción: 07-09-2015

Aprobado para publicación: 20-11-2015

INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una especie arbórea perteneciente a la familia *Myrtaceae*, nativa de América tropical continental; se encuentra en forma silvestre y cultivada en todas las regiones tropicales y subtropicales de Centro y Suramérica, así como en otras regiones del mundo (IIFT, 2011). Dentro de los países con participación en la producción de guayaba se encuentran la India, Pakistán, México, Brasil, Colombia, Tailandia, entre otros (Singh, 2011; Fischer *et al.*, 2012). Su fruto es considerado con alto contenido nutricional y potencial en mercados extranjeros; además, contiene vitaminas B1 y B2, y minerales como Ca, Mg, K, Fe y P (Nieto, 2007). En Colombia, aún es un cultivo con baja importancia relativa cuando se le compara con

otros productos frutícolas. Para el año 2013, se tenían cultivadas alrededor de 8.000 ha, con una producción de 90.000 t (Agronet, 2014).

En los sistemas agrícolas, los trastornos nutricionales que inhiben el crecimiento y el rendimiento de las plantas no son solo caracterizados por los síntomas fácilmente visibles, estos se hacen perceptibles cuando la deficiencia es aguda y como resultado la tasa de crecimiento y el rendimiento son claramente deprimidos (Marschner, 2012), en consecuencia, se producen trastornos en las rutas metabólicas en las que se encuentran implicados dichos elementos y además generan efectos negativos en otros procesos secundarios (Epstein y Bloom, 2005).

Se considera que cuantificar el efecto negativo que la carencia nutricional ejerce sobre el crecimiento, desarrollo y productividad de las especies vegetales, constituye una aproximación cuantitativa, que usa datos simples y básicos, para la descripción e interpretación de los cambios o adaptaciones de las plantas en ambientes determinados (Hunt, 1978). Existen diferentes metodologías para realizar el análisis de crecimiento, el primero de ellos, es el análisis tradicional o clásico, el cual involucra la toma de datos en función del tiempo (periodicidad de 1 a 2 semanas) con un gran número de muestras (Gardner *et al.*, 2003) con las cuales se generan funciones paramétricas que permiten describir el crecimiento y desarrollo de las plantas. Un segundo método es el análisis funcional o dinámico, el cual se basa en muestreos frecuentes con pequeñas muestras poco repetidas, con el cual se logra obtener funciones matemáticas que describen el comportamiento del crecimiento de las plantas. Los parámetros que definen las funciones matemáticas para el análisis funcional son determinados mediante el procedimiento estadístico llamado análisis de regresión no lineal (Rodríguez y Leihner, 2006).

En Colombia, el cultivo de la guayaba especialmente las variedades Roja regional y Regional blanca se producen con baja tecnificación en fincas de economía campesina con áreas no mayores a 2 ha en diversos ecosistemas (Sinuco *et al.*, 2010).

Considerado aún como un cultivo muy rústico, con poca asistencia técnica, investigación y organización de la cadena productiva, se genera un evidente retraso tecnológico que no solo afecta la competitividad en los mercados, sino también se hace más evidente en la época de producción con bajos rendimientos, problemas de comercialización de la fruta, altos costos de producción, deficiencia de calidad, inestabilidad de la oferta y por consiguiente de los precios. No existe información acerca de la relación entre las deficiencias

nutricionales y el crecimiento de las plantas en etapas tempranas del desarrollo del cultivo.

El objetivo de este estudio fue analizar el crecimiento de árboles de guayaba, var. ICA Palmira II sometidos a deficiencias de macronutrientes y B en fase de vivero, debido a la ausencia de información relacionada con la fertilización en esta etapa del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y material vegetal

El estudio se realizó bajo condiciones de invernadero cerrado con cubierta plástica, en la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, ubicado a 2.556 msnm con temperatura promedio mensual de 24°C y humedad relativa promedio mensual de 65%, al interior del invernadero. Se adquirieron árboles de guayaba var. ICA Palmira II, de 3 meses de edad, los cuales fueron transplantados a bolsas de polietileno de 2 L; el sustrato usado fue la mezcla compuesta con arena de río y gravilla con tamaño de grano de 0,5 y 1,5 cm, respectivamente.

Se realizaron ocho tratamientos con tres repeticiones para un total de 152 unidades experimentales, en un diseño experimental completamente al azar con los siguientes tratamientos: T0: aplicación de agua de acueducto sin adición de elementos minerales; T1: fertilización completa (testigo absoluto); T2: fertilización completa menos nitrógeno; T3: fertilización completa menos fósforo; T4: fertilización completa menos potasio; T5: fertilización completa menos magnesio; T6: fertilización completa menos calcio y T7: fertilización completa menos boro. Las plantas fueron ubicadas en hileras dobles separadas 0,20 m entre ellas y distribuidas en cuatro camas de 1,20 m separadas entre sí por 0,3 m. Fueron empleadas las soluciones Agruna 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36 (tabla 1), cada una de ellas de forma independiente, mezcladas para generar solu-

ciones madre en siete tanques de 20 L, aplicadas en dosis de 500 mL por planta, con una frecuencia de día por medio. Se empleó la técnica del elemento faltante para suplir los requerimientos nutricionales reportados por Natale *et al.* (1996) y Salvador *et al.* (1999) para macro y micronutrientes, respectivamente. A partir de soluciones madre balanceadas descritas por Hoagland y Arnold (1950) (tabla 1).

Muestreo material vegetal

Las evaluaciones se realizaron con una frecuencia de 13 d, seleccionando tres árboles por cada tratamiento (24 por muestreo) para un total de seis muestreos destructivos realizados a los 33, 46, 59, 72, 85 y 98 ddt. En laboratorio se midió la longitud de tallo y raíz, así como masa fresca de hojas, tallos y raíces, además del área foliar para este último se empleó el equipo LI-3100 (LI-

COR, Lincoln, NE). Luego, muestras de la parte aérea y raíz fueron llevadas a estufa de secado con aire forzado a 75°C durante 48 h, hasta peso constante y para obtener la masa seca de cada uno de los órganos de la planta. Se determinaron parámetros de crecimiento mediante el análisis funcional del modelo logístico como describen Flórez *et al.* (2006), con base en los coeficientes obtenidos por Statistic System Analysis (SAS) v. 9.1.3., fueron construidas las curvas de crecimiento de las plantas empleadas durante el experimento.

