

Cenicafé

Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



Volumen 65 Número 2

Julio - Diciembre 2014



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Ministro de Hacienda y Crédito Público

Mauricio Cárdenas Santamaría

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Aurelio Iragorri Valencia

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

Cecilia Álvarez Correa

Director del Departamento Nacional de Planeación

Simón Gaviria Muñoz

COMITÉ NACIONAL

Período 1° enero/2015- diciembre 31/2018

Jose Fernando Montoya Ortega

Jose Alirio Barreto Buitrago

Eugenio Velez Uribe

Danilo Reinaldo Vivas Ramos

Crispín Maria Villazon De Armas

Javier Bohorquez Bohorquez

Octavio Oliveros Collazos

Edilberto Rafael Alvarez Pineda

Leonardo Javier Pabón Sanchez

Alfredo Yañez Carvajal

Carlos Alberto Cardona Cardona

Alejandro Corrales Escobar

Jorge Julian Santos Orduña

Luis Javier Trujillo Buitrago

Camilo Restrepo Osorio

Gerente General

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

Gerente Administrativo

LUIS FELIPE ACERO LÓPEZ

Gerente Financiero

JULIÁN MEDINA MORA

Gerente Comercial

CARLOS ALBERTO GONZÁLEZ

Gerente Comunicaciones y Mercadeo

LUIS FERNANDO SAMPER GARTNER

Gerente Técnico

CARLOS ARMANDO URIBE FANDIÑO

Director Investigación Científica y Tecnológica

FERNANDO GAST HARDERS

Uso del material de esta revista:

Aquellas personas que deseen usar en otras publicaciones, ilustraciones o datos publicados en la Revista Cenicafe, deben obtener el permiso del Centro Nacional de Investigaciones de Café y del autor del artículo y reconocer por escrito los créditos a la Revista Cenicafe como fuente original del material.

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

La Revista Cenicafe, órgano divulgativo del Programa de Investigación Científica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y el Fondo Nacional del Café se publica semestralmente.

Editada en Marzo 2015 Tel: 57(6)8506550 Fax: 57(6)8504723 A.A.: 2427 Manizales
E-mail: cenicafe@cafedecolombia.com
www.cenicafe.org

Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 65

JULIO - DICIEMBRE 2014

No. 2

CONTENIDO

DINÁMICA DE LA ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA EN DOS ESPECIES DE SOMBRIO USADAS EN CAFETALES DE COLOMBIA. Jhon Jaime Arias H.; Néstor Miguel Riaño Herrera; Manuel Aristizábal Loaiza7

DRY MATERIAL ACCUMULATION DYNAMICS IN TWO SHADING SPECIES USED IN COFFEE CROPS IN COLOMBIA

EFEECTO DE LA POBLACIÓN DINÁMICA DE TALLOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE *Coffea arabica* L. Argemiro Moreno Berrocal; José Raúl Rendón Sáenz; Rubén Darío Medina Rivera.....18

EFFECT OF COFFEE BRANCH DENSITIES IN *Coffea arabica* PRODUCTION

EL ENROLLADOR DE LAS HOJAS DEL CAFETO *Clepsis abscisana* (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE), NUEVO REGISTRO EN CAFÉ EN COLOMBIA. Luis Miguel Constantino; John W. Brown; Pablo Benavides Machado27

THE COFFEE LEAF ROLLER *Clepsis abscisana* (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE), NEW REGISTER ON COFFEE PLANTS IN COLOMBIA

EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO MANUAL EN LA RECOLECCIÓN DE FRUTOS DE CAFÉ CAÍDOS AL SUELO. Carlos Eugenio Oliveros Tascón; Rubén Darío Medina Rivera; Carlos Alfonso Tibaduiza Vianchá.....31

EVALUATION OF A MANUAL DEVICE TO COLLECT COFFEE BERRIES FALLEN ONTO THE GROUND

GENETIC VARIABILITY AND POPULATION STRUCTURE OF THE COFFEE BERRY BORER *Hypothenemus hampei* (Ferrari) IN BRAZIL, INFERRED BY AFLP MARKERS. Zulma Nancy Gil P., Pablo Benavides Machado, Eric Hernández H., Kátia Nogueira Pestana, Daniela Fontes Gomide, Eraldo Lima42

VARIABILIDAD GENÉTICA Y ESTRUCTURA DE POBLACIONES DE LA BROCA DEL CAFÉ *Hypothenemus hampei* (Ferrari) EN BRASIL, USANDO MARCADORES AFLP

INTERCAMBIO GASEOSO EN *Eucalyptus pellita* F. Mell Y *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden EN DOS REGIONES DE COLOMBIA. Angela María Castaño50

GAS INTERCHANGE OF *Eucalyptus pellita* F.Mell y *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden IN TWO COLOMBIAN REGIONS

COMITÉ EDITORIAL

Fernando Gast H.	PhD. Director, Cenicafé
Pablo Benavides M.	PhD. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé
Juan Rodrigo Sanz U.	PhD. Ing. Mecánico. Ingeniería Agrícola, Cenicafé
Carmenza E. Góngora B.	PhD. Microbióloga. Entomología, Cenicafé
José Ricardo Acuña S .	PhD. Microbiólogo. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Siavosh Sadeghian K.	PhD. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé
Sandra Milena Marín L.	MSc. Ing. Agrónomo. Divulgación y Transferencia, Cenicafé

EDITORES ESPECIALIZADOS DE LA REVISTA 64 (2)

José Ricardo Acuña S	PhD. Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros (FNC)
Zulma Nancy Gil P.	PhD. Cenicafé, FNC
Juan Carlos Herrera P.	PhD. Cenicafé, FNC

DINÁMICA DE LA ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA EN DOS ESPECIES DE SOMBRIO USADAS EN CAFETALES DE COLOMBIA

Jhon Jaime Arias Hernández*; Néstor Miguel Riaño Herrera**; Manuel Aristizábal Loaiza***

ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M.; ARISTIZÁBALL., M. Dinámica de la acumulación de materia seca en dos especies de sombrero usadas en cafetales de Colombia. Revista Cenicafé 65 (2):7-17. 2014

La investigación se realizó con el fin de conocer la dinámica de la acumulación de materia seca de plátano dominico hartón (*Musa AAB Simmons*) y guamo santafereño (*Inga edulis*) para determinar el secuestro de carbono de cada una de las especies, a través de su ciclo productivo. El trabajo se realizó en áreas seleccionadas de los departamentos del Valle del Cauca y Quindío (Colombia). Se utilizó la cubicación como principal herramienta de medición y se midió individualmente la biomasa fresca por planta, además del porcentaje de materia seca y fracción de carbono. A partir de los resultados obtenidos de biomasa se generaron modelos no lineales, tanto en tiempo cronológico como en tiempo térmico. Los resultados indican que los modelos sigmoidales son los que en su mayoría representan el comportamiento de la materia seca total de las plantas evaluadas. El porcentaje de fracción de carbono para la planta de plátano en promedio fue de 37,2% y para guamo del 44,9%. Además, se comprobó que no existen evidencias estadísticas de una relación directa entre la edad y la cantidad de carbono en cada órgano de las plantas evaluadas. Estos resultados llevan a conocer el potencial de almacenamiento de carbono de sistemas productivos cafeteros, dando las pautas para establecer las compensaciones por este servicio ambiental y así crear la gestión para reducir las emisiones de carbono a la atmósfera.

Palabras clave: Cubicación, biomasa, carbono.

DRY MATERIAL ACCUMULATION DYNAMICS IN TWO SHADING SPECIES USED IN COFFEE CROPS IN COLOMBIA

The research was conducted in order to understand the dynamics of dry matter accumulation of hartón dominican plantain (*Musa AAB Simmons*) and guamo santafereño (*Inga edulis*) to determine the carbon sequestration of each species through its cycle productive. The work was conducted in selected areas of the departments of Valle del Cauca and Quindío (Colombia). Was used cubication as the main tool and individually measuring the fresh biomass per plant, and the dry matter percentage and carbon fraction. From biomass results were generated nonlinear models in chronological and thermal time. The results indicate that the sigmoidal models are those mostly represent the behavior of the total dry matter of the plants tested. The percentage of carbon fraction of the plantain plant was on average 37.2% and 44.9% for guamo. In addition it was found that there are no statistical evidence of a direct relationship between age and the amount of carbon in each organ of the tested plants. The above results lead to know the carbon storage potential of coffee production systems, providing guidelines for establishing compensation for this service and create environmental management to reduce carbon emissions to the atmosphere.

Keywords: Cubication, biomass, carbon.

* Investigador Asociado (hasta el 31 de diciembre de 2011), Disciplina de Fisiología, Cenicafé

** Investigador Principal, Coordinador del Programa de Caficultura y Variabilidad Climática, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

*** Ingeniero Agrónomo. M.Sc. Profesor titular Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia.

La acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), es la principal causa calentamiento global de la Tierra; en este sentido, se ha establecido que los incrementos en los niveles de CO₂ están directamente relacionados con la elevación de la temperatura ambiental y, que si tales aumentos siguen los modelos establecidos, producirán una aceleración del cambio climático. Es así como el calentamiento global se relaciona con el efecto de la industrialización, la contaminación humana, el uso de combustibles fósiles y con la tala de bosques, que son consideradas causas antropogénicas (3).

Desde comienzos de la revolución industrial el efecto invernadero natural se ha incrementado por el aumento de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI). El más importante de éstos es el dióxido de carbono (CO₂), que participa con más del 50% en las emisiones totales, siendo sus fuentes principales el uso de combustibles fósiles y los cambios en el uso del suelo, sobre todo por deforestación y explotación de madera no sustentable (6). De continuar el actual nivel de emisiones, en los próximos 100 años la temperatura media podrá aumentar entre 3 y 6°C, y el nivel de los mares entre 0,4 m y 1,0 m (14).

Según lo acordado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en 1997, y particularmente en el Protocolo de Kyoto (PK), los países desarrollados se comprometieron a reducir en un 5,2% la emisión de GEI con respecto a la producida en 1990, con un período de cumplimiento pactado entre el 2008 y el 2012. Es así, como estas reducciones se dan por el establecimiento de plantaciones de especies que tengan un alto potencial de fijación del dióxido del carbono atmosférico a través de la fotosíntesis.

El almacenamiento y la fijación de carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agroforestales (4). La estimación de la biomasa en plantaciones es un tema relevante en relación con el problema del calentamiento global del planeta, en años recientes se ha incrementado el interés por estudiar el papel de los cultivos y bosques en los ciclos de elementos biogeoquímicos, especialmente del carbono, y su relación con los gases de efecto invernadero (5). La FAO (7), considera que la biomasa es un elemento principal para determinar la cantidad de carbono almacenado en un cultivo, además permite elaborar previsiones sobre el ciclo mundial del carbono.

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa aérea de un bosque. El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente; otra forma es calcular la biomasa aérea de manera indirecta, a través de ecuaciones y modelos matemáticos obtenidos por análisis de regresión entre las variables recolectadas en terreno y en inventarios (2). Estudios realizados tanto en Norteamérica como en Europa y Asia, concuerdan en que la evaluación de la biomasa arbórea debe contemplar la separación de componentes en fuste, hojas y ramas, e incluso deberían separarse corteza y raíces (10).

Esta investigación aborda el crecimiento de las especies plátano dominico hartón (*musa AAB Simmons*) y guamo santafereño (*Inga edulis*) en términos de biomasa acumulada (en tiempo cronológico y tiempo térmico), y la proporción de carbono presente en cada órgano. Los resultados obtenidos permitirán incluir estas especies en el “Modelo de crecimiento y captura de carbono para especies forestales en el trópico: CREFT®”. El modelo CREFT® es una herramienta que permite cuantificar el crecimiento y la captura

de carbono por especies forestales nativas e introducidas en condiciones del trópico. Los datos que genera el modelo luego de una simulación, representan de manera muy cercana el potencial de crecimiento y producción de las especies bajo las condiciones de siembra en Colombia (12).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del cultivo de plátano dominico hartón. La cubicación de plátano dominico hartón se desarrolló en la finca El Bambusal, vereda Pueblotapao (Montenegro, Quindío); con una altura de 1.294 m.s.n.m., con temperatura promedio de 21°C, relieve suavemente ondulado, régimen de lluvias bimodal: dos épocas de abundantes lluvias de marzo a mayo, y de septiembre a noviembre y dos temporadas de menor precipitación, de diciembre a febrero y de junio a agosto. La humedad relativa y el brillo solar no se distribuyen de manera homogénea, temporal ni espacialmente, pues están condicionados por el relieve, las épocas del año y la circulación atmosférica.

Localización del cultivo de guamo santafereño. La cubicación de guamo se realizó en dos municipios del norte del Valle del Cauca, con la especie *Inga edulis* (guamo santafereño) en fincas que comprenden los municipios de El Águila y Argelia, con alturas entre 1.200 y 1.900 m.s.n.m., con una mayor concentración por encima de los 1.700 m, con temperaturas promedio entre 18 y 21°C, topografía con pendientes mayores a 60%, con precipitaciones anuales entre 1.800 - 2.400 mm, y los períodos de menor lluvia entre enero - febrero y julio - agosto.

Metodología. Para el cultivo del plátano se seleccionaron siete edades (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 meses) y para el sombrío con guamo se seleccionaron seis edades (2, 4, 8, 10, 15, 20 años). La metodología de cubicación

se realizó con base en la adaptación de la metodología CREFT® - Modelo de Crecimiento y Captura de Carbono para Especies Forestales en el Trópico (13). Se efectuaron cinco repeticiones dentro de un área de una hectárea. Cada repetición fue una planta seleccionada aleatoriamente, de plátano o guamo, que tuviera la edad correspondiente.

Para las dos especies se obtuvo la materia seca por medio del método directo o destructivo (cubicación), el cual consistió en medir los parámetros básicos de un árbol (peso fresco y seco, de cada uno de sus órganos), apeándolo y calculando la biomasa mediante pesaje de cada uno de los componentes (raíz, fuste, ramas, follaje y frutos). Para la transformación de los pesos secos a carbono equivalente, se utilizó la Ecuación <1>.

$$PS \times 0,50 \times 3,66 = \text{dióxido de carbono equivalente (CO}_2\text{eq)} <1>$$

PS = peso seco

0,50 = 50% de porcentaje de carbono

3,66 = constante para convertir carbono en dióxido de carbono equivalente (CO₂eq)

Determinación del peso seco. En las dos especies cubicadas (plátano y guamo) se separaron la raíz, el tallo, las hojas, las flores y los frutos (en caso de existir), y se pesaron individualmente, con el fin de obtener el peso fresco total por órgano, de allí se obtuvo una muestra de 250 g, que se empacó e identificó con la información respectiva. La muestra se llevó a pre-secado en un secador parabólico tipo túnel, de donde fueron llevadas a peso seco constante, mediante una estufa de extracción de humedad a una temperatura de 65°C durante 48 h. Después de obtenida la muestra en peso seco constante, ésta se llevó al laboratorio para la determinación del porcentaje de carbono.

Determinación del contenido de carbono de una muestra, utilizando el equipo CHN -2400 serie II (Perkin Elmer Co. USA). Se molieron 25 g de cada muestra seca, en el equipo Willey Mill – 2, y de cada muestra seca y molida se tomó una submuestra de 0,1 g, que fue colocada en cápsulas de inyección, en el automuestreador del analizador elemental Leco – CHN TrueSpec (Leco Co. USA). El sistema se basa en el método de Pregl-Dumas, en el cual las muestras son puestas en combustión en presencia de oxígeno puro y los gases generados en máximo nivel de oxidación son separados y leídos por detectores de infrarrojo y de conductividad. En total, se tomaron cinco muestras por cada edad, o sea 35 muestras para plátano y 30 muestras para guamo.

Medición del área foliar total en guamo. Se pesó una muestra seca de 200 g de hojas de guamo, a la cual previamente se le determinó el área foliar en el laboratorio y el peso total de las hojas, se calculó el área foliar total de cada árbol, mediante la relación área-peso seco.

Medición del área foliar total en plátano. Se recortó un área de 10 x 10 cm del limbo foliar de la planta, se pesó y por medio de ésta se obtuvo el área foliar total de la planta.

Análisis y construcción de curvas de crecimiento y desarrollo. Para cada una de las edades de las plantas y en cada una de las repeticiones, se construyeron curvas de desarrollo mediante gráficos de dispersión y regresiones no lineales, en función de la edad y el tiempo térmico, con el fin de conocer a través del tiempo cuál es la dinámica de fijación de CO₂ con respecto a la edad del cultivo (plátano o guamo).

Cálculo del tiempo térmico. Para el cálculo del tiempo térmico se utilizó la información histórica y actual de las variables climáticas: temperatura mínima diaria, temperatura media y temperatura máxima diaria de estaciones meteorológicas en el área de influencia de las plantaciones. Con estos valores se calculó el tiempo térmico diario (grados día acumulados - °D_{acum}) hasta la fecha de muestreo, de acuerdo con Lovatt *et al.* (9). Al no tener estación meteorológica en el sitio de muestreo, la base de datos de temperatura se corrigió por altitud (con base en la diferencia de altitud entre el sitio y la estación meteorológica), haciendo uso de factores de corrección desarrollados a partir de modelos de regresión lineal que relacionan la altitud y la temperatura en cada región.

La información del clima se obtuvo de la Red Climática de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC); en el Quindío, la estación meteorológica más cercana al sitio de cubicación del cultivo del plátano fue “El Agrado” y para el departamento del Valle del Cauca (municipios El Águila y Argelia), la cubicación de los guamos se realizó en la estación meteorológica de “Albán”.

Análisis de la información. El estudio fue de tipo observacional (no se tuvieron tratamientos inducidos sobre los árboles), por lo tanto, se analizaron las condiciones existentes en el campo. Se analizó la información mediante anovas y comparaciones múltiples.

Se midieron las variables de respuesta en cinco árboles por edad. Estas variables fueron los pesos secos de raíz, tallo, rama, hojas y frutos. Utilizando el tiempo térmico y el tiempo cronológico como variables independientes, se ajustaron modelos empíricos no lineales para describir la relación de éstos con cada una de las variables dependientes. Con la ayuda del programa MS -Excel 2007

se crearon las bases de datos y los modelos matemáticos se realizaron con la ayuda del software SigmaPlot versión 10.

Para determinar si la edad de la planta influyó sobre las mediciones de carbono para cada uno de los órganos, se utilizó un anova de una vía y las medias entre edades se compararon con una prueba de Tukey al 95%, debido a que el análisis fue en condiciones controladas de laboratorio (comparación paramétrica).

El tiempo térmico se utilizó para remover el efecto del diferencial de temperatura de los sitios geográficos sobre la acumulación de biomasa de las plantas. Esto funciona debido a que el tiempo térmico es una medida de calor diario (unidades térmicas en grados centígrados) que reciben las plantas; por tal razón las curvas de crecimiento se trabajaron de igual manera en función del calor recibido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las curvas y modelos de crecimiento son una expresión generalizada del crecimiento de las plantas, en las Tablas 1 y 2, se muestra la variabilidad de modelos para cada órgano de las plantas evaluadas; sin embargo, la representación del peso total se encuentra traducida en modelos sigmoidales y logarítmico normal de pico, acorde con los resultados de Briggs *et al.* (1), quienes trabajaron en el crecimiento de cultivos de maíz, donde observa la similitud de curvas en función de la materia seca (sigmoidal), las cenizas (sigmoidal), la altura (logarítmico normal de pico) y el área foliar por planta (Gaussiano asimétrico).

Para el peso seco total se obtuvieron los coeficientes de correlación de 0,86 para plátano y 0,89 para guamo (tiempo

cronológico) y 0,89 para plátano y 0,98 para guamo (tiempo térmico), lo cual indica como la predicción de la biomasa total, usando los parámetros establecidos en cada uno de los modelos, tiene un alto grado de asociación entre las variables. Los órganos que son representados por modelos gaussianos son el pseudotallo, el pecíolo, la nervadura, las hojas, el vástago y el área foliar. Este comportamiento se refiere a la ganancia en peso hasta un punto máximo de inflexión, donde se presenta una disminución con la misma tasa con la que se dio el crecimiento (modelo simétrico) del peso seco, debido a la traslocación de nutrientes hacia los órganos reproductivos como los frutos.

Porcentajes de carbono

En las Tablas 3 y 4 se muestran los porcentajes de carbono para cada componente de las plantas de plátano dominico hartón y guamo santafereño, respectivamente, donde los valores son estadísticamente similares a través del tiempo, excepto en guamo, donde el tallo superior y las ramas presentan diferencias significativas con respecto a la edad de 2 años. Los contenidos de carbono, en porcentaje del peso seco, varían según el órgano de la planta. En plátano, los valores más altos corresponden a las hojas y los más bajos a la raíz (Tabla 3). La información reportada por Morrissey y Justus (11) y Snowdon *et al.* (15) en cuanto a los porcentajes de carbono en un órgano, corresponden aproximadamente al 50% de la materia seca total, muy similares a los valores promedio de carbono de 45% en guamo santafereño, pero en contraposición, con los valores alcanzados para los órganos del plátano dominico hartón, los cuales se encuentran en promedio alrededor del 37%, acorde a lo reportado por Figueroa *et al.* (8).

Tabla 1. Modelos de crecimiento de los órganos de la planta de plátano dominico hartón (*Musa AAB Simmonds*), expresados en peso seco, en función del tiempo cronológico y térmico.

Órgano/ variable	Tiempo	Modelo	a	b	x ⁰	y ⁰	R ²
Raíz	Cronológico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	632,7	8,1	29,8		0,91
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	231,2	1921,5	4932,5		0,92
Corno	Cronológico	$f=Y_0+a*x$	93,9			-3,8	0,66
	Térmico	$f=y_0+a*x$	0,35			53,1	0,66
Pseudotallo	Cronológico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	6494,2	3,3	10,4		0,77
	Térmico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	6615,3	927,5	2632,2		0,77
Pecíolo	Cronológico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	519,2	2,3	8,3		0,78
	Térmico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	516,5	637,4	2044,6		0,78
Nervadura	Cronológico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	197,9	2,3	8,8		0,79
	Térmico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	196,9	651,7	2186,9		0,79
Hojas	Cronológico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	906,6	2,3	8,5		0,84
	Térmico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	902,6	637,9	2114		0,84
Vástago	Cronológico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	135,5	3,8	9,2		0,44
	Térmico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	137,1	1080,2	2296,8		0,40
Fruto	Cronológico	$F=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	2896,2	1,1	11,4		0,97
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	3020,9	360,1	2977,2		0,97
Peso total	Cronológico	$f=a*\exp(-0,5*(\ln(x/x_0)/b)^2)/x$	11543,9	0,5	10,7		0,86
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	8928,6	128,9	1457,7		0,89
Área foliar	Cronológico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	118277,1	2,4	8,1		0,92
	Térmico	$f=a*\exp(-5*((x-x_0)/b)^2)$	118134,7	661,5	2004,8		0,91
Longitud	Cronológico	$F=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	432,2	2,2	5,4		0,91
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	424,4	536,6	1230,5		0,91

Tabla 2. Modelos de crecimiento de los órganos de la planta de guano (*Inga edulis*) expresados en peso seco el función del tiempo cronológico y térmico.

