

DINÁMICA ESTOMÁTICA EN CACAO (*Theobroma cacao* L.)

C. Hernández¹, E.I. Leiva², R. Ramírez³.

¹ Estudiante de Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín (Colombia). Correo: clhernandezta@unal.edu.co,² Profesora Asociada. Departamento de Ciencias Agronómicas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín (Colombia). Correo: eileiva@unal.edu.co,³ Profesor Asociado. Escuela de Geociencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín (Colombia). Correo: rramirez@unal.edu.co

RESUMEN

La actividad estomática está relacionada con la fotosíntesis, la transpiración y la conductancia, procesos que a su vez están regulados por la cantidad de agua y aire disponible en el suelo, la temperatura ambiente y la radiación. Los estomas desempeñan un papel vital en el mantenimiento de la homeostasis de la planta y son los responsables del intercambio gaseoso. El propósito de esta investigación fue caracterizar la dinámica estomática y relacionarla con los cambios en luminosidad y estado hídrico del suelo. El estudio se realizó en el departamento de Antioquia, municipio de Maceo en la zona de vida bosque húmedo premontano (bh-PM) y Chigorodó en la zona de vida bosque húmedo tropical (bh-T), en clones de cacao CCN 51, ICS 95 y FSV 41, las variables climáticas contempladas correspondieron a temperatura, radiación y precipitación, se registró la humedad volumétrica del suelo y en las hojas se cuantificó el intercambio gaseoso durante todo el día, se tomaron improntas de los estomas cada dos horas. Se evidenció que el cacao es hipoestomático, con 229-262 estomas por mm² y que durante las 24 horas del día el mayor número de estomas abiertos se observó entre las 10 am y las 2 pm y se incrementa cuando hay mayor contenido de humedad en el suelo. Algunos clones responden al incremento de PAR, presentando las mayores tasas de asimilación de CO₂ a las 12 m, cuando los valores de radiación oscilan alrededor de los 1600 $\mu\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Después de las 2 pm aumentó el cierre estomático y se relacionó con el descenso de los valores de asimilación en las horas de la tarde.

Palabras clave: *Estomas, Asimilación, Radiación, Humedad, cacao*

INTRODUCCION

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es uno de los cultivos perennes más importantes del mundo, su origen se atribuye a América tropical, se cultiva principalmente en zonas tropicales de América central y América del sur, Asia y África (Marita *et al.*, 2001). Es explotado comercialmente para la fabricación de chocolate y sus derivados también son utilizados para la producción de cremas, cosméticos y productos farmacéuticos. Dada su relevancia este cultivo ha sido objeto de un gran número de investigaciones enfocadas al aumento de su producción y así hacerlo más rentable tanto para el sector primario como secundario, sin embargo estos estudios son enfocados hacia la fertilización y es poca o nula la información sobre procesos que están relacionados a su metabolismo para aprovechar la nutrición como lo es la asimilación de CO₂ que está determinada por la dinámica estomática de las hojas de cacao.

La dinámica estomática está estrechamente relacionada con la fotosíntesis, transpiración, carbono intercelular y conductancia estomática, todos estos procesos ocurren en las hojas y a su vez están regulados por la cantidad de agua disponible en el suelo. La hoja es uno de los órganos de la planta más sensibles a responder a las condiciones ambientales, los cuales se evidencian a través de cambios morfológicos como consecuencia de las variaciones en la pared celular, síntesis de proteínas y la conductancia estomática (Trewavas, 2003), además es uno de los órganos de mayor importancia, es la zona de comunicación activa entre la atmósfera y la planta (Thimonier *et al.*, 2010).

La hoja posee estomas, los cuales son pequeños orificios formados por dos células guarda móviles que desempeñan un papel vital en el mantenimiento de la homeostasis de la planta bajo las cambiantes condiciones ambientales y son los responsables del intercambio gaseoso. La importancia fisiológica de los estomas radica en que son responsables del proceso de difusión de gases, a través de la modificación de su apertura, la planta puede regular el flujo de entrada de CO₂ y la salida de vapor de agua por transpiración.