Índices de crecimiento

Se determinaron los parámetros de crecimiento (tabla 2): tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE) y tasa de asimilación neta (TAN).

Tabla 1. Niveles de nutrientes (g L⁻¹) para cada tratamiento, aplicadas diariamente.

Nutriente	Tratamiento							
	-N	-P	-K	-Mg	-Ca	-B	Completa	Agua
N	0	43	43	43	43	43	43	0
P	12	0	12	12	12	12	12	0
K	40	40	0	40	40	40	40	0
Mg	7	7	7	0	7	7	7	0
Ca	7	7	7	7	0	7	7	0
B	7	7	7	7	7	0	7	0

Tabla 2. Parámetros de crecimiento determinados (Miranda, 1995).

Índice	Descripción	Fórmula	Unidades
TAC	Tasa absoluta de crecimiento	$P2-P1/T2-T1$	g d ⁻¹
TRC	Tasa relativa de crecimiento	TAC/PST	g g ⁻¹ d ⁻¹
IAF	Índice de área foliar	L_A/AP	Adimensional
AFE	Área foliar específica	L_A/PSH	cm ² g ⁻¹
RAF	Relación de áreas foliar	LA/PST	cm ² g ⁻¹
TAN	Tasa de asimilación neta	TAC/LA	g cm ⁻² d ⁻¹

P1, P2 = peso en los tiempos 1 y 2, respectivamente; PST = peso seco total (g); LA = área foliar (cm²); AP = área ocupada por la planta; PSH = peso seco de hojas (g).

Tasa relativa de crecimiento (TRC): comúnmente llamado el “índice de la eficiencia” debido a que expresa el crecimiento en términos de la ganancia de materia seca a partir de la existente en un intervalo de tiempo determinado (Hunt, 1982), es decir; mide la eficiencia de la planta para producir nuevo material dependiendo así de la fotosíntesis total y de la respiración (Useche y Shipley, 2010).

Índice de área foliar (IAF): es definido como el área foliar por unidad área de suelo, es una medida de la cantidad de vegetación e influencia directamente la transpiración de la planta y la radiación interceptada (Törnros y Menzel, 2014). Esta variable, se incrementa con el crecimiento del cultivo hasta que este último, alcanza un valor máximo en el que es capaz de interceptar la máxima radiación solar (Hunt, 1982).

Área foliar específica (AFE): es la razón entre el área foliar y el peso de la hoja. Es una medida relacionada con el grosor de la lámina foliar en relación a su peso seco (Hunt, 1982).

Relación área foliar (RAF): este índice describe la superficie foliar de la planta con base en la masa seca, corresponde a la fracción de la masa seca que pertenece a las hojas (Flórez *et al.*, 2006).

Tasa de asimilación neta (TAN): la tasa de asimilación neta es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, el cual mide la cantidad neta de asimilados que gana la planta por unidad de área foliar y por unidad de tiempo (Hunt, 1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa relativa de crecimiento

La TRC máxima fue alcanzada en los primeros 10 d de crecimiento (figura 1), por las plantas sometidas a deficiencia de boro (-B), con $0,042 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, seguido por las plantas fertilizadas con la solución completa con $0,025 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, aquellas -N con valor de $0,025 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en comparación

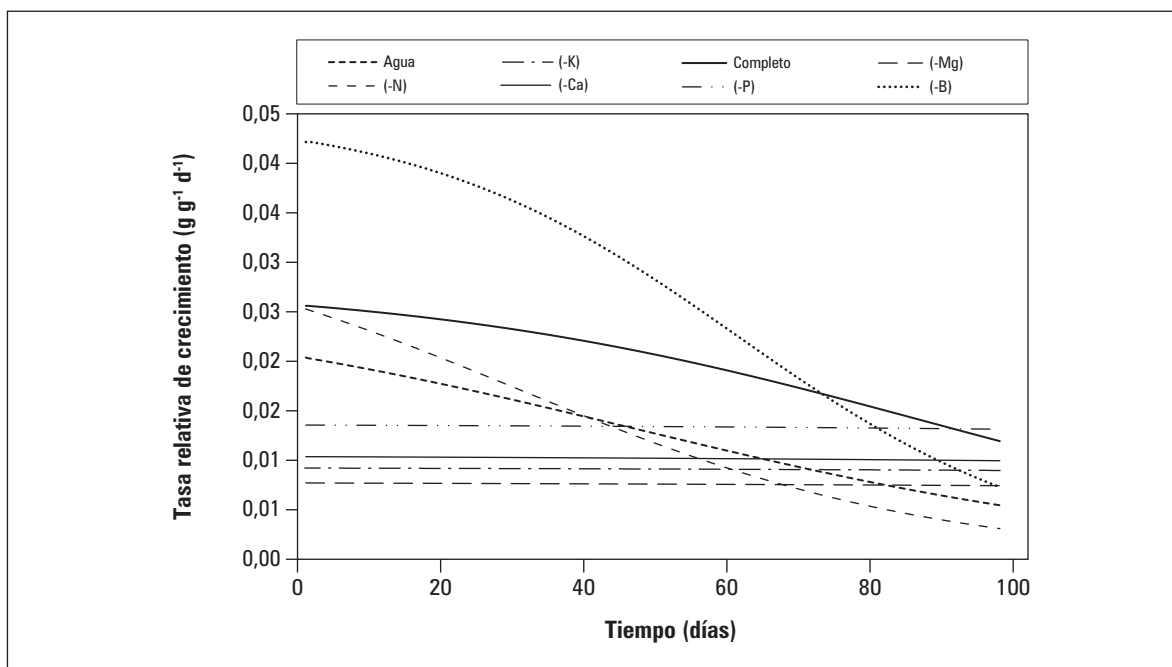


Figura 1. Tasa relativa de crecimiento de árboles de guayaba sometidos a deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B.

