

# Fisiología de estevia (*Stevia rebaudiana*) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento

## Physiology of stevia (*Stevia rebaudiana*) regarding radiation near the Colombian Caribbean coast. II. Growth analysis

Alfredo Jarma<sup>1</sup>, Teresita Rengifo<sup>2</sup> y Hermes Araméndiz-Tatis<sup>3</sup>

**Resumen:** *Stevia rebaudiana* Bertoni es una planta que produce en las hojas un edulcorante natural bajo en calorías, cuyo poder es 300 veces mayor que la sacarosa. El edulcorante es usado en productos alimenticios en varios países, incluyendo Japón, Brasil y China, y últimamente ha despertado gran interés en Colombia. Este trabajo se realizó entre 2002 y 2003 en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, municipio de Montería (Colombia). El propósito fue evaluar el efecto de cuatro niveles de radiación incidente sobre el crecimiento de *Stevia rebaudiana* bajo condiciones climáticas del valle del Sinú. Para lograr los objetivos se planteó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, en el que los factores fueron niveles de radiación incidente (19%, 24%, 56% y 100%) y genotipos de estevia ('Morita 1' y 'Morita 2'). Los resultados más importantes indicaron que 'Morita 2' expuesta a 100% de radiación incidente presentó la máxima tasa absoluta de crecimiento ( $TAC$ ), lo que podría atribuirse a una ventaja genética de esta variedad que le permite realizar mayor fotosíntesis. La tasa relativa de crecimiento ( $TRC$ ) fue alta en ambos genotipos al inicio del ciclo para los niveles sombreados (19% y 24%); una vez terminada esta etapa, las altas radiaciones generaron mayores incrementos en la  $TRC$ . La mayor tasa de asimilación neta ( $TAN$ ) la presentó 'Morita 2' expuesta a 100% de radiación incidente, sugiriendo mayor eficiencia en la producción diaria de biomasa por cada centímetro cuadrado de superficie foliar.

**Palabras claves adicionales:** radiación incidente, sombreado, índices de crecimiento, materia seca

**Abstract:** *Stevia rebaudiana* Bertoni is a plant which produces a variety of high-potency, low-calories sweetener in its leaf tissue. Its sweetening potential is considered to be 300 times greater than sucrose. Stevia sweeteners are used in food products in a number of countries including Japan, Brazil and China and, more recently, in Colombia. The research was carried out from July 2002 to April 2003 in the Universidad de Córdoba's Agricultural Sciences' fields in Montería, Colombia. The study was aimed at evaluating the effect of four levels of incident radiation on *Stevia rebaudiana* growth in the Sinu river valley's climatic conditions. A completely random design used incident radiation levels (19%, 24%, 56% and 100%) and stevia genotypes ('Morita 1' and 'Morita 2') as factors. The most important results indicated that 'Morita 2' exposed to 100% incident radiation presented the highest absolute growth rate ( $AGR$ ); this could possibly be attributed to this variety's genetic advantage allowing it to carry out greater photosynthesis. Relative growth rate ( $RGR$ ) was high in both genotypes at the beginning of the cycle (the first 60 days following transplant) for shady levels (19% and 24%); once this stage was finished, the high radiation produced greater increases  $RGR$ . 'Morita 2', exposed to 100% incident radiation, presented the greatest net assimilation rate ( $NAR$ ), suggesting greater efficiency in daily biomass production for each square centimeter of leaf surface per day.

**Additional key words:** incident radiation, shade, growth index, dry matter

Fecha de recepción: 30 de agosto de 2005  
Aceptado para publicación: 11 de mayo de 2006

<sup>1</sup> Docente investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia). e-mail: ajarma@sinu.unicordoba.edu.co

<sup>2</sup> Docente, Universidad de Sucre, Sincelejo (Colombia). e-mail: trengifo@unisucre.edu.co

<sup>3</sup> Docente investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia). e-mail: haramendiz@hotmail.com

## Introducción

STEVIA REBAUDIANA ES UNA PLANTA SELVÁTICA subtropical del alto Paraná, nativa del noroeste de la provincia de Misiones, en Paraguay, donde era utilizada por los nativos del lugar como edulcorante y curativa. En 1899, por primera vez el sabio Moisés Santiago Bertoni tuvo posesión de algunas plantas provistas por los indígenas del lugar, la cultivó y le dio su clasificación botánica en 1905 (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1996).

Con la difusión de las informaciones sobre la naturaleza y usos actuales y potenciales de los principios edulcorantes de esta planta, su cultivo comercial adquirió importancia variable en Brasil, Japón, Corea, Taiwán, Tailandia, Indonesia, Laos, Malasia, China, Filipinas, Estados Unidos de América (California) y, lógicamente, Paraguay. El 5% de la producción mundial actual se concentra en el Noroeste Asiático. Japón es el país que más fábricas procesadoras y extractoras de esteviósido posee, alrededor de unos 25 establecimientos (Schwebel, 2005).

El esteviósido, que pudo cristalizarse en 1931, es un polvo cristalino blanco que se extrae de las hojas de la estevia. Los científicos lo llaman una molécula 'noble' por ser un producto 100% natural, no tener calorías, ser hasta 300 veces más dulce que el azúcar; además, las hojas pueden utilizarse en su estado natural, gracias a su gran poder edulcorante, y sólo son necesarias cantidades pequeñas del producto. Por otra parte, el esteviósido puede ser utilizado totalmente por los diabéticos, ya que no eleva los niveles de glucosa en la sangre, no aporta calorías al ser metabolizado, es antiácido y cardiotónico; no produce caries, pues no es fermentado por las bacterias orales (Brandle, 2005).

Los componentes edulcorantes de las hojas de estevia son glucósidos de diterpenos sintetizados, al menos en los estados iniciales, usando la misma ruta del ácido gibbélico, con la diferencia de que en la estevia el kaureno (precursor de dichas hormonas) es convertido a esteviol en el retículo endoplásmico. Numerosos investigadores han reportado la ruta de síntesis de los esteviósidos más importantes (Geuns, 2003; Totté et al., 2000; Totté et al., 2003; Brandle et al., 2002; Brandle, 2005).