Los factores que regulan la apertura y cierre de los estomas son diversos, entre ellos se encuentra la luz, la concentración de CO₂ en el interior de las hojas, la humedad atmosférica, el potencial hídrico, la temperatura de la hoja y el ambiente etc. (Larcher, 1977; Comstock y Mecuccini, 1998; Cochard *et al.*, 2002). En general, el comportamiento de los estomas permite entender las respuestas y relaciones entre la conductancia estomática, la transpiración y la fotosíntesis en función de los cambios ambientales (Kaufmann y Levy, 1976), en este sentido el propósito de esta investigación es caracterizar la dinámica estomática y su relación con la asimilación de CO₂, las fluctuaciones de la radiación y el estado hídrico del suelo.

METODOLOGIA

Localización

El estudio se realizó en el departamento de Antioquia, en la región de Urabá, municipio de Chigorodó a 40 msnm, con coordenadas geográficas 7°39' 2.5'' N y 76°41'58.0'' correspondiente a la zona de vida Bosque húmedo tropical (bh-T), con temperaturas entre 19,1 y 36,6 °C, precipitación anual de 2981 mm y humedad relativa promedio del 84% y en Magdalena medio, en el municipio de Maceo a 1050 msnm, con coordenadas geográficas 6° 31' 37.776'' N y 74° 49' 35.184'' W, correspondiente a la zona de vida bosque húmedo premontano (bh-PM), con temperaturas que oscilan entre los 15,4 y 32 °C, con precipitación anual de 2251 mm y humedad relativa de 83%. La determinación de las zonas de vida es de acuerdo al sistema de clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales desarrollado por Holdridge (1947) y modificado por el IDEAM (2002).

Material vegetal

Los árboles de cacao correspondieron a clones de CCN 51 y a ICS 95 en Urabá de 7 años de edad y a CCN 51 y FSV 41 en Maceo, con 5 años de edad aproximadamente.

Muestreo y variables evaluadas

Para el muestreo y conteo de estomas se siguió la metodología propuesta por Leiva (2012), la cual consiste en tomar improntas de la base, centro y ápice de una hoja cuatro, esto se realizó cada dos horas en tres hojas, entre las 8 a.m. y las 4 p.m. Posteriormente en laboratorio, con un microscopio OLYMPUS CX41 se hizo el conteo de estomas en un campo de 100X correspondiente a un área de 0.13 mm², en el que se determinó el número de estomas abiertos, cerrados y parcialmente abiertos.

Se registró la Asimilación (A), transpiración (E) y la Radiación Fotosintéticamente activa (PAR), las variables fueron registradas simultáneamente durante el día, cada 3 minutos desde las 8 a.m. hasta las 5 p.m. utilizando el medidor de intercambio gaseoso portátil Ciras-3 PP SYSTEMS®, con luz natural, sobre una hoja cuatro madura, contando desde el ápice hacia la base de la rama. Adicionalmente se registró la humedad volumétrica del suelo cada cinco minutos con el equipo DELTA T DEVICES.

RESULTADOS Y DISCUSION

Dinámica estomática bh-T

El número de estomas abiertos, cerrados y parcialmente abiertos en CCN 51 en bh-T (figura 1A y 1C), es dependiente de las condiciones del medio, entre ellas la radiación (PAR) y el estado hídrico del suelo (figura 1B y 1D), siendo la luz el factor que mas influye. Durante el día, la mayor proporción de estomas se encuentran parcialmente abiertos y entre las 10 am y las 2 pm se presenta el mayor número de estomas abiertos.

Con bajos contenidos hídricos del suelo, 14% y con altos valores de radiación PAR mayor a 1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (figura 1B) hay un estímulo favorable para la apertura de estomas (figura 1A), distinto en condición de alto contenido de agua del suelo y con baja radiación (figura 1D), es menor el número de estomas abiertos (figura 1C), porque la luminosidad es de mayor estímulo para los estomas.