con las pertenecientes al tratamiento al cual les fue suministrado agua sin adición de nutrientes con valor de $0,026 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Por otra parte, para este mismo periodo de tiempo los menores valores de la TRC correspondieron a las plantas que formaron parte de los tratamientos de -P, -Ca, -K y -Mg, con valores de 0,0135, 0,0103, 0,0093, $0,0076 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. Posterior a ello, la curva presentó una disminución en la ganancia de materia seca a partir de la existente hasta 98 ddt; sin embargo, no fue en la misma magnitud en todos los tratamientos. De tal forma, se destacaron dos comportamientos diferentes, en los que se pueden agrupar los nutrientes; distribuidos así, un primero en el cual las plantas pertenecientes a los tratamientos de -P, -Ca, -K y -Mg; presentaron valores finales de 0,0131; 0,0099; 0,0091 y $0,0074 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectivamente; y por otra parte, un segundo en el que se encuentran aquellas plantas de los tratamientos de fertilización completa, solo agua, -N y -B, con 0,0119; 0,0054; 0,0030 y $0,0072 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectivamente.

El comportamiento de la TRC, de las plantas sometidas a deficiencia de nitrógeno, se debe a que este macronutriente está ligado a la constitución propia de la planta, es decir, a los componentes estructurales funcionales que proporcionan energía metabólica a esta, mientras que una porción más pequeña se incorpora en componentes celulares (De Groot *et al.*, 2003); al presentar deficiencia de este, se produce material vegetal nuevo (hojas) pero en menor magnitud (figura 2); por tal motivo se podría decir que, ante el posible estrés en la nutrición mineral, la actividad respiratoria de la planta podría ser afectada como consecuencia a una eventual disminución en el proceso de la fotosíntesis debido a la interrupción de forma drástica la regeneración y actividad de la Rubisco (Fukayama *et al.*, 2012).

El comportamiento de la curva de la TRC con respecto a la concentración de nitrógeno en la planta, evidencia una menor acumulación de masa seca en el transcurso del periodo de eva-

luación en las plantas pertenecientes a este tratamiento, lo que podría sugerir, que el nitrógeno de la planta no lograría reciclarse suficientemente rápido para evitar reducciones en el crecimiento, la TRC presenta menores valores de acumulación de masa seca, así como el uso eficiente de C y N, debido a la disolución en el N orgánico y la reducción de sus concentraciones en las tasas de expansión foliar (Walker *et al.*, 2001).

La deficiencia de boro se relaciona con la disminución de la fotosíntesis y el aumento en el peso específico de las hojas, lo cual corresponde con valores bajos en el área foliar específica, debido posiblemente a que se pudo producir como efecto de la deficiencia, acumulación de almidón y hexosas en el tejido foliar Han *et al.* (2008); resultados similares ante la deficiencia de boro fueron encontrados en hojas de plántulas cítricas (Han *et al.*, 2008), tabaco (Zhao y Oosterhuis, 2002) y algodón (Camacho *et al.*, 2004). Además, se observó que a partir de los 60 ddt, las plantas sometidas a deficiencia de boro presentaron mayor disminución en la curva; debido posiblemente a la cantidad de hojas, el autosombreamiento a la expresión de la deficiencia, pues como efecto de omisión del elemento, el meristemo apical se atrofia y deforma, cuando esto ocurre la dominancia apical se pierde (Wimmer y Eichert, 2013).

Índice de área foliar

El IAF mayor correspondió a las plantas tratadas únicamente con agua aquellas que fueron inducidas por la deficiencia de nitrógeno (figura 2), con valores de 0,913 y 0,933, respectivamente, en comparación con los demás tratamientos; que arrojaron valores por debajo de 0,500. Hacia el 20 ddt, se presentó un incremento en la ganancia de materia seca foliar para todos los tratamientos, no obstante, la magnitud no fue la misma; se pudo observar cómo a partir de 46 ddt las plantas pertenecientes a los tratamientos de agua y -N presentaron menores valores de IAF, los cuales correspondieron a 2,156 y 2,882, respectivamente, en comparación con las plantas

de fertilización completa que registraron 2,933 y demás tratamientos que estuvieron por encima de 3,000. Luego de este periodo, todos los tratamientos, menos el de las plantas con aplicación únicamente de agua y aquellas con deficiencia de nitrógeno, presentaron crecimiento exponencial hasta alcanzar para 98 ddt el máximo IAF que correspondió a las plantas pertenecientes a tratamiento de fertilización completa con valor de 10,224, seguido por las plantas -K, -Ca, -B y -Mg con valores de 9,603, 9,473, 9,123 y 8,208, respectivamente; mientras que el IAF menor correspondió a los tratamientos de agua y -N, con 3,619 y 4,035, respectivamente.

El comportamiento del IAF de las plantas sometidas a deficiencia de nitrógeno pudo deberse a que la omisión de este elemento se relaciona con dificultades en la síntesis de proteínas y crecimiento de las plantas; esta última, afectada de forma particular; debido a que este nutriente interviene en la producción de materia seca e influye en el desarrollo y mantenimiento del área foliar así como en la eficiencia fotosintética. Por

otra parte, la deficiencia de N reduce la interceptación de radiación, la eficiencia en el uso de la misma y la partición de materia seca en los órganos de la planta, especialmente en el tejido foliar (Marschner, 2012), lo que se podría atribuir a la falta en el suministro de nitrógeno, así como en el tratamiento agua se generó reducción en la producción de nuevos órganos vegetativos, involucrados en la interceptación de radiación, con posterior efecto negativo sobre su crecimiento.