Los acontecimientos fotosintéticos se desencadenan en el momento en que las clorofilas captan la energía de la luz incidente en el aparato fotosintético, energía que es utilizada para lograr una excitación que puede abocar a una oxidación de los pigmentos fotosensibles. Las

reacciones fotoquímicas que tienen lugar han sido bien estudiadas, tanto in vivo como in vitro, teniéndose en la actualidad una idea bastante acertada de los fenómenos que suceden. Salisbury (2000) afirma que las relaciones fotosintéticas relativas para varias especies de dicotiledóneas herbáceas y pastos pueden definirse en función de la radiación que incide sobre cierta unidad de área foliar. Sin embargo, las eficiencias fotosintéticas de las plantas cultivadas nunca superan el 18% teórico de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) absorbida y, hasta el momento, no se conocen ningún mecanismo por el que puedan aumentarse.

Las cantidades de luz y de CO<sub>2</sub> determinan la respuesta fotosintética de las hojas, y en algunas situaciones esta respuesta es limitada por un inadecuado suministro de este factor (Taiz y Zeiger, 1998). Por otro lado, la absorción de demasiada luz puede causar severos problemas; sin embargo, mecanismos especiales protegen el sistema fotosintético de los excesos. Afortunadamente, múltiples niveles de control sobre la fotosíntesis permiten que las plantas crezcan en un constante cambio del ambiente y diferentes habitat. Pocos trabajos se conocen respecto al comportamiento de estevia ante niveles de radiación; Parsons (2003) afirma que niveles altos de sombreado afectan de forma negativa el crecimiento de las plantas y la frecuencia de la floración, pero no soporta sus afirmaciones con resultados científicos.

Hunt (2003) indica que el crecimiento, en el contexto de plantas individuales, puede definirse como un aumento irreversible en el tiempo y que estos cambios pueden ser en tamaño, forma y ocasionalmente en número; así mismo, dice que, por lo general, los análisis de crecimiento se hacen con materia seca y que plantas anuales y perennes que crecen bajo condiciones normales han mostrado, en sus primeros estados, la misma curva típica de crecimiento. Sin embargo, los cambios en la materia seca total en estos períodos pueden variar considerablemente por diversos factores y es posible observar pequeños cambios dentro de estas fases. Por último, el autor concluye que una transformación logarítmica de los datos puede traducirse en ganancias para el investigador, desde el punto de vista visual, estadístico y matemático.

Raffo e Iglesias (2004) indican que la radiación fotosintéticamente activa captada por un vegetal determina la cantidad de materia seca producida y la calidad de la producción, influyendo sobre el crecimiento y la productividad. Sin embargo, y aunque los efectos de la variación en niveles de radiación en estevia no han

sido reportados de tal manera que puedan ser comparados con este trabajo, se han realizado investigaciones en otras especies tales como habichuela (Jarma et al. 1999), en las que se ha concluido que los índices de crecimiento, la tasa de asimilación neta ( $TAN$ ), el área foliar específica ( $AfE$ ), la relación de área foliar ( $RAF$ ) y el área foliar ( $AF$ ) mostraron mayor valor en los tratamientos sombreados, respecto al tratamiento con 100% de radiación incidente. Por su parte, el índice de cosecha ( $IC$ ) mostró valores similares para los tratamientos bajo sombra, aunque entre éstos el de mayor nivel de sombreado fue más eficiente en la contribución al llenado de grano.

Otros trabajos que pretendían identificar el efecto del sombreado por causa de poblaciones de malezas en híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), indican que cuando la mitad superior del dosel tiene 38% del área foliar total de la planta, se intercepta 70%-80% de la  $RFA$  entrante y que los híbridos de sorgo que crecieron con altos niveles de sombreado por la población de malezas, redujeron su  $TRC$  y  $TAN$  al disminuirse de manera significativa la acumulación de biomasa (Traoeré, 2003).

Con base en la inexistencia de trabajos que permitan conocer el comportamiento de *Stevia rebaudiana* ante los diversos factores ambientales en Colombia, se planteó este trabajo con el propósito de evaluar el efecto de cuatro niveles de radiación incidente sobre el crecimiento de dos genotipos de esta especie, bajo las demás condiciones ambientales del valle del Sinú, en el Caribe colombiano.

## Materiales y métodos

La investigación se condujo entre los meses de julio de 2002 y abril de 2003 en los campos experimentales de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, con sede en Montería (Colombia), a 13 msnm, 8°52' de latitud norte y 76°48' de longitud oeste. La región se considera como zona de transición de Bosque Húmedo a Bosque Seco Tropical, según Holdridge, cuyas principales características ambientales anuales promedio son: 28 °C, 80% de humedad relativa y 1.200 mm de precipitación. Para alcanzar los objetivos planteados en este trabajo, se utilizaron mallas polisombra negras de polietileno de alta densidad con aditivo UV para resistencia a la intemperie que

permitían el paso de 19%, 24% y 56% de radiación incidente, y un testigo con exposición total a la radiación incidente (100%).

En razón a que las condiciones de suelo y ambiente eran homogéneas, se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones y estructura de tratamiento factorial, considerando como factor principal los niveles de radiación incidente (19%, 24%, 56% y 100%) y como subfactor los genotipos ('Morita 1' y 'Morita 2'). Se consideró como unidad experimental un total de 80 plantas sembradas en bolsas plásticas negras con capacidad para 5 kg de suelo.

La información fue analizada estadísticamente a través del Statistical Analysis System (SAS) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Córdoba. Se utilizó como prueba de comparación de medias la diferencia mínima significativa ( $DMS$ ) a niveles significantes de 5% y 1%. Las interacciones que resultaron significativas o altamente significativas se descompusieron gráficamente a través de un Anova con el estadístico  $F$  significativo al 5%. Las lecturas de las variables de medición directa área foliar y materia seca se realizaron cada 15 d durante 8 meses y los análisis se hicieron en tres épocas: 60, 150 y 255 días después del transplante (ddt). Las mediciones de la radiación incidente se realizaron con una barra cuántica Li-Cor 184, con la que se tomaron mensualmente lecturas en la parte superior, media e inferior del dosel de las plantas en diferentes horas del día (cada hora, entre 08:00 y 14:00).