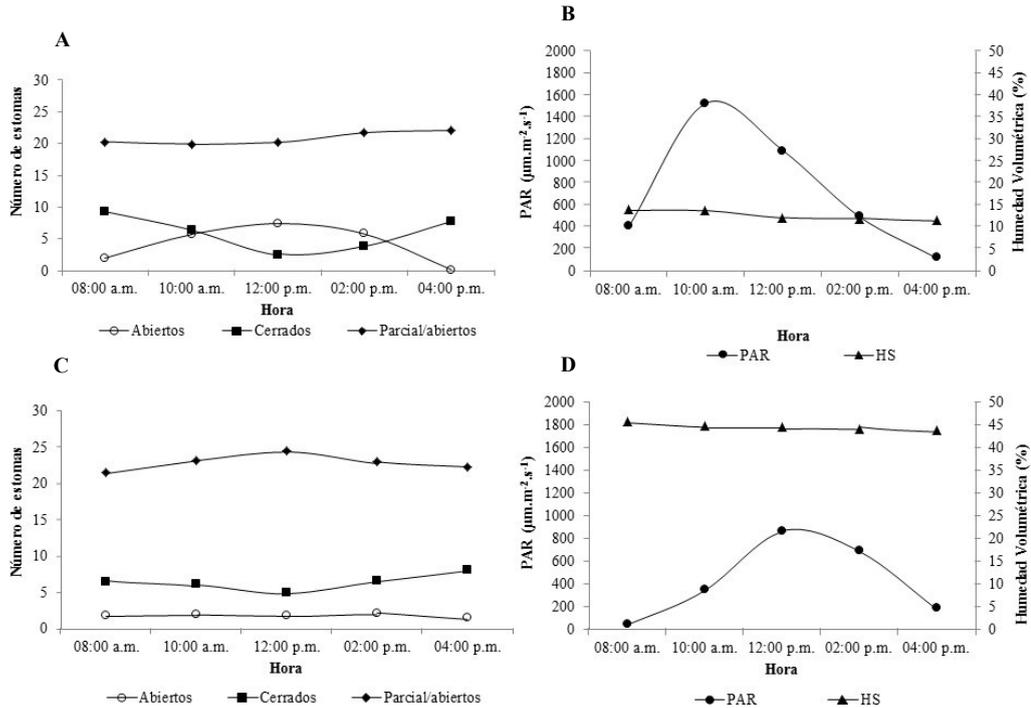


Figura 1. A,C: Dinámica estomática diaria en CCN 51 en bh-T. **B, D:** Condiciones de Radiación y humedad volumétrica del suelo durante el día.

El clon ICS 95 en bh-T presenta comportamiento similar (Figura 2), se evidencia que la dinámica de apertura y cierre de estomas es dependiente de la radiación y de la humedad del suelo, siendo el primero el factor que mas influye y que la mayor proporción de estomas permanecen parcialmente abiertos durante el día. El mayor número de estomas cerrados se presenta en las horas de la mañana y en la tarde, que es cuando los valores de radiación durante el día son mas bajos.

