

COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO EN VIVERO ENTRE PLÁNTULAS Y VITROPLANTAS DE GUAYABO CULTIVAR ENANA ROJA CUBANA EEA-1840

Jorge Vilchez, Leonardo Martínez y Nilca Albany

RESUMEN

En la fase de vivero se le dan todas las condiciones a las plántulas con el fin de promover su rápido crecimiento y llevarlas a campo lo más pronto posible, sin embargo ésta es una fase poco estudiada en cultivos frutícolas como el guayabo. Por ello se planteó como objetivo comparar el crecimiento en vivero de plántulas y vitroplantas del cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840. Para ello se evaluó quincenalmente, durante 70 días después del trasplante los componentes fisiológicos de

crecimiento: acumulación de materia seca, tasa de crecimiento del cultivo, índice de crecimiento relativo, tasa de asimilación neta, área foliar, número de hojas y longitud del tallo y de la raíz. Se encontró que durante los primeros 28 días después del trasplante las plántulas superaron a las vitroplantas en la acumulación de materia seca y crecimiento, pero posteriormente y hasta culminar el periodo de evaluación las vitroplantas superaron a las plántulas en la variables evaluadas.

Introducción

Los objetivos primarios de la fase de aclimatación son: lograr la sobrevivencia de las plantas al momento del trasplante y el crecimiento de las mismas hasta alcanzar un desarrollo que les permita ser trasplantadas a campo abierto, lo cual normalmente ocurre en fase de vivero. Durante este período sobrevienen altos porcentajes de pérdidas de plantas (Kozai *et al.*, 1991; Agramonte *et al.*, 1998), debido a que en el proceso normal de micropropagación, brotes y plantas son cultivados en medios de cultivo con azúcares, vitaminas y otras sustancias orgánicas, lo que determina el desarrollo heterótrofo o mixótrofo (nula o baja capacidad fotosintética) de los mismos (Afree, 2005). Sin embargo, durante la fase de aclimatación estas

vitroplantas están forzadas ser completamente autótrofas y sintetizar los compuestos orgánicos necesarios a partir de minerales, agua, CO₂ y luz (Agramonte *et al.*, 1998; Kozai, 2005). Adicionalmente, el ambiente *in vitro* (alta humedad relativa, baja intensidad luminosa, temperatura constante, bajo o nulo intercambio gaseoso en el frasco), condiciona cambios en la morfología de las plantas que influyen en la capacidad de supervivencia y crecimiento (Afree, 2005). Por estas razones es necesario obtener plantas de alta calidad bajo condiciones *in vitro* para asegurar un alto porcentaje de sobrevivencia bajo condiciones de vivero.

En la aclimatación se produce un retorno gradual de las plantas a sus características morfológicas normales, después de las etapas *in*

vitro. La eficiencia en la aclimatación es trascendental para la propagación comercial, pues del resultado de ésta depende en gran medida la eficiencia total del proceso y la calidad final de las plantas (Agramonte *et al.*, 1998). Sin embargo uno de los aspectos menos estudiados en el crecimiento de los cultivos frutícolas es la fase de vivero, y el cultivo del guayabo no es la excepción. En la fase de vivero se dan todas las condiciones a las plántulas para que crezcan y puedan expresar su máximo potencial en el campo. En esta etapa se aplica un paquete tecnológico destinado al rápido desarrollo de la plántula, con fin de promover su rápido crecimiento y llevarla a campo lo más pronto posible. En el cultivo del guayabo no existe información más allá de la descripción somera de

las prácticas agronómicas a aplicar en ésta fase. De allí la importancia de investigar sobre el crecimiento y desarrollo en la fase de vivero.

Al crecimiento se le puede definir como el aumento de protoplasma, el incremento irreversible en peso seco o volumen que ocurre en un órgano o en la planta completa (Montaldi, 1995); acompañado de procesos como la morfogénesis y la diferenciación celular (Segura, 2008). Al representar el crecimiento en función del tiempo, se obtiene una curva de patrón sigmoideo, denominada 'gran curva de crecimiento' (Hunt, 1990; Barceló *et al.*, 2001). En esta curva se observa una primera zona que corresponde al crecimiento inicial de la plántula, donde no existen muchos centros meristemáticos y la incorporación de materia a través de la

PALABRAS CLAVE / Índice de Crecimiento Relativo / Masa Seca / Parámetros Fisiológicos / *Psidium Guajava* L. / Tasa de Asimilación Neta /

Recibido: 26/01/2014. Modificado: 28/02/2015. Aceptado: 03/03/2015.