A partir de las mediciones directas se calcularon los siguientes índices de crecimiento<sup>4</sup>:

Tasa absoluta de crecimiento ( $TAC$ )

Expresa el crecimiento en materia seca en un intervalo de tiempo, con relación a un tiempo inicial.

$$TAC = (MSf - MSi) / (Tf - Ti), \text{ unidades: } g \cdot d^{-1}$$

Tasa relativa de crecimiento ( $TRC$ )

Expresa el crecimiento en materia seca a partir de un gramo de materia seca de la planta en un intervalo de tiempo, con relación a un tiempo inicial.

$$TRC = (\ln MSf - \ln MSi) / (Tf - Ti), \text{ unidades: } g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$$

<sup>4</sup> MSf, materia seca final de la planta (g); MSi, masa seca inicial de la planta (g); MST, masa seca total de la planta (g); MSh, masa seca total de las hojas (g); Tf, tiempo final (d); Ti, tiempo inicial (d); AfF, área foliar final (cm<sup>2</sup>); AfI, área foliar inicial (cm<sup>2</sup>); AfT, área foliar total de la planta (cm<sup>2</sup>); ln, logaritmo natural.

### Tasa de asimilación neta ( $T_{AN}$ )

Es una medida de la eficiencia de una planta o de una población como sistema asimilatorio, es decir, la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo.

$$T_{AN} = [(MSF - MSi)/(AFf - AFi)] \cdot [(\ln AFf - \ln AFi)/(t_f - t_i)]$$

unidades:  $g \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$

### Área foliar específica ( $A_{FE}$ )

Es la relación entre el área foliar total de la planta y la materia seca total de las hojas de la planta.

$$A_{FE} = A_{FT}/m_{sh}, \text{ unidades: } cm^2 \cdot g^{-1}$$

### Relación de área foliar ( $R_{AF}$ )

Es la proporción de área foliar total de la planta respecto a la materia seca total de la planta.

$$R_{AF} = A_{FT}/M_{st}, \text{ unidades: } cm^2 \cdot g^{-1}$$

### Índice de cosecha ( $IC$ )

Es la relación entre la biomasa del órgano de interés económico y la biomasa total de la planta, expresada en porcentaje. Para este caso, la hoja se consideró como el órgano de interés económico.

$$IC = (m_{sh}/M_{st}) \cdot 100$$

## Resultados y discusión

### Tasa absoluta de crecimiento

La figura 1 muestra el comportamiento de la  $T_{AC}$  entre 30 y 255 ddt, con una tendencia ascendente que está acorde con el comportamiento de la  $T_{AC}$  de un cultivo anual que crece bajo condiciones normales. Durante los primeros 180 d no existen diferencias marcadas para ninguno de los tratamientos evaluados, debido a que las plantas se encuentran en un período de establecimiento, dedicándose posiblemente a ampliar su sistema radicular. A partir de los 180 ddt se observa un comportamiento diferencial de los tratamientos con el genotipo 'Morita 2', que regis-

tra, en los niveles de radiación más altos (56% y 100%), la mayor acumulación de materia seca total diaria, sugiriendo su uso más eficiente de la radiación que, al incrementar la actividad metabólica, se traduciría en una mayor acumulación de biomasa diaria en respuesta a tasas de fotosíntesis más elevadas. Es interesante observar que 'Morita 1' presenta, a un nivel medio-alto de radiación (56%), una eficiencia mayor en la producción de biomasa con respecto a los niveles altos o bajos, lo que podría interpretarse como una adaptación mejor de este genotipo a los niveles intermedios de radiación.

El comportamiento diferencial en los estados avanzados de crecimiento entre los genotipos evaluados, supone que las diferencias genéticas inclinan la balanza hacia 'Morita 2' en lo que se refiere a su eficiencia en la síntesis de asimilados bajo condiciones de alta radiación, típicas de esta región del país.

En razón a que no se conocen resultados de trabajos previos en estevia que permitan comparar las respuestas de la  $T_{AC}$  con las observadas en esta investigación, es importante considerar las respuestas de algunas otras especies de crecimiento anual evaluadas en el trópico.

Trabajos realizados en pepino indican que esta planta invierte, en sus estados juveniles, una gran cantidad de asimilados en las hojas para poder realizar y mantener una alta tasa de fotosíntesis, ya que en la época reproductiva la alta demanda de los frutos reduce el crecimiento de la parte vegetativa (Canizares et al., 2004); sin embargo, la eficiencia en la acumulación de fotoasimilados en estados de crecimiento vegetativo es una

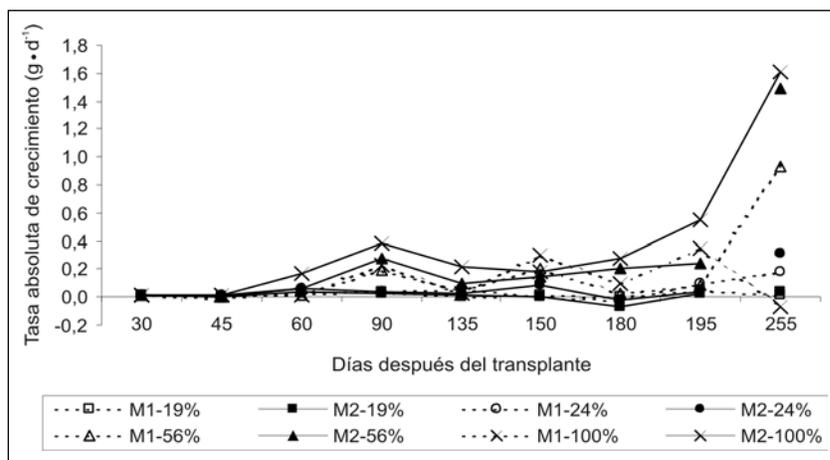


Figura 1. Tasa absoluta de crecimiento ( $T_{AC}$ ) de dos genotipos de *Stevia rebaudiana* Bert. (M1='Morita 1' y M2='Morita 2'), bajo cuatro niveles de radiación incidente en el valle del Sinú, Caribe colombiano (2003).

condición particular de la especie y del ambiente donde se desarrolla. Según Sánchez et al. (2003), en trabajos realizados con diferentes variedades de leucaena en Venezuela no se registraron diferencias marcadas entre las tasas absolutas de crecimiento de los genotipos, que crecieron de manera sostenida a lo largo del estudio. De la misma manera, Jarma et al. (1999), al evaluar los efectos de la radiación incidente en habichuela, encontraron un incremento progresivo de la TAC, similar para los tres niveles de radiación hasta 58 días después de la emergencia; después de esta época, se registraron diferencias en la producción de biomasa diaria debido a la variación de los ambientes de radiación. Algunos autores, como Páez et al. (2000), en trabajos de sombreado en tomate prefieren utilizar otras tasas diferentes a la TAC, argumentando que ésta no es constante en el tiempo por causa de la variación en la proporción de tejidos activos a través del crecimiento.