Por otro lado, las plantas sometidas al tratamiento de fertilización completa, -P, -K, -Mg, -Ca y -B, lograron producir mayor área foliar, lo que se tradujo en un aumento de la tasa de expansión foliar; con resultado en aumento en la capacidad por parte de estas en interceptar luz solar, transformarla en el proceso de la fotosíntesis, mediante síntesis de azúcares y luego trasportarlos a los diferentes órganos sumideros (Calderón y Moreno, 2009). El rápido crecimiento inicial puede resultar en mayor captura de radiación por las hojas, lo que permite que el IAF máximo pueda ser alcanzado más rápidamente (Siddique *et al.*,

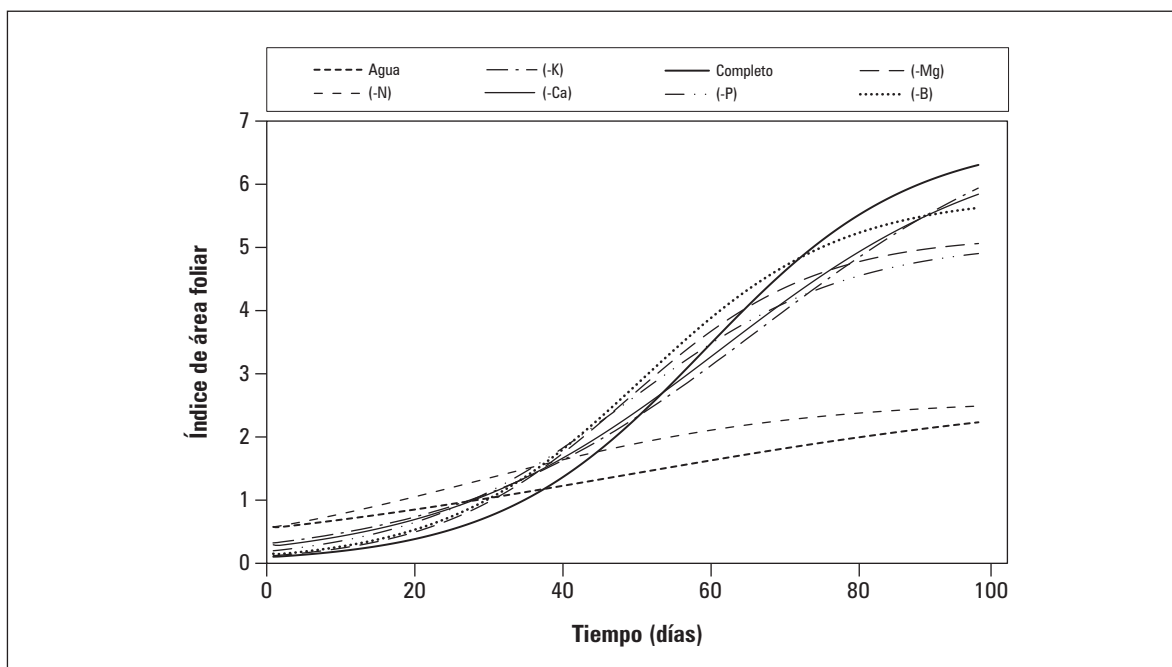


Figura 2. Índice de área foliar de árboles de guayaba sometidos a deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B.

1990); paralelamente, el entendimiento del mecanismo de interceptación de luz, por parte del dosel vegetal, permite la estimación de la productividad del tejido foliar (Raabea *et al.*, 2015).

Área foliar específica

Durante los primeros 40 ddt, el AFE de las plantas de los tratamientos únicamente agua y -N presentó decrecimiento, desde 136,08 y 127,84 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ hasta 84,34 y 84,66 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, respectivamente (figura 3) en comparación con el tratamiento completo con valores de 84,59 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$. En contraste, durante este mismo periodo, el AFE de las plantas de los demás tratamientos presentó incremento. Luego, las plantas con adición de agua y -N siguieron con el descenso hasta el 60 ddt, con valores de 80,73 y 86,68 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, respectivamente; a partir de este momento, la curva descrita por estos nutrientes mostró un punto de inflexión y el AFE aumentó hasta alcanzar en 98 ddt valores de 88,13 y 94,65 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, respectivamente; este último valor corres-

pondió al máximo alcanzado al final del periodo de evaluación. Por otra parte, los seis tratamientos restantes presentaron un comportamiento inverso, es decir, la curva del AFE, aumentó y luego descendió; se observó para las plantas de estos tratamientos, el punto de inflexión apareció en un momento diferente. Se destaca el comportamiento de la curva de AFE de las plantas sometidas a la deficiencia de fósforo (-P), con punto de inflexión en 66 ddt con valor de 118,50 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, los demás tratamientos lo presentaron aproximadamente entre los 50 y 60 ddt, con valores por debajo de 100 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$.

Al final del experimento los valores de todos los tratamientos estuvieron entre 80,61 y 94,59 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$. Se pudo evidenciar que las plantas pertenecientes al tratamiento de -K presentaron una curva de AFE durante todo el tratamiento, con un leve incremento inicial con valor de 74,59 y final de 94,59 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$. El comportamiento de la curva de AFE, exhibida por las plantas sometidas a los tratamientos de únicamente agua y -N,