Jorge Vilchez. Master en Biotecnología Vegetal, Universidad Central "Marta Abreu" de la Villas, Cuba. Profesor, La Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. Dirección: Laboratorio de Fisiología Vegetal "Merylin

Marin", Departamento de Botánica, Facultad de Agronomía, LUZ. AP 15205, Maracaibo, 4005ZU, Venezuela. e-mail: jvilchezp@fa.luz.edu.ve

Leonardo Martínez. Ingeniero Agrónomo, Investigador, LUZ,

Venezuela. e-mail: ljmartinez@fa.luz.edu.ve

Nilca Albany. Master en Biotecnología Vegetal, Universidad Central "Marta Abreu" de la Villas, Cuba. Profesora, LUZ, Venezuela. e-mail: nalbany@fa.luz.edu.ve

COMPARISON OF GROWTH IN NURSERY BETWEEN SEEDLINGS AND VITROPLANTS OF GUAVA CULTIVAR RED DWARF CUBAN EEA-1840

Jorge Vilchez, Leonardo Martínez and Nilca Albany

SUMMARY

In the nursery stage seedlings are given all the conditions that promote a rapid growth so they can be taken to the field as soon as possible; however, this phase is not well studied in fruit crops such as guava. For this reason, the purpose of this study was to compare the growth of guava seedlings and vitroplants in the nursery stage. Every two weeks, for 70 days after transplanting, the physiological

components of growth: dry matter accumulation, growth rate, relative growth rate, net assimilation rate, leaf area, number of leaves, and stem and root lengths were evaluated. It was found that during the first 28 days after transplanting, seedlings outperformed vitroplants on dry matter accumulation and growth; thereafter, vitroplants outperformed seedlings on all the variables.

COMPARAÇÃO DO CRESCIMENTO EM VIVEIRO ENTRE PLÂNTULAS E VITROPLANTAS DE GOIABEIRA CULTIVAR ENANA ROJA CUBANA EEA-1840

Jorge Vilchez, Leonardo Martínez e Nilca Albany

RESUMO

Na fase de viveiro se dão todas as condições às plântulas com o fim de promover seu rápido crescimento e levá-las a campo o mais rápido possível, no entanto esta é uma fase pouco estudada em cultivos frutícolas como a goiabeira. Por isto foi sugerido como objetivo comparar o crescimento em viveiro das plântulas e vitroplantas da cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840. Para isto foram avaliados quinzenalmente, durante 70 dias depois do transplante, os componentes fisiológicos de

crecimento: acumulação de matéria seca, taxa de crescimento do cultivo, índice de crescimento relativo, taxa de assimilação neta, área foliar, número de folhas e comprimento do caule e da raiz. Encontrou-se que durante os primeiros 28 dias depois do transplante, as plântulas superaram as vitroplantas na acumulação de matéria seca e crescimento, mas posteriormente e até culminar o período de avaliação, as vitroplantas superaram as plântulas na variável avaliada.

fotosíntesis es pequeña. A medida que la planta joven aumenta la masa se produce un aumento de células meristemáticas y del área fotosintética, y el potencial de crecimiento se hace mayor, entrando así en la zona de crecimiento rápido o exponencial. Sin embargo, no todo el tejido neoformado presenta la capacidad de seguir creciendo, ni todo él tiene capacidad fotosintética; las dificultades de aprovisionamiento de nutrientes, se hacen cada vez mayores, tanto para la planta en general como para cada uno de sus órganos. Finalmente, se establece una zona donde el crecimiento comienza a decrecer, disminuyendo por ende la masa y que se corresponde con el envejecimiento de la planta (Barceló *et al.*, 2001).

El crecimiento de las plantas no siempre responde exactamente al patrón sigmoideo, ya que a veces al llegar al final del periodo de crecimiento la planta decrece por

muerte de células o tejidos, y otras veces se presenta una doble sigmoide, como en el caso de los frutos de hueso (Barceló *et al.*, 2001).