Los resultados anteriores sugieren que, en términos generales, en las etapas vegetativas de las especies anuales la planta produce biomasa de manera eficiente y sostenida en respuesta al fortalecimiento de su aparato fotosintético. Esto explicaría la tendencia similar que muestran las TAC de los dos genotipos de estevia en los diferentes niveles de radiación y, a su vez, plantearía que esta eficiencia, ante la diversidad de estímulos ambientales y genéticos, se vuelve diferencial en las fases más tardías, cuando la planta ha alcanzado su madurez fisiológica.

#### Tasa relativa de crecimiento

La tasa relativa de crecimiento desde 45 hasta 255 ddt se muestra en la figura 2. Es interesante anotar que entre los 45 y los 60 ddt se nota un incremento progresivo de la TRC en las plantas expuestas a bajos niveles de radiación incidente (19% y 24%), independientemente de la variedad, en tanto que las expuestas a altos niveles de radiación incidente presentan el comportamiento opuesto. Esto sugeriría que los tejidos jóvenes de estevia sometidos a mayor radiación son menos eficientes en la producción de biomasa, respecto a las plantas que están bajo niveles intermedios o bajos. Lo anterior resulta razonable si se tiene en cuenta que en este período las plantas jóvenes están en pleno pro-

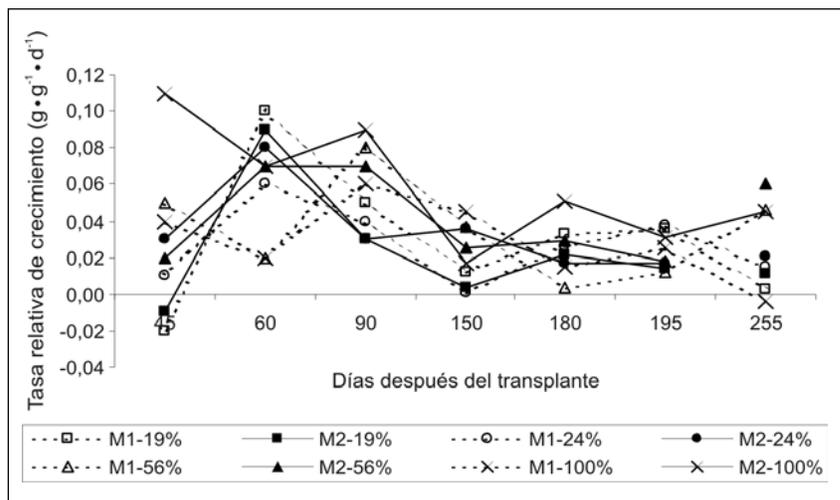


Figura 2. Tasa relativa de crecimiento ( $TRC$ ) de dos genotipos de *Stevia rebaudiana* Bert. (M1='Morita 1' y M2='Morita 2'), bajo cuatro niveles de radiación incidente en el valle del Sinú, Caribe colombiano (2003).

ceso de establecimiento y las altas radiaciones que se presentan en la región generan una alta transpiración en hojas que no han alcanzado una expansión y una madurez adecuadas. Esto probablemente acarrea un aumento en las tasas de respiración de las plantas sometidas a las altas radiaciones, mientras que en las más sombreadas esta condición es amortiguada por la sombra, por lo que la pérdida de energía es menor y, por consiguiente, la TRC es más alta.

A partir de los 60 ddt, el comportamiento de la TRC sigue una tendencia acorde con lo observado para muchas especies de crecimiento determinado, en el sentido de que tiende hacia valores altos que disminuyen con la edad, y esta disminución se debe en parte al aumento gradual de tejidos no asimilatorios (Jarma et al., 1999). El anterior comportamiento es lógico si se tiene en cuenta que el cultivo está totalmente establecido y las plantas responden acumulando mayor materia seca total en función de la radiación incidente, registrándose la mayor eficiencia en los niveles de 100% y 56% para 'Morita 2' y 'Morita 1', respectivamente.

Tendencias similares a las encontradas en este trabajo las reportaron Defilipis et al. (2003) en investigaciones con plántulas de Brassica y De Grazia et al. (2001) en trabajos de nutrición en lechuga. Según estos últimos, la TRC disminuyó significativamente sólo con 65% de sombreado, independientemente del nivel de fertilización utilizado, en tanto que en las parcelas sin sombra (100% de radiación) la aplicación de nitrógeno, sin importar la dosis, aumentó de manera significativa los valores de la

TRC. Así mismo, Traoré et al. (2003) mostraron en sorgo un decrecimiento de la TRC bajo niveles altos de sombreadamiento como consecuencia de una reducción en la producción de biomasa, originada por la competencia con malezas. Canizares et al. (2004) reportaron plantas de pepino en estados juveniles con una alta TRC, debido a que en esta etapa las plantas crecen mucho con relación a su biomasa, tendencia que luego decrece, tal vez como consecuencia de la disminución de la radiación incidente interceptada por el cultivo.

Las respuestas de la TRC a los estímulos diferenciales de radiación pueden variar mucho con la especie. Esto fue confirmado por Raffo e Iglesias (2004), quienes indican además que los diferentes cultivos según sus sistemas de manejo (densidad de plantación, sistemas de conducción, poda, etc.) son más o menos eficientes de acuerdo con la energía lumínica interceptada. Páez et al. (2000), al evaluar en tomate el efecto de la sombra sobre la TRC, encontraron que este índice siempre fue mayor en las plantas que estuvieron sometidas a la sombra.