Órgano/ variable	Tiempo	Modelo	a	b	x_0	R^2
Raíz	Cronológico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	299,9	2,6	12,8	0,96
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	313,5	10132,0	49601,7	0,96
Tallo inferior	Cronológico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	415,6	3,2	14,9	0,94
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	480,4	12723,4	60156,2	0,94
Tallo medio	Cronológico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	261,9	1,7	11,5	0,97
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	263,7	6490,8	43531,3	0,97
Tallo superior	Cronológico	$f=\exp(a*x)$	0,3			0,89
	Térmico	$f=\exp(a*x)$	7,71E-05			0,9
Ramas	Cronológico	$f=a*\exp(b*x)$	3,7	0,1		0,93
	Térmico	$f=a*\exp(b*x)$	3,1	4,19e-05		0,93
Tallo total	Cronológico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	1071,7	3,1	14,6	0,98
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	1206,6	12180,3	57966,2	0,98
Hojas	Cronológico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	35,3	3,4	11,0	0,77
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	36,8	13503,9	43052,1	0,77
Peso total	Cronológico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	1399,6	2,9	14,1	0,98
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	1538,6	11864,9	55491,3	0,98
Área foliar	Cronológico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	3506892,0	2,7501	9,8	0,83
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	3558963,9	10703,9	37485,3	0,83
Longitud	Cronológico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	19,9	3,3	7,5	0,89
	Térmico	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	19,9	12642,8	28469,9	0,89

Tabla 3. Porcentaje de carbono (%) para las diferentes edades, según el órgano, en plátano dominico hartón (*Musa AAB Simmonds*).

Edad (meses)	Órgano									
	Raíz	Cormo	Ti	Tm	Ts	Peciolo	Hojas	Vástago	Bellota	Fruto
2	34,1 a	36,2 a	36,6a							
4	33,1 a	36,2 a	35,3 a	36,5 a	35,7 a	35,3 a	43,2 a			
6	33,8 a	36,8 a	35,1 a	36,9 a	35,0 a	36,5 a	44,5 a			
8	34,6 a	35,5 a	36,5 a	36,8 a	36,0 a	36,0 a	42,9 a	36,7 a	40,2 a	
10	35,5 a	35,1 a	35,9 a	36,5 a	35,9 a	36,5 a	44,2 a	36,4 a	40,2 a	
12	33,3 a	35,0 a	35,6 a	35,8 a	35,6 a	36,0 a	43,0 a	35,7 a	40,5 a	40,5 a
14	33,7 a	35,2 a	36,1 a	35,7 a	36 a	36,7 a	43,7 a	36,9 a	40,7 a	40,9 a

Ti = Tallo inferior, Tm = Tallo medio, Ts = Tallo superior. Valores seguidos por letras distintas, para cada órgano, presentan diferencia significativa, Tukey al 5%.

Tabla 4. Porcentaje de carbono (%) para las diferentes edades, según el órgano, en guamo santafereño (*Inga edulis*).

Edad (meses)	Órgano					
	Raíz	Ti	Tm	Ts	Ramas	Hojas
2	44,6 a	44,0 a	44,2 a	43,7 a	43,7 a	45,7 a
5	44,3 a	43,9 a	44,2 a	44,6 ab	44,5 ab	45,9 a
8	44,3 a	44,6 a	45,2 a	44,9 ab	45,5 b	46,1 a
10	44,1 a	45,0 a	45,2 a	45,6 ab	45,2 b	46,3 a
15	44,1 a	45,0 a	44,9 a	44,5 b	45,3 b	46,1 a
20	44,1 a	44,8 a	45,1 a	45,6 b	44,9 b	46,3 a

Ti = Tallo inferior, Tm = Tallo medio, Ts = Tallo superior. Valores seguidos por letras distintas, para cada órgano, presentan diferencia significativa, Tukey al 5%.

Contenidos de humedad. Los contenidos de humedad encontrados para los diferentes componentes del plátano dominico hartón (Figura 1a) muestran que el pseudotallo y el vástago poseen los mayores porcentajes de humedad, mientras que los menores porcentajes se encuentran en el cormo y el fruto, acorde con los valores reportados por Reyes (12), con valores entre 85% y 88%. Para el guamo santafereño, los contenidos de humedad para los diferentes componentes (Figura 1b), muestran que las ramas son las que presentan el mayor porcentaje de humedad, mientras que es el tallo medio el que presenta los menores porcentajes; en general, los porcentajes de humedad están alrededor del 50% para todo el árbol de guamo.

Distribución de biomasa. En la fase final de crecimiento del plátano dominico hartón (14 meses), puede evidenciarse que el tallo y el fruto son los órganos que muestran los mayores porcentajes de acumulación de biomasa, seguidos por el cormo (Figura 2a); en cuanto al guamo santafereño, la distribución de biomasa indica que el tallo inferior y la raíz presentan los mayores porcentajes de acumulación de materia seca con respecto al peso seco total de la planta. Las ramas y las hojas son las que muestran los menores porcentajes de acumulación (Figura 2b).

Los resultados obtenidos en porcentajes de la relación parte aérea – raíz, para el plátano dominico hartón corresponden a

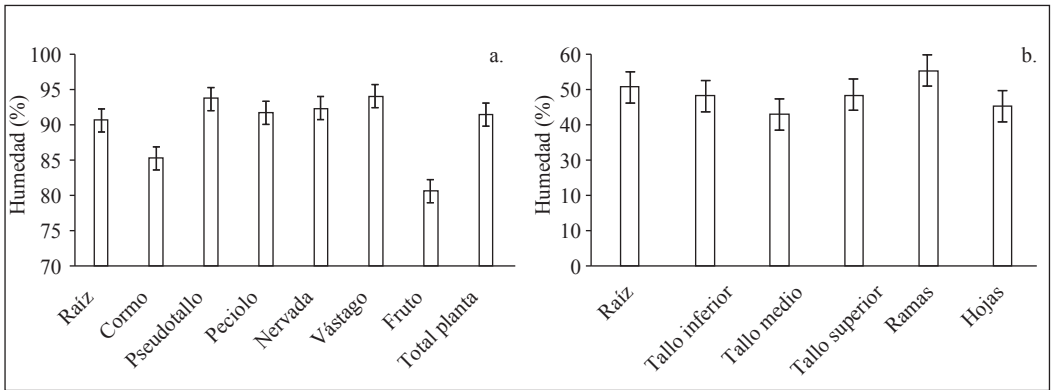


Figura 1. Contenido de humedad en los diferentes órganos de plátano **a.** dominico hartón (*Musa AAB Simmonds*) y **b.** guamo santafereño (*Inga edulis*).

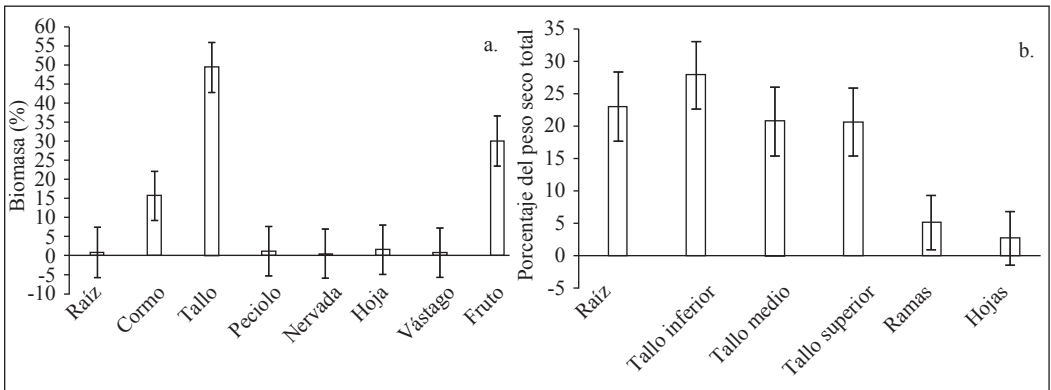


Figura 2. Distribución de biomasa en función del peso seco total para diferentes órganos de plátano **a.** dominico hartón (*Musa AAB Simmonds*) y **b.** guamo santafereño (*Inga edulis*).

99,12% parte aérea y 0,88% raíz, mientras que para el guamo santafereño es de 76,05% parte aérea y 23,95% raíz.

Con el desarrollo de esta investigación se obtuvieron las curvas de crecimiento, tanto en tiempo cronológico como térmico, para las especies de plátano dominico hartón y guamo santafereño.

Por medio del muestreo destructivo de cada una de las plantas (cubicación), con el fin de analizar las cantidades de carbono

en cada órgano, se observó que los valores obtenidos están acorde a los reportados en otros estudios. De igual manera, se observó que no existen evidencias estadísticas para demostrar la relación directa entre la edad y el porcentaje de carbono en cada órgano de las plantas evaluadas. Además, los resultados revelan que los componentes de las plantas evaluadas presentan una concentración de carbono que no es la misma en todos los casos, lo cual debe ser considerado cuando se estime el tamaño de los depósitos de carbono para esas condiciones.

En general, con la obtención de la información de la dinámica de acumulación de materia seca en las especies evaluadas, puede obtenerse de manera cuantitativa el potencial de almacenamiento de carbono de sistemas productivos cafeteros, así como el valor por tonelada de carbono almacenada temporalmente por hectárea, dando las pautas para establecer las compensaciones por este servicio ambiental y así crear la gestión para reducir las emisiones de carbono a la atmósfera.

AGRADECIMIENTOS

Al profesional en mercadeo Diego Fernando Álzate, al auxiliar de laboratorio Anderson Aguirre, a la doctora Ximena Restrepo, al Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca en cabeza del Doctor Héctor Fabio Ospina, a los extensionistas del Municipio del Águila y Argelia – Valle, al ingeniero agrónomo Héctor Chica y al ingeniero forestal Diego Obando.

LITERATURA CITADA

1. BRIGGS, G. E.; KIDD, F.; WEST, C. A. 1920. Quantitative analysis of plant growth. *Annals of applied Biology*. 7: 202 – 223.
2. BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. Department of Natural Resources and Environmental Sciences. University of Illinois Urbana, Illinois, USA.
3. CABALLERO.; LOZANO, S.; ORTEGA, B. 2007. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: Una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria – UNAM*. 8(10):1067 - 6079
4. CUÉLLAR, N.; ROSA, H.; GONZÁLEZ, M. 1999. Los servicios ambientales del agro: El caso del café de sombra en El Salvador. *PRISMA*. 34:1-16.
5. DALANEY, M.; BROW, S.; LUGO, A.; TORRES, L.; QUINTERO, N. 1997. The distribution of organic

carbon in major components of forest located in five zones of Venezuela. *Journal Tropical Ecology* 13:697 – 708.

6. EGUREN, L. 2004. El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: Balances y perspectivas. [En línea]. [Chile]. [Citado Feb., 2010]. CEPAL – División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Series 83. 83p. Disponible en Internet: URL: <ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/LEAD/X6367s/x6367s00.pdf>
7. FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1998. Terms and Definitions. FAO Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 1. Roma, Italia.
8. FIGUEROA, N. C.; ETCHEVERS, B. J. D.; VELÁZQUEZ, M. A.; ACOSTA, M. M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca *TERRA Latinoamericana*, Vol. 23, Núm. 1, enero-marzo, pp. 57-64. Universidad Autónoma Chapingo. México.
9. LOVATT, C., STREETER, S., MINTER, T., O'CONNELL, N., FLAHERTY, D., FREEMAN, M., GOODELL, P. 1989. Phenology of flowering in *Citrus sinensis* [L.] Osbeck, cv. Washington Naval orange. *Proceedings of the International Society of Citriculture* 1, Pag. 186 – 190.
10. MACDIKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural development. 45 p.
11. MORRISSEY, A; JUSTUS, J. 1998. Global Climate Change. Committee for the National Institute for the Environment, Washington D. C.
12. REYES, V.L.J. Antecedentes del banano y/o plátano. [En línea]. Consultado Octubre 2011. Disponible en internet: <http://www.monografias.com/trabajos73/antecedentes-banano-plátano/antecedentes-banano-platano2.shtml>
13. RIAÑO, N., TANGARIFE, G., OSORIO, O., GIRALDO, J., OSPINA, C. OBANDO, D., GÓMEZ, L., JARAMILLO, L. Modelo de crecimiento y captura de carbono para especies forestales en el trópico. CREFT VI.0. 2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Cafeteros, Centro Nacional de Investigaciones en Café “Pedro Uribe Mejía” CENICAFÉ, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal CONIF. 51p.

14. SABOGAL, J. 2007. Generación de pagos por certificados de reducción de emisiones, bajo el mecanismo de desarrollo limpio para cercos vivos en la cuenca alta del Rio Pasto. En: Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión. Volumen XV, número 1. Universidad Militar Nueva Granada .Pág. 167 – 182.
15. SNOWDON,P.;RAISON,J.;KEITH,H;MONTAGU, K.;BI, K;RITSON, P.;GRIERSON, P.;ADAMS, M.;BURROWS, W.;EAMUS, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report N° 31. Marzo 2001. Australian Greenhouse Office. 114p.

EFFECTO DE LA POBLACIÓN DINÁMICA DE TALLOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE *Coffea arabica* L.

Argemiro Moreno Berrocal*; José Raúl Rendón Sáenz*; Rubén Darío Medina Rivera**

MORENO B., A.; RENDÓN S., J. R.; MEDINA R., R. D. Efecto de la población dinámica de tallos sobre la producción de *Coffea arabica* L. Cenicafé 65 (2): 18-26. 2014

La densidad de plantas por hectárea, número de tallos por sitio, número de ramas por planta y número de nudos por rama, son componentes que determinan la producción del cultivo de café. Con el propósito de conocer el efecto sobre la producción de café como respuesta al cambio de población de tallos con respecto a una población de 10.000 tallos/ha, al renovar por zoca, se evaluaron cuatro formas dinámicas de obtención del número de tallos por hectárea, en un ciclo de producción de cuatro cosechas, modificando la población inicial mediante la eliminación de tallos después de la segunda cosecha así: de 20.000 a 15.000, de 20.000 a 10.000, de 15.000 a 10.000 y de 20.000 a 5.000. La investigación se realizó en las Estaciones Experimentales de Naranjal (Chinchiná, Caldas), El Tambo (Cauca) y San Antonio (Floridablanca, Santander), bajo dos arreglos espaciales (2,0x1,0 m) y (1,0x1,0 m). La variable respuesta fue la producción de café pergamino seco (kg.ha⁻¹). El análisis de varianza bajo el diseño de bloques completos al azar, para cada sitio y cada arreglo espacial, mostró efecto de los tratamientos en las localidades de Santander y El Tambo para el arreglo de 2,0x1,0 m, y al aplicar la prueba de Dunnett, la producción acumulada de café pergamino seco para la dinámica de población de 20.000 a 5.000 tallos difiere con respecto a la obtenida con 10.000 tallos/ha; en estas condiciones la producción se redujo en 25,3% en San Antonio y 32% en El Tambo. Para la Estación Central Naranjal no hubo efecto de los tratamientos.

Palabras clave: Renovación, densidad, arreglos.

EFFECT OF COFFEE BRANCH DENSITIES IN *Coffea arabica* PRODUCTION

The density of plants per hectare, the number of stems per site, the number of branches per plant, and number of nodes per branch, are components that determine the production of coffee crop. In order to know the effect on coffee production in response to population change stems with respect to a population of 10.000 stems ha⁻¹, to renew zoca, four dynamic ways of obtaining the number of stems were assessed ha⁻¹ in a production run of four crops, changing the initial population by removing stems (thinning) after the second crop as follows: 20.000 to 15.000, 20.000 to 10.000, 15.000 to 10.000 and from 20.000 to 5.000. The research was conducted in three experimental farms, Naranjal in Chinchiná Caldas, El Tambo in Cauca and San Antonio in Santander Floridablanca under two spatial arrangements (2,0 m x 1,0 m) and (1,0 m x 1,0 m). The response variable was the production of dry parchment coffee in kg.ha⁻¹. The variance analysis under complete randomized design for each site and each spatial arrangement blocks, showed treatment effects in the farms of San Antonio and El Tambo for arrangement (2,0 m x 1,0 m), and applying Dunnett's test, this indicated that the cumulative production of dry parchment coffee in kg.ha⁻¹ for the population dynamics stems 20.000-5.000 differs with respect to that obtained with 10.000 stems ha⁻¹. Under these conditions, production fell by 25,3% in San Antonio and Tambo 32,0% with respect to the production of 10.000 stems ha⁻¹. For the Central Farm Naranjal no treatment effect was found.

Keywords: Renewal, density, dynamics population, coffee yield.

*Investigador Científico II (Hasta el año 2013) y Asistente de Investigación. Disciplina de Fitotecnia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico I. Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

De forma general, se conoce que mientras aumenta la producción en función de la población, la producción por planta disminuye a causa de la competencia intraespecífica, por lo tanto, lo ideal es lograr la mayor densidad con la menor competencia intraespecífica, la cual proporcione la máxima producción. Pereira *et al.* (5) al estudiar el efecto de la poda y la densidad sobre la producción y la calidad de los frutos de melón, con densidades de 20.000, 30.000, 40.000 y 50.000 plantas/ha, encontraron que el tamaño de los frutos disminuía en cuanto aumentaba la densidad, pero se incrementaba la cantidad de frutos.

En otros cultivos perennes como naranja, Rovira y Ruiz (7) afirman que al incrementar las densidades de siembra de un rango de 156-204 plantas/ha hasta un rango de 319-408 plantas/ha, incrementaron los promedios de producción desde 9-10 hasta 15-20 t.ha⁻¹. En el cultivo de plátano se han documentado incrementos del rendimiento que van de 270% a 345%, con densidades de 3.000 a 5.000 plantas/ha, respectivamente, en comparación con una población convencional de 1.000 plantas/ha (1).

En palma de aceite se evaluó el raleo sistemático de plantas en producción, con el fin de conocer el efecto del estrés por competencia entre palmas sobre el rendimiento de la plantación y determinar la factibilidad del raleo como una práctica agronómica y económicamente viable. El raleo sistemático del 33% y el 14% de los individuos a los 8 años de edad promovió un aumento en el rendimiento individual con respecto a las palmas no raleadas, a partir del segundo año del raleo, siendo el raleo del 14% de la plantación la práctica con la que se obtuvieron los mayores rendimientos acumulados por hectárea (9).

En café, algunos estudios se han enfocado en evaluar el incremento de la producción

en función de la densidad de población y de los arreglos espaciales, considerando las condiciones de clima, suelo y la localidad. Segura (8) afirma que sembrar un número adecuado de plantas por hectárea y mantener la máxima área foliar durante todas las etapas de cultivo, son condiciones necesarias para maximizar la potencialidad del cultivo de café con todos los beneficios agronómicos que ello implica.

En variedades Caturra y Mundo novo se estudió durante 19 años el efecto del número de plantas por sitio, la densidad de siembra y sistema de zoqueo sobre la producción, encontrando que las altas densidades dieron producciones altas en la primera cosecha pero disminuyeron en las subsiguientes para el caso de la variedad Caturra, mientras que Mundo novo mantuvo su nivel de productividad (11).

El efecto de la densidad de la población y del arreglo espacial de las plantas en siembra nueva, sobre la producción de café, fue evaluado por Uribe y Mestre (10) utilizando densidades desde 5.000 hasta 20.000 plantas por hectárea, obteniéndose como resultado un incremento en la producción hasta densidades de 14.740 plantas/ha, sin presentarse efecto del arreglo espacial.

En zocas de café, Mestre y Salazar (3) demostraron que al aumentar el número de tallos por hectárea con relación a la densidad inicial puede aumentarse la producción, sin incurrir en costos adicionales. El efecto de la densidad de población, distancias de siembra y número de cafetos por sitio, también ha sido evaluado sobre la incidencia de enfermedades (2), sobre las propiedades químicas y microbiológicas de los suelos (4) y sobre la fertilización del cultivo (6).

Las diferentes investigaciones que se han realizado sobre densidades y arreglos

especiales en café, han permitido identificar que la renovación del cultivo representa el momento indicado para ajustar la densidad, en función de las condiciones de oferta ambiental de cada región, como alternativa para incrementar la producción. La renovación de cafetales por medio del zoqueo a 30 cm, es una práctica que permite la recuperación de nuevo tejido vegetal, a través de la formación de brotes en la planta; en zocas de café es usual observar que se dejan varios tallos por zoca, algunos caficultores dejan altas densidades de tallos durante una o dos cosechas, y posteriormente, realizan raleo o corte de algunos tallos, para promover el incremento de la producción por unidad de área y facilitar el manejo del cultivo.

Con el fin de conocer la respuesta del café a la dinámica de la densidad de población de tallos, se planteó como objetivo en esta investigación, determinar el arreglo dinámico con el cual se obtuviera la mayor producción media de café pergamino seco por hectárea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se realizó en las estaciones experimentales Naranjal, San Antonio y El Tambo cuyas características se resumen en la Tabla 1. En cada una de las localidades se seleccionaron dos lotes de café Variedad Castillo®, renovados por zoca a 30 cm, con distancias de siembra de 1,0 x 1,0 m (un tallo por sitio) y 2,0 x 1,0 m (dos tallos por sitio).

Metodología. En cada localidad y cada lote, bajo un diseño de bloques completos al azar, donde el factor de bloqueo fue el gradiente de fertilidad natural del lote, se evaluaron cinco tratamientos constituidos con base en la densidad de tallos en función del tiempo (población dinámica). El ciclo de producción

fue de 5 años, con cuatro cosechas; los tratamientos se describen a continuación:

1. Ciclo de 3 años con 20.000 tallos/ha, al término del cual se raleó el 25% de los tallos, para continuar 2 años más con 15.000 tallos/ha.

2. Ciclo de 3 años con 20.000 tallos/ha, al término del cual se raleó el 50% de los tallos, para continuar 2 años más con 10.000 tallos/ha.

3. Ciclo de 3 años con 15.000 tallos/ha, al término del cual se raleó el 33% de los tallos, para continuar 2 años más con 10.000 tallos/ha.

4. Ciclo de 3 años con 20.000 tallos/ha, al término del cual se raleó el 75% de los tallos, para continuar 2 años más con 5.000 tallos/ha.

5. Ciclo de 5 años con 10.000 tallos/ha sin intervención.

Para la obtención del número de tallos correspondientes a cada tratamiento y para cada arreglo espacial, se utilizaron las alternativas que se ilustran en la Figura 1. La aplicación de los tratamientos contempló dos etapas: una etapa de selección de brotes o chupones en las zocas durante el primer año para obtener la densidad de tallos inicial, y una etapa de raleo de tallos después de la segunda cosecha para aplicar la dinámica de población de tallos en el ciclo.

El número de bloques para la evaluación de los tratamientos en cada arreglo espacial (lote) fue: para Naranjal seis bloques, con un área por parcela experimental de 36 m² en ambos arreglos; en El Tambo cinco bloques, con un área por parcela experimental de 24 m² para el arreglo de 1,0 x 1,0 m, y de 48 m² para el arreglo de 2,0 x 1,0 m; y en San Antonio, cuatro bloques, con un área por parcela experimental de 30 m² para el arreglo de 1,0 x 1,0 m, y de 60 m² para el arreglo de 2,0 x 1,0 m. La diferencia en el

número de bloques y el área de las parcelas obedeció a la restricción de área disponible con zocas en cada una de las localidades.

En el arreglo de las zocas a 30 cm, éstas provenían de un sistema de doble tallo por sitio, esta característica permitió seleccionar hasta dos chupones por cada tallo, en los tratamientos de 20.000 tallos. La fertilización del cultivo se hizo con base en los resultados del análisis de suelo, con aplicaciones por sitio durante la etapa de levante y por unidad de área en la etapa reproductiva.

En cada localidad se registró la producción en kilogramos de café cereza, de todos los pases de recolección por parcela experimental, en los dos arreglos espaciales, durante cuatro cosechas. Para determinar la conversión de cereza a pergamino seco, de la masa cosechada por parcela experimental, se tomó una muestra de 2.000 g de café cereza; a dicha muestra se le realizó el proceso de beneficio húmedo (despulpado, fermentación, lavado y secado hasta una humedad entre 10% y 12%), y se determinó la relación cereza-pergamino, dividiendo el peso (gramos, g) de la muestra en cereza entre el peso (g) de la muestra en pergamino seco. A partir de las muestras en café pergamino seco se determinó el rendimiento en trilla, como la

cantidad de café pergamino necesaria para obtener un saco de 70 kg de café almendra.