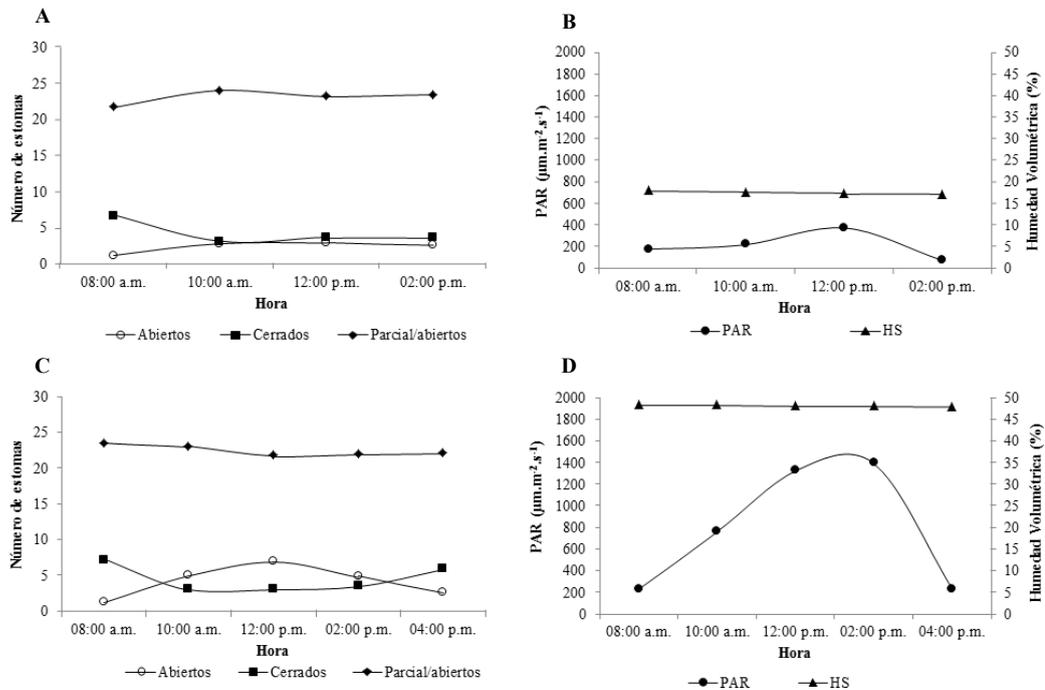


Figura 2. A,C: Dinámica estomática en ICS 95 en bh-T. **B, D:** Condiciones de Radiación y humedad volumétrica del suelo durante el día.

Dinámica estomática bh-PM

Los estomas de los clones CCN 51 y FSV 41 en bh-PM, presentan el comportamiento similar al del bh-T, se evidencia que la mayor proporción de estomas permanece parcialmente abiertos entre las 8 am y las 4 pm, el mayor número de estomas abiertos se presenta entre las 10 am y las 2 pm y en la tarde aumenta en número de estomas cerrados, lo que se relaciona con la disminución de PAR.

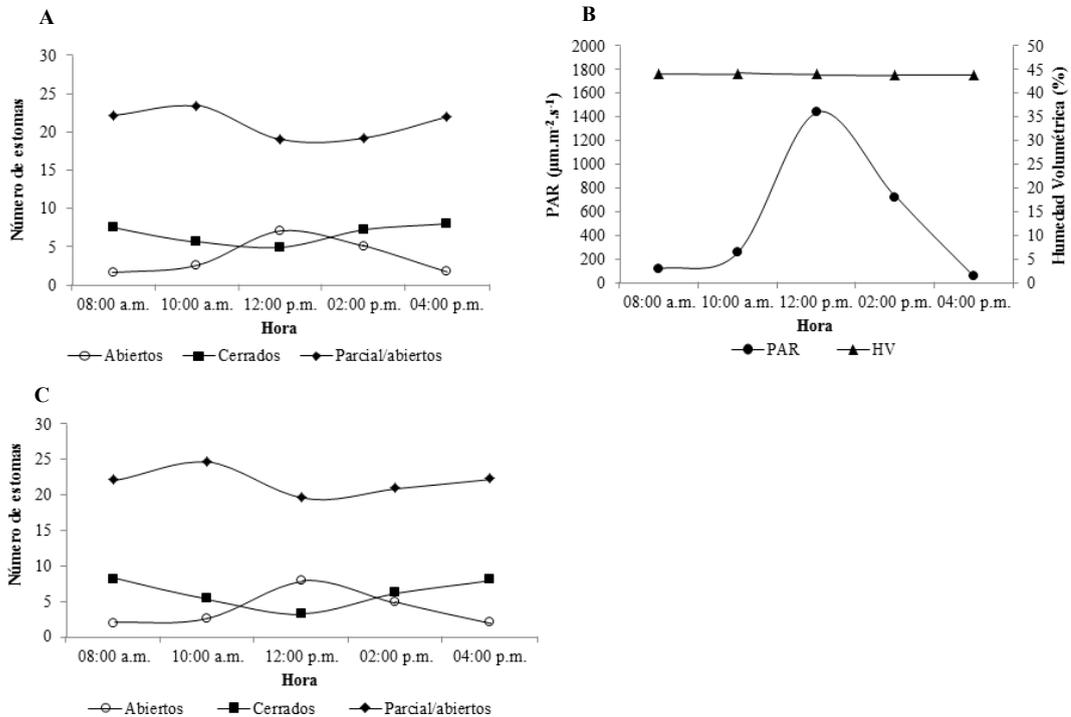


Figura 3. Dinámica estomática en en bh-PM. **A:** CCN 51, **C:** FSV 41 **B:** Condiciones de Radiación y humedad volumétrica del suelo durante el día.