#### Tasa de asimilación neta

La tasa de acumulación de materia seca ( $M_S$ ) por unidad de área foliar y tiempo se define como la tasa de asimilación neta ( $TAN$ ), que es una medida de la eficiencia media fotosintética de las hojas (Mansab et al., 2003). La figura 3 muestra el comportamiento de la  $TAN$ , también conocida como índice de eficiencia, durante los 255 d evaluados.

La respuesta en este parámetro es consistente con lo expresado por Hunt (2003), quien indica que la  $TAN$  exhibe en general un nivel constante relativo, modificado por fluctuaciones en el ambiente durante el período de crecimiento. Durante los 195 ddt, 'Morita 2' registró los mayores valores estando expuesta a 100% de radiación incidente, con respecto al resto de los tratamientos, con su máxima  $TAN$  a los 90 ddt ( $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ). A partir de este momento, todos los tratamientos mantienen valores similares de  $TAN$  sin destacarse ninguno de ellos. Lo anterior sugiere que 'Morita 2' expuesta a 100% de radiación incidente presenta mayor eficiencia fotosintética respecto al resto de tratamientos, ya que durante los primeros 195 d cada centímetro cuadrado

de área foliar está produciendo mayor cantidad de materia seca por día que 'Morita 1' bajo cualquier nivel de radiación. Esta respuesta podría ser un indicador de la alta eficiencia de este genotipo en la conversión de asimilados de los tejidos fotosintéticos cuando es sometido a niveles altos de radiación, lo que sería coincidente con el comportamiento observado para la  $TAC$  y la  $TRC$ .

Es importante resaltar que 'Morita 2' registró consistentemente una mayor área foliar que 'Morita 1' y que estas diferencias fueron más marcadas cuando estuvo creciendo bajo niveles altos de radiación (datos no mostrados en este artículo); por lo tanto, es fácil suponer que la mayor cantidad de biomasa que envió este genotipo al órgano de interés -en este caso, las hojas- se explica por un desarrollo mayor de su lámina fotosintética, sumado a su mayor eficiencia en la síntesis de fotoasimilados por unidad de área, sugiriéndose una adaptación mejor de este genotipo a las condiciones de máxima radiación presentes en el Caribe colombiano.

La mayor eficiencia de 'Morita 2' en la conversión de asimilados por unidad de área foliar por día en ambientes de alta radiación no coincide con los resultados de una investigación en habichuela bajo diferentes niveles de radiación incidente (Jarma et al., 1999), con valores de la  $TAN$  mayores en los tratamientos sombreados. Esto comprueba que cada especie responde de manera particular a los estímulos de radiación que recibe del ambiente, siendo diferentes estas respuestas incluso dentro de una misma especie en diversas etapas fisiológicas del desarrollo. Resultados de este tipo fueron reportados por Páez et al. (2000), quienes encontraron en la varie-

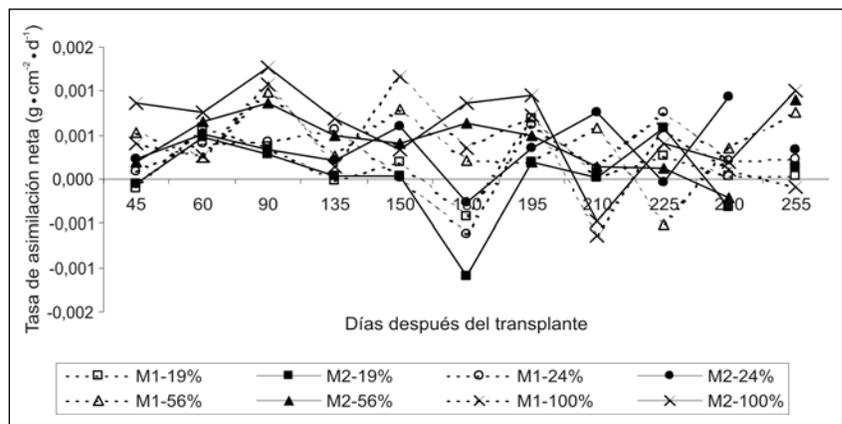


Figura 3. Tasa de asimilación neta ( $TAN$ ) de dos genotipos de *Stevia rebaudiana* Bert. (M1='Morita 1' y M2='Morita 2'), bajo cuatro niveles de radiación incidente en el valle del Sinú, Caribe colombiano (2003).

dad 'Río Grande' de tomate una  $TAN$  mayor en los primeros estados de desarrollo de plantas expuestas a radiación total, condición que se hizo contraria en los estados más avanzados de crecimiento.

Lindquist et al. (2005), en trabajos realizados con maíz bajo condiciones óptimas de crecimiento, atribuyen principalmente las diferencias en la acumulación de biomasa observadas entre los años de crecimiento a diferencias en el uso eficiente de la radiación, que varía debido a las diferencias en el desarrollo del área foliar. Por otra parte, investigaciones realizadas por De Grazia et al. (2001) en lechuga (*Lactuca sativa* L.) mostraron que la tasa de asimilación neta ponderada a través de todo el ciclo del cultivo se redujo al disminuir el nivel de radiación incidente. Por su parte, Defilipis et al. (2003) encontraron valores crecientes de la  $TAN$  en plántulas de *Brassica* hasta 31 d después de plantado el semillero, explicados por el rápido desarrollo del sistema radicular en edades tempranas.

#### Área foliar específica

La figura 4 registra el comportamiento del área foliar específica (AFE) en función del tiempo. Durante todo el periodo evaluado, los tratamientos expuestos a bajos niveles de radiación incidente (19% y 24%) presentaron un AFE mayor que los sometidos a altas radiaciones incidentes, independientemente de la variedad. Los máximos valores los presentó 'Morita 2' expuesta a 19% de radiación incidente a los 45 y 195 d, con 332,8 y 310,3  $cm^2 \cdot g^{-1}$ , respectivamente. Los valores más bajos de AFE se registraron cuando 'Morita 1' y 'Morita 2' estuvieron expuestas a 100% de radiación incidente.