Para cada estación experimental, con la variable de respuesta producción de café pergamino seco por hectárea, se estimó el promedio y la varianza por tratamiento. Se realizó el análisis de varianza bajo el diseño de bloques completos al azar y se aplicó la prueba de Dunnett, con el fin de determinar las diferencias de los tratamientos con el testigo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada estación, el análisis de varianza no indicó efecto de tratamientos en el arreglo de 1,0 x 1,0 m (Tabla 2); por ejemplo, en la Estación Naranjal el promedio de la producción acumulada de café pergamino seco fluctuó entre 18.241 kg.ha⁻¹ con el tratamiento de 20.000 a 5.000 tallos y 20.433 kg.ha⁻¹ con el tratamiento de 20.000 a 15.000 tallos, con errores de 1.285 y 573 kg, respectivamente. Para San Antonio la producción fluctuó entre 14.490 kg.ha⁻¹ con el tratamiento de 20.000 a 5.000 tallos y 21.500 kg.ha⁻¹ con el tratamiento 20.000 a 15.000 tallos, con errores de 1.309 y 1.049 kg, respectivamente. Para El Tambo, la producción estuvo entre 8.485 kg.ha⁻¹ con

Tabla 1. Características geográficas, climáticas y de suelos de las Estaciones Experimentales El Tambo (Cauca), San Antonio (Floridablanca, Santander) y la Estación Central Naranjal.

Característica	Estaciones Experimentales		
	Naranjal	El Tambo	San Antonio
Latitud	4° 58' N	1° 15' N	7° 6' N
Longitud	75° 39' W	77° 29' W	73° 4' W
Altitud (m)	1.381	1.700	1.480
Temperatura media (°C)	21,3	15,5	19,8
Precipitación anual (mm)	2585	1.204	1.462
Brillo solar (h.año ⁻¹)	1.865	1.813	1.562
Humedad relativa (%)	72,8 %	71,2%	76,8%
Ecotopo	206A	218A	302A

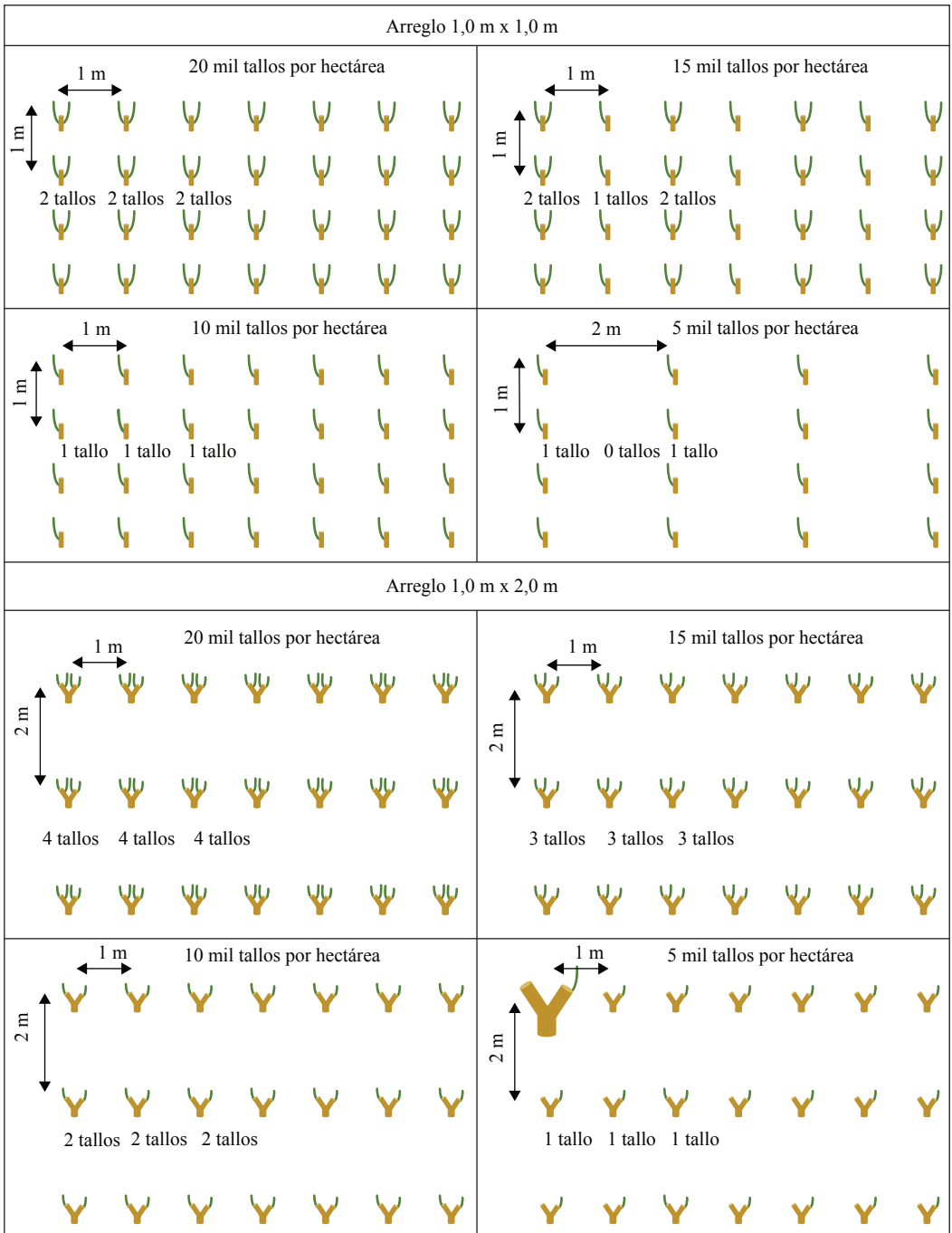


Figura 1. Esquema para obtener el número de tallos por zoca y la densidad de tallos por hectárea, según las distancias de la siembra.

el tratamiento de 20.000 a 5.000 tallos y 11.660 kg.ha⁻¹ con el tratamiento 20.000 a 15.000 tallos, con errores de 868 y 489 kg, respectivamente (Tabla 2).

El análisis de varianza para el arreglo espacial de 2,0 x 1,0 m indicó efecto de los tratamientos en las Estaciones San Antonio y El Tambo, y la prueba de Dunnett al 5%, detectó diferencias entre el promedio del testigo y el tratamiento con raleo de 20.000 a 5.000 tallos, con una reducción de la producción de 5.034 kg para San Antonio y de 3.538 kg para El Tambo (Tabla 3). En la Estación Naranjal el promedio de la producción acumulada de café pergamino seco, en el mismo arreglo, fluctuó entre 11.273 kg.ha⁻¹ con el tratamiento de 15.000 a 10.000 tallos y 12.431 kg.ha⁻¹ con el tratamiento de 20.000 a 10.000 tallos, con errores de 823 y 643 kg, respectivamente (Tabla 3).

Para el arreglo de 1,0 x 1,0 m (Figura 2) se observa descriptivamente la variación en la producción, cuando se modifica la densidad de tallos inicial, luego de la segunda cosecha. Así, la producción acumulada obtenida con el raleo de 20.000 a 5.000 tallos frente a la producción acumulada del testigo, se reduce en un 34%, descriptivamente, en la tercera cosecha para Naranjal; para San Antonio en un 23% y para El Tambo en un 40%. En el raleo de 20.000 a 15.000 tallos se observó que la producción acumulada frente al testigo (10.000 tallos), en la tercera cosecha, es superior en 24%, 20% y 26% en las Estaciones Naranjal, San Antonio y El Tambo, respectivamente.

Para el arreglo de 2,0 x 1,0 m (Figura 3), se observa descriptivamente la reducción de la producción acumulada de 25% y 47% para las Estaciones San Antonio y El Tambo, respectivamente, cuando se hicieron

Tabla 2. Producción acumulada de café pergamino seco (kg.ha⁻¹), en cuatro cosechas, para el arreglo espacial de 1,0 x 1,0 m.

Tratamiento miles de tallos por hectárea	Naranjal		El Tambo		San Antonio	
	Promedio	Error	Promedio	Error	Promedio	Error
20 a 15	20.433	573	21.500	1.049	11.660	489
20 a 10	19.868	945	17.150	318	11.439	1.102
15 a 10	19.712	1.810	17.914	1.027	9.938	705
20 a 5	18.241	1.285	14.490	1.309	8.485	868
10 (Testigo)	19.498	2.957	17.960	1.544	9.634	622

Tabla 3. Producción acumulada de café pergamino seco (kg.ha⁻¹), durante cuatro cosechas, para el arreglo espacial de 2,0 x 1,0 m.

Tratamiento miles de tallos por hectárea	Naranjal		San Antonio		El Tambo	
	Promedio	Error	Promedio	Error	Promedio	Error
20 a 15	12.247	680	19.539	683	11.325	721
20 a 10	12.431	643	18.733	1.172	9.700	836
15 a 10	11.273	823	18.156	1.479	10.849	1.012
20 a 5	11.731	331	14.752*	599	7.261*	1.347
10 (Testigo)	11.294	500	19.786	1.255	10.799	656

*Para cada estación, indica diferencias significativas entre tratamientos con respecto al testigo, según prueba Dunnett al 5%.

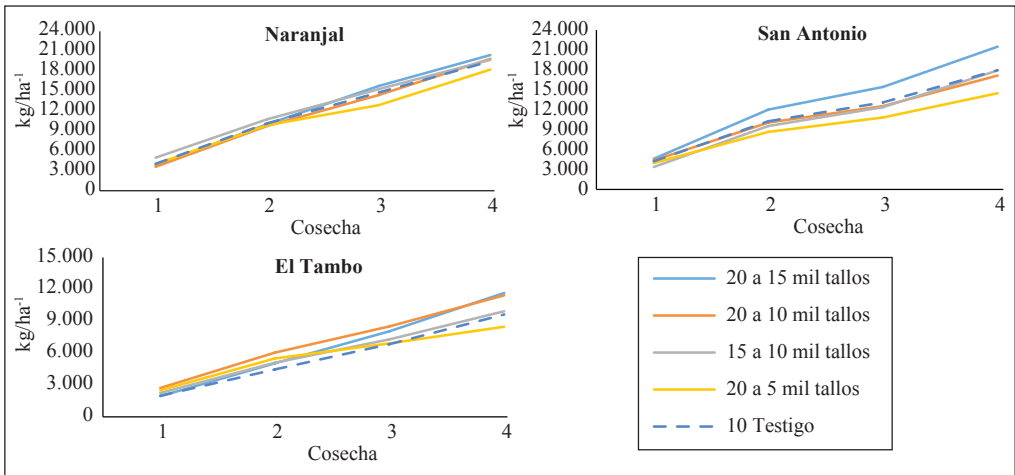


Figura 2. Dinámica de la producción acumulada de café pergamino seco ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para el arreglo espacial de 1,0 x 1,0 m.

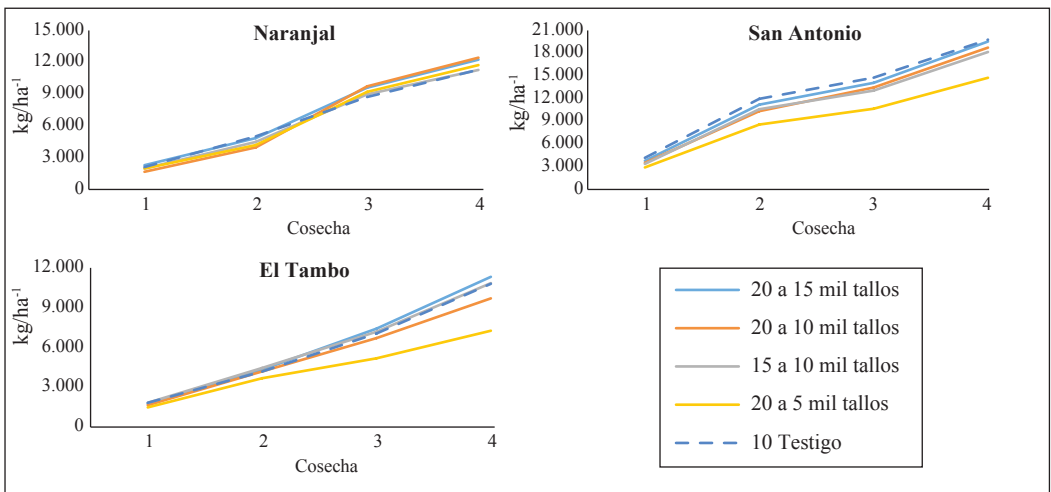


Figura 3. Dinámica de la producción acumulada de café pergamino seco ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para el arreglo espacial de 2,0 x 1,0 m.

raleos de 20.000 a 5.000 tallos, frente a la producción acumulada del testigo en la tercera cosecha. En la condición de raleo de 20.000 a 15.000 tallos, la producción acumulada frente al testigo en la tercera cosecha, fue descriptivamente, superior en un 28% en la Estación Naranjal y sólo en

un 3% y 8% en las estaciones San Antonio y El Tambo, respectivamente.

El análisis de rendimiento en trilla de las muestras de café tomadas en dos cosechas, no mostró diferencias significativas para los tratamientos de dinámica de población de

tallos en alguna de las localidades, lo que significa que un incremento en la densidad hasta 20.000 tallos por hectárea no influye sobre esta variable (Tabla 4).

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación no es posible establecer si la dinámica de población de tallos con raleo después de la segunda cosecha compensa la producción acumulada que se obtiene con densidades mayores de 10.000 tallos sin raleo, en un ciclo de tres cosechas.

Bajo las condiciones evaluadas en las tres localidades, la renovación por zoca a 30 cm, permite mantener poblaciones alrededor de los 10.000 tallos por hectárea, en un ciclo productivo de cuatro cosechas. Si en la renovación por zoca se dejan densidades superiores a los 10.000 tallos por hectárea, para luego implementar la práctica de raleo, se recomienda mantener densidades superiores a los 5.000 tallos para evitar la reducción de la producción en los lotes.

Tabla 4. Promedio para el rendimiento en trilla de dos cosechas de café, bajo dos arreglos espaciales, en tres localidades.

Tratamiento miles de tallos por hectárea	Naranjal		San Antonio		El Tambo	
	2008	2009	2009	2010	2011	2012
20 a 15	89,2	90,2	90,3	87,1	91,1	88,3
20 a 10	89,2	90,1	93,4	86,9	90,0	88,0
15 a 10	90,3	87,9	89,9	85,6	90,8	88,8
20 a 5	89,2	86,8	90,3	86,8	90,1	89,7
10 (Testigo)	92,0	90,6	91,0	85,8	91,3	89,6
20 a 15	90,5	91,4	89,6	86,8	89,2	89,2
20 a 10	90,2	89,7	89,5	87,0	89,4	90,4
15 a 10	91,2	92,4	92,1	86,0	89,3	88,5
20 a 5	90,3	90,8	91,1	87,5	88,6	88,9
10 (Testigo)	90,6	93,3	89,2	88,0	90,2	89,6

LITERATURA CITADA

- BELALCÁZAR, S.; ESPINOSA, J. Effect of Plant Density and Nutrient Management on Plantain Yield. *Better Crops International*, Vol. 14 (1):12-15, May 2000.
- LÓPEZD., S. Relación entre densidad y distribución de los cafetos en la plantación e incidencia de mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) Berk y Cooke. In: CONGRESO de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines, 2. Bogotá (Colombia), Septiembre 1-3, 1976. Resúmenes. Bogotá (Colombia), ASCOLFI, 1976. p. 42.
- MESTRE M., A.; SALAZARA, J.N. Mejore sin costo adicional, la productividad de cafetales sembrados en baja densidad. Producción de zocas de café con uno y dos tallos. *Avances Técnicos Cenicafe* (Colombia) No. 218:1-2. 1995.
- PAVAN, M. A.; DIAS CHAVES, J. C.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLO FILHO, A.; COLOZZI FILHO, A. and BALOTA, E. I. High Coffee Population Density to Improve Fertility of an Oxisol. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.34, n.3, p.459-465. 1999.
- PEREIRA, F.H.F.; NOGUEIRA, I.C.C.; PEDROSA, J.F.; NEGREIROS, M.Z.; BEZERRA NETO, F. Poda da haste principal e densidade de cultivo sobre a produção e qualidade de frutos em híbridos de melão. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 21, n. 2, p. 191-196. 2003.
- RIVERA, R. Densidad de plantación y fertilización N en el cultivo del café Var. Caturra sobre suelos ferralíticos rojos compactados. *Cultivos Tropicales* (Cuba) 12(3):5-8. 1991.
- ROVIRA, L. A.; RUIZ, J. Sesenta toneladas de naranja por hectárea en la citricultura nacional. ¡Una realidad!

Consultado el 23 de agosto de 2006 en <http://fonaiap.gov.ve/publica/divulga/fd61/naranja.html>.

8. SEGURA M., A. Algunas consideraciones agrofisiológicas en relación a la poda de los cafetos: experiencias con cafetales con alta densidad de siembra. In: SIMPOSIO Internacional sobre Café Adensado. Londrina (Brasil), Marco 28-31, 1994. Londrina (Brasil), Instituto Agronomico do Paraná, p. 199-220. 1994.
9. STERLING F. La competencia entre plantas y el raleo de la plantación de palma aceitera. *Agronomía Costarricense* 20(1):25-37. 1996.
10. URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto de la densidad de población y de la disposición de los árboles en la producción de café. *Cenicafé (Colombia)* 39(2):31-42. 1988.
11. VASCO T., S.; INÁCIO B. Influência da densidade de plantio e sistema de podas na produção de café. *Pesq. agropec. bras., Brasília, v.34, n.8, p.1379-1384.* 1999.

EL ENROLLADOR DE LAS HOJAS DEL CAFETO

Clepsis abscisana (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE), NUEVO REGISTRO EN CAFÉ EN COLOMBIA

Luis Miguel Constantino Chuairé*, John W. Brown**, Pablo Benavides Machado*

CONSTANTINO C., L. M.; BROWN, J.; BENAVIDES M., P. El enrollador de las hojas del cafeto *Clepsis abscisana* (Lepidoptera: Tortricidae), nuevo registro en café en Colombia. Revista Cenicafé 65 (2): 27-32. 2014

Se reporta por primera vez en Colombia al lepidóptero *Clepsis abscisana* Zeller, 1877, de la familia Tortricidae, atacando plantas de café en un cultivo joven de *Coffea arabica* Variedad Castillo®. Éste es el primer registro de esta especie a nivel mundial atacando café y el segundo en la región Neotropical. El daño fue reconocido en una plantación cafetera localizada en el municipio de Sevilla, Valle del Cauca, Colombia. La larva corta parcialmente la base del peciolo de las hojas con sus mandíbulas, enrolla las hojas en forma de embudo y las pega con hilos de seda. El insecto se refugia durante el día en el interior de la estructura vegetal que prepara y sale en la noche para alimentarse de hojas tiernas del cafeto. Se presentan aspectos de su biología y se describen los estados biológicos del enrollador de las hojas del cafeto.

Palabras clave: Plaga potencial, *Coffea arabica*, biología.

THE COFFEE LEAF ROLLER *Clepsis abscisana* (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE), NEW REGISTER ON COFFEE PLANTS IN COLOMBIA

The lepidopteran *Clepsis abscisana* Zeller, 1877 which belongs to the Tortricidae family is recorded for the first time in Colombia attacking coffee plants in a young *Coffea arabica* var. Castillo crop. This is the first record of this species affecting coffee plants, and the second documented in the Neotropics. Damages were visualized in a coffee crop located in the municipality of Sevilla, Valle del Cauca, Colombia. The larva partially cuts the base of the leaf petiole using its mandibles, then rolls the leaf in the form of a funnel and finally stick the structure with a self-made silk. The insect uses the prepared structure as a refuge during the daylight and emerges at night in order to feed from tender leaves. We present for the first time aspects of the biology of the coffee leafroller and description of the immature stages.

Keywords: Potential insect pest, coffee, *Coffea arabica*.

*Investigador Científico II e Investigador Científico III., Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

**Systematic Entomology Laboratory, Agricultural Research Service, USDA, c/o National Museum of Natural History, Washington, DC 20013-7012, USA. USDA.GOV

Las especies de la familia Tortricidae, conocidas comúnmente como enrolladores de hojas, son microlepidópteros de gran importancia económica por ser plagas de cultivos agrícolas, ornamentales y forestales a nivel mundial. Los registros de tortricidos asociados con café en el nuevo mundo son casi inexistentes (1, 14), conociéndose solo un registro para el encartuchador de las hojas del café, *Anacrusis auleodes* (Meyrick) (como "*Platynota* sp.") en Colombia (3). Se conoce que para África, India, China, el archipiélago Malayo, Papúa Nueva Guinea y Australia existen 36 registros de enrolladores de hojas y masticadores de frutos del café, pertenecientes a los géneros *Adoxophyes*, *Archips*, *Cryptophlebia*, *Epiphyas*, *Eucosma*, *Homona*, *Isotenes*, *Lobesia*, *Metamesia*, *Olethreutes*, *Pandemis*, *Paradichelia*, *Procris* y *Tortrix* (1). En Colombia, los registros de tortricidos en cultivos agrícolas son pocos, sobresalen el enrollador de las hojas *Platynota rostrana* (Walker), una especie polífaga que se alimenta de varios cultivos tales como el maní (*Arachis hypogaea*), algodón (*Gossypium hirsutum*), cacao (*Theobroma cacao*), ajonjolí (*Sesamum indicum*) y cítricos (*Citrus* spp.), entre otros; *Argyrotaenia sphaleropa* (Meyrick) ha sido reportada en algodón; *Sparganothis* sp. en cítricos y mango (*Mangifera indica*); *Amorbia cuneana* (Walsingham) (como el sinónimo *A. essigana* Busck) en aguacate (*Persea americana*) y cacao; *Platynota* sp. y *Argyrotaenia* sp. en aguacate; y *Gymnandrosoma aurantium* Lima como barrenador de frutos de cacao, naranja (*C. sinensis*) y macadamia (*Macadamia integrifolia*) (3, 4, 6, 13).

En el mes de mayo de 2011, en la localidad de Naranjal (Chinchiná, Caldas) se presentaron brotes de dos especies de pegadores de hojas pertenecientes a los géneros *Amorbia* y *Argyrotaenia* afectando los glomérulos y causando perforaciones

en frutos verdes de café (5). En Colombia, Razowski y Wojtusiak (11) en un inventario realizado en la reserva forestal de Tambito (Cauca), localizada a 1.200 m de altitud, en la cordillera Occidental, y utilizando trampas de luz, capturaron 45 especies y 27 géneros de tortricidos pertenecientes a tres subfamilias: 24 Tortricinae, 7 Chlidanotinae, 14 Olethreutinae, de las cuales 20 especies fueron descritas como nuevas. Esto deja entrever que los tortricidos son un grupo taxonómico diverso pero poco estudiado en el país, por lo que no se descarta que aún falten muchas especies por descubrir.