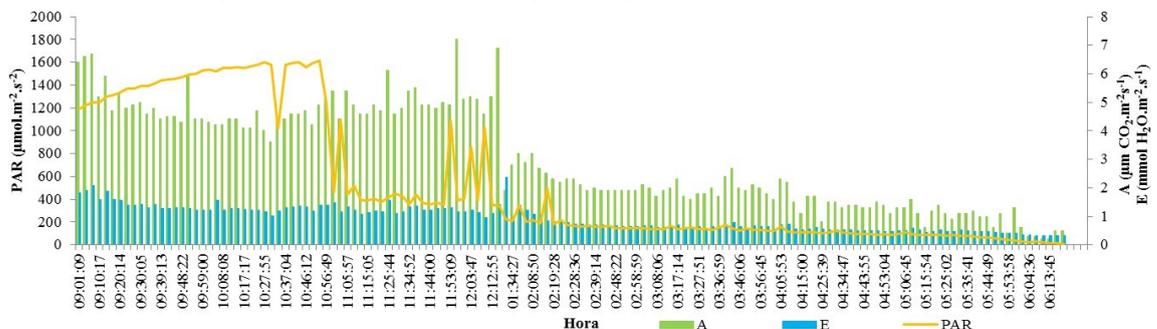
Relación de la Asimilación (A) con los cambios en luminosidad y estado hídrico del suelo.

En cacao, la tasa de asimilación de CO_2 es variable durante el día y dependiente de la radiación, se registra que al aumentar la PAR la asimilación también lo hace, presentando altas tasas de asimilación entre las 9 am y las 12 m, pero con máximos valores alrededor del mediodía (figura 4), similar a lo encontrado por García (2014).

Cuando los valores de PAR superan 400 y hasta $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, ocurren altas tasas de asimilación. Las fluctuaciones en los valores de radiación se deben a los cambios en luminosidad durante el día, al paso de nubes en la zona y a la posición topográfica.

La tasa máxima de asimilación de CO_2 obtenida fue de $7.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, valor que se encuentra dentro de las mayores tasas de asimilación en árboles adultos de cacao reportados por Tezara *et al.*, (2009).

La transpiración es mayor en las horas de la mañana y alrededor del mediodía, momento en el que se presenta alta radiación y asimilación, en la tarde la tasa transpiratoria disminuye, lo que se relaciona con la disminución del proceso de asimilación, transpiración y aumento del cierre estomático.



El estado hídrico del suelo, es mayor en la mañana que en la tarde y las pérdidas de humedad a mayores tasas suceden en la mañana cuando se presenta los valores más altos de radiación y de asimilación. Lo anterior obedece a que durante el ingreso de CO₂ también hay salida de H₂O en forma de vapor, lo que corresponde al intercambio gaseoso entre la planta y la atmósfera. En la tarde la evaporación del suelo es muy baja y permanece constante la humedad, por la declinación de PAR.

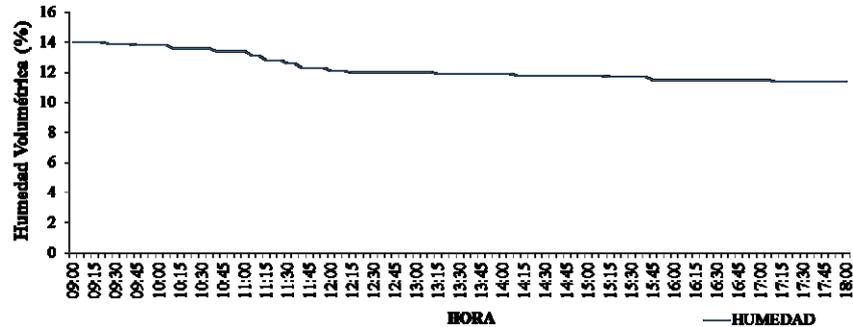


Figura 5. Variación de la humedad volumétrica del suelo durante el día.

Correlación de la asimilación de CO₂ con la luminosidad y estado hídrico del suelo.

En la mañana la A y la PAR presentan un coeficiente de correlación de Spearman de -0.68, A y T_{leaf} de -0.85, PAR y T_{leaf} de 0.89, A y E de 0.95, E y T_{leaf} de -0.61 y PAR y E de -0.47. Es decir la asimilación está condicionada en mayor magnitud a la PAR y a su vez afecta directamente otras variables que influyen en este proceso como lo es la T_{leaf}.