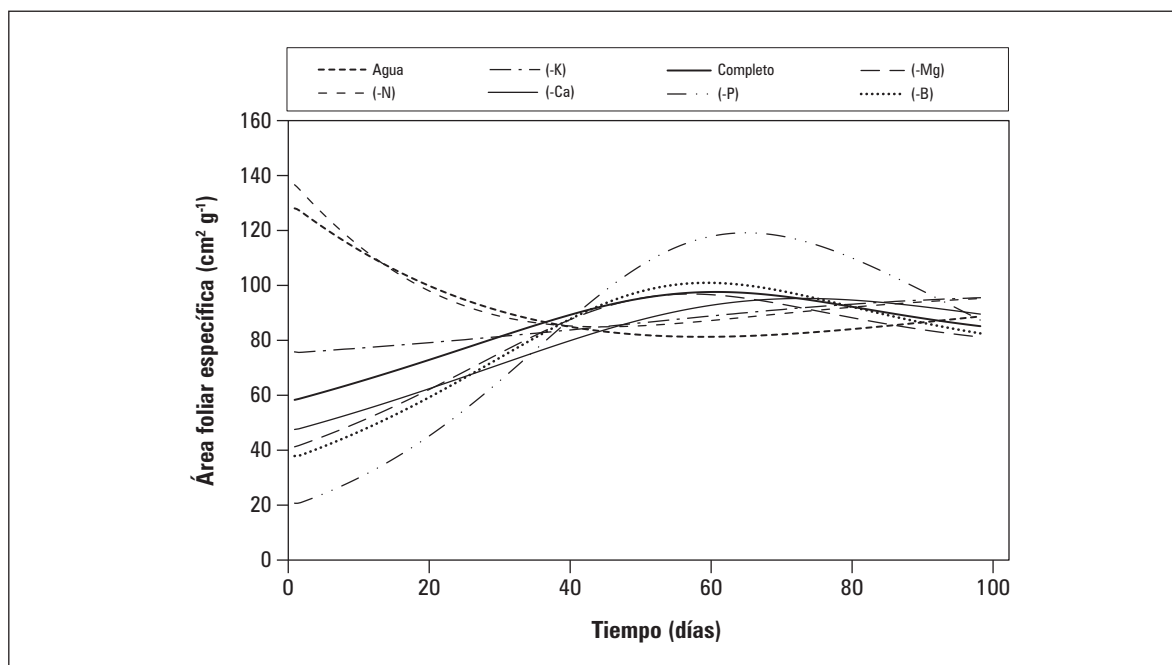


Figura 3. Área foliar específica de árboles de guayaba sometidos a deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B.

obedece a que posiblemente hubo reducción en la difusión de CO₂ vía estomas hacia el sitio de carboxilación en las hojas (Carter *et al.*, 2011), de tal forma se genera desbalance fotosintético y la asimilación del CO₂ genera en la planta reducción en la producción de biomasa (Gonçalves *et al.*, 2005). Se presume que los azúcares de reserva se acumulan en las hojas y al detener el crecimiento no hay área hacia donde distribuirlos, lo cual hace incrementar su grosor. Luego se presenta el punto de inflexión, donde las plantas redistribuyeron los asimilados hacia las hojas existentes y así mismo disminuyeron su grosor, el incremento en el AFE implica que la hoja invierte menos biomasa por unidad de área.

Resultados similares fueron encontrados por Doncheva *et al.* (2001) en plantas de pimienta. Por otro lado, la deficiencia de potasio pudo contribuir a una pérdida en la regulación de los estomas, el control de la absorción del CO₂ y la pérdida de agua (Gonçalves *et al.*, 2005), por lo cual en las plántulas de guayaba se presentó el

comportamiento en donde no hubo cambio en la magnitud del AFE.

Relación área foliar

El comportamiento de la RAF de las plantas de los tratamientos que únicamente se les suministró agua, y aquellas sometidas a deficiencia de nitrógeno (figura 4) presentaron diferencias a través del tiempo ya que para 1 ddt se observaron valores de 12,86 y 12,01 cm² g⁻¹, respectivamente; mientras que para el 98 ddt fue de 14,72 y 15,10 cm² g⁻¹, respectivamente, en comparación con el tratamiento completo, con 2,88 al 1 ddt y 25,42 cm² g⁻¹ 98 ddt. En contraste, los demás tratamientos exhibieron un incremento de la RAF, hasta alcanzar en el periodo comprendido entre los 70 y 80 ddt los máximos valores; aunque, diferente para cada tratamiento. Se destacó la curva para las plantas con carencia de K hacia el final del experimento, entre los 70 y 98 ddt, la cual presentó de 32,65 cm² g⁻¹ como máximo valor.

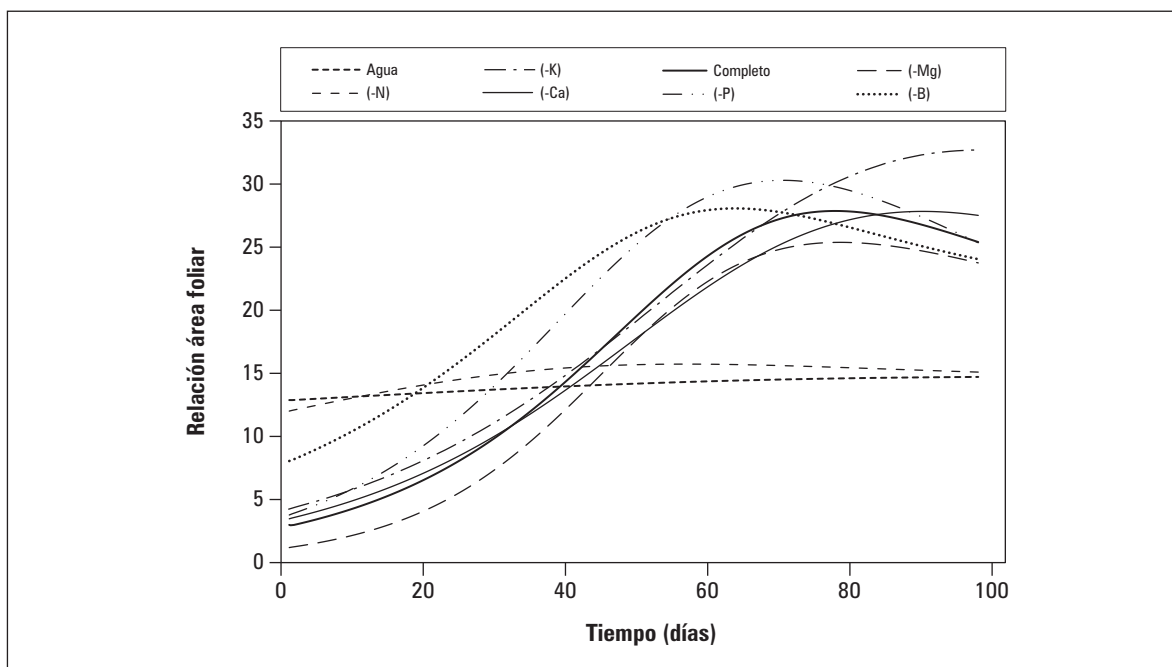


Figura 4. Relación de área foliar de árboles de guayaba sometidos a deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B.