El análisis de crecimiento es una técnica fundamental utilizada para cuantificar los componentes del crecimiento y representa el primer paso en el análisis de la producción primaria, además de ser el método más práctico para evaluar la producción neta de la fotosíntesis (Nogueira *et al.*, 1994). Es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas. El análisis de crecimiento utiliza modelos matemáticos para cuantificar la relación existente entre el crecimiento de una planta, la producción de materia seca o la expansión de área foliar y una condición ambiental como la luz, el agua o los nutrientes (Clavijo, 1989). Sin embargo el análisis de crecimiento no

pasa de ser una aproximación somera al fenómeno del crecimiento (Barceló *et al.*, 2001).

El análisis matemático del crecimiento usa medidas directas tales como masa seca total de la planta, área foliar total y tiempo; y medidas derivadas como son el índice del área foliar (IAF), que representa la relación entre el área foliar o superficie fotosintetizadora y el área de suelo ocupada por el cultivo; la relación del área foliar (RAF), que estima la magnitud del aparato fotosintético de la planta; la tasa de crecimiento relativo (TCR), también conocido como el índice de eficiencia de producción de materia seca; la tasa de asimilación neta (TAN), el cual es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, ya que mide la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo; la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), considerado un índice de la productividad agrícola que mide incremento

de biomasa por unidad de tiempo; y la duración del área foliar (DAF), que como índice representa la producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo (Gardner *et al.*, 1985; Clavijo, 1989; Barrera *et al.*, 2010). Estos parámetros son obtenidos a partir de las medidas directas y son de utilidad para conocer cómo un ambiente o práctica de manejo afecta la eficiencia fotosintética de una planta con respecto a otra, o bien para detectar diferencias entre variedades cultivadas bajo las mismas condiciones ambientales (Palomo, 2003; Santos *et al.*, 2010).

Distintas especies vegetales difieren notablemente en su capacidad de crecimiento cuando son cultivadas en condiciones similares. En general, una variable muy simple como lo es el área específica foliar (la relación entre área y peso foliar) está estrecha y positivamente asociada con TCR, explicando hasta un 80% de su variación. También

otros factores como la fisiología (p.ej. la TAN) pueden explicar, aunque en menor grado, las diferencias en TCR entre especies. La distribución de biomasa a las hojas también se encuentra generalmente relacionada positivamente con TCR, mientras que la distribución a raíces lo está negativamente (Villar *et al.*, 2004).

Considerando la importancia de la fase de aclimatación se planteó como objetivo de esta investigación comparar el crecimiento en vivero entre plántulas y vitroplantas de guayabo cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840 provenientes de micropropagación y de semilla.

Materiales y Métodos

Este estudio se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de Fisiología Vegetal "Merylin Marín" y en el invernadero de la cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia en Maracaibo, Venezuela.

Para comparar del crecimiento en vivero entre plántulas y vitroplantas de guayabo cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840, se utilizaron vitroplantas obtenidas vía germinación de embriones somáticos cultivados en medio MS (Murashige y Skoog, 1962) al 50% de los macronutrientes y suplementado con $0,25\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de N^6 -bencilaminopurina; $0,01\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de DI-31 (análogo de brasinoesteroides semisintético obtenido por la Facultad de Química, Universidad de La Habana, Cuba) y 3% de sacarosa. Para inducir la embriogénesis somática se siguió el protocolo descrito por Vilchez *et al.* (2002), para lo cual se utilizaron embriones cigóticos inmaduros en estado torpedo y cotiledonal. La fase de proliferación tuvo una duración de seis semanas y se realizó en medio de cultivo líquido en agitación (90rpm). El medio utilizado fue el MS al 50% de los macronutrientes, suplementado con $1\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de ácido 2,4 diclorofexiacético, $400\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de L-glutamina y $6\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ de sacarosa.

Las plántulas se obtuvieron a partir de semillas extraídas de un fruto guayaba en estado de madurez de consumo. Las semillas se secaron a la sombra por 48h y luego se embrieron por 24h en agua destilada antes de ser sembradas. Tanto las vitroplantas como las plántulas se sembraron en bandejas de plásticas de 75 orificios. El sustrato lo constituyó una mezcla de abono de río y arena lavada de río en proporción 3:1. El abono de río es un sustrato constituido por sedimentos orgánicos que se acumulan en las desembocaduras de los ríos, los cuales son compostados para su utilización; mientras que la arena lavada es producto del desgaste de las piedras movidas por la corriente de los ríos y que como componente del sustrato aporta un buen drenaje general, al ser homogeneizada con el resto de los componentes del mismo. Una vez sembradas las bandejas se mantuvieron bajo condiciones de cámara humedad por tres semanas a una temperatura de 26°C y 85% de humedad relativa.