El género *Clepsis* Guenée cuenta con alrededor de 155 especies descritas, que se encuentran distribuidas en las principales regiones biogeográficas del mundo, de las cuales 71 se encuentran en la región Neotropical, 45 en la región Paleártica, 15 en la región Neártica, 20 en la región Oriental y 4 en la región Afrotropical, siendo las regiones Neotropical y Paleártica las más diversas (2, 7, 8, 9, 10). *Clepsis abscisana* (Zeller, 1877) es una especie descrita de Colombia, en la localidad de Barro Blanco, Sucre; es una especie muy similar a *C. gelophodes* (Meyrick, 1936) de Venezuela. Sobre el particular, Razowski (7, 8) en la revisión del género *Clepsis* comenta que podrían tratarse de sinónimos, ya que existen varias especies de varias localidades y países con caracteres muy similares a las dos especies mencionadas, por lo que su estatus taxonómico hasta el presente es incierto. *C. abscisana* se encuentra distribuida en Guatemala, Costa Rica, Panamá, Colombia y Venezuela.

Una de las características de los enrolladores de las hojas es el hábito de producir refugios construidos con las hojas en donde se resguardan las larvas para alimentarse en su interior. Las larvas producen seda para unir y pegar las hojas (12).

MATERIALES Y MÉTODOS

En el mes de mayo de 2011 se presentaron brotes de un enrollador de las hojas del cafeto en lotes con resiembras nuevas de café *Coffea arabica* Variedad Castillo®, en los municipios de Sevilla y Bugalagrande en el norte del Valle del Cauca (Colombia), en cultivos ubicados a 1.600 m de altitud. Los lotes afectados presentaban el suelo desnudo y habían sido asperjados con herbicida de forma generalizada. Las muestras de hojas con daño y presencia de larvas fueron remitidas por Martha Lucía Delgado del Servicio de Extensión de Sevilla, Valle del Cauca, al Museo Entomológico Marcial Benavides de Cenicafé para su identificación. Posteriormente, se hizo una visita de campo para conocer el problema y obtener más muestras de posturas y larvas, para describir los estados inmaduros y lograr obtener adultos para su estudio taxonómico. Las posturas y larvas se mantuvieron en un cuarto de cría de la Disciplina de Entomología en Cenicafé, en cajas plásticas con orificios de ventilación forrados con muselina blanca, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa de 25°C y 80% HR, respectivamente, hasta la emergencia de los adultos. Las hojas fueron asperjadas con agua destilada cada dos días, para hidratar el follaje. Posteriormente, se procedió a recolectar, montar y etiquetar los ejemplares. La determinación taxonómica a nivel de género y especie, se llevó a cabo a partir del estudio de la genitalia de un ejemplar macho remitido al Laboratorio de Entomología y Sistemática del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA-ARS en Beltsville, Maryland. Otros dos ejemplares se encuentran depositados en el Museo Entomológico Marcial Benavides de Cenicafé y sistematizados en la base de datos *Specify* con los códigos MEMB 19685 y MEMB 19686.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de los estados biológicos

Huevo. Los huevos recién puestos son de color verde claro, aplanados, con la superficie reticulada y de forma circular, son colocados individualmente por la hembra en el envés de las hojas tiernas de café. Miden 0,6 mm de diámetro por 0,1 mm de alto. A los 4 días se forman dos puntos laterales que van aumentando de tamaño hasta dejar visualizar la cabeza de la larva. Antes de eclosionar los huevos se tornan oscuros y las larvas emergen a los 8 días.

Larva. Pasa por cinco estadios, llegando a medir hasta 1,5 cm de longitud antes de empupar. El cuerpo de la larva es de color pardo claro desde el primero hasta el tercer estadio, y se torna de color verde claro en el cuarto y quinto estadio. La cabeza es negra y brillante. La placa protorácica detrás de la cabeza es negra con borde café oscuro. Los segmentos torácicos y abdominales presentan cuatro pináculos circulares pequeños y grises (dos subdorsales y dos laterales), de cada pináculo emerge una seta simple filiforme, corta y translúcida. El dorso del cuerpo presenta una línea longitudinal de color verde oliva y manchas grises irregulares sobre fondo verde en todo el cuerpo (Figura 1 h). Los primeros instares (del primero hasta el tercero) se alimentan de las hojas tiernas y luego del tercero en adelante enrollan las hojas para refugiarse. El daño lo ocasiona la larva al cortar parcialmente la base del pecíolo de las hojas, lo cual interrumpe el flujo de savia, y ocasiona un descolgamiento en posición vertical del pecíolo, sin marchitar completamente la hoja (Figura 1e). Se presenta pérdida de turgencia de la pared celular y ablandamiento del tejido, lo cual le permite a la larva enrollar y pegar con facilidad la hoja con hilos de seda (Figuras

1f y 1g). La larva se refugia en el interior del embudo y sale para alimentarse en la noche en los rebrotes tiernos de las hojas del cafeto. Son muy activas y caminan rápido haciendo movimientos pausados. Durante el día tejen hilos de seda para tapar el orificio de salida, para evitar la entrada de enemigos naturales. La larva empupa dentro de los embudos elaborados con las hojas. El estado larval dura 28 días aproximadamente.

Pupa. La pupa es de color castaño claro, cada segmento abdominal presenta dos series circulares de anillos compuestos de microespinas. La pupa mide 1,5 cm de longitud por 0,75 cm de ancho (Figura 1I). En estado de pupa duran 12 días en promedio. El ciclo de vida completo desde huevo hasta la emergencia del adulto tarda $48 \pm 2,3$ días bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (25°C y 80% HR).

Adultos. Son polillas de hábitos nocturnos. El **macho** (Figuras 1a y 1c) presenta una longitud alar desde la base hasta el ápice de 9-10 mm, los palpos son de aproximadamente 1 mm de longitud, de color pardo, ojos compuestos de color rojo en ejemplares vivos. Antenas filiformes de color gris, de 4 mm de longitud. Alas anteriores con fondo pardo claro, salpicado con escamas negras, blancas, grises y cafés, formando manchas irregulares. Presenta cuatro líneas transversales delgadas, de color pardo, las del área media se unen formando una elipse de forma irregular. El margen superior de las alas anteriores presenta una muesca característica en forma de hendidura semicircular, de unos 3,5 mm. Margen alar inferior con escamas alargadas. Las alas posteriores son de color crema con manchas tenues de color gris. La **hembra** (Figuras 1b y 1d) posee la misma coloración del macho pero es un poco más grande de tamaño, con una longitud alar de 10 mm. El abdomen es de color crema siendo más

delgados en el macho y anchos en las hembras. En el último segmento abdominal en la cara ventral del macho se aprecian las valvas de color gris oscuro y en las hembras los lóbulos del ovipositor de color anaranjado.

En promedio el nivel de infestación en los lotes afectados fue de 24% de las plantas de café sembradas en una hectárea, con densidades de 5.000 árboles en promedio. Las larvas fueron controladas con aspersiones de un insecticida de contacto con efecto translaminar y con aplicaciones posteriores de *Bacillus thuringiensis* sobre el follaje afectado, lográndose un control del 100%. Una vez controladas las poblaciones, no se han vuelto a presentar reportes de nuevos ataques de este insecto en la región. Dado que *C. abscisana* es una especie endémica de Colombia, que nunca había sido reportada atacando café, lo más factible es que tenga un hospedante primario diferente de *Coffea*, aún no conocido. Su presencia en café fue fortuito, como posible consecuencia del mal uso y manejo de los herbicidas en los lotes afectados, de tal manera que el insecto no tuvo opción diferente de alimentación. Es necesario hacer un manejo selectivo de arvenses nobles para mantener la fauna benéfica y los hospedantes alternos de insectos fitófagos. En caso de presentarse nuevos brotes del enrollador de las hojas del cafeto es necesario adelantar estudios para conocer su estatus sanitario, distribución, hospedantes alternos y enemigos naturales para desarrollar estrategias de control integrado.

AGRADECIMIENTOS

A los caficultores y al Servicio de Extensión de Sevilla del Comité de Cafeteros del Valle del Cauca, por el apoyo logístico y envío de muestras, en especial a la ingeniera agrónoma Martha Lucía Delgado. Al Laboratorio de

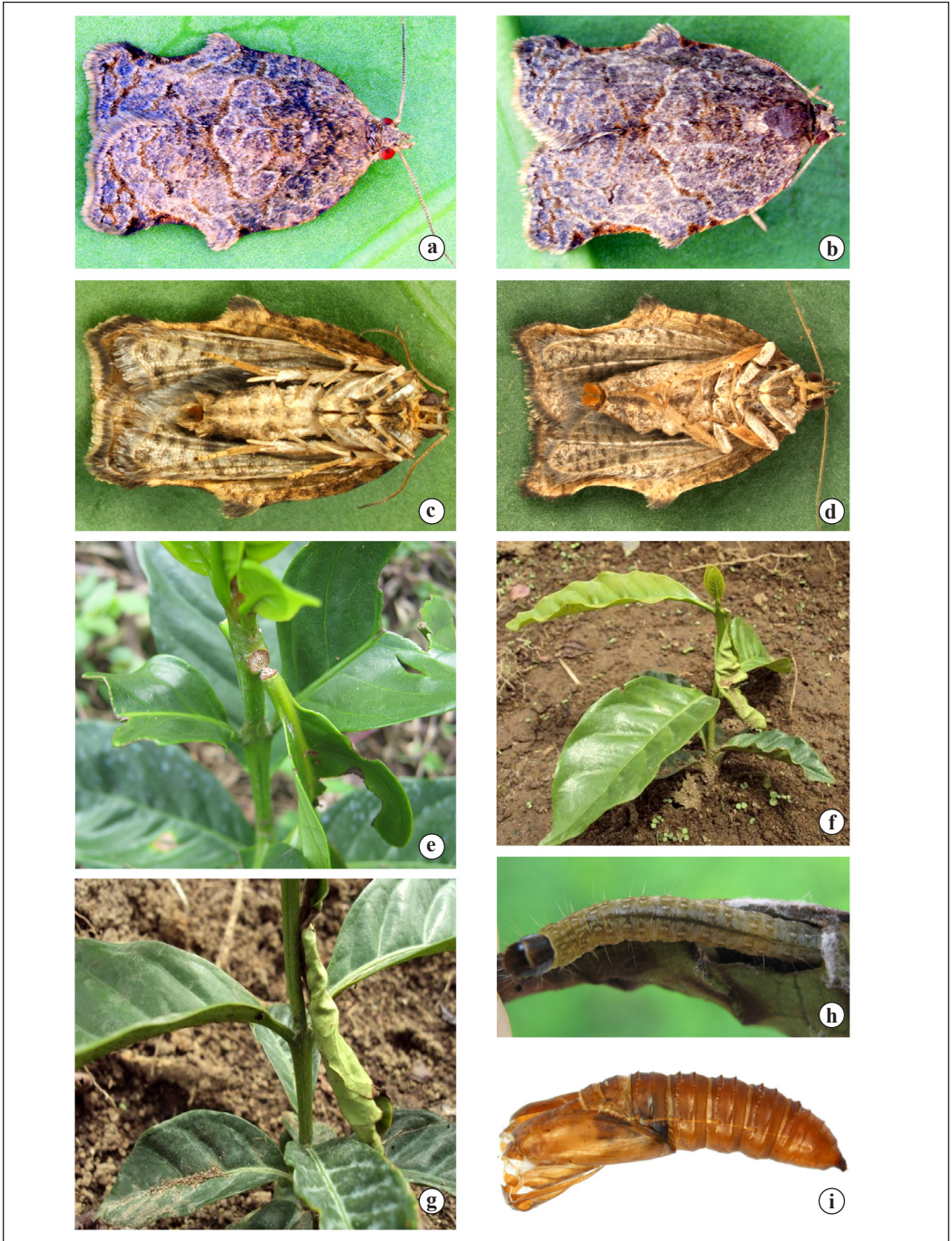


Figura 1. *Clepsia abscisana*. **a** y **c**. Adulto macho; **b** y **d**. Adulto hembra; **e**. Corte de pecíolos y daño en hojas de café; **f** y **g**. Hojas enrolladas en resiembros de café Variedad Castillo®; **h**. Larva; **i**. Pupa.

Entomología y Sistemática del USDA-ARS en Beltsville, Maryland por la identificación de las muestras.

LITERATURA CITADA

1. BIGGER, M. A geographical distribution list of insects and mites associated with coffee, derived from literature published before 2010. [En línea]. Disponible en internet: http://www.ipmnetwork.net/commodity/coffee_insects.pdf. Consultado en enero de 2012.
2. BROWN, J.W. World catalogue of insects: Tortricidae (Lepidoptera). Stenstrup: Apollo books, 2005. 741 p.
3. CÁRDENAS, R.; POSADA, F. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Armenia: Comité departamental de cafeteros del Quindío, 2001. 250 p.
4. FIGUEROA, A. Insectos y acarinos de Colombia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1977. 685 p.
5. GALINDO, L.A.; VILLEGAS, C.; MANTILLA, J.; GILLIGAN, T.; FLÓREZ, C. Lepidópteros perforadores de los frutos de café. Chinchiná: Cenicafé, 2013. 8 p. (Avances Técnicos No. 434).
6. ICA. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bogotá: ICA, 1989. 662 p. (Boletín Técnico No. 43).
7. RAZOWSKI, J. Revision of the genus *Clepsis* Guenée (Lepidoptera: Tortricidae). Acta zoologica Cracoviensia 23(9):101-198. 1979.
8. RAZOWSKI, J. Revision of the genus *Clepsis* Guenée (Lepidoptera: Tortricidae). Acta zoologica Cracoviensia 24(2):113-152. 1979.
9. RAZOWSKI, J.; BECKER, V. Systematic and distributional data on Neotropical Archipini (Lepidoptera: Tortricidae) Acta zoologica Cracoviensia 54(1/2):9-38. 2010.
10. RAZOWSKI, J.; WOJTUSIAK, J. Tortricidae from Venezuela (Lepidoptera: Tortricidae). SHILAP Revista de lepidopterología 34:35-79. 2006.
11. RAZOWSKI, J.; WOJTUSIAK, J. Tortricidae (Lepidoptera) from Colombia. Acta Zoologica Cracoviensia 54(1/2):103-128. 2011.
12. VARELA, S.; BROWN, J.W.; SILVA, G. Registro de *Platynota rostrana* (Walker, 1863) (Lepidoptera: Tortricidae) en cítricos de México. Acta Zoológica Mexicana 25(3):651-654. 2009.
13. VILLEGAS, C. Manejo de insectos y ácaros asociados a las estructuras reproductivas de la macadamia. Chinchiná: Cenicafé, 1998. 8 p. (Avances Técnicos No. 250).
14. WALLER, J.M.; BIGGER, M.; HILLOCKS, R.J. Coffee pests, diseases and their management. Wallingford: CABI, 2007. 434 p.

EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO MANUAL EN LA RECOLECCIÓN DE FRUTOS DE CAFÉ CAÍDOS AL SUELO

Carlos Eugenio Oliveros Tascón*; Rubén Darío Medina Rivera**, Carlos Alfonso Tibaduiza Vianchá*

OLIVEROS T., C. E.; MEDINA R., R. D.; TIBADUIZA V. Evaluación de un dispositivo manual en la recolección de frutos de café caídos al suelo. Revista Cenicafé 65 (2):33-41. 2014

La recolección de frutos de café que caen al suelo por razones involuntarias, es una práctica agronómica efectiva para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*). Se evaluó un dispositivo de accionamiento manual en la recolección de frutos de café presentes en el plato del árbol. Los ensayos se realizaron en la Estación Central Naranjal, en lotes de café Variedad Castillo®, de 2 y 3 años, con distancias de siembra de 1,0 x 2,0 m y 1,5 x 1,5 m, con dos tallos por árbol, en terrenos con pendiente de 0% a 15%. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar en arreglo factorial, donde los operarios constituyeron el bloque y los factores fueron el estado del plato del árbol (con hojarasca y limpio) y el número de frutos en el suelo por árbol (3, 6, 9, 12 y 15 frutos por sitio). La variable de respuesta fue el porcentaje de frutos recogidos del suelo y como variable complementaria el tiempo (s) empleado para la recolección, por árbol. Los mejores resultados se obtuvieron con platos limpios, recogiendo un 83% de los frutos. El tiempo promedio empleado por árbol con el dispositivo varió de 4,6 s a 11,3 s, independientemente de la condición del plato y el número de frutos. El costo de recolección de frutos del suelo con la canastilla es de \$ 118.252 por hectárea, inferior al obtenido con el equipo Cifarelli V77S (\$ 248.662 por hectárea).

Palabras clave: Equipo, canastilla, broca, cosecha sanitaria.

EVALUATION OF A MANUAL DEVICE TO COLLECT COFFEE BERRIES FALLEN ONTO THE GROUND

Retrieving coffee fruits that fall on the ground by unintentional reasons, is an effective agronomic practice to control the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). A hand-operated device was evaluated in retrieving fallen coffee fruits beneath the trees. The tests were conducted at the Estación Central Naranjal, in 2 and 3-year-old plots of the Castillo® variety, planted at distances of 1.0 m x 2.0 m and 1.5 m x 1.5 m, with two stems per tree, on slopes between 0 and 15 %. It was used a randomized block statistical design, in a factorial arrangement, where operators were the block and the factors were the condition of the ground underneath the tree (with mulch and clean) and the number of fallen fruits (3, 6, 9, 12 and 15 fruits per site). The response variable was the percentage of fruits collected from the ground and the complementary variable was the time (s) spent per tree. The best results were obtained with a clean ground, picking up a mean of 83% of the fallen fruits. The average time required per tree with the device varied from 4.6 s up to 11.3 s, regardless of the condition of the ground and the number of fallen fruits. The mean cost of collecting fruits from the ground with the device was \$ 118.252 pesos/ha, much lower than the one obtained with the Cifarelli V77S (\$ 248.662 pesos/ha).

Keywords: Faltan las palabras clave.

*Investigador Principal e Ingeniero Agrícola, respectivamente, Disciplina de Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

**Investigador Científico I. Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La broca del café *Hypothenemus hampei* es la principal plaga que ataca el cultivo del café en Colombia. Su dinámica poblacional es afectada por la temperatura del lugar, siendo mayor en presencia de un evento climático de El Niño (3). En efecto, en investigaciones realizadas por Cenicafé (3) en un sitio localizado a una altitud de 1.280 m, se observó que en un lapso de 180 días de un solo fruto brocado en el suelo en un evento de La Niña se infestaron 150 frutos en el árbol, en tiempo Neutro 590 frutos y en temporada de El Niño 959 frutos. En tiempo normal, un fruto brocado incrementa el porcentaje de infestación en el árbol del 4,6% al 41,0% en un ciclo productivo, en plantaciones por debajo de 1.300 m de altitud.

Para contribuir al Manejo Integrado de la Broca (MIB) es importante que después de un pase de recolección el número de frutos maduros sin cosechar y los frutos presentes en el plato sean inferiores a cinco (2); sin embargo, generalmente en las fincas estos valores son superiores, variando la caída de frutos entre 5 y 50 por sitio (4, 5, 6) y los frutos maduros que no se recolectan entre 4 y 34 por árbol (4, 5). Un porcentaje importante de los frutos maduros que no se recolectan en el pase pueden estar atacados por la broca, los cuales sirven de refugio y alimento al insecto, permitiendo la infestación de los frutos sanos y el desarrollo de nuevas generaciones que posteriormente atacarán los frutos del árbol en la siguiente cosecha.

En labores diferentes a la recolección también se presenta desprendimiento involuntario de frutos. En promedio, en un año se realizan 30 labores en un lote de café, que incluye control de arvenses, fertilización, determinación de niveles de infestación de broca, recolección de café y la cosecha sanitaria o Re-Re (6).

La caída de frutos de café también puede presentarse por factores climáticos y por problemas fitosanitarios (1).

En la recolección de frutos de café caídos al suelo se han evaluado en Colombia tecnologías utilizadas en algunos países, para frutos de otros cultivos. Acosta (1) evaluó un equipo denominado “roller picker”, de accionamiento manual, empleado en España en la recolección de aceitunas y castañas. El equipo pesa 3,5 kg, consta de un rodillo de 14,0 cm de diámetro y 64,5 cm de longitud, con púas de acero en su superficie (4 púas/cm²) una bandeja de recolección y un peine encargado de la limpieza continua del rodillo. Los frutos son punzados y levantados al girar el rodillo y luego descargados en una bandeja colocada en la parte frontal del equipo. En promedio se recogió el 70,8% de los frutos de café presentes en los platos de los árboles, sin retirar la hojarasca. Los mayores inconvenientes para utilizar el equipo fueron la dificultad para desplazarlo en los platos de los árboles y los atascamientos causados por la hojarasca, que también es punzada y levantada por las púas del rodillo.

Acosta *et al.* (1) evaluaron tres equipos portátiles en cafetales de variedad Colombia, zoca de segunda cosecha, sembrados a 2,0 x 1,0 m y 1,5 x 1,0 m y pendiente de 0% a 100%. Los equipos eran una aspiradora de fabricación comercial, utilizada en castañas y aceitunas (Cifarelli V77S), y dos dispositivos diseñados por los autores, con succión neumática (denominado Asfrus) y de accionamiento manual (denominado RM). Con el equipo Cifarelli V77S el porcentaje de recolección de frutos del suelo varió entre 64,6% y 88,6%, para el Asfrus entre 75,3% a 94,0% y para el RM entre 65,7% a 82,4%. El tiempo empleado con los equipos evaluados fue de 8 a 20 s/

sitio para la Cifarelli V77S, de 10 a 19,2 s/sitio para la Asfrus y 10 a 19,2 s/sitio para el RM.

La máquina Cifarelli V77S fue evaluada posteriormente en fincas en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Risaralda, Quindío y Valle del Cauca, en cafetales de variedad Colombia sembrados a 1,0 m x 1,0 m y 1,0 m x 2,0 m, pendiente de 0% a 150%, en lotes de 0,5 a 14 ha (7). Los resultados obtenidos fueron: capacidad de campo 0,17 a 1,7 ha/día; eficacia de recolección de 40% a 73%; costo de \$ 37.287 a \$ 262.730 por hectárea, incluyendo el costo de la mano obra, de operación, mantenimiento y depreciación del equipo. En el lote de 14 ha se recogieron 329,3 kg de café (23,5 kg/ha), con porcentaje de infestación de broca de 74% a 80%. Se estimó un promedio de 572.965 adultos de brocas vivas y de 2.117.335 de estados inmaduros de broca viva. El trazado de los surcos, la destreza de los operarios, la presencia de biomasa de otros cultivos intercalados o asociados al café y la edad del cultivo fueron los factores que más afectaron el desempeño y eficacia del equipo.

Para la recolección de frutos de café del suelo, en Brasil se utilizan máquinas para barrer y recoger el café de los platos y de la calle, mediante aspiración. Con estas máquinas se recoge el café que cae antes de la cosecha, que generalmente se retrasa hasta lograr que los árboles presenten máximo 20% de frutos verdes, y frutos que caen después del pase de cosecha mecanizada o con equipos portátiles. Estos equipos generalmente son remolcados en cafetales con pendiente inferior al 15%, con distancia entre surcos superior a 2,5 m, con tractor con potencia de 40 kW o más, el cual proporciona también la potencia requerida para la barredora y la aspiradora. Con

la barredora-aspiradora mecánica pueden recogerse frutos del suelo en 4,0 ha/día y por medios manuales 0,3 ha/día. Por su costo (mayor a USD 50.000/equipo), por las condiciones de pendiente y humedad del terreno, distancia entre surcos y área requerida para maniobrar en el lote, no son adecuados para las condiciones de fincas en Colombia (8).

En este artículo se presentan resultados obtenidos en la recolección de frutos de café caídos al suelo utilizando un dispositivo de accionamiento manual.