La deficiencia de nitrógeno ocasionó limitación sobre el crecimiento de las plantas y la formación de tejidos de las mismas y en consecuencia el incremento de la materia seca foliar (Lizarazo *et al.*, 2013), ya que este nutriente es constituyente del aparato fotosintético, por lo que su omisión durante la fases iniciales de las plantas reduce la eficiencia y acumulación de azúcares, además repercute principalmente en la reducción de la división celular más que en la elongación, debido a que se almacena en la zona de crecimiento.

El punto máximo de la RAF indica que hay una máxima capacidad fotosintética potencial y un bajo costo respiratorio (Bagheri y Hasanvandi, 2013). En este ensayo, las plantas pertenecientes al tratamiento de deficiencia de potasio fueron las primeras en alcanzar el punto máximo de la curva, ya que el 64 ddt presentaron valor de $28,09 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, por lo que se puede decir que estas plantas desarrollaron el aparato fotosintético de forma más rápida en comparación con las demás plantas (Castellanos *et al.*, 2010), lo cual podría indicar que la deficiencia de este elemento en las primeras etapas de crecimiento y desarrollo de las plantas de guayaba no fue limitante. La afectación está involucrada en la relación planta/agua y su potencial hídrico debido a la elongación de la hoja se ve limitada por la disponibilidad de carbohidratos en la zona de crecimiento foliar (Jordan-Meille y Pellerin, 2004). El decrecimiento progresivo de la curva es consecuencia del incremento de biomasa total de las plantas y por ende del costo respiratorio (Castellanos *et al.*, 2010).

Tasa de asimilación neta

La TAN máxima fue alcanzada en los primeros diez días, por las plantas pertenecientes al tratamiento de la fertilización completa con valor de $0,0088 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, mientras que, en este mismo periodo de tiempo, para las plantas del tratamiento con suministro de agua sin adición de nutrientes, la TAN fue de $0,0015 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, el cual correspondió al menor valor (figura 5). Los demás tratamientos -Mg, -B, -P, -Ca, -K y -N, tu-

vieron valores organizados de forma decreciente de $0,0065$; $0,0052$; $0,0035$; $0,0029$; $0,0022$ y $0,0021 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente.

Pasado este periodo, la curva presentó comportamiento descendente, sin embargo, no fue en la misma dimensión para todos los tratamientos, de tal forma que las plantas con fertilización completa y aquellas sometidas a deficiencia de magnesio, mostraron esta tendencia a la baja de forma acentuada hasta alcanzar, para las plantas sin carencia de nutrientes, un valor de $0,0028 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en el periodo 25 a 27 ddt y -Mg valor de $0,0019 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en el periodo comprendido entre 19 y 21 ddt.

El comportamiento de la TAN en este mismo periodo de las plantas pertenecientes a los tratamientos de -P, -K, -Ca y -B fue similar, aunque su decrecimiento fue leve; caso contrario con las plantas a las cuales se les adicionó únicamente agua y aquellas sometidas a deficiencia de nitrógeno, que presentaron un declive marcado durante el periodo de evaluación con tendencia a tener poca variación. Por último, el 98 ddt, las plantas -N y -K tuvieron menores valores de TAN, que correspondieron a $0,00020$ y $0,00027 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente, en comparación con aquellas plantas de fertilización completa con $0,00046 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Lo cual correspondió a una reducción de 57% para las plantas con deficiencia de nitrógeno y del 47% en las plantas con deficiencia de potasio con relación a las plantas que recibieron el suministro completo de nutrientes.

La disminución de la TAN se debe principalmente al aumento en el número de hojas y área foliar, lo que provoca el incremento de la fotosíntesis neta y por ende el autosombreamiento en etapas posteriores (França *et al.*, 2009), por tanto, existe correlación negativa entre la TAN y el área foliar, ya que cuanto mayor es la disminución de la curva, más rápido es el crecimiento (Orozco *et al.*, 2008). Lo anterior concuerda con el comportamiento presentado por las plantas con fertilización completa, y aquellas sometidas a deficiencia