Cuando las vitroplantas y plántulas desarrollaron más de tres hojas verdaderas y alcanzaron una altura de ~8cm fueron transferidas al invernadero para su endurecimiento. Luego de una semana fueron trasplantadas a bolsas plásticas de siembra de 3 litros de capacidad con un sustrato constituido por estiércol de bovino y arena lavada, en proporción 2:1. Se regó por goteo tres veces al día por 6min (~4,5l/día). Se fertilizó semanalmente con una fórmula completa soluble (18-18-18 más microelementos, SOLUB®) a razón de 1g de NPK.

Quincenalmente y hasta completar tres meses de evaluación, se cosecharon cinco plantas de cada tipo, las cuales fueron llevadas al laboratorio y se separadas en hojas, tallos, ramas y raíces. Estos órganos se pesaron por separado en una balanza de precisión para determinar la masa fresca y, una vez realizado el pesaje, se midió el área foliar de las hojas con un medidor Delta T

modelo MK2. Luego se colocaron en bolsas de papel y se secaron en estufa a 70°C durante 72h para determinar la masa seca por órgano. Con estos valores se calcularon los componentes fisiológicos de crecimiento: acumulación de materia seca, tasa de crecimiento del cultivo (TCC), índice de crecimiento relativo (ICR), tasa de asimilación neta (TAN) y el área foliar. Con estos parámetros se realizaron curvas de estimación mediante el programa Curve Expert 1.4 (Hyams, 2005) y para determinar la significancia estadística de las variables número de hojas, longitud del tallo y de la raíz al final del ciclo, se utilizó un análisis de la varianza simple (ANOVA). En aquellos casos donde el efecto del factor de estudio resultó estadísticamente significativo ($p\leq 0,05$) se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey. Todas las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el software analítico Statistix® versión 8.0.

Las formulas empleadas para el cálculo de los parámetros fisiológicos del crecimiento fueron (Barrera *et al.*, 2010):

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) = $(P2-P1/t2-t1)\times(1/AS) = \text{g}/\text{cm}^2$ de suelo/día,

Índice de crecimiento del cultivo (ICR) = $\text{Ln}P2-\text{Ln}P1/t2-t1 = \text{g}/\text{día}$, y

Tasa de asimilación neta (TAN) = $((P2-P1)/(t2-t1))/((\text{Ln}AF2-\text{Ln}AF1)/(AF2-AF1)) = \text{g}/\text{cm}^2$ de área foliar×día,

donde P1: peso seco de la muestra 1, P2: peso seco de la muestra 2, t1: fecha del muestreo 1 expresado en días después del trasplante (ddt), t2: fecha del muestreo 2 (ddt), AS: área de suelo ocupada, AF1: área foliar de la muestra 1, y AF2: área foliar de la muestra 2.

Resultados y Discusión

En la comparación del crecimiento entre plántulas de semilla botánica y vitroplantas,

la Figura 1 muestra las tendencias ajustadas de la acumulación de masa seca, observándose que para ambos tipos de plantas la acumulación de masa seca en el tiempo concordó con un modelo polinomial de tercer grado ($R^2=0,99$), típico de las fase I (retardación) y II (logarítmica) del patrón de crecimiento los organismos (Steward, 1969).

En la Figura 1 se puede apreciar que antes de los 42 ddt la acumulación de materia seca inicial fue ligeramente inferior para las vitroplantas en comparación con las plántulas, pero posteriormente las vitroplantas alcanzan mayores valores de acumulación de materia seca. Ello pudiera estar relacionado con una fase de aclimatación ligeramente más prologada en las vitroplantas en comparación con las plántulas. Las características fisiológicas intrínsecas de las plántulas provenientes de procesos de regeneración *in vitro*, como lo son mal funcionamiento de los estomas, menor contenido de reservas, pobre desarrollo de la cera epicuticular, brotes alargados y baja concentración de clorofila, determinan tasas de actividad fotosintética muy reducidas (Rogalski *et al.* 2003), lo que se traduce en bajas tasas de crecimiento y en un bajo porcentaje de supervivencia *ex vitro* (Kozai y Kubota, 2005). Por otro lado está demostrado que en muchas especies de plantas, las