MATERIALES Y MÉTODOS

El equipo manual utilizado en la presente evaluación, denominado canastilla, se presenta en la Figura 1. Tiene forma elipsoidal, está construido en alambre de acero calibre 18 (1,04 mm de diámetro), 52 alambres, con espacio libre máximo entre ellos de 7,8 mm y semiejes mayor y menor de 8,73 cm y 7,23 cm, respectivamente. La canastilla está soportada en una estructura metálica ligera, que le permite girar sobre su eje mayor. Dispone de un mango en madera de 1,24 m de longitud para su manejo. Al pasarlo sobre los frutos, por su peso propio (1,15 kg) y la componente vertical de la fuerza (F) aplicada por el operario al mango del equipo ($F \cos \theta$, siendo θ el ángulo que forma el eje del mango del equipo con el piso) los alambres se separan por el efecto cuña para permitir el ingreso del fruto al interior de la canastilla. Una vez el fruto está en el interior de la canastilla su propio peso no es suficiente para volver a abrir los alambres, quedando así retenido. Los frutos recogidos con el dispositivo se descargan utilizando un gancho o vaciador para separar los alambres con mínimo esfuerzo y permitir que caigan fácilmente dentro de un recipiente recolector (Figura 1b).

La fuerza requerida, en Newton (N), para ingresar frutos al interior de la canastilla fue determinada en esta investigación (Figura 2), para los estados de verde, maduro, sobremaduro y seco, utilizando una máquina para deformación controlada INSTRON 5569, con velocidad de avance del cabezote de 250 mm.min⁻¹, obteniendo valores de 1,97 N (c.v. 20,0%), 1,84 N (c.v. 38,4%), 3,84 N (c.v. 44,9%) y 3,11 N (c.v. 61,3%), respectivamente.

Para la evaluación de la eficacia del equipo, esta investigación se realizó en la Estación Central Naranjal, localizada en el municipio de Chinchiná (Caldas). Se dispuso de tres lotes experimentales, el primero, sembrado con Variedad Castillo® Naranjal de 3 años, dos ejes (o tallos) por sitio, con distancia entre árboles de 1,5 x 1,5 m y pendiente del terreno de 0% a 15%; el segundo sembrado con Variedad Castillo®, árboles de 3 años, dos ejes por

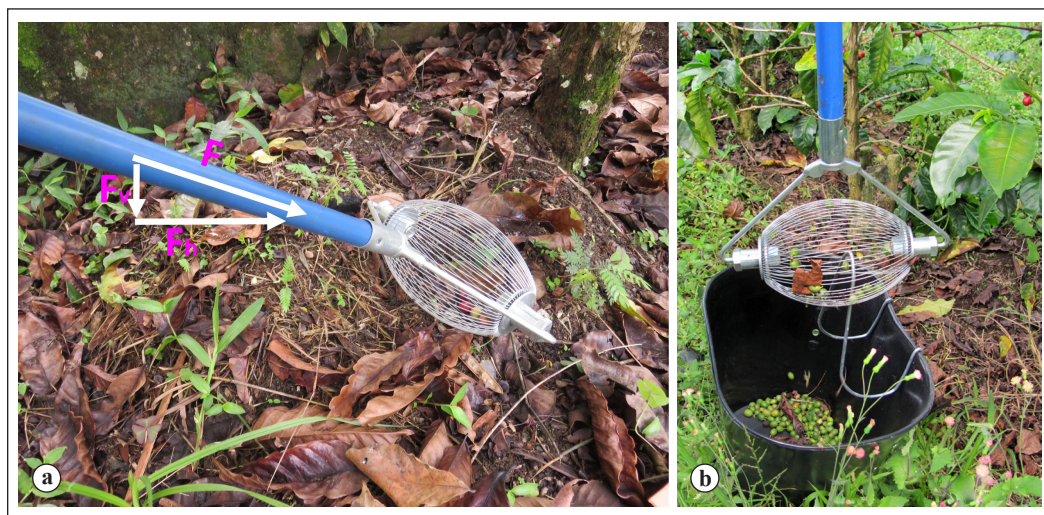


Figura 1. a. Dispositivo evaluado en la recolección de frutos de café del suelo, **b.** descarga de frutos de café recogidos.

sitio, distancia de siembra de 1,0 x 2,0 m y pendiente del terreno del 5%; el tercer lote, corresponde a una zoca de Variedad Castillo®, de 2 años, dos ejes por sitio, sembrados a 1,5 x 1,5 m, en terreno con pendiente del 10% al 20%.

En cada lote se evaluó la condición del suelo alrededor del tallo de la planta o plato del árbol (definida por el área de gotera del follaje), esto es: sin platear (cubierto con mulch y arvenses nobles) y plateada (cuando la base del planta

de café está limpia) y en cada una el número de frutos colocados en el suelo por árbol (3, 6, 9, 12 y 15 frutos/árbol). La unidad de trabajo estuvo conformada por el sitio o plato del árbol, y por cada condición y tratamiento se tuvieron 15 unidades, las cuales fueron asignadas a cada tratamiento (Tabla 1), de acuerdo al diseño experimental bloques completos al azar en arreglo factorial 2x5 (dos condiciones del lote x cinco cantidades de frutos) donde el factor de bloqueo fue el operario.



Figura 2. Empleo del equipo INSTRON 5569 en la determinación de la fuerza requerida para el ingreso de frutos de café al interior de la canastilla.

Tabla 1. Tratamientos evaluados

No.	Plato del árbol	No. frutos/plato
1	Sin plateo	3
2		6
3		9
4		12
5		15
6	Con plateo	3
7		6
8		9
9		12
10		15

Antes de aplicar los tratamientos, se recolectaron todos los frutos del suelo, garantizando que el sitio o plato del árbol quedara limpio de frutos.

Previo a la utilización del equipo se realizaron las siguientes actividades:

1. Descripción y capacitación a los operarios en el manejo del equipo.
2. Asignación aleatoria de los tratamientos en cada unidad experimental.
3. Colocación de los frutos en el plato del árbol de café, de acuerdo al tratamiento asignado (Figura 3a).
4. Recolección de los frutos con el dispositivo (Figura 3b). Se registró el tiempo empleado en hacer la labor de recolección por cada unidad experimental (variable complementaria).
5. Descargue de la masa recolectada por cada unidad experimental.
6. Limpieza de la masa recolectada y conteo de frutos recolectados (Figura 3c).
7. Recolección manual de frutos que no se recogieron con la canastilla, en cada sitio.

Con los registros del número de frutos recolectados y los frutos sin recoger con la canastilla, se obtuvo la variable de respuesta porcentaje de frutos recolectados con la canastilla.

Análisis de la información

Con la variable de respuesta y la variable complementaria, se estimó para cada condición y tratamiento el promedio y el error estándar.

Con la variable de respuesta se realizó el análisis de varianza para el diseño bloques completos al azar en arreglo factorial 2x5 (condición del lote y número de frutos), al 5%, y se aplicó la prueba de comparación de promedios de diferencia mínima significativa al 5% y la prueba de comparación de promedios de Tukey al 5%.



Figura 3. Actividades realizadas en la evaluación de la canastilla. **a.** Colocación de frutos en el plato del árbol, según tratamiento, **b.** recolección de frutos y **c.** café recolectado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2, se presenta el promedio y el error estándar para la variable porcentaje de frutos recolectados con la canastilla, en los factores evaluados.

El análisis de varianza no mostró efecto ni de la interacción (condición del plato del

árbol por número de frutos) ni del factor número de frutos en el suelo, pero sí de la condición del plato (sin platear y plateado).

En la condición sin platear, el promedio de la variable de respuesta fluctuó entre los tratamientos (número de frutos) entre 43,7% y 54,8%, mientras que en la condición plateado el promedio varió entre 80,7% y 85,9% (Tabla 2).

La prueba de comparación de diferencia mínima indicó diferencia a favor de la condición plateado, es decir, con la canastilla se retiran más frutos del suelo, dado que no hay interferencia al utilizarla por el mulch (hojarasca) y las arvenses (Tabla 2).

En cuanto al tiempo empleado para recoger los frutos del suelo con la canastilla (variable complementaria), el tiempo promedio utilizado cuando se trabaja en un plato con hojarasca (condición sin platear), es de 9,54 s por sitio, con un error estándar de 0,24 s, mientras que cuando el plato está limpio el tiempo es de 8,22 s, diferencias estadísticamente significativas según prueba de diferencia mínima significativa al 5% (Figura 4a).

El tiempo empleado para recoger 12 y 15 frutos del suelo fue de 10,65 y 10,98 s, respectivamente, mayores a los empleados para recoger 9, 6 y 3 frutos, respectivamente (Figura 4b).

En la Tabla 3 se presentan los tiempos empleados por cada uno de los operarios (factor de bloqueo), de los cuales el operario dos, fue quien realizó la labor en menor tiempo por sitio, es decir, se logró la finalidad del diseño experimental aplicado.

Considerando el tiempo empleado en otras actividades como descargar los frutos recogidos a un recipiente y desplazarse entre

Tabla 2. Promedio y error estándar para el porcentaje de frutos recolectados con la canastilla para cada condición de la parcela y número de frutos en el suelo.

Número de frutos en el suelo	Condición del plato			
	Sin platear		Plateado	
	Promedio (%)	Error (%)	Promedio (%)	Error (%)
3	54,1	5,73	85,9	2,89
6	54,8	4,98	80,7	2,89
9	50,6	4,84	85,4	2,20
12	51,5	4,97	80,7	2,17
15	43,7	4,63	82,5	1,80
General	50,9	B	83,1	A

*Para la condición de la parcela, letras distintas indican diferencias, según prueba diferencia mínima significativa al 5%

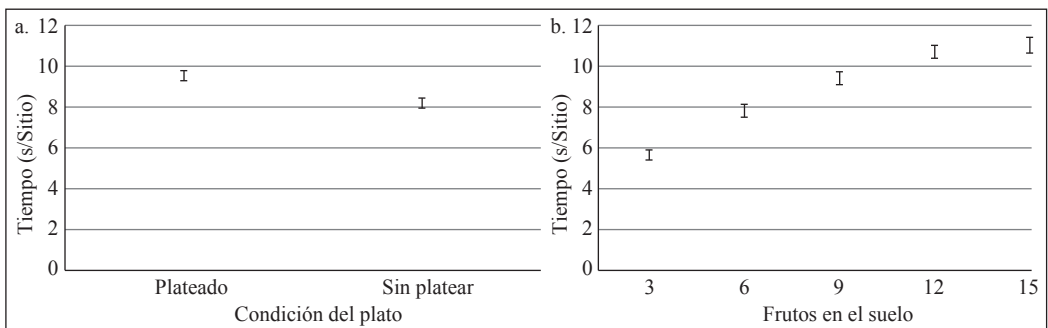


Figura 4. Promedio y error estándar para el tiempo de recolección de frutos con la canastilla según: **a.** la condición del plato y **b.** el número de frutos en el suelo.

Tabla 3. Promedios y error estándar (EE) para el tiempo de recolección de frutos y por sitio por operario.

Plato	Promedio	EE	Operario uno		Operario dos		Operario tres	
			Promedio	EE	Promedio	EE	Promedio	EE
Sin plateo	9,54	0,24	10,46	a 0,43	8,05	b 0,30	10,1	a 0,46
Con plateo	8,21	0,24	8,62	a 0,46	6,86	b 0,31	9,15	a 0,42

*Para cada estado del plato, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, según prueba de Tukey al 5%.

árboles, en 8 horas efectivas de trabajo por jornada y en un lote con una densidad de 5.000 árboles/ha, con la canastilla un trabajador podría desplazarse por mínimo 2.526 árboles/jornada de trabajo; por lo tanto, para recoger los frutos en platos de café, en una hectárea, con densidad de 5.000 árboles/ha, se requieren dos jornales, resultado similar al observado con el equipo Cifarelli V77S (7).

El costo de recolección de frutos del suelo con la canastilla asciende a \$ 118.252 por hectárea, considerando un valor del dispositivo de \$ 200.000, vida útil de 500 h (teniendo en cuenta experiencias en otros países con este dispositivo) y valor del jornal actual \$ 55.126, incluyendo prestaciones sociales. Este valor es inferior (52,4%) al que se obtiene con el equipo Cifarelli V77S, \$ 248.662 por hectárea, considerando costos actuales

de equipo, mano de obra (con prestaciones sociales) y combustible (7).

A diferencia de equipos operados con motores de combustión interna, como el Cifarelli V77S, la canastilla no genera ruido, no emite gases de combustión, pesa menos y causa menos fatiga al operario a lo largo de la jornada de trabajo. Adicionalmente, es muy versátil para trabajar en cafetales en las distancias de siembra y condiciones topográficas colombianas. Para prolongar su vida útil debe tenerse cuidado en su operación y limpiarlo al final de la jornada de trabajo.

Algunas consideraciones que se han evidenciado en el trabajo con este equipo son:

- Los frutos localizados debajo del mulch son los de mayor dificultad para recoger con la canastilla.
- El peso de la canastilla es suficiente para introducir los frutos en su interior. Al aplicar el operario fuerza adicional

aumenta la separación de los alambres permitiendo el escape de frutos recogidos.

- Los frutos contenidos en la canastilla deben descargarse cuando su volumen sea máximo el 50% el volumen de ésta. Con ello disminuye el escape de frutos y el peso de la canastilla, que puede causar fatiga al operario.
- La recolección de frutos con la canastilla, se dificulta a una distancia inferior de 7,2 cm del tallo, como se observa en la Figura 5.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al señor José Lorenzo Muñoz S., de Jupiter's Nuts.com (Chile), por facilitar los equipos e información sobre su empleo en cultivos en Chile, al ingeniero Mauricio García Navarro y al personal de Cenicafé en Ingeniería Agrícola y en la Estación Central Naranjal por su colaboración en la realización de los ensayos.



Figura 5. Recolección de frutos con la canastilla en áreas cercanas al tronco del árbol de café.

LITERATURA CITADA

1. ACOSTA A., R.; OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R. Recolección de frutos de café caídos al suelo. *Cenicafé* 57(4): 312-319. 2006.
2. BUSTILLO P., A. E. 2002. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Federacafé, Cenicafé, Chinchiná, Colombia. Boletín Técnico No. 24, 40p
3. CONSTANTINOC., L.M. La broca del café... un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y altitud. *Brocarta* 39. Chinchiná, Cenicafé. 2010. P.1-2.
4. LÓPEZ F., H.A.; OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.. Disminución del costo unitario de la cosecha de café con el empleo de un método de recolección manual asistido. *Cenicafé* 57(4): 262-273. 2006.
5. MARTÍNEZ R., R.A.; MONTOYA R., E.C.; VÉLEZ Z., J.C.; OLIVEROS T., C.E. Estudio de tiempos y movimientos de la cosecha manual del café en condiciones de alta pendiente. *Cenicafé* 56(1): 50-66. 2005.
6. OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ V., J.A.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; MORENO C., E.; PEÑUELA M., A. Cosecha manual de café utilizando mallas plásticas. 2006, 8p. (*Avances Técnicos* N° 354).
7. OLIVEROS T., C.E.; LÓPEZ F., H.A.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; BUSTILLO P., A. E. Recolección de frutos de café del suelo con la máquina Cifarelli V77S. 2010, 12p. (*Avances Técnicos* N° 394).
8. SILVA, F. Moreira de. Colheita mecanizada e seletiva do café. UFLA/FAEPE. Lavras, Minas Gerais (Brasil). 75p. 2004.

GENETIC VARIABILITY AND POPULATION STRUCTURE OF THE COFFEE BERRY BORER *Hypothenemus hampei* (Ferrari) IN BRAZIL, INFERRED BY AFLP MARKERS

Zulma Nancy Gil P.*, Pablo Benavides Machado*, Eric Hernández H.**,
Kátia Nogueira Pestana***, Daniela Fontes Gomide*, Eraldo Lima*

GIL P., Z.N.; BENAVIDES M., P.; HERNÁNDEZ H., E.; NOGUEIRA P., K.; FONTES G., D.; LIMA, E. Genetic variability and population structure of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in Brazil, inferred by AFLP markers. *Cenicafé* 65 (2):42-54. 2014

The genetic variability of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) was evaluated in populations from Brazil using amplified fragment length polymorphism (AFLP). DNA samples from 15 coffee sites in Brazil were evaluated. Low genetic variability was observed, but enough polymorphisms to determine the population structure of *H. hampei* in Brazil. The results of this investigation allowed to comprise the entire *H. hampei* population from Brazil into three genetic branches, with a marginal value of directional gene flow of 6% between groups one and two and the absence of migrants from groups two and three. Of the total genetic variation of the coffee berry borer in Brazil, 96% was within populations. The total population differentiation value ($F_{ST} = 0.1679$) was high; however, heterogeneity was observed in the F_{ST} values when performing pairwise comparisons of populations. The average percentage of polymorphic loci was 16.89% among all of the samples, and the highest values were observed in the Uberlândia region (36.36%), which also harbored the highest number of unique AFLP fingerprints (seven). The results of this research allow to conclude that, contrary to old reports of the introduction of coffee berry borer in Brazil (Campinas), other coffee areas such as Uberlândia and Santa Cruz de Cabrália may have been the point of entrance of this insect pest into the country. The insect individuals from this region could serve in the development of molecular markers for further ecology and biology studies of the coffee berry borer in Brazil.

Keywords: Bayesian analysis, Coffee pest, Genetic structure, Molecular markers.

VARIABILIDAD GENÉTICA Y ESTRUCTURA DE POBLACIONES DE LA BROCA DEL CAFÉ *Hypothenemus hampei* (Ferrari) EN BRASIL, USANDO MARCADORES AFLP

La variabilidad genética de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) se evaluó en las poblaciones de Brasil mediante la técnica AFLP (Polimorfismos en la Longitud de Fragmentos Amplificados). Se evaluaron muestras de ADN de la broca del café procedentes de 15 sitios cafeteros en Brasil. Se observó baja variabilidad genética, pero suficientes polimorfismos para determinar la estructura de las poblaciones de la broca del café en Brasil. Los resultados de esta investigación permiten comprender toda la población *H. hampei* de Brasil en tres ramas genéticas, con un valor marginal del flujo de genes direccional de 6% entre los grupos uno y dos y la ausencia de emigrantes desde los grupos dos y tres. De la variación genética total de la broca del café en Brasil, el 96% estuvo dentro de las poblaciones. El valor total de diferenciación de la población ($F_{ST} = 0.1679$) fue alta; sin embargo, se observó heterogeneidad en los valores F_{ST} al realizar comparaciones por pares de poblaciones. El porcentaje medio de loci polimórficos fue 16,89% entre todas las muestras, y se observaron los valores más altos en la región de Uberlândia (36,36%), que también albergó el mayor número de huellas de AFLP únicos (siete). Los resultados de esta investigación permiten concluir que, contrario a los informes anteriores de la introducción de la broca del café en Brasil (Campinas), otras zonas cafeteras como Uberlândia y Santa Cruz de Cabrália pueden haber sido el punto de entrada de esta plaga en el país. Los individuos de insectos de estas regiones podrían servir en el desarrollo de marcadores moleculares para estudios de ecología y biología de la broca del café en Brasil.

Palabras clave: Análisis Bayesiano, plaga del café, estructura genética, marcadores moleculares

*Investigador Científico II e Investigador Científico III, respectivamente, Disciplina de Entomologia, Centro Nacional de Investigações de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

**Candidato a Doctorado, Universidad Estatal Paulista (Brasil).

***Candidato a Post- Doctorado, Estudiante de pregrado y Profesor Ph.D., respectivamente. Universidad Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, CEP 36571-000.

The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae), is one of the most significant insect pests in coffee crops worldwide Baker *et al.* (3); Murphy and Moore (22). *H. hampei* causes severe losses in coffee production and quality by infesting developing berries, which provide a suitable habitat for the coffee berry borer to reproduce, rear offspring and seek protection from predators and adverse weather conditions Le Pelley (20).

Similarly to coffee itself, *H. hampei* originated in Africa and has extended its range as cultivation has expanded; the coffee berry borer is now prevalent in more than 59 countries that produce this commodity, with the exceptions of Nepal and Papua New Guinea Vega *et al.* (32). The most recent introduction of *H. hampei* was documented in 2010 on several farms in the Kona region of Hawaii (García) (16).

The mating system of the coffee berry borer ensure high inbreeding such as to consider local mate competition (LMC); briefly, after colonization by only a founder female, the progeny is shaped by female-biased sex brood in which male siblings compete for mating opportunities within local groups. This reproductive system is aggravated by a combination between full sib-mating and pseudo-arrhenotoky, strongly suggesting that *H. hampei* reproduces in strict matrilineal lines. Thus, males do not fly outside of their ecological patch, and mating occurs as pre-dispersal events, which promotes homozygosity and causes low genotypic variability Borsa and Gingerich (8). This characteristic is accentuated by the potential mechanism of "functional haplodiploidy" in which both males and females are diploid, but later fail to express and transmit paternal chromosomes (Brun *et al.*) (9).

The genetics of *H. hampei* has not been studied extensively. Studies on the variability and genetic structure of this species were conducted by Borsa and Gingerich (8), who used allozymes to find variations in the coffee berry borer populations of New Caledonia and the Ivory Coast at two loci, Mdh-2 and Mpi, in 88 and 21 insects of seven and four populations, respectively. These authors reported a high level of inbreeding ($F_{IS} = 0.298$) and an average genetic heterozygosity of $H = 0.080$. These results were confirmed in Africa by Gauthier and Rasplus (17), who isolated seven polymorphic microsatellites from *H. hampei* and evaluated them in coffee berry borer populations collected in Nairobi, Kenya and Jima, Ethiopia. A low genetic diversity per locus was observed, with between two and five alleles in 39 individual samples, a deficit of heterozygosity in the population averaging $H_O = 0.10/H_E = 0.50$ and a high inbreeding coefficient ($F_{IS} = 0.70-1.00$).

Using the amplified fragment length polymorphism (AFLP) technique, Benavides *et al.* (4) studied the diversity and biogeography of *H. hampei* in coffee berry borer samples from 17 countries of Africa, Asia and America, and found a low genetic variability of this insect (10% average polymorphism per sample), confirming the findings of Borsa and Gingerich (8), Gingerich *et al.* (19), Andreev *et al.* (1) and Damon (12). In the same study, Benavides *et al.* (4) reported the introduction of three genetic lineages onto the American continent, either through independent introductions of several lineages or a single introduction of multiple lineages, and at least two lineages were first introduced to Brazil and subsequently dispersed throughout the Americas.

The results of Benavides *et al.* (4) are consistent with the colonization history of the pest in Brazil Bergamin (5) and support

the hypothesis that Brazil is the origin of this insect in the Americas. This model is substantiated by Gauthier (18), who analyzed microsatellite markers in 683 individuals collected from 37 locations in 18 countries and identified four genetic populations, K1 to K4. The samples from Brazil are the basis of the K3 (American) group, comprising Central American (except Jamaica) and South American countries (Colombia and Brazil). In group K3, two subpopulations were identified, in which all of the individuals in Brazil were assigned to subgroup K3a, and those belonging to other countries were assigned to subgroup K3b.

Previous reports support the conclusion that the introduction of *H. hampei* from Africa to the Americas occurred in Brazil and Jamaica and that Brazil is the origin of the American coffee berry borer (Benavides *et al.* (4), although coffee berry borer AFLP DNA fingerprints reported elsewhere in the Americas have not been found in Brazil, which may be due to the low number of samples tested. Therefore, including a larger number of samples from this country in further studies of the genetic diversity of the coffee berry borer will be useful in the search for polymorphisms for the development of markers as tools for molecular biology, ecology (studies of dispersion) and genetics research on this insect.