Lo anterior sugiere que las plantas sometidas a baja radiación incidente presentan hojas más delgadas y con menor biomasa, en comparación con los tratamientos expuestos a 100% de radiación incidente, que muestran menor área foliar por cada gramo de materia seca de hoja y hojas más pesadas y gruesas. Al considerar la expansión del área foliar como una respuesta plástica altamente influenciada por la radiación, es probable que las hojas más pequeñas y delgadas observadas en los niveles de menor radiación sean la respuesta de un autoajuste de la planta para captar el máximo posible de

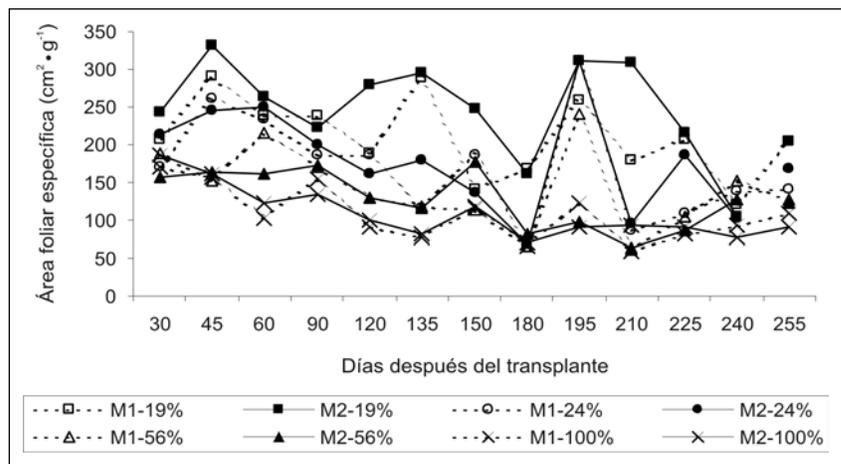


Figura 4. Área foliar específica (AFE) de dos genotipos de *Stevia rebaudiana* Bert. (M1='Morita 1' y M2='Morita 2'), bajo cuatro niveles de radiación incidente en el valle del Sinú, Caribe colombiano (2003).

energía solar disponible para la asimilación clorofílica; sin embargo, esta situación no representó una mayor eficiencia en la producción de fotoasimilados por unidad de área foliar, tal como se demostró con la  $TAN$ .

Páez et al. (2000) indican que las plantas pueden ajustarse a un ambiente de menor irradiación aumentando el área foliar específica (AFE); así, en el caso del tomate estos autores observaron este efecto solamente hasta los 45 d de crecimiento vegetativo. Una tendencia similar fue observada en investigaciones realizadas por De Grazia et al. (2001) en lechuga (*Lactuca sativa* L.), en las que el AFE fue afectada por la atenuación del nivel de radiación, provocando un incremento en ella.

Los resultados encontrados en estevia muestran un comportamiento similar a lo observado en habichuela con diferentes niveles de radiación incidente (Jarma et al., 1999), planta en la que el AFE y la relación de área foliar (RAF) registraron valores mayores bajo tratamientos sombreados que bajo 100% de radiación incidente. Estos resultados pueden ser explicados acogiendo la teoría de Salisbury y Ross (2000), quienes afirman que en dicotiledóneas las hojas bajo sombra tienen típicamente mayor área pero son más delgadas que las hojas bajo sol. Las hojas de sol se hacen más gruesas que las hojas de sombra debido a que forman células de empalizada más largas o una capa adicional de éstas. Para el caso particular de estevia, es probable que las hojas más grandes observadas bajo niveles de mayor sombreado causen un autosombramiento y sean menos eficientes en la utilización de la poca radiación solar para la asimilación de la energía lumínica.

## Relación de área foliar

La relación de área foliar (RAF) es una medida del balance entre la capacidad fotosintética potencial y el costo respiratorio potencial. La figura 5 muestra el comportamiento de este parámetro durante los 255 d evaluados, similar al del AFE, con las plantas expuestas a bajas radiaciones incidentes presentando los valores más altos de RAF. Así, los valores más altos de la RAF se presentaron bajo condiciones de máxima sombra (19% de radiación incidente), con 269,2 y 260,5  $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  para 'Morita 1' y 'Morita 2', respectivamente, en tanto que los tratamientos expuestos a altas radiaciones incidentes mostraron los más bajos, fluctuando entre 136,3 y 21,5  $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ .

Los anteriores resultados indican que las bajas radiaciones estimularon un incremento de la relación de área foliar en las plantas de estevia, independientemente de la variedad. Esto demuestra que estas plantas hacen una mayor inversión en tejido foliar, posiblemente para lograr una mayor captación de luz, como sucede para el AFE. Por otra parte, las plantas expuestas a bajas radiaciones presentaron resultados bajos de área foliar, materia seca de hojas y número de hojas, evidenciando el lento crecimiento y la ineficiencia fotosintética bajo estas condiciones, lo que representa una limitante para expresar su máximo rendimiento.

La tendencia encontrada coincide con resultados obtenidos por Páez (1997) sobre aclimatación de *Panicum maximum* a diferentes regímenes lumínicos (10%, 30% y 100%), en los que la RAF se incrementó a medida que la radiación ambiental disminuyó, con incrementos de 83% y 121% cuando las plantas se expusieron a 30% y 10% de radiación ambiental, respectivamente. Por otra parte, en trabajos realizados por González et al. (1998) sobre índices decrecimiento en *Barleria lupulina*, la RAF fue siempre significativamente mayor en las plantas crecidas bajo sombra que en las crecidas bajo sol. En otros trabajos sobre esta misma especie (Páez et al., 2003), el estrés por humedad causó