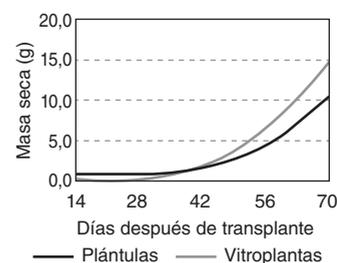


Figura 1. Tendencias ajustadas de la acumulación de masa seca en plántulas y vitroplantas micropropagadas de guayabo cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840. Plántulas: $y = -6,62\cdot 10^{-1} + 1,56\cdot 10^{-1}x - 6,13\cdot 10^{-3}x^2 + 8,83\cdot 10^{-5}x^3$; $R^2 = 0,99$. Vitroplantas: $y = 2,91 - 2,05\cdot 10^{-2}x - 9,24\cdot 10^{-4}x^2 + 1,31\cdot 10^{-5}x^3$; $R^2 = 0,99$.

hojas formadas *in vitro* son incapaces de seguir desarrollándose en condiciones *ex vitro* y son reemplazadas por hojas recién formadas (Tadeo y Gómez, 2008).

La Figura 2 muestra tendencias ajustadas a modelos polinomiales de tercer grado ($R^2=0,97$ para plántulas y $R^2=0,99$ para vitroplantas) de la TCC en plántulas semilla botánica y vitroplantas micropropagadas de guayabo cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840, donde los mayores valores de acumulación de masa seca por unidad de superficie por día fueron alcanzados por las vitroplantas. Para ambos tipos de plantas se observó que, en general, hasta 28 ddt la TCC fue baja, probablemente debido a que existen pocas hojas fotosintéticamente activas entre 0 y 28 ddt. A partir de este momento se incrementaron los valores de la TCC, producto del aumento en el número de hojas y del área foliar (datos no mostrados), lo cual se refleja en la curva de la TCC como un aumento exponencial del crecimiento, que fue superior en las vitroplantas.

Según Rodríguez *et al.* (2003) el potencial genético de las plantas y las condiciones ambientales afectan la velocidad del crecimiento vegetal. Los valores superiores de TCC encontrados en las vitroplantas pueden deberse a que éstas tienen una muy limitada reserva, lo que implica que para

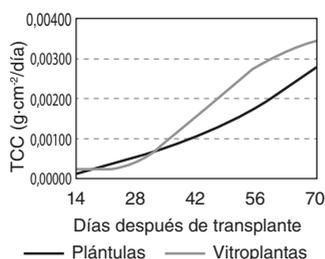


Figura 2. Tendencias ajustadas de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en plántulas y vitroplantas micropropagadas de guayabo cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840. Plántulas: $y = -2,84 \cdot 10^{-4} + 2,93 \cdot 10^{-5} x - 1,59 \cdot 10^{-7} x^2 + 5,28 \cdot 10^{-9} x^3$; $R^2 = 0,97$. Vitroplantas: $y = 1,46 \cdot 10^{-3} - 1,69 \cdot 10^{-4} x + 5,92 \cdot 10^{-6} x^2 - 4,43 \cdot 10^{-8} x^3$; $R^2 = 0,99$.

asegurar la sobrevivencia, el paso de organismo mixotrófico a autotrófico debe completarse antes de agotarse las reservas. Por otro lado, se ha señalado que el desarrollo y rendimiento de las vitroplantas son superiores a las plantas propagadas por métodos convencionales (Pérez, 1998). En la medida que surgieron nuevas hojas (Figura 3) con mejores características, el incremento de esta variable se fue haciendo más notable. En este sentido Peñate *et al.* (2007) señalan que la aparición de nuevas emisiones foliares en la fase de aclimatación garantiza un mayor grado de autotrofismo que permite un incremento paulatino de la actividad fotosintética, pues estas hojas presentan un aparato estomático más desarrollado.

La Figura 4 muestra las tendencias ajustadas a modelos



Figura 3. Vista general del crecimiento de vitroplantas micropropagadas de guayabo cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840, al inicio (a) y al final (b) del ensayo.