A range of techniques and markers has been developed to estimate genetic diversity, but there are no universal standards, and the choice of the technique depends on the type of study to be performed (Ulrich and Wolfenbarger) (31). Because the coffee berry borer is highly inbred and has very low genetic variability, techniques such as the analysis of AFLP markers, are adequate. This allows the evaluation or determination of the percentages of polymorphisms of dominant

loci throughout the genome and is useful for establishing the relationships between genomic DNA samples and for finding genetic markers Vos *et al.* (34). When using dominant markers, such as AFLP, it is recommended to use several approaches to estimate population differentiation, thus providing greater confidence in data interpretation Bonin *et al.* (7).

The objective of this study was to determine the genetic variability and population structure of the coffee berry borer in Brazil. It is hypothesized that the lineages arrived in Brazil and then dispersed and colonized areas throughout the country and, therefore, should have the greatest genetic variability.

MATERIALS AND METHODS

Insect samples. *H. hampei* samples were obtained from 15 coffee regions in six states in Brazil (Figure 1). At each region, we collected 50 coffee beans infested by the coffee berry borer that only had a single hole. A fertile female was extracted from each berry to start a breeding stock on an artificial diet as described by Portilla (26), in order to obtain enough individuals for the extraction of genomic DNA.

METHODS

Isolation and quantification of genomic DNA. For this procedure, ten samples of *H. hampei* were taken from each location (n = 150), each sample was constituted by a pool of 30 individuals. Total genomic DNA was extracted from each sample using the DNeasy tissue kit (QIAGEN, Valencia, CA). The DNA concentration (ng nucleic acid/ μ l of solution) and quality (the 260/280 nm absorbance ratio of the DNA sample) were measured using a NanoDrop ND 1000 (NanoDrop Technologies, Wilmington, Delaware USA).

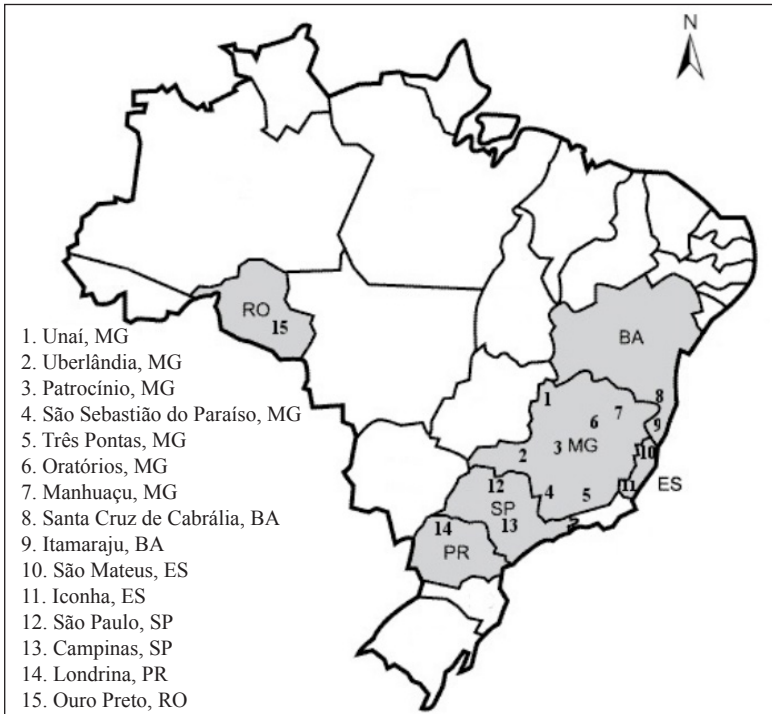


Figure 1. Map showing the locations of the 15 studied populations of *Hypothenemus hampei* in Brazil (Bahia, BA; Minas Gerais, MG; Espírito Santo, ES; São Paulo, SP; Paraná, PR; Rondônia, RO).

Methods for genetic analysis. A protocol for the AFLP technique Vos *et al.* (34) was used to assess the variability and genetic structure of the populations of *H. hampei*. High-quality DNA (50 ng/8 μ l) from each sample was digested with a pair of restriction enzymes (*EcoRI/MseI*) and ligated to double-stranded *EcoRI/MseI* adaptors. The ligation was pre-amplified with nonselective primers, and selective amplification was subsequently performed using four primer combinations (E-CGC/M-ATG, E-CAG/M-AAC, E-CCG/M-AGT and E-CTC/M-AGT). The products were separated on 6% polyacrylamide gels in Owl vertical electrophoresis chambers at 90 W for 2.5 h. The gels were stained with a silver nitrate solution with formaldehyde, scanned and analyzed.

Data analysis. High levels of inbreeding have been observed in the coffee berry

borer Borsa & Gingerich, (8). Therefore, the null allele frequency (the number of individuals without bands) must be used to estimate allele frequencies. Allele frequencies were estimated using the Bayesian method developed by Zhivotovsky (36) and implemented in AFLP-SURV 1.0 Vekemans *et al.* (33), which assumes a non-uniform distribution of allele frequencies. A value of $F_{IS} = 1$ was set, with 500 permutations of the F_{ST} to estimate the significance among populations. Using Genalex 6 (Peakall and Smouse) (23), an analysis of molecular variance (AMOVA) was performed to determine the variation between and within populations. A dissimilarity matrix was estimated using simple-matching coefficient (Sokal and Michener) (28) after loaded into MEGA software Tamura *et al.* (29) for Neighbor-joining tree construction; additionally, agglomerative

hierarchical clustering was implemented in order to corroborate Neighbor-joining clustering process.

STRUCTURE 2.2 was used to determine the probability that each sample collected belonged to a different population Pritchard *et al.* (25), using a model of recessive alleles for dominant markers and assuming the presence of an ancestral mix among populations and correlated alleles Falush *et al.* (15), i.e., the allele frequencies of the different populations are likely to be similar due to migration or a degree of shared ancestry, indicating that each individual has a certain fraction of each of the K assumed populations in its genome. STRUCTURE assumes that within a population, loci are in Hardy-Weinberg equilibrium (HWE) and in linkage equilibrium and assigns individuals to separate populations to eliminate violations of these assumptions.

With the above analysis, estimates of population and individual mix were obtained, and stratification analyses of the populations were performed using the Bayesian algorithm implemented in STRUCTURE. Simulations were performed with different K ancestral groups ($K= 1$ to $K = 15$ (total number of populations analyzed)). These simulations were performed with the specific parameters of STRUCTURE: BL = 10,000 and CL = 10,000, and 10 algorithm runs were performed for each K .

The ΔK statistical parameter Evanno *et al.* (14) was used to define the most probable number of populations (K) in the data. The modal value of the distribution of ΔK was obtained with STRUCTURE Harvester v0.6.1 Earl, (13). The approximate values of gene flow among the (K) clusters were estimated with BAPS (Tang *et al.*) (30).

RESULTS

Population structure and total polymorphisms. The total number of fragments or loci evaluated was 88, with an average of 54.1 per individual, and 36 of these fragments segregated (the fragments were present in certain individuals and absent in others), which accounted for 40.9% of all bands. The percentage of polymorphic loci averaged 16.89% among populations, ranging between 0 % and 36.36% (Table 1); the populations of São Mateus, Oratórios and Três Pontas showed no polymorphisms.

Samples from Patrocínio and Uberlândia were the only ones that presented unique or specific alleles, with one and two bands, respectively. Fewer than 25% of the populations shared rare alleles, specifically Patrocínio, Uberlândia, Santa Cruz de Cabrália, Manhauçu and Campinas.

Using AMOVA, we found that the variation was within populations, with a 96% contribution to the total genetic variation observed. A total of 37 AFLP DNA fingerprints (F) were observed in all of the populations; the most frequent was band pattern 2 (F-2), with frequencies above 0.5 in most populations, except for Santa Cruz de Cabrália and Uberlândia, where a frequency of 0.3 was observed. F-2 is the only DNA pattern present in São Mateus, Oratórios and Três Pontas (Figure 2). In addition to the pattern F-2, the population of Londrina harbored F-4 as a specific or unique DNA fingerprint highly related with F-2 and his cluster (distance 0,011) (Figure 3). Similarly, F-23 in Patrocínio population (frequency = 0.2) was related directly to F-2 (Figure 3). The population in Uberlândia (2) was more polymorphic and exhibited a higher number of specific fingerprints (seven): F-10, F-16, F-22, F-25, F-27, F-33 and F-35.

Table 1. Genetic diversity (percentage of polymorphic loci) of coffee berry borer populations in Brazil.

Identification map	Population	n	No. Polymorphic bands	% polymorphism
10	São Mateus, ES	10	0	0
6	Oratórios, MG	10	0	0
5	Três Pontas, MG	10	0	0
9	Itamarajú, BA	9	1	1,14
14	Londrina, PR	10	1	1,14
4	São Sebastião do Paraíso, MG	10	7	7,95
12	São Paulo, SP	10	18	20,45
11	Iconha, ES	10	19	21,59
15	Ouro Preto, RO	10	19	21,59
3	Patrocínio, MG	10	21	23,86
13	Campinas, SP	10	23	26,14
1	Unaí, MG	10	23	26,14
7	Manhuaçu, MG	10	29	32,95
8	Santa Cruz de Cabrália, BA	9	30	34,09
2	Uberlândia, MG	10	32	36,36
Average				16.89

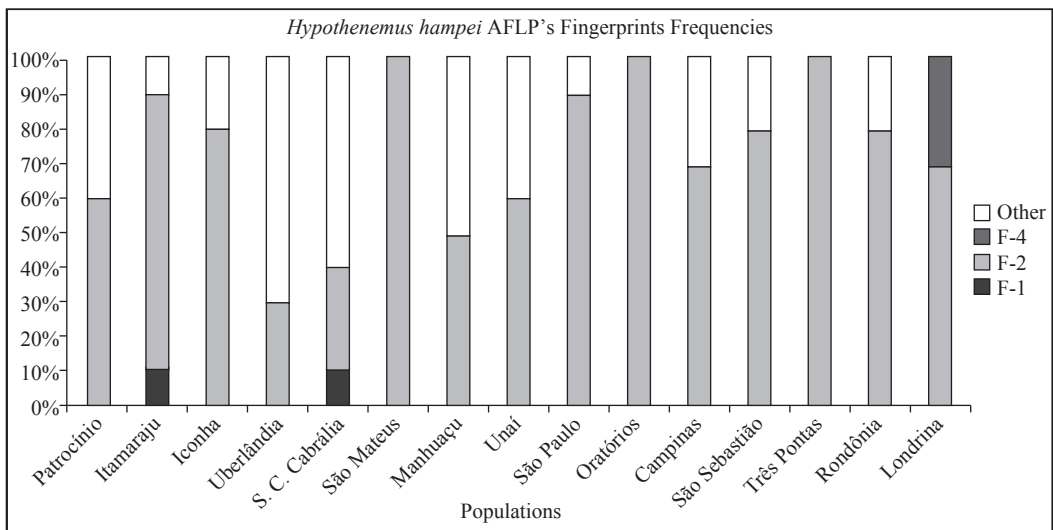


Figure 2. DNA fingerprints frequencies in coffee berry borer populations in Brazil determined by Haplotype Analysis 1.05.

Genetic differentiation. In the analyses of paired populations, the total population genetic differentiation was high ($F_{ST} = 0.167$) (Wright) (35). However, when performing a pairwise comparison of populations, heterogeneity was observed in F_{ST} values (Figure 4).

The greatest genetic differences were found among monomorphic and Uberlândia populations ($F_{ST} = 0.22$) followed by Santa Cruz de Cabrália ($F_{ST} = 0.17$); likewise, genetic differentiation was observed between Itamarajú and Uberlândia ($F_{ST} = 0.17$) and

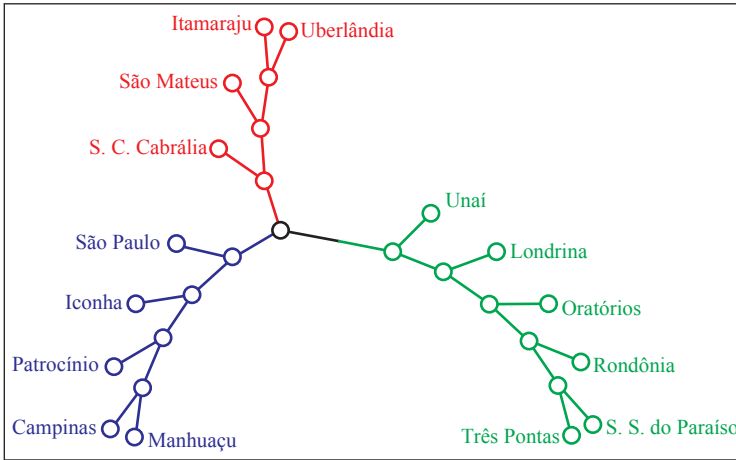


Figure 3. *H. hampei* AFLP fingerprints (A) and neighbor-joining analysis (B). The distribution of fingerprints among the samples as listed in table 1. Fingerprints and localities are color coded according to groups (B). Three major groups were identified. Bootstrap values is 95% or higher for all interior branches.

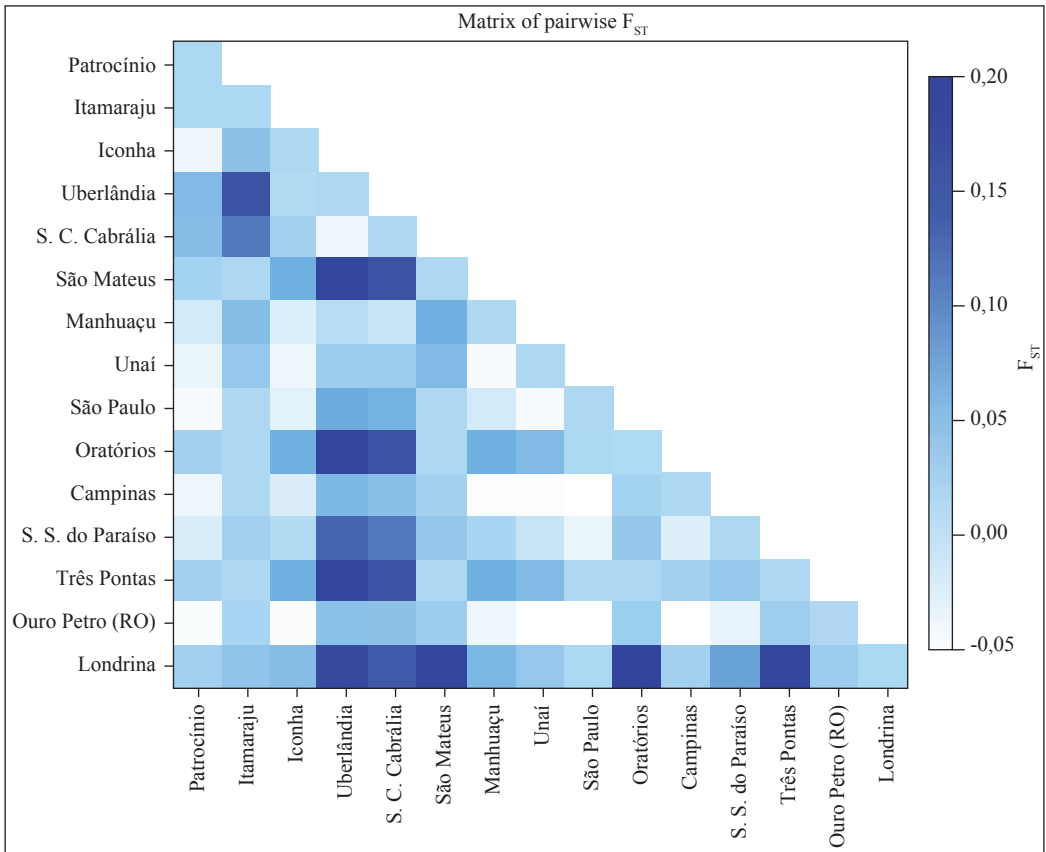


Figure 4. Indicator matrix of F_{ST} values for population pairs according to the analysis of genetic distances between fingerprints. Color intensity indicates F_{ST} values between population pairs. S.C. Cabrália, Santa Cruz de Cabrália; S.S. do Paraíso, São Sebastião do Paraíso.

between Londrina and the populations of Uberlândia (0.20), Santa Cruz de Cabrália (0.16), São Mateus (0.22), Oratórios (0.22) and Três Pontas (0.22). The population of Santa Cruz de Cabrália exhibited moderate differentiation from the population of Itamaraju (0.11).

Bayesian analysis of the structure of coffee berry borer populations in Brazil. Model simulations using the Bayesian method implemented in STRUCTURE showed a population structure of $K = 2$ and $K = 3$. However, the modal value of the distribution of ΔK indicated that the data clustered into three groups (i.e., $K = 3$) (Figure 5), i.e., that the populations of *H. hampei* in Brazil form three genetic groups.

The populations of Santa Cruz de Cabrália and, to a lesser extent, the Itamaraju samples exhibited genetic mixing of the three groups. Londrina, Patrocínio, Iconha, Uberlândia, Manhuaçu, Unai, São Paulo, Campinas, São

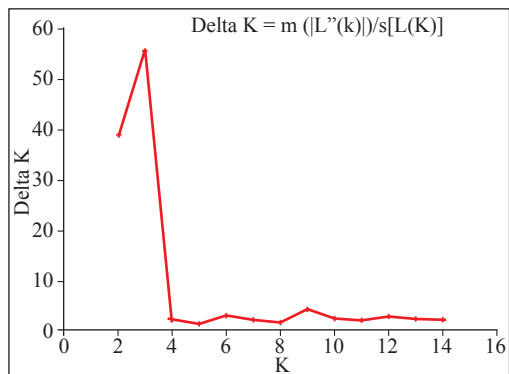


Figure 5. Modal value of the ΔK distribution (Evanno *et al.*) (14). The peak in the ΔK value confirms the grouping of data into three different populations.

Sebastião do Paraíso and Ouro Preto (RO) exhibited a mixture of two groups, and the populations of São Mateus, Oratórios and Três Pontas were unmixed, suggesting that a founder effect of the F-2 band pattern and geographic isolation maintains the homogeneity of the coffee berry borer in these regions (Figure 6).

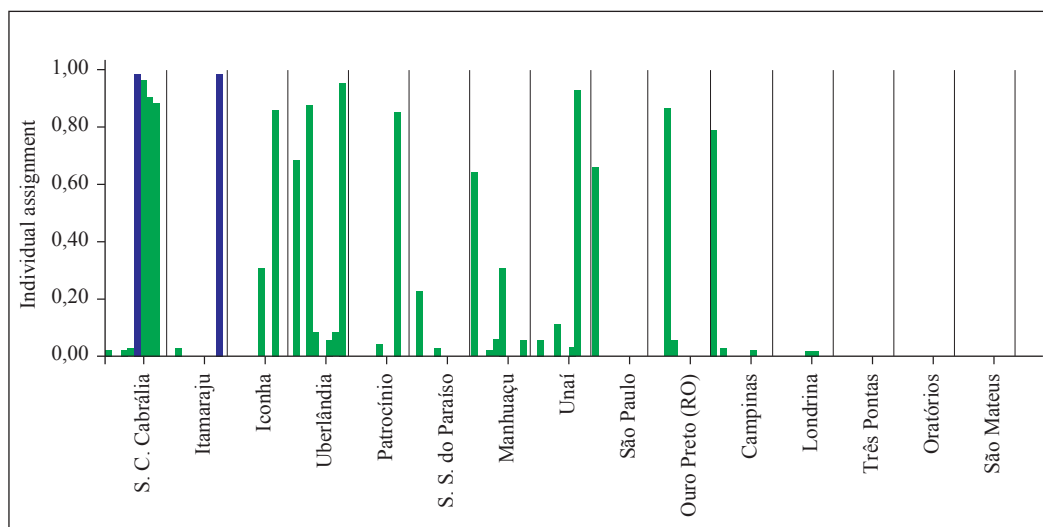


Figure 6. Stratification of Brazilian populations of *H. hampei* for $K = 3$. Each sample is represented by a vertical line divided into colors according to the proportion of a sample genome derived from an ancestral population.

With the assignment of samples to each of the groups identified as ancestral populations, a directional gene flow from the K1 group to the K2 group of approximately 6% and an absence of migrants from the K2 and K3 groups were observed (Figure 7).

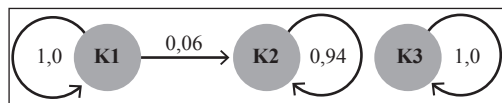


Figure 7. Gene flow between the Brazilian population groups that were evaluated ($K = 3$).

DISCUSSION

This study provides the first indication of the variability and genetic structure of populations of the coffee berry borer in Brazil and complements historical records (Bergamin) (5, 6) on the appearance of the pest in this country.

The four combinations of primers revealed low genetic variability but enough polymorphisms to determine the genetic structure of *H. hampei* populations in Brazil. The low genetic diversity of the coffee berry borer in this country confirms the results of Borsa and Gingerich (8) (allozymes), Gingerich *et al.* (19), Andreev *et al.* (1), Damon (12), Gauthier *et al.* (18) (microsatellites) and Benavides *et al.* (4) (AFLP) who found that the pest has a high degree of homozygosity and low genetic variability. However, these results diverge from those of Gauthier (18), who found considerable variation between groups of *H. hampei* when using microsatellite markers and other approaches. Deviation from HWE was observed at all loci, with a significant heterozygote deficiency and a very high F_{IS} (≥ 0.74).

Benavides *et al.* (4) found that the genetic diversity of *H. hampei* is greater in Brazil

than in other Latin American countries. This observation supports the hypothesis that the coffee berry borer was introduced to the American continent through Brazil as a result of seed importation, becoming the origin of the American coffee berry borer. The above results are supported by Gauthier (18), who used Bayesian analysis and worldwide phylogenetic reconstructions and found five morphocryptic evolutionary units within *H. hampei* that grouped into four genetic populations: K1 (Ethiopia), K2 (Kenya), K3 (the American group with the exception of Jamaica and comprising Brazil, Colombia, the Dominican Republic, El Salvador, Nicaragua, Mexico, Guatemala and Costa Rica) and K4 (Jamaica, Togo, Cameroon, the Ivory Coast, India, New Caledonia and Java). In the American group, samples from Brazil formed the basis of the low genetic variability found in populations of this group, explaining the lack of heterozygosity and the high degree of consanguinity of this insect throughout the Americas. Additionally, the genetic variability of the Brazilian coffee berry borer is not dissimilar to that of Colombian populations, i.e., the introduction of a few founder lineages in Brazil and the subsequent dispersion of these lineages throughout the Americas explains the very low genetic variability on this continent Benavides *et al.* (4); Gauthier (18).

Given the frequency of F-2 in all of the populations evaluated, we can infer that this variant was the first DNA fingerprint initially introduced into Brazil in 1913 and subsequently created new patterns or was introduced together with other less frequent DNA patterns; the dissemination of this pattern is consistent with the history of colonization of the pest. According to Bergamin (5), after the first official record in 1924, the coffee berry borer colonized all of the bean-producing areas within a few years, and 33 years later,

it was documented throughout the country, which explains the widespread presence of this fingerprint in all of the samples.

The large number of patterns found in the populations of Uberlândia and Santa Cruz de Cabrália suggests that because of their relatively high genetic polymorphisms, these populations may be the oldest, or were subjected to higher rates of migration; however, according to records of the presence of the coffee berry borer in Brazil, the oldest populations should correspond to the locations of Campinas and São Paulo, where the infestation originated (Bergamin) (6). This finding is giving more arguments to consider other areas inside Brazil as the origin of the colonization of the coffee berry borer. The Uberlândia population was the most polymorphic (36.36%), with the highest number of unique band patterns (seven). These band patterns could be used to develop molecular markers to be used in ecological and biological studies of the coffee berry borer in Brazil.