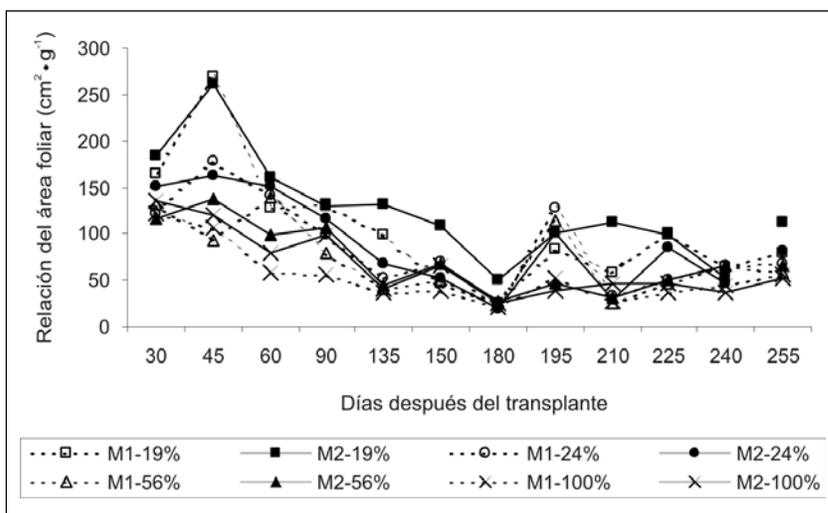


Figura 5. Relación de área foliar (RAF) de dos genotipos de *Stevia rebaudiana* Bert. (M1='Morita 1' y M2='Morita 2'), bajo cuatro niveles de radiación incidente en el valle del Sinú, Caribe colombiano (2003).

efectos diferentes, pues las plantas que crecieron bajo deficiencias hídricas registraron disminuciones en la RAF y el AFE; para estos autores la expansión foliar se ve particularmente afectada bajo condiciones de déficit hídrico como consecuencia de la reducción del turgor celular y, por ende, de la superficie foliar.

## Índice de cosecha

La figura 6 muestra el índice de cosecha (IC), o coeficiente de migración, para todos los tratamientos durante las épocas evaluadas. Las tendencias observadas

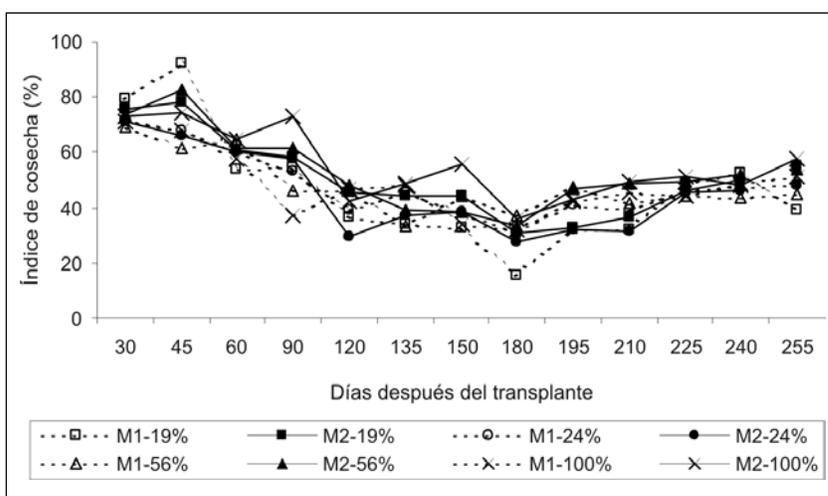


Figura 6. Índice de cosecha (IC) de dos genotipos de *Stevia rebaudiana* Bert. (M1='Morita 1' y M2='Morita 2'), bajo cuatro niveles de radiación incidente en el valle del Sinú, Caribe colombiano (2003).

sugieren que los valores altos encontrados al inicio del ciclo pueden ser explicados por la condición de las plantas al momento del transplante, con 5 a 6 hojas en promedio, que, por la acumulación de biomasa en el tallo, establecen posteriormente una relación más o menos estable hacia ambos vertederos. En términos generales, 'Morita 1', sometida a un nivel de 100% de radiación, registró los mejores valores de  $ic$  en todas las épocas de evaluación, llegando al final del ciclo con valores cercanos a 60%.

Lo anterior indica que, de toda la materia seca producida, alrededor de 50% se encuentra en las hojas al final del ciclo, sugiriendo una alta migración de asimilados hacia éstas; esto se explicaría por el hecho de que las plantas durante todo el período evaluado se mantuvieron en fase vegetativa, ya que las estructuras florales fueron retiradas de manera permanente a medida que fueron apareciendo (labor contemplada para un mejor manejo de la plantación). Esto permite inferir que las hojas fungen como los principales órganos receptores del producto fotosintético, lo que al final es deseable ya que son precisamente los órganos de interés para los agricultores. Valores similares a éstos han sido reportados en plantas altamente intervenidas por el mejoramiento genético, como el maíz (Terrance et al., 2004).

## Conclusiones

La evaluación del crecimiento de *Stevia rebaudiana*, genotipos 'Morita 1' y 'Morita 2', bajo cuatro niveles de radiación incidente en el valle del Sinú del Caribe colombiano permite establecer las siguientes conclusiones:

- 'Morita 2' expuesta a 100% de radiación incidente presentó la máxima tasa absoluta de crecimiento ( $TAC$ ), lo que podría ser atribuido a una ventaja genética de esta variedad que le permite realizar mayores tasas de fotosíntesis a altos niveles de radiación.
- La tasa relativa de crecimiento ( $TRC$ ) fue alta durante los primeros 60 ddt para los niveles sombreados (19% y 24%), indicando que esta condición es favorable durante este tiempo para evitar los excesos de transpiración y pérdidas de energía de las plantas jóvenes; una vez terminada esta etapa, las altas radiaciones son las más recomendables para generar incrementos en la  $TRC$ .
- Durante 195 d la mayor tasa de asimilación neta ( $TAN$ ) la presentó 'Morita 2' expuesta a 100% de radiación incidente, manifestando, respecto al resto, una ventaja en la eficiencia de la producción diaria de materia seca por cada centímetro cuadrado de área foliar.

- Los bajos niveles de radiación generan una mayor área foliar específica (AFE) y relación de área foliar (RAF), independiente de la variedad, presentando hojas delgadas con menos materia seca, en comparación con los tratamientos expuestos a plena radiación solar; esto demuestra que las plantas sombreadas hacen una mayor inversión en tejido foliar, tal vez para lograr una mayor captación de la luz.
- Los valores del índice de cosecha ( $ic$ ), considerando en este caso a la hoja como el órgano de interés, son similares a los de cultivos altamente intervenidos por el mejoramiento genético, como el maíz.