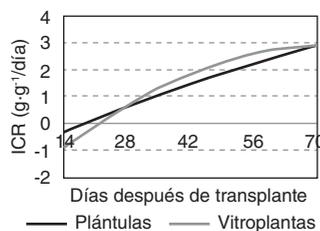


Figura 4. Tendencias ajustadas del índice de crecimiento relativo (ICR) en plántulas y vitroplantas micropropagadas de guayabo cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840. Plántulas: $y = -1,27 + 7,16 \cdot 10^{-2} x - 1,59 \cdot 10^{-4} x^2$; $R^2 = 0,99$. Vitroplantas: $y = -2,8 + 1,52 \cdot 10^{-1} x - 1,01 \cdot 10^{-3} x^2$; $R^2 = 0,99$

polinomiales de segundo grado ($R^2=0,99$) del índice de crecimiento relativo (ICR) en plántulas semilla botánica y vitroplantas de guayabo cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840. Se observó valores de ICR negativos en los primeros estadios de crecimiento en vivero para ambos tipos de plántulas. Estos valores se asocian al trasplante a la bolsa de cultivo, ya que durante esta operación se producen variaciones en el contenido hídrico de las plantas y marchitez de las hojas, incluso un estrés hídrico discreto que ocasiona una reducción del crecimiento, siendo especialmente sensible la expansión celular (Ribas *et al.*, 2008). Por otro lado, en los primeros días de la etapa de crecimiento en vivero las plantas dependen de sus reservas debido al incremento de la actividad respiratoria, asociado a la transformación de almidones en azúcares para crecimiento. Esto ocasiona una disminución del peso seco; además, ha sido demostrado que en las plantas cuya tasa de crecimiento es cero, toda la respiración estará

destinada a procesos de mantenimiento (Tadeo y Gómez, 2008), por lo que la cantidad de reserva es un factor a considerar en los inicios del crecimiento. Mientras que las plántulas presentan cotiledones como órganos de reserva, en las vitroplantas obtenidas de procesos de regeneración vía embriogénesis somática la acumulación del almidón y proteínas de reserva (proteínas abundantes de la embriogénesis tardía LEA) se da en la fase de maduración de la embriogénesis somática (Gómez, 1998; Quesada *et al.*, 2004), siendo la maduración una fase fundamental entre el desarrollo del embrión y la germinación, para la consecución de la máxima conversión de embriones somáticos a plántulas (Quesada *et al.*, 2004). Además como se observó en la curva de materia seca y TCC (Figuras 1 y 2, respectivamente) es a partir de los 28 ddt que comienza la actividad fotosintética de las hojas.

Luego de los 28 ddt se observó que para las vitroplantas la pendiente de la curva de tendencia de acumulación de nueva masa seca en función de la masa acumulada fue sensiblemente mayor que para el caso de las plántulas, ya que estas acumularon menos materia seca (Figura 1) y por lo tanto son menos eficientes en su crecimiento. Ello pudiera estar relacionado con un aparato fotosintético menos desarrollado y por ende menos eficiente, debido a un menor número de hojas y menor área foliar promedio (Tabla I). Esto supone una ventaja fisiológica a favor de la vitroplantas, ya que se consigue un mayor tamaño (biomasa) en menos tiempo, que le permite a su

TABLA I
COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO EN VIVERO ENTRE PLÁNTULAS Y VITROPLANTAS DE GUAYABO CULTIVAR ENANA ROJA CUBANA EEA-1840 PROVENIENTES DE LA MICROPROPAGACIÓN Y DE SEMILLA BOTÁNICA*

Material vegetal	Número de hojas	Área foliar (cm ²)	Longitud del tallo (cm)	Longitud de la raíz (cm)
Plántulas	23,2 b	383,4 b	30,2 a	25,8 a
Vitroplantas	27,8 a	493,4 a	26,9 b	24,1 a

* Los valores indicados con distintas letras difieren estadísticamente ($P < 0,05$) para la prueba de comparación de medias de Tukey.

vez captar más recursos (luz, agua y nutrientes) y en definitiva le confiere una mayor capacidad competitiva.