These results differ from the historical record of the presence and colonization of the coffee berry borer in Brazil (Bergamin) (6). This difference may be due to introductions into sites outside of Campinas before 1913 that were not recorded because of factors such as unfamiliarity with the taxonomy of this species, which created confusion in identification and prevented the timely recognition of its introduction, or because a lack of plant health monitoring made it impossible to establish the correct date of arrival of the coffee berry borer in Brazil. Prior to 1922, Brazil unofficially imported whatever was needed, and seeds for planting different crops were brought in directly by the interested parties (Piza Junior) (24).

Bergamin (5) argued that both seed introductions by officers of the Board of Agriculture before 1913 and direct imports by producers were undoubtedly important factors in the introduction of the pest, leaving open the possibility of introductions before this date at sites other than Campinas. Bergamin (5) considered this region to be the site of introduction because in 1913, the State Agricultural Institute (Campinas) received coffee seeds from Java and Congo infested with the coffee berry borer; however, coffee planters in São Paulo imported seeds prior to 1913 from West Java, an island infested by the pest in 1909. Additionally, between 1901 and 1902, Brazil imported seeds of 88 varieties of coffee from around the world. It is not possible to confirm that these samples were carriers of the coffee berry borer, but it is also not possible to state that they were free of the pest; by this date, the coffee berry borer was already present in Congo (Africa) (Bergamin) (5).

Bayesian cluster analysis showed that *H. hampei* populations in Brazil formed three homogeneous genetic groups (i.e., $K = 3$). First, this finding appears to be consistent with Bergamin (5) records regarding the two possible introductions of this insect in seeds from Indonesia (Java) and Congo or both regions simultaneously and an additional group mediated by dispersal and gene flow between populations of the insect. This result also agrees with Benavides *et al.* (4), who found a large number of lineages in samples from two crops from Brazil, showing possible gene flow events between populations in these localities. Second, this introduction may have been a single introduction of multiple lineages, with the groups found today being defined by subsequent gene flow events between populations Benavides *et al.* (4) and a founder effect with genetic drift.

The dispersion of the pest is another important factor in population structure; *H. hampei* is dispersed in the field by human activities, wind and, on a larger scale, domestic and international trade Baker (2); Sánchez (27); Bustillo *et al.* (10); Castro *et al.* (11); Moreno *et al.* (21). In Brazil, due to geographical barriers and distances between coffee-producing areas, anthropogenic dispersal may be the primary cause; when the coffee berry borer arrived in Brazil, the coffee was harvested manually, and collectors moved among different production regions, becoming active vehicles for the movement of the insect between different locations. This factor could favor gene flow or migration among populations of the coffee berry borer and its effect depends on differences in the allele frequencies of the original populations.

The results of this research allow to conclude that, contrary to old reports of the introduction of coffee berry borer in Brazil (Campinas), other coffee areas such as Uberlândia and Santa Cruz de Cabrália may have been the point of entrance of this insect pest into the country, or were subjected to higher rates of migration. The insect individuals from this region could serve in the development of molecular markers for further ecology and biology studies of the coffee berry borer in Brazil.

ACKNOWLEDGEMENTS

The data presented in this work were obtained in the Molecular Biology of Plants (Biomol) and Biotechnology of Coffee (Biocafé) laboratories at the Universidade Federal de Viçosa (Federal University of Viçosa), Minas Gerais, Brazil. The authors thank Everaldo Gonçalves de Barros and Leonardo Corrêa da Silva for advice on laboratory protocols and the following colleagues for providing

samples of *H. hampei*: Antônio Alves Pereira (EPAMIG), Herculano Penna Medina Filho (IAC), Cesar Fanton (INCAPER), Cesar Augusto Teixeira (EMBRAPA, RO), Pedro Neves (UEL), Ronaldo Nogueira de Medeiros (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas de Gerais, Agricultural Research Corporation of Minas Gerais), Luis Fernando Rodrigues Puccinelli and CNPq-INCT-Semiochemicals in Agriculture. This research was funded by the Colombian Institute for the Development of Science and Technology, Colciencias, The Ministry of Agriculture and Rural Development of Colombia and National Coffee Research Center- Cenicafé.

REFERENCES

1. Andreev D, Breilid D, Kirkendall L, Brun LO, French-Constant RH (1998) Lack of nucleotide variability in a beetle pest with extreme inbreeding. *Insect Molecular Biology* 7, 197–200.
2. Baker PS (1984) Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern Mexico (Coleoptera: Scolytidae). *Folia Entomológica Mexicana* 62: 9-24.
3. Baker PS, Ley C, Balbuena R, Barrera JF (1992) Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries. *Bulletin of Entomological Research* 82, 145–150.
4. Benavides P, Vega FE, Romero-Severson J, Bustillo AE, Stuart JJ (2005) Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Annals of the Entomological Society of America* 98, 359–366.
5. Bergamin J (1945) The coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867). *Boletim da Superintendência dos Serviços do Café* 20, 6–14.
6. Bergamin J (1958) The coffee berry borer in Brazil. *Boletim da Superintendência dos Serviços do Café* 33, 21–22.
7. Bonin A, Ehrich D, Manel S (2007). Statistical analysis of amplified fragment length polymorphism data: a toolbox for molecular ecologists and evolutionists. *Mol. Ecol.* 16:3737–3758.

8. Borsa P, Gingerich DP (1995) Allozyme variation and an estimate of the inbreeding coefficient in the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei*. Bulletin of Entomological Research 85, 21–28.
9. Brun LO, Stuart J, Gaudichon V, Aronstein K, Ffrench-Constant RH (1995) Functional haplodiploidy: a mechanism for the spread of insecticide resistance in an important international insect pest. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 92, 9861–9865.
10. Bustillo AE, Cardenas R, Villalba D, Benavides P, Orozco J, Posada FJ (1998) Integrated management of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in Colombia. 134 pp. Cenicafe Chinchiná, Colombia.
11. Castro L, Benavides P, Bustillo AE (1998) Dispersion and mortality of *Hypothenemus hampei* during collection and processing of coffee. Integrated Pest Management 50, 19-28.
12. Damon A (2000) A review of the biology and control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Bulletin of Entomological Research 90, 453–465.
13. Earl DA (2011) Structure harvester v 0.6.1. Available at <http://taylor0.biology.ucla.edu/structureHarvester/>
14. Evanno G, Regnaut S, Goudet J (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software Structure: A simulation study. Mol Ecol 14:2611-2620.
15. Falush D, Stephens M, Pritchard JK (2007) Inference of population structure using multilocus genotype data: dominant markers and null alleles. Molec Ecol Notes 7, 574 - 578.
16. Garcia JN (2010) Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Plant Pest Control Branch, Division of Plant Industry, Hawaii Department of Agriculture 10-01 September, 2p.
17. Gauthier N, Rasplus JY (2004) Polymorphic microsatellite loci in the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera, Scolytidae). Molecular Ecology Notes 4 294–296.
18. Gauthier N (2010) Multiple cryptic genetic units in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytinae): evidence from microsatellite and mitochondrial DNA sequence data. Biological Journal of the Linnean Society 101, 113-129.
19. Gingerich DP, Borsa PD, Suckling M, Brun LO (1996) Inbreeding in the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) estimated from endosulfan resistance phenotype frequencies. Bulletin of Entomological Research 86, 667–674.
20. Le Pelley RH (1968) Pests of coffee. London, Longmans Green and Co. 590 pp.
21. Moreno D, Bustillo AE, Benavides P, Montoya EC (2001) Escape and mortality of *Hypothenemus hampei* in the process of collection and processing of coffee in Colombia. Cenicafe 52, 111-116.
22. Murphy ST, Moore D (1990) Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. Biocontrol News and Information 11, 107–117.
23. Peakall R, Smouse PE (2006) GenAlEx 6: Genetic Analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. Molecular Ecology Notes 6, 288–295.
24. Piza Junior ST (1928) *Stephanoderes hampei* (Coffee Berry Borer). Secr Agric, Sao Paulo, 52 pp.
25. Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P (2000) Inference of population structure using multilocus genotype data. Genetics 155 945-959.
26. Portilla R., M. (1999). Desarrollo y evaluación de una nueva dieta artificial para criar *Hypothenemus hampei*. Cenicafe 50(1):24-38.
27. Sánchez R (1985). Biology of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferr.), pp. 97-104. In P.-Anacafé [ed.], Course on Integrated Management of Cafeto Pests, with emphasis on the Berry Borer (*Hypothenemus hampei* Ferr.). Promecafé -Anacafé, Guatemala.
28. Sokal RR, Michener CD (1958) A statistical method for evaluating systematic relationships. University of Kansas Science Bulletin, 38, 1409–1438.
29. Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M, and Kumar S (2011) MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony Methods. Molecular Biology and Evolution 28: 2731-2739.
30. Tang J, Hanage WP, Fraser C, Corander J (2009) Identifying currents in the gene pool for bacterial

- populations using an integrative approach. PLoS Comput Biol 5, e1000455. Epub 2009 Aug 7
31. Ulrich G. M., Wolfenbarger LL. (1999) AFLP Genotyping and Fingerprinting. Trends Ecol Evol 14 (10): 384-394.
32. Vega EF, Infante F, Castillo A, Jaramillo J (2009) The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions Terrestrial Arthropod Reviews 2, 129–147.
33. Vekemans X, Beauwens T, Lemaire M, Roldan-Ruiz I (2002) Data from amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers show indication of size homoplasy and of a relationship between degree of homoplasy and fragment size. Molec Ecol 11, 139-151.
34. Vos P, Hogers R, Bleeker M, Reijans M, Van de Lee T, Hornes M, Frijters A, Peleman J, Kuiper M Zabeau M (1995) AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. Nucleic Acids Research 23, 4407–4414.
35. Wright S (1978) Evolution and the Genetics of Populations vol. 4, Variability Within and Among Natural Populations. University of Chicago Press, Chicago, IL.
36. Zhivotovsky LA (1999) Estimating population structure in diploids with multi-locus dominant DNA markers. Molecular Ecology 8, 907–913.

INTERCAMBIO GASEOSO EN *Eucalyptus pellita* F.Mell Y *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden EN DOS REGIONES DE COLOMBIA

Héctor Alberto Chica Ramírez*; Ángela María Castaño Marín**;
Néstor Miguel Riaño Herrera***; Diego Obando Bonilla****

CHICAR., H. A.; CASTAÑO M., Á. M.; RIAÑO H., N. R.; OBANDO B., D. Intercambio gaseoso en *Eucalyptus pellita* F.Mell y *Eucalyptus grandis* E. Hill ex Maiden en dos regiones de Colombia. Revista Cenicafé 65 (2): 55-72. 2014

Con el objetivo de aproximarse al entendimiento de la ecofisiología de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus pellita* en dos regiones colombianas, se determinaron las relaciones entre la Asimilación de carbono (A) y algunas variables ambientales y fisiológicas. Para los días de medición la asimilación máxima (A_m) estuvo alrededor de $25 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en las dos especies forestales. Al relacionar la fotosíntesis con la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA), la conductancia estomática (g_s) y con la relación Transpiración/Déficit de Presión de Vapor (E/DPV), se encontró un modelo exponencial asintótico en el cual se da una A máxima. La relación entre la A con la conductancia interna de CO_2 (C_i) y con el DPV , fue exponencial decreciente en la cual a medida que aumenta la variable explicativa, disminuye la respuesta (A). Los modelos tridimensionales permitieron cuantificar la correlación de la asimilación con la RFA vs el DPV y la asimilación con la RFA vs. la temperatura estableciendo un valor máximo de asimilación para *E. pellita* y *E. grandis* de 21,63 y 25,17 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ cuando se alcanzan 29,01 °C y 21,04 °C combinados con 1221 y 1227 $\mu\text{mol}(\text{fotones}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ para cada especie respectivamente. Y, otro valor máximo de asimilación de 21 y 22 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ cuando se alcanza un DPV de 12,98 y 6,8 mb combinado con 1187 y 1190 $\mu\text{mol}(\text{fotones}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente para *E. pellita* y *E. grandis*. La significancia estadística (p -valor $< 0,0001$) de los parámetros evaluados permite tener valores asociados a niveles de probabilidad que pueden ser utilizados para alimentar el modelo de crecimiento y captura de carbono CREFT V 2.0.

Palabras clave: Conductancia estomática, déficit de presión de vapor, radiación fotosintéticamente activa, *Eucalyptus pellita*.

GAS INTERCHANGE OF *Eucalyptus pellita* F.Mell y *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden IN TWO COLOMBIAN REGIONS

In order to approach the understanding of the eco-physiology of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus pellita* in two Colombian regions, the relationship between photosynthesis and carbon assimilation (A) and some environmental and physiological variables were determined. The maximum assimilation (A_m) was around $25 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ for both forest species. By relating photosynthesis with photosynthetic active radiation (PAR), stomatal conductance (g_s) and the ratio transpiration / Vapor Pressure Deficit (E / VPD), it was found an asymptotic exponential model in which there is an A maximum (A_m). The relationship between A with the internal conductance of CO_2 (C_i) and the DPV , was exponential decay in which as the explanatory variable increases, the response (A) decreases. Three-dimensional models allowed to quantify the correlation of assimilation with RFA vs. VPD and assimilation with RFA vs. temperature setting a maximum value of assimilation for *E. pellita* and *E. grandis* of 21.63 and 25.17 $25 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ when it reached 29,01 and 21,04 °C combined with 1221 and 1227 mol (photons) $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ for each species respectively. And, another value for A_m of 21 and 22 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ when it reaches a DPV of 12,98 and 6,8 mb 1187 and combined with 1190 $\mu\text{mol}(\text{photons}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively for *E. pellita* and *E. grandis*. Statistical significance (p -value $< 0,0001$) of the evaluated parameters allows to have values associated with probability levels that can be used to feed the growth and carbon capture model CREFT V 2.0

Keywords: Stomatal conductance, vapor pressure deficit, photosynthetically active radiation, *Eucalyptus pellita*.

*Ingeniero Agrónomo MSc., Biometrista del Servicio de Análisis Económico y Estadístico (SAEE) - Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, Cenicafé. Valle del Cauca, Colombia.

**Ingeniera Agrónoma, estudiante de Doctorado en Ciencias Ambientales – Universidad del Cauca – Red Interinstitucional de Cambio Climático y Seguridad Alimentaria – RICCLISA.

***Investigador Científico III. Coordinador Programa de Investigación en Caficultura y Variabilidad Climática, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

****Ingeniero Forestal, Asociado de Investigación - Decision and Policy Analysis Program (DAPA) - Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Palmira, Valle, Colombia.

Las plantas utilizan el CO_2 para elaborar carbohidratos mediante el proceso fotosintético, convirtiéndose en las principales productoras de oxígeno atmosférico y fijadoras de cerca de 100 Gt de carbono a partir del CO_2 en los compuestos orgánicos (26); ellas capturan este elemento a través de sus estomas, que son estructuras de las hojas en las cuales se intercambia agua y carbono.

Existen diferentes factores fisiológicos y ambientales que influyen en la captura de carbono por las plantas, uno de ellos es la concentración de CO_2 intercelular (C_i) en las hojas, la cual es una fuerte reguladora de la apertura estomática, de ésta depende tanto la transpiración como la fotosíntesis, la cual es limitada por la C_i a los sitios de carboxilación (32).

La transpiración es otro factor determinante en los procesos fotosintéticos debido a que la evaporación produce un gradiente de energía que causa el movimiento del agua a través de las plantas (27), por lo tanto, este proceso controla la velocidad de absorción de nutrientes y el ascenso de savia, provocando un déficit de agua; cientos de kilogramos de agua son utilizados por las plantas por cada kilogramo de materia seca producido. Alrededor del 95% del agua absorbida simplemente pasa a través de la planta y sale de ella mediante la transpiración (30).

La fotosíntesis también se encuentra estrechamente relacionada con la luz por ser un proceso fotoquímico que está dado por la absorción de fotones en una longitud de onda entre 400 y 700 nm (13). Del conjunto de este rango de radiación, la hoja refleja el 10% de la energía incidente, transmite el 10% y absorbe cerca del 80% (26). Estas proporciones varían inter e intra especie, dependiendo de las condiciones ambientales y del manejo del cultivo.

La energía absorbida por la hoja permite que se fijen entre 3 y 60 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ según la condición y la especie (10). La mayor parte de la absorción de luz y la mayoría de las reacciones que acompañan las carboxilaciones fotosintéticas se llevan a cabo dentro de los cloroplastos; estos órganos son la base de las conversiones energéticas que ocurren en las hojas, en períodos de tiempo muy cortos, entre 10^{-14} y 10^{-2} s. La absorción de un cuanto de luz, la separación de las cargas eléctricas y la transferencia de electrones se realizan en una gama de tiempo extendida pero formada por unidades temporales muy pequeñas (3).

La temperatura es otro factor de fundamental importancia en el proceso fotosintético debido a que afecta directamente las tasas de actividad metabólica en los tejidos vegetales y, por lo tanto, los niveles de productividad (1). En las regiones tropicales la temperatura está correlacionada negativamente con la altitud (15); los cultivos con temperatura óptima alta se desarrollan mejor en elevaciones más bajas que los cultivos cuya temperatura óptima es baja.

En general, los procesos fisiológicos de la planta se restringen cuando las temperaturas son demasiado bajas (valores de temperatura por debajo del umbral inferior el cual varía para cada especie), llegan a su óptimo al alcanzar una temperatura mayor y cesan de nuevo cuando las temperaturas son muy altas (valores de temperatura por encima del umbral superior el cual varía para cada especie), (2, 21). Sin embargo, los cultivos con metabolismo de fotosíntesis C4 son más tolerantes a las altas temperaturas y tienen mayor sensibilidad a las bajas que los cultivos con fotosíntesis C3; ejemplos de esto son la caña de azúcar y el maíz, que son capaces de crecer mejor bajo altas temperaturas, en comparación con el trigo y la cebada, que son plantas C3 (9).

Con base en los parámetros anteriores, el estudio de la fotosíntesis y sus relaciones con factores fisiológicos y físicos en especies forestales como el eucalipto, resulta de gran importancia no sólo para calcular el potencial que tiene como reguladora de la concentración ambiental de gases efecto invernadero, al capturar carbono de la atmósfera, sino también para estimar la producción de biomasa en aprovechamiento económico.

El eucalipto cuenta con un gran potencial para la producción de madera y es de gran importancia en el manejo de cuencas hidrográficas. En la zona tropical, esta especie realiza fotosíntesis todo el año y posee uno de los rendimientos de especie más altos y ciclos biológicos más cortos (hasta $30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha} \cdot \text{año}^{-1}$ en un turno de 8 años) (6).

Eucalyptos grandis es nativo de la costa Este de Australia; en Colombia crece bien entre 1.000 y 2.000 m de altitud y es una de las especies más cultivadas en los departamentos de Cauca, Valle del Cauca, Caldas, Risaralda y Antioquia. Por su alta productividad es preferida para la producción de fibra corta. En el país se tienen plantaciones con fines comerciales en un área de 15.984 ha (5).

Eucalyptus pellita es originario de Australia, Papua y Nueva Guinea, fue introducido a Colombia por Corpoica en 1999, con el objetivo de evaluarlo en sistemas ganaderos, se ha adaptado al trópico de altura y es resistente a las heladas. En su centro de origen se encuentra entre los 0 y los 800 m de altitud, con temperaturas desde los 4°C hasta los 37°C , y precipitaciones medias anuales desde 900 a 4.000 mm (7).

De otro lado, en Colombia se desarrolló el modelo CREFT V1.0 “modelo de crecimiento y captura de carbono para especies forestales en el trópico”, una herramienta que además

de cuantificar la captura de carbono, predice el crecimiento de algunas especies forestales nativas e introducidas en condiciones del trópico. El modelo calcula la biomasa y composición mineral, incluido el carbono, en cada uno de los compartimentos, mediante la simulación de procesos físicos y fisiológicos como la fotosíntesis, la respiración, la partición de los asimilados y el crecimiento foliar, entre otros, a partir de información climática (brillo solar diario, temperatura máxima y mínima diaria), y de localización del sitio de siembra de la plantación (latitud, longitud y altitud) (29).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar variables fisiológicas que contribuyen al estudio del comportamiento ecofisiológico de dos especies de eucaliptos ampliamente utilizadas en el sector forestal y cafetero, en dos regiones de Colombia.

Se evaluó la fotosíntesis (asimilación (A) y respiración oscura (R_d)) y su relación con la transpiración (E), la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la conductancia estomática (g_s), la concentración de CO_2 intercelular (C_i), la temperatura de la hoja (T_l) y el déficit de presión de vapor de agua (DPV).

Los valores hallados junto con otras variables no presentadas en este artículo (como el índice de área foliar (IAF), arquitectura de la planta, volumen de árboles, distribución y pérdida de biomasa), permitirán actualizar la base de datos de la segunda versión del modelo CREFT.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las mediciones se realizaron en los siguientes sitios en el año 2011, en un periodo climático seco. La especie *E. pellita* se evaluó en una plantación comercial de la empresa Refocosta en Villanueva (Casanare), ubicada

a 4° 39' N y 72° 55' W, a una altitud de 255 m. La especie *E. grandis* se evaluó en una plantación de Smurfit Kappa Cartón de Colombia, ubicada en la finca El Cedral (Pereira, Risaralda) a 4° 45' N - 75° 38' W, a una altitud de 1.800 m.

Se midió el intercambio gaseoso en hojas individuales con el equipo portátil de fotosíntesis LCi - ADC BioScientific Ltd., el cual registra simultáneamente la asimilación de CO₂, la respiración en hojas, la conductancia estomática (*g_s*), la concentración intercelular de carbono (*C_i*), la temperatura de la hoja (*T_L*), la radiación fotosintéticamente activa (*RFA*), la presión de vapor actual (*e*) y la transpiración (*E*).

Para las evaluaciones se seleccionaron de manera aleatoria tres árboles por especie, de 3 años de edad, y en cada individuo se escogieron tres hojas maduras de la parte media, en las cuales se tomaron cinco lecturas por hoja (15 datos por árbol y 45 por especie). Las mediciones se realizaron cada hora, entre las 5:00 a.m. y las 9:00 p.m., durante 3 días consecutivos.

Para calcular el déficit de presión de vapor se utilizó la Ecuación <1> (25)

$$DVP = E_p - e \quad <1>$$

Donde:

e = Presión de vapor actual, variable medida directamente en el campo.

E_p = Presión de vapor a saturación, dada por la expresión:

$$E_p = 6,1403 + 0,4057x + 0,0196x^2 + 0,00002x^3 + 0,000007x^4$$

Donde:

x = Temperatura ambiental

Análisis de las variables

Se calcularon los parámetros *Am*, *RFA* y ϵ , ajustando los datos de asimilación de CO₂ y *RFA* mediante el modelo descrito en la Ecuación <2> (11).

$$A = Am + Rd(1 - e - \epsilon RFA) + Rd - Rd \quad <2>$$

Donde:

A = Asimilación neta de CO₂ en hojas individuales (μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹)

Am = Asimilación máxima de CO₂ expresada como la asíntota de la regresión que describe la relación entre la *RFA* y la asimilación instantánea de CO₂ en hojas individuales (μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹)

Rd = Respiración oscura (μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹)

ϵ = Rendimiento cuántico de la hoja (aceleración de la fase inicial de la regresión que describe la relación entre la *RFA* y la asimilación instantánea de CO₂ en hojas individuales).

Las demás relaciones empíricas de dos variables se hicieron ajustando modelos no lineales con el algoritmo de Levenberg-Marquardt (19), utilizando Sigmaplot V.10. Los modelos ajustados se muestran en la Tabla 1.