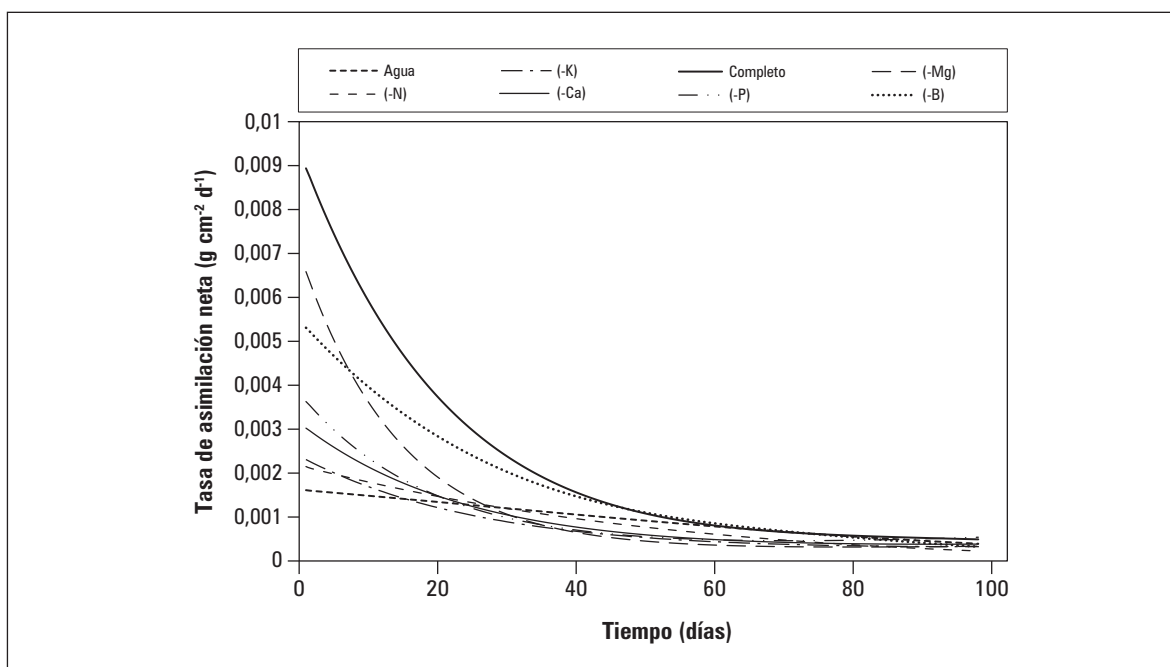


Figura 5. Tasa de asimilación neta de árboles de guayaba sometidos a deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B.

de magnesio; es decir, conforme transcurrían los días, estas plantas presentaron un mayor aumento de materia seca, para el caso, en términos de crecimiento foliar con el fin de aumentar rápidamente su área fotosintéticamente activa y así la eficiencia. Dicho incremento de masa foliar condujo al autosombreamiento, lo que se tradujo en la disminución de la TAN.

Por otro lado, las plantas sometidas a deficiencia de nitrógeno presentaron valores menores y por ende disminución en la curva de la TAN, debido al papel fundamental de estos nutrientes en el metabolismo vegetal, las plantas pudieron presentar como efecto de la omisión, detención del crecimiento vegetal, por lo que el resultado del comportamiento de la TAN es el efecto de una mayor senescencia foliar, así como la clorosis notable en las hojas más antiguas (Gonçalves *et al.*, 2005), acompañado por la disminución de la producción de materia seca. El N, además, contribuye de forma positiva a la eficiencia fotosintética en las plantas ya que estimula la síntesis de la Rubisco, enzima

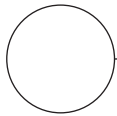
clave en la asimilación de carbono (Whitney *et al.*, 2011). Por otro lado, ante una deficiencia de K, hay disminución de la conductancia estomática, aumento en la resistencia del mesófilo, afectación en el contenido de clorofilas, mala estructura del cloroplasto, restringiendo así la translocación de sacarosa y disminuyendo la síntesis de la RuBP carboxilasa (Dong *et al.*, 2004), en consecuencia la eficiencia de la fotosíntesis en la planta se ve afectada, motivos por los cuales la deficiencia de K pudo generar sobre las plantas de este tratamiento los menores valores de la tasa al final del experimento.

CONCLUSIONES

Los árboles de guayaba ICA Palmira II en fase vegetativa, condiciones de invernadero plástico y bajo deficiencia de macronutrientes presentaron diferencias en los parámetros de crecimiento determinados, con mayor afectación en la TRC, TAN e IAF, índices relacionados con la masa seca y el área foliar.

La carencia de nitrógeno, afectó de forma negativa la producción de nuevo material vegetal, así como la acumulación del mismo. Fue evidente su efecto sobre la reducción en el crecimiento de las plantas, comparado con los demás macronutrientes.

La acumulación de la masa seca por la plantas tuvo diferente magnitud, en etapas tempranas de crecimiento de árboles de guayaba siendo el B el elemento menos limitante en esta fase.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agronet. 2014. Producción de guayaba en Colombia 1992-2013. En: Agronet, www.agronet.gov.co; consulta: septiembre de 2014.
- Bagheri, A. y M. Hasanvandi. 2013. Analysis of Safflower leaf growth indices using regression modeling. *J. Agr. Crop Sci.* 5, 2752-2760.
- Calderón, A.D. y E.J. Moreno. 2009. Producción de frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.) variedad Taiwan 1, utilizando diferentes programas de fertilización N-P-K. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Camacho, C., L. Lunar, F. Lafont, A. Baumert y A. González. 2004. Boron deficiency causes accumulation of chlorogenic acid and caffeoyl polyamine conjugates in tobacco leaves. *Plant Physiol.* 161, 879-881. Doi: 10.1016/j.jplph.2003.12.003
- Carter, M., P. Ambus, K. Albert, K. Larsen, M. Anderson, A. Prieme, L. Van der Linden y C. Bejer. 2011. Effects of elevated atmospheric CO₂, prolonged summer drought and temperature increase on N₂O and CH₄ fluxes in a temperate heathland. *Soil Biol. Biochem.* 43, 1660-1670. Doi: 10.1016/j.soilbio.2011.04.003
- Castellanos, M., M. Segura y C. Núñez. 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. Na. Agr. Medellin.* 63(1), 5253-5266.
- De Groot, C., L. Marcelis, R. van den Boogaard, W. Kaise y H. Lambers. 2003. Interaction of nitrogen and phosphorus nutrition in determining growth. *Plant Soil* 248, 257-268. Doi: 10.1023/A:1022323215010
- Doncheva, S., B. Vassileva, G. Ignatov y S. Pandev. 2001. Influence of nitrogen deficiency of photosynthesis and chloroplast ultrastructure of pepper plants. *Agr. Food Sci.* 10, 59- 64.
- Dong, H., W. Tang, Z. Li y D. Zhang. 2004. On potassium deficiency in cotton – disorder, cause and tissue diagnosis. *Agric. Consp. Sci.* 69, 77-85.
- Epstein, E. y A. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2nd ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA.
- Fischer, G., L.M. Melgarejo y D. Miranda. 2012. Guayaba (*Psidium guajava* L.). pp. 526-549. En: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá.
- Flórez, V., D. Miranda, B. Chaves, L. Chaparro, C. Cárdenas y A. Farías. 2006. Parámetros considerados en el análisis de crecimiento en rosa y clavel en los sistemas de cultivo en suelo y en sustrato. En: Flórez, V., A. de la C. Fernández, D. Miranda, B. Chaves y J.M. Guzmán (eds.). Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- França, B., A. Pereira, F. Santos, A. Alves, P. Ferreira, M. Menezes y C. Aragão. 2009. Taxas de crescimento de mudas de catingueira submetidas a diferentes substratos e sombreamentos. *Rev. Árvore* 33(3), 413-423. Doi: 10.1590/S0100-67622009000300003
- Fukayama, H., C. Ueguchi, K. Nishikawa, N. Katoh, C. Ishikawa, C. Masumoto, T. Hatanaka y S. Misoo. 2012. Overexpression of rubisco activase decreases the photosynthetic CO₂ assimilation rate by reducing rubisco content in rice leaves. *Plant Cell Physiol.* 53, 976-986. Doi: 10.1093/pcp/pcs042
- Gardner, F., R. Pearce y R. Mitchell. 2003. Physiology of crop plants. 2nd ed. Iowa State University Press, Iowa City, IA
- Gonçalves, I., G. Vieira, R. Marenco, J. Ferraz, U. Moreira dos Santos Junior y F. Cleber. 2005. Nutritional status and specific leaf area of mahogany and tonka bean under two light environments. *Acta Amazónica* 35, 23-27. Doi: 10.1590/S0044-59672005000100004