La Figura 5 muestra las tendencias ajustadas a modelos polinomiales de tercer grado ($R^2=0,95$) de la tasa de asimilación neta (TAN) en plántulas y vitroplantas semilla y vitroplantas. Se aprecian valores bajos para la TAN en el intervalo de 14 a 28 ddt, lo que indica que durante este tiempo no hubo incremento en la biomasa de las plántulas, como se puede apreciar en los valores de masa seca mostrados en la Figura 1. Este hecho pudiera ser debido a que todo el CO_2 fijado en la fotosíntesis es consumido en la respiración, o a que las plántulas bajo estas condiciones sobreviven a expensas de las sustancias de reserva, lo que puede ser el resultado de un comportamiento de fotoautotrofia incompleta o a una supresión de la fotosíntesis durante este período (Kozai *et al.*, 1991; Arigita *et al.*, 2002; Abreu *et al.*, 2007). Después de los 28 ddt se observa un crecimiento exponencial en la TAN, con valores superiores para las vitroplantas, lo cual está relacionado con una mayor actividad fotosintética debido a un mayor número de hojas y área foliar (Tabla I). También se observa una inflexión en la curva alrededor de los 56 ddt, cuando comienzan a disminuir los valores de la TAN, lo que pudiera estar relacionado con una disminución de la asimilación debido a

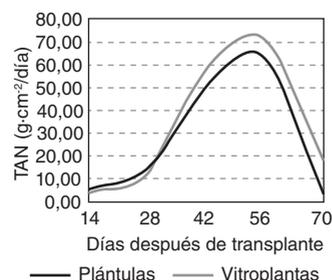


Figura 5. Tendencias ajustadas de la tasa de asimilación neta (TAN) en plántulas y vitroplantas micropropagadas de guayabo cultivar Enana Roja Cubana EEA-1840. Plántulas: $y = 73,1 - 8,79x + 3,24 \cdot 10^{-1}x^2 - 3,04 \cdot 10^{-3}x^3$; $R^2 = 0,95$. Vitroplantas: $y = 53,4 - 6,9x + 2,79 \cdot 10^{-1}x^2 - 2,68 \cdot 10^{-3}x^3$; $R^2 = 0,95$.

que el volumen del contenedor comienza ser restrictivo para el desarrollo de las raíces, limitando la absorción de agua y nutrientes; para el día 70 ddt la longitud de las raíces de las vitroplantas fue de 48,5 cm, mientras que en las plántulas fue ~30% mayor (62,32cm).

Conclusiones

Las plántulas mostraron mayor acumulación de materia seca y crecimiento durante los primeros 28 ddt. Luego de este período y una vez que las vitroplantas desarrollaron la condición de fotoautotrofia, éstas fueron superiores a las plántulas en las variables de crecimiento evaluadas a excepción de la longitud del tallo.

REFERENCIAS

Abreu E, González G, Ortiz R, Rodríguez P, Domech R, Garriga M (2007) Evaluación de vitroplantas de henequén (*Agave fourcroydes* Lem) durante la fase de aclimatización. *Cult. Trop.* 28: 5-11.

Afreen F (2005) Physiological and anatomical characteristics of *in vitro* photoautotrophic plants. En Kozai T, Afreen F, Zobayed S (Comps.) *Photoautotrophic (Sugar-Free Medium) Micro-propagation as a New Propagation and Transplant Production System*. 1ª ed. Springer. Dordrecht, Holanda. pp. 59-87.

Agramonte D, Jiménez F, Dita M (1998) Aclimatación. En Pérez J (Comp.) *Propagación y Mejora Genética de Plantas por Biotecnología*. 1ª ed. Universidad Central de las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 193-205.

Arigita L, González A, Sanchez T (2002) Influence of CO_2 and sucrose on photosynthesis and transpiration of *Actinidia deliciosa* explants cultured *in vitro*. *Physiol. Plant.* 115: 166.

Barceló Coll J, Nicolás Rodrigo G, Sabater García B, Sánchez Tamés R (2001) Características generales del crecimiento. En Barceló Coll J, Nicolás Rodrigo G, Sabater García B, Sánchez Tamés R (Eds.) *Fisiología Vegetal*. Pirámide. Madrid, España. pp. 295-306.

Barrera J, Suárez D, Melgarejo L (2010) Análisis de crecimiento en plantas. En Melgarejo L (Comp.) *Experimentos en Fisiología Vegetal*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp. 25-37.

Clavijo J (1989) Análisis del crecimiento en malezas. *Comalfi* 26: 12-16.

Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL (1985) *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Iowa City, IA, EEUU. 325 pp.

Gómez R (1998) Embriogénesis somática. En Pérez J (Comp.) *Propagación y Mejora Genética de Plantas por Biotecnología*. 1ª ed. Universidad Central de las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 57-77.