## Literatura citada

- Brandle, J.E., A. Richman, A. Swanson y B. Chapman. 2002. Leaf ESTs from *Stevia rebaudiana*: a resource for gene discovery in di-terpene synthesis. *Plant Mol. Biol.* 50, 613-622.
- Brandle, Jim. 2005. *Stevia*, Nature's natural low calorie sweetener. En: [http://res2.agr.ca/London/faq/stevia\\_e.htm](http://res2.agr.ca/London/faq/stevia_e.htm); consulta: junio 2005.
- Canizares, K., J. Rodrigues y R. Goto. 2004. Crescimento e índices de troca gasosa em plantas de pepino irrigadas com água enriquecida com  $CO_2$ . *Horticultura Brasileira*, Brasília, 22(4), 706-711.
- De Grazia, J., P. Tiftonell y A. Chiesa. 2001. Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 16(3). Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina. En: <http://www.inia.es/IAS-PV/2001/Vol16-3/degra.pdf>; consulta: julio 2003.
- Defilipis, C., S. Parían y A. Jiménez. 2003. Caracterización del crecimiento de plantines de *Brassica rapa* var. *pekinensis* en contenedores. En: *Jornadas de la Ciencia y la Tecnología 2003*, Universidad Nacional de Luján, Argentina, <http://www.unlu.edu.ar/~riego/plantines%20Brassica-2003JCT.doc>; consulta: agosto 2005.
- Geuns, J. M. 2003. Stevioside. *Phytochemistry* 64, 913-921.
- González M., J. Urdaneta, D. Paredes, D. Tissue y T. Tschaplinski. 1998. Índices de crecimiento y formación de compuestos orgánicos en *Barbieria lupulina* sometida a dos condiciones de luminosidad. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*: 515-525. En: [http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagroluz/v15\\_6/v156z002.html](http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagroluz/v15_6/v156z002.html); consulta: julio 2003.
- Hunt R. 2003. Plant growth analysis: individual plants. En: Thomas, B., D.J. Murphy y D. Murray (eds.). *Encyclopaedia of applied plant sciences*. Academic Press, London. pp. 579-588.
- Jarma, A., C. Buitrago y S. Gutiérrez. 1999. Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. *Revista Comalfi* 26(1-3), 62-73.
- Lindquist, J., T. Arkebauer, D. Walters, K. Cassman y A. Dobermann. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agron. J.* 97, 72-78.
- Mansab A., D. Jeffers y P. Henderlong. 2003. Interrelationship between leaf area, light interception and growth rate in a soybean-wheat system. *Asian J. Plant Sci.* 2181, 605-612. En: <http://www.ansinet.org/fulltext/ajps/ajps28605-612.pdf>; consulta: agosto 2005.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1996. Producción de Ka'a He'e. Tercera edición. República de Paraguay, Asunción. 35 p.
- Páez, A., M. González y J. Villasmil. 1997. Acclimation of *Panicum maximum* to different light regimes: effect of subsequent defoliation. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 14(6), 625-639. En: [http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagroluz/v14\\_6/v146z004.html](http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagroluz/v14_6/v146z004.html); consulta: julio 2003.
- Páez, A., V. Paz y J. López. 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. 'Río Grande'. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 17(2), 173-184. En: [http://revfacagronluz.org.ve/PDF/marzo\\_abril2000/ra2008.pdf](http://revfacagronluz.org.ve/PDF/marzo_abril2000/ra2008.pdf); consulta: agosto 2005.
- Parsons, P. 2003. Stevia - Too good to be approved. *Organic NZ* 50(3), 26.
- Paz, V., A. Vera y A. Páez. 2003. Distribución de biomasa de *Barleria lupulina* Lindl. en respuesta a tres regímenes de riego. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 20(3), 273-281. En: [http://revfacagronluz.org.ve/PDF/marzo\\_abril2000/ra2008.pdf](http://revfacagronluz.org.ve/PDF/marzo_abril2000/ra2008.pdf); consulta: agosto 2005.
- Raffo, M. y D. Iglesias. 2004. Efecto de la intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. 'Fuji', bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)* 33(2), 29-42.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2000. Capítulo 12: Fotosíntesis: aspectos ambientales y agrícolas. pp. 410-411. En: De la Fuente, C. (ed). *Fisiología de las plantas 2. Bioquímica vegetal*. Paraninfo Thomson Learning, Madrid. 523 p.
- Sánchez A., O. Miquilena y R. Flores. 2003. Comportamiento de la *Leucaena leucocephala* durante el establecimiento y riego por goteo artesanal en ambiente semiárido. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 20(3), 352-363. En: [http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/julio\\_septiembre2003/](http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/julio_septiembre2003/); consulta: agosto 2005.
- Schwebel, René. 2005. Stevia, el edulcorante natural sudamericano con cero calorías. En: [http://www.geocities.com/schwebel\\_rene/](http://www.geocities.com/schwebel_rene/); consulta: junio 2005.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 1998. *Plant physiology*. Second edition. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, USA. pp. 228-229.
- Terrance D., M. Liebman, C. Cambardella y T. Richard. 2004. Corn growth responses to composted and fresh solid swine manures. *Crop Sci.* 44, 177-184.
- Totté, N., L. Charon, M. Rohmer, F. Compennolle, I. Baboeuf y J. Geuns. 2000. Biosynthesis of the diterpenoid steviol, an entkaurene derivative from *Stevia rebaudiana* Bertoni, via the methylerythritol phosphate pathway. *Tetrahedron Letters* 41, 6407-6410.
- Totté, N., W. van den Ende, E. van Damme, F. Compennolle, I. Baboeuf y J. Geuns, J. 2003. Cloning and heterologous expression of early genes in gibberellin and steviol biosynthesis via the methylerythritol phosphate pathway in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Can. J. Bot.* 81, 517- 522.
- Traoré, S., S. Mason, A. Martin, D. Mortensen y J. Spotsanski. 2003. Velvet leaf interference effects on yield and growth of grain sorghum. *Agron. J.* 95, 1602-1607.