- Han, S., L. Shen, H. Jiang, B. Smith, L. Yang y C. Xie. 2008. Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses leaves of citrus seedlings. *J. Plant Physiol.* 165, 1331-1341. Doi: 10.1016/j.jplph.2007.11.002
- Hoagland, D.R. y D.I. Arnold. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Stn. Circ.* 347, 1-39.
- Hunt, R. 1978. *Plant growth analysis. Studies in biology.* 2nd ed. Editorial Edward Arnold Publishers, London.
- Hunt, R. 1982. *Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis.* Edward Arnold Publishers, London.
- IIFT. 2011. Instructivo técnico para el cultivo de la guayaba. Instituto de investigaciones de fruticultura tropical, La Habana.
- Jordan-Meille, L. y S. Pellerin. 2004. Leaf area establishment of a maize (*Zea Mays* L.) field crop under potassium deficiency. *Plant Soil* 265, 75-92. Doi: 10.1007/s11104-005-0695-z
- Lizarazo, M., C. Hernández, G. Fischer, y M. Gómez. 2013. Response of the banana passion fruit (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) to different levels of nitrogen, potassium and magnesium. *Agron. Colomb.* (31), 44-54.
- Marschner, P. (ed.) 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants.* 3rd ed. Academic Press, London.
- Miranda, D. 1995. Análisis integrado del crecimiento y desarrollo en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L. cv. ICA Cerinza) en condiciones de campo. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Natale, W., E. Coutinho, A. Boaretto y F. Pereira. 1996. Goiabeira: Calagem e adubação. FUNEP, Jaboticabal, Brasil.
- Nieto, R. 2007. Frutales nativos, un recurso fitogenético de México. Universidad Autónoma de Chapingo, México D.F.
- Orozco, J., G. Palomo, E. Gutiérrez, A. Espinoza y V. Hernández. 2008. Dosis de nitrógeno y su efecto en la producción y distribución de biomasa de algodón transgénico. *Terra Latinoamericana* 26 (1), 29-35.
- Raabea, K., J. Piseka, O. Sonnentag y K. Annuk. 2015. Variations of leaf inclination angle distribution with height over the growing season and light exposure for eight broadleaf tree species. *Agr. For. Meteorol.* 214/215, 2-11. Doi: 10.1016/j.agrformet.2015.07.008
- Rodríguez, W. y D. Leihner. 2006. Análisis del crecimiento vegetal. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Editorial Universidad de Costa Rica, San José.
- Salvador, J., A. Moreira y T. Muraoka. 1999. Sintomas visuais de deficiências de micronutrientes e composição mineral de folhas em mudas de goiabeira. *Pesq. Agropec. Bras.* 34, 1655-1662. Doi: 10.1590/S0100-204X1999000900016
- Siddique, K., D. Tennat y M. Perry. 1990. Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in a mediterranean-type environment. *Aust. J. Agr. Res.* 41, 431-447. Doi: 10.1071/AR9900431
- Singh, S. 2011. Guajava (*Psidium guajava* L.). pp. 213-245. En: Yahia, E. (ed.). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits.* Vol. 3: Cocona to mango. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Sinuco, D., M. Steinhaus, P. Schieberle y C. Osorio. 2010. Changes in odour-active compounds of two varieties of Colombian guava (*Psidium guajava* L.) during ripening. *Eur. Food Res. Technol.* 230, 859-864. Doi: 10.1007/s00217-010-1232-8
- Törnros, T. y L. Menzel. 2014. Leaf area index as a function of precipitation within a hydrological model. *Hydrology Res.* 45, 660-672. Doi: 10.2166/nh.2013.143
- Useche, A. y B. Shipley. 2010. Interspecific correlates of plasticity in relative growth rate following a decrease in nitrogen availability. *Ann. Bot.* 105, 333-339. Doi: 10.1093/aob/mcp284
- Walker, R., I. Burns y J. Moorby. 2001. Responses of plant growth rate to nitrogen supply: a comparison of relative addition and N interruption treatments. *J. Exp. Bot.* 52(355), 309-317. Doi: 10.1093/jexbot/52.355.309
- Whitney S.M., R.L. Houtz y H. Alonso. 2011. Advancing our understanding and capacity to engineer nature's CO₂-sequestering enzyme, Rubisco. *Plant Physiol.* 155, 27-35. Doi: 10.1104/pp.110.164814
- Wimmer, M. y T. Eichert. 2013. Review: Mechanisms for boron deficiency-mediate changes in plant water relations. *Plant Sci.* 203, 25-32. Doi: 10.1016/j.plantsci.2012.12.012
- Zhao, D. y D. Oosterhuis. 2002. Cotton carbon exchanges nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues development of boron deficiency. *Field Crops* 78, 75-77. Doi: 10.1016/S0378-4290(02)00095-3