En la tarde la A y la PAR presentan un coeficiente de correlación de Spearman de 0.91, A y T_{leaf} de 0.86, PAR y T_{leaf} de 0.93, A y E de 0.91, E y T_{leaf} de 0.58 y PAR y E de 0.73.

Tabla 1. Correlación entre asimilación de CO₂ y las variables que intervienen en el proceso, en la mañana y tarde respectivamente.

	PAR	T _{leaf}	E	HS		PAR	T _{leaf}	E	HS
A	-0.68	-0.85	0.95	0.56	A	0.91	0.86	0.91	0.77
PAR		0.89	-0.47	-0.56	PAR		0.93	0.73	0.85
T _{leaf}			-0.61	-0.77	T _{leaf}			0.58	0.88
E				0.48	E				0.66

CONCLUSIONES

- La dinámica estomática es dependiente de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa que reciben las hojas y de la humedad del suelo, sin embargo aun cuando los contenidos de humedad en el suelo son altos y los valores de radiación bajos hay menor número de estomas abiertos.
- La hoja de cacao es hipoestomática, con 229-262 estomas por mm² y durante las 24 horas del día, el mayor número de estomas abiertos se observó entre las 10 am y las 2 pm, después de las 2 de la tarde aumentó el cierre estomático y se relacionó con el descenso de los valores de asimilación en las horas de la tarde.
- Algunos clones responden al incremento de PAR, presentando las mayores tasas de asimilación de CO₂ a las 12 m, cuando los valores de radiación oscilan alrededor de los 1600 µm.m⁻².s⁻¹.

BIBLIOGRAFÍA

- Cochard, H., L. Coli, X. Le Roux, y T. Ameglio. 2002. Descifrando los efectos hidráulicos de plantas en el cierre de estomas durante el estrés hídrico en nogal. (En inglés) *Plant Physiol.* 128:282-290.
- Comstock, J.; Mencuccini, M. 1998. Control de la conductancia estomática por el potencial hídrico de la hoja en *Hymenoclea salsola* (T. y G.), un subarbusto del desierto. (En inglés) *Plant Cell Environ.* 21:1029- 1038.
- García, J. 2014. Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. 2002. Perfil del Estado de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente en Colombia 2001. SIAG, Tomo III.
- Kaufmann, M.; Levy, Y. 1976. Stomatal responses of *Citrus jambhiri* to water stress and humidity. *Physiol. Plant.* 38:105-108.
- Larcher, W. 1977. *Ecofisiología Vegetal*. Ediciones Omega, Barcelona. 502p.
- Leiva, E.I., Osorio, A. Hernández, J.D. 2012. Dinámica de apertura estomática en cacao (*Theobroma cacao* L.).Memorias Xli Congreso Anual De La Sociedad Colombiana De Control De Malezas Y Fisiología Vegetal. Dinámica de apertura estomática en cacao (*Theobroma cacao* L.).ISSN: 2248-6674 p.61 - v.1.
- Marita, J.M.; Nienhuis, J.; Pires, J.L.; Aitken, W.M. 2001. Analysis of genetic diversity in *Theobroma cacao* with emphasis on witches' broom disease resistance. *Crop Sci.* 41:1305-1316.
- Tezara, W., Coronel, I., Urich, R., Marín, O., Jaimez, R., Chacon, I. 2009. Plasticidad ecofisiológica de árboles de cacao (*theobroma cacao* l.) en diferentes ambientes de Venezuela. III CLAE e IXCEB, 10 a 17 de Setembro de 2009, São Lourenço – MG.
- Thimonier, A., I. Sedivy, and P. Schleppei. 2010. Estimating leaf area index in different types of mature forest stands in Switzerland: a comparison of methods. *Eur J Forest Res*, 129: 543-562.
- Trewavas, A. 2003. Aspects of plant intelligence. *Annals of Botany* 92: 1-20.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue cofinanciado por el Sistema General de Regalías en Convenio especial de cooperación No. 4600000987 entre La Gobernación de Antioquia-Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y la Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín. Agradezco a los productores, al grupo de investigación AgroXue y al laboratorio de física de suelos por el apoyo brindado.