Hunt R (1990) *Basic Growth Analysis: Plant Growth Analysis for Beginners*. Unwin Hyman. Londres, RU. 112 pp.

Hyams D (2005) *Curve Expert ver. 1.4. A Comprehensive Curve Fitting Package for Windows*.

Kozai T (2005) Introduction. En Kozai T, Afreen F, Zobayed S (Comps.) *Photoautotrophic (Sugar-Free Medium) Micro-propagation as a New Propagation and Transplant Production System*. 1ª ed. Springer. Dordrecht, Holanda. pp. 1-5.

Kozai T, Kubota C (2005) Units and terminology units and terminology use for the studies of photoautotrophic micropropagation. En Kozai T, Afreen F, Zobayed S (Comps.) *Photoautotrophic (Sugar-Free Medium) Micro-propagation as a New Propagation and Transplant Production System*. 1ª ed. Springer. Dordrecht, Holanda. pp. 6-28.

Kozai T, Fujiwara K, Giacomelly G (1991) Environmental control in micropropagation. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng. Meet.* 9: 11-13.

Montaldi E (1995) *Principios de Fisiología Vegetal*. Sur. La Plata, Argentina. 298 pp.

Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15: 473-497.

Nogueira S, Nagai V, Braga N, Novo M, Camargo M (1994) Growth analysis of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Sci. Agric.* 51: 430-435.

Palomo A (2003) Análisis de crecimiento de variedades de algodón transgénicas y convencionales. *Fitotecn. Mex.* 24: 197-202.

Peñate L, Concepción O, Aragón C, Rodríguez R, González J, Escalona M, Cid M, Pina D (2007) Evaluación del efecto de tres condiciones de cultivo *in vitro* en la calidad de plántulas de caña de azúcar propagadas en biorreactores de inmersión temporal. *Biotechnol. Veg.* 7: 161-169.

Pérez J (1998) Variación somaclonal. En Pérez J (Comp.) *Propagación y Mejora Genética de Plantas por Biotecnología*. 1ª ed. Universidad Central de las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 105-121.

Quesada R, Sánchez C, Barcelo A, Pliego F (2004) Factors affecting maturation of avocado somatic embryos. *Sci. Hort.* 102: 61-73.

Ribas M, Flórez I, González M (2008) La respiración de las plantas. En Azcon-Bieto J, Talón M (Comps.) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2ª ed. McGraw-Hill Interamericana Madrid, España. pp. 265-286.

Rodríguez L, Corchuelo G, Núñez C (2003) Influencia del espaciamiento entre plantas sobre la morfología y el crecimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L. cv. Parda pastusa) bajo dos ambientes contrastantes. *Agron. Col.* 21: 210-219.

Rogalski M, Antunes de Moraes LKA, Felisbino C, Crestani L, Guerra MP, Lima da Silva AL (2003) Acclimatization of micropropagated *Prunus* sp. rootstocks. *Rev. Bras. Fruticult.* 25: 279-281.

Santos Castellanos M, Segura Abril M, Núñez López CE (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. Nac. Agron., Medellín*, 63(1): 5253-5266.

Segura J (2008) Introducción al desarrollo. Concepto de hormona vegetal. En Azcon-Bieto J, Talón M (Comps.) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2ª ed. McGraw-Hill Interamericana Madrid, España. pp. 349-376.

Statistix8 (2003) *Statistix8: Analytical Software User's Manual*. Tallahassee, FL, EEUU.

Steward F (1969) *Analysis of Growth. Behavior of Plants and their Organs Physiology*. 1ª ed. Academic Press. Nueva York EEUU. pp. 38-41.

Tadeo F, Gómez A (2008) Fisiología de las plantas y el estrés. En Azcon-Bieto J, Talón M (Comps.) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2ª ed. McGraw-Hill Interamericana Madrid, España. pp. 577-598.

Vilchez J, Albany N, Kosky RG, García L (2002) Inducción de embriogénesis somática en *Psidium guajava* L. a partir de embriones cigóticos. *Rev. Fac. Agron. LUZ* 19: 284-293.

Villar R, Ruiz J, Quero J, Poorter H, Valladares F, Marañón T (2004) Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En Valladares F (Comp.) *Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante*. 1ª ed. EGRAF, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. pp. 191-227.