Se asoció la asimilación con las variables *T_L* y *RFA*, y la asimilación con el *DPV* y la *RFA*. En cada caso se utilizaron relaciones empíricas tridimensionales, las cuales se modelaron a través del ajuste de paraboloides (Ecuación <3>).

$$f = y_0 + ax + by + cx_2 + dy_2 \quad <3>$$

Para obtener los máximos, se igualaron las derivadas parciales a cero (Ecuación <4>), calculando los puntos críticos y después se reemplazaron en la función original.

$$\partial f / \partial x + a + 2cx = 0$$

$$\partial f / \partial y + b + 2dy = 0 \quad <4>$$

Para calcular la fotosíntesis del dosel completo de la planta, a partir de la obtención de la asimilación máxima en hojas individuales, el modelo CREFT aplica la ecuación propuesta por Goudriaan (12), la cual relaciona algunos parámetros generados en mediciones de hojas individuales con el *I_{AF}*, la *RFA* y el coeficiente de extinción de la luz *k* (Ecuación <5>), para obtener una estimación aproximada del valor de la asimilación instantánea de CO₂ en la planta completa.

$$A_p = A_m k \ln \frac{A_m}{A_p} + \epsilon k RFA A_m + \epsilon RFA e^{-k I AFAFT} \quad (5)$$

Donde:

A_p = Asimilación instantánea de CO₂ en la planta completa (μmol(CO₂) m⁻²s⁻¹)

A_m = Asimilación máxima como la asíntota de la regresión que describe la relación entre la *RFA* y la asimilación instantánea de CO₂ en hojas individuales (μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹)

ε = Rendimiento cuántico de la hoja como la aceleración de la fase inicial de la regresión que describe la relación entre la *RFA* y la asimilación instantánea de CO₂ en hojas individuales (μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹)

k = Coeficiente de extinción de la luz

I_{AF} = Índice de área foliar (parámetro que ingresa al modelo en función del tiempo térmico)

AFT = Área foliar total (m²)

La significancia de los parámetros de los modelos se evaluó al 1%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de la asimilación y la transpiración a través del día

En *E. pellita*, para el primer día de medición la asimilación se incrementó a partir de las 7:30 a.m. con un pico de 17 μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹) alrededor de las 2:00

p.m., aproximadamente; posterior a este valor, la *A* descendió gradualmente hasta llegar a cero, alrededor de las 6:00 p.m., punto a partir del cual inició el proceso de respiración oscura. En el segundo día, la fotosíntesis tuvo un comportamiento bimodal; alcanzó un umbral máximo de asimilación de 24,4 μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹) alrededor de las 9:00 a.m. A partir de este valor, la *A* descendió progresivamente, alcanzando una reducción del 85,5% alrededor de las 11:00 a.m., a partir de esta hora nuevamente se incrementó hasta 10 μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹ alrededor de las 3:00 p.m. En la Figura 1, dentro de los círculos, se observa cómo valores menores de asimilación de carbono (5 μmol(CO₂) m⁻²s⁻¹) coincidieron con valores de *DPV* y *RFA* mayores (alrededor de 3 mb y 1.200 μmol(fotones) m⁻²s⁻¹).

E. grandis en el primer día de evaluación presentó su máxima *A* alrededor de las 9:00 a.m., con 24,12 μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹, a partir de allí el valor decreció paulatinamente hasta caer totalmente la fotosíntesis alrededor de las 6:00 p.m.; al día siguiente inició su actividad fotosintética desde las 6:00 am aproximadamente, presentando lentamente ascenso en los valores hasta alcanzar un máximo de 20 μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹) hacia las 4:00 p.m., punto a partir del cual disminuyó la fotosíntesis hasta llegar a cero asimilación, alrededor de las 5:30 p.m. El tercer día se observó una respuesta unimodal de la asimilación (Figura 2)

Kallarackal y Somen (16) encontraron para zona tropical que el incremento de *DPV* hasta 3 mb induce al cierre estomático en el eucalipto; estos autores consideraron que esta especie no requiere alto consumo de agua, debido a que posee gran capacidad de control de pérdida de agua por transpiración (16).

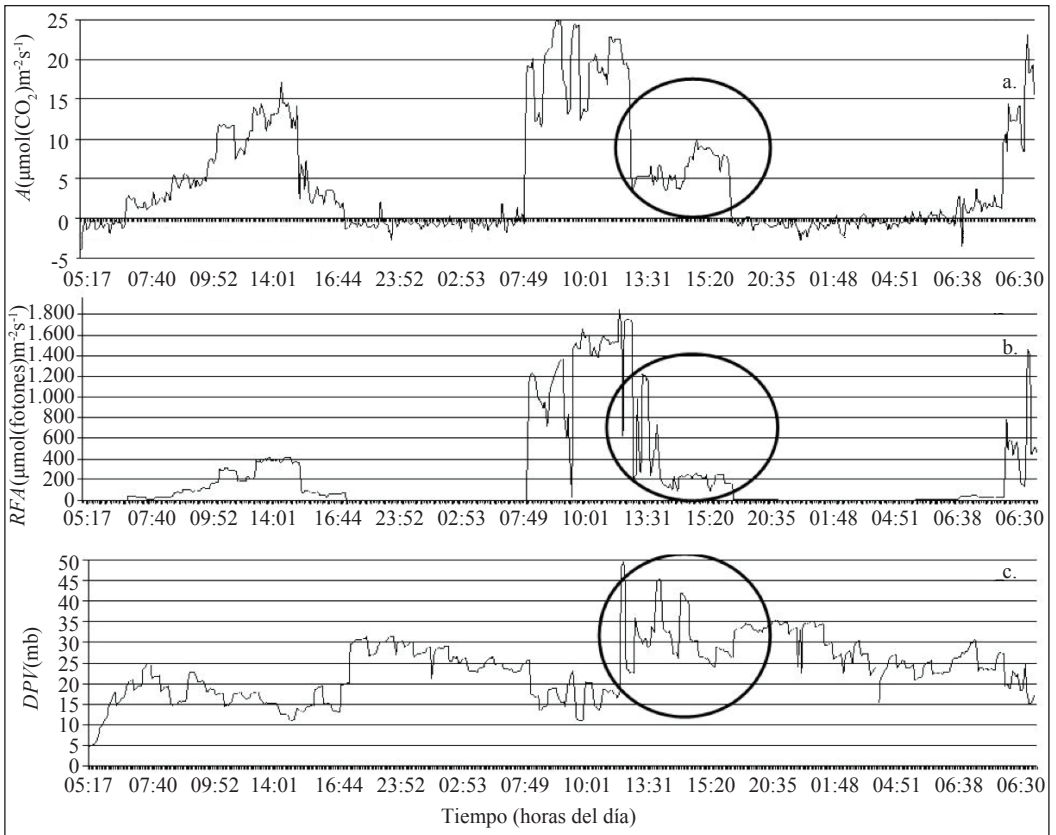


Figura 1. Comportamiento de la fotosíntesis (a), la RFA (b) y el DPV (c) en *E. pellita*, a través del día.

En otras especies de plantas se ha encontrado que la tasa de asimilación disminuye o se detiene en las horas del mediodía, incrementándose de nuevo en la tarde. Este comportamiento bimodal es típico en el trópico; en esta zona los valores de temperatura, radiación solar y déficit de presión de vapor del aire, aumentan al medio día a niveles en los cuales muchas plantas cesan su actividad por cierre estomático (4, 20).

Los valores de asimilación que se hallaron en estas dos especies, coinciden con los encontrados por Hunt *et al.* (14) en un estudio realizado en Australia, para detectar

posible competencia interespecífica entre *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens* y *Acacia dealbata*, en el cual encontraron que las máximas asimilaciones de CO₂ en los eucaliptos estuvieron alrededor de 25 μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹.

Por otro lado, en una recopilación bibliográfica realizada por Whitehead y Beadle (33) sobre regulación fisiológica y productividad de 11 especies de eucalipto, se registra que en promedio los valores máximos de asimilación se encuentran entre 15 y 25 μmol(CO₂)m⁻²s⁻¹, valores coincidentes con los encontrados en la presente investigación.

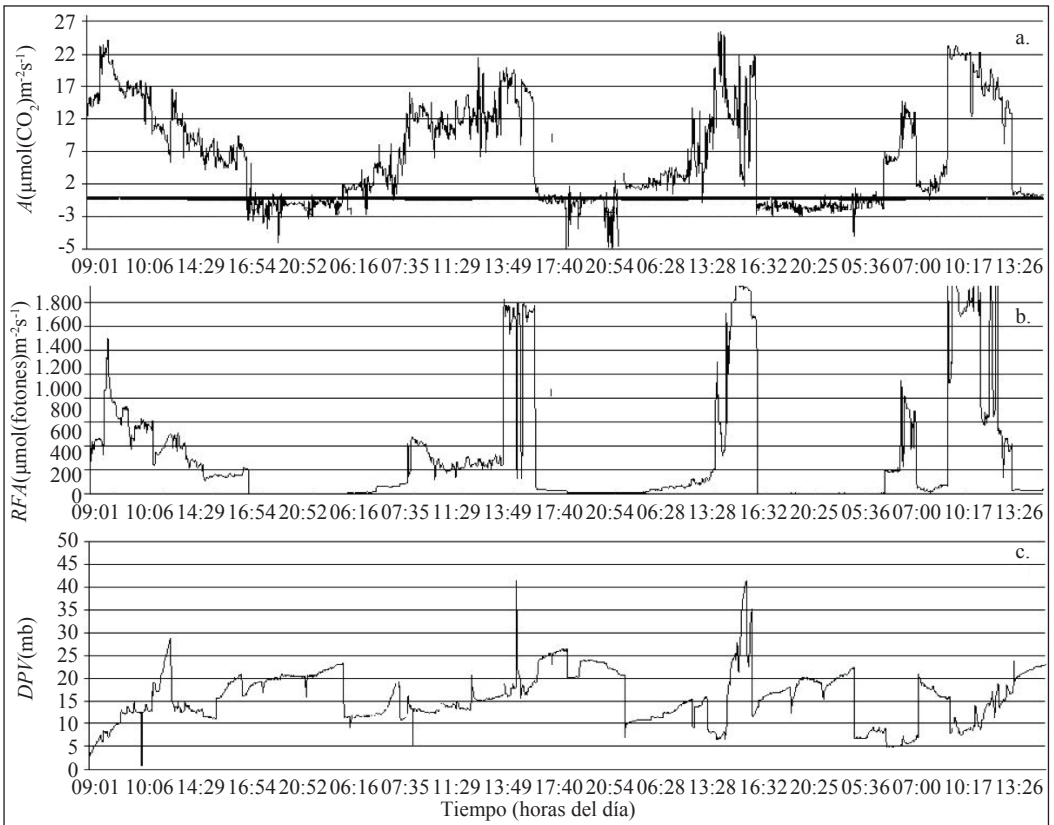


Figura 2 Comportamiento de la fotosíntesis (a), la *RFA* (b) y el *DPV* (c) en *E. grandis*, a través del día.

En las dos especies, a través del día, la transpiración siguió el mismo patrón de comportamiento que la asimilación (Figura 3). Esto se explica porque el proceso de transpiración también es conducido y regulado por los estomas dentro de la hoja, el agua que se encuentra rodeando las células del mesófilo se evapora y difunde hacia los espacios intercelulares que existen en el parénquima (23). Si los estomas están abiertos, la diferencia de presión de vapor provoca la pérdida de vapor de agua hacia la atmósfera. Las moléculas de CO_2 siguen esta misma ruta pero con una dirección contraria, marcando la condición de simultaneidad del proceso de fotosíntesis y transpiración (28).

Relación entre la fotosíntesis y la radiación fotosintéticamente activa

En la Figura 4 a y b se observa una estrecha relación entre *A* y *RFA* en las dos especies forestales evaluadas (valores de R^2 cercanos a 1,0). La respuesta de la asimilación de CO_2 a la radiación fotosintéticamente activa la explica un modelo exponencial asintótico, en el cual la máxima asimilación se alcanza siguiendo un comportamiento logarítmico (Tabla 1); a mayor radiación menor es la tasa de incremento de la asimilación hasta llegar al nivel máximo (A_m), a partir de éste no se da incremento en *A* por más que aumente la *RFA*.

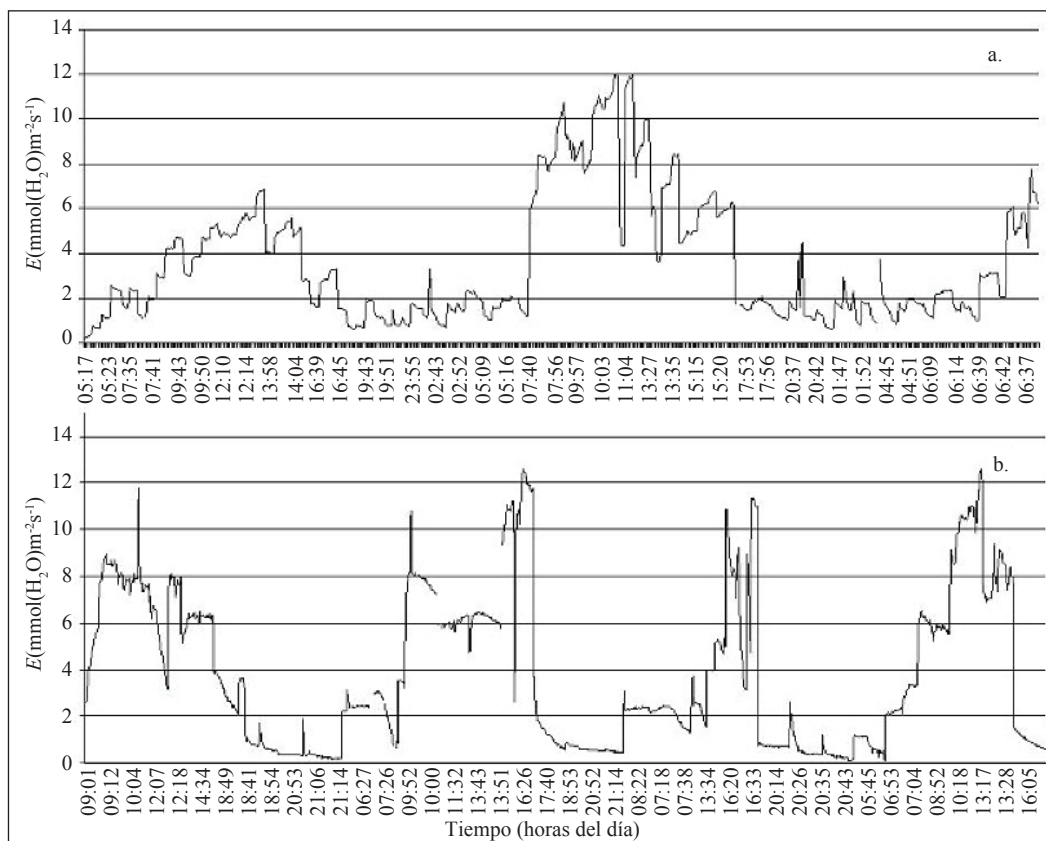


Figura 3. Comportamiento diario de la transpiración en (a) *E. pellita*, (b) *E. grandis*

En *E. pellita* la Am fue de $18,6 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y en *E. grandis* fue de $17,3 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, con una RFA de 1.053 y $719 \mu\text{mol}(\text{fotones}) \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ respectivamente. Este valor de RFA en el que la fotosíntesis neta es máxima se denomina punto de saturación de luz y es el valor de radiación requerido para alcanzar el 95% de la asimilación máxima.

Además, para *E. pellita* y *E. grandis* se estimó que por cada μmol de fotones de RFA cada especie asimila $0,0546$ y $0,0784 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente, estos valores corresponden al rendimiento cuántico ϵ , y es la tasa de cambio en la

fase inicial de la curva (Tabla 1) en donde existe una rápida respuesta de la planta en cuanto a la fotosíntesis con bajos niveles de RFA .

Respuesta de la asimilación de CO_2 a la conductancia estomática

La relación entre la fotosíntesis y la conductancia estomática estuvo descrita por un modelo exponencial asintótico en las dos especies estudiadas (Figura 4 c y d); en la fase inicial de la curva se observa una rápida asimilación de carbono por la planta al aumentar la conductancia estomática, luego la tasa de incremento de

Tabla 1. Modelos y parámetros de las relaciones entre la asimilación y la radiación fotosintéticamente activa de las tres especies forestales evaluadas.

Espece	Respuesta Explicativa	Modelo	RFA de saturación al 95% de la asíntota	<i>Am</i>	<i>Rd</i>	ϵ	R ²	p-valor
<i>E. pellita</i>	Asimilación RFA	$f = (Am + Rd) \left(1 - e^{-\frac{\epsilon X}{Am + Rd}} \right) - Rd$	1053	18,5069	0,5084	0,0546	0,8782	<0,0001
<i>E. grandis</i>	Asimilación RFA	$f = (Am + Rd) \left(1 - e^{-\frac{\epsilon X}{Am + Rd}} \right) - Rd$	719	17,2702	1,1513	0,0784	0,8578	<0,0001

la asimilación disminuyó hasta alcanzar un máximo valor de asimilación. En el caso de las dos especies estudiadas, dada la tasa de cambio de los datos (Tabla 2, valores de b), el modelo sólo es útil para determinar asimilaciones a partir de conductancias entre 0 y 0,9 para *E. pellita* y de 0 a 1,4 mol(H₂O)m⁻²s⁻¹ para *E. grandis* (según rango de datos de los días de evaluación).

Se hallaron los valores de asimilación para los máximos de conductancia en las condiciones climáticas y fisiológicas de los días en que se evaluaron los árboles, estos valores fueron de 26,94 y 22,87 μmol(CO₂).m⁻²s⁻¹ para *E. pellita* y *E. grandis*, respectivamente. Para el rango de datos de las dos especies no fue posible determinar una conductancia de saturación.

Whitehead y Beadle (33) encontraron valores de conductancia estomática entre 0,2 y 0,98 mol(H₂O)m⁻²s⁻¹ en eucaliptos, lo cual coincide con los rangos obtenidos en este estudio.

Respuesta de la fotosíntesis a la relación E/DPV

En las dos especies evaluadas, el modelo exponencial asíntótico describió la respuesta de la asimilación frente a la relación de la transpiración con el déficit de presión de vapor. Allí, la asimilación de carbono se incrementó a medida que el cociente de esta relación fue mayor, hasta un valor máximo de fotosíntesis a partir del cual la planta no asimiló CO₂ por más que aumentó la relación *E/DPV*.

Para el rango de datos de los días de medición (de 0,0 a 0,8 y de 0,0 a 1,5 moles de H₂O de transpiración por cada milibar de DPV para *E. pellita* y *E. grandis*, respectivamente) no fue posible establecer el valor de la relación *E/DPV* de saturación, en el cual la asimilación es máxima. Sin embargo, con la aplicación del modelo obtenido en cada caso (Figuras 4 e y f), se halló el valor de la asimilación máxima alcanzada en el punto máximo de la relación *E/DPV*, bajo las condiciones climáticas y fisiológicas de los árboles

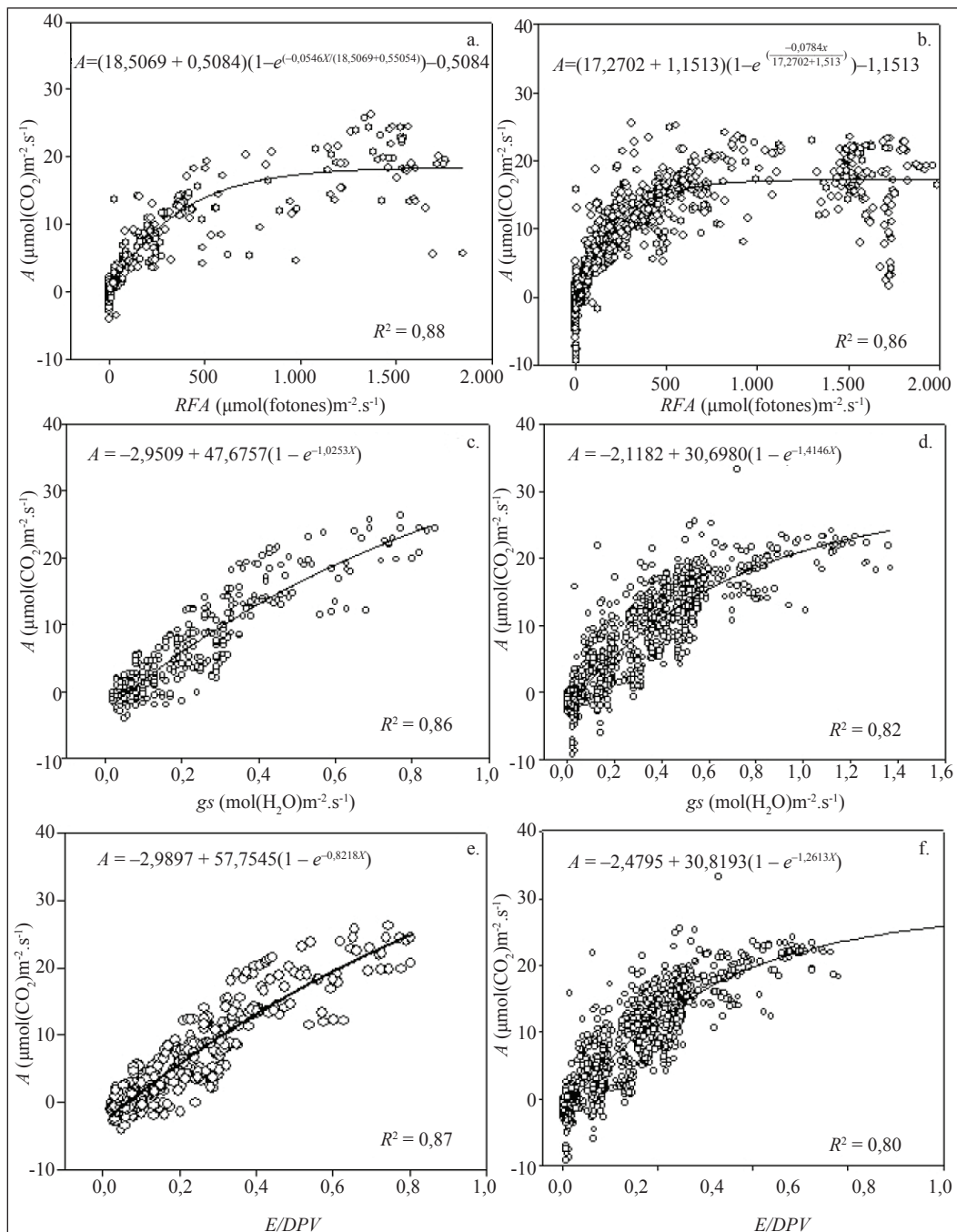


Figura 4. Respuesta de la asimilación frente a la radiación fotosintéticamente activa, a la conductancia estomática (gs) y a la relación transpiración/déficit de presión de vapor, en las especies *E. Pellita* (a, c y e) y *E. grandis* (b, d y f).

Tabla 2. Modelos y parámetros de las relaciones entre la fotosíntesis, conductancia estomática, radiación fotosintéticamente activa, temperatura, concentración intercelular de CO₂, déficit de presión de vapor y transpiración para las especies forestales evaluadas.

Especie	Rta	Explicativa	Modelo	Y ₀	a	b	c	d	Y	X	p-valor	R ²	
<i>E. pellita</i>	A	gs	$f=y_0+a*(1-\exp(-b*x))$	-2,9509	47,6757	1,0253					<0,0001	0,8649	
	A	Ci	$f=y_0+(a/x)$	-23,0187	9595,7210						<0,0001	0,7755	
	Gs	DPV	$f = a*\exp(-b*x)$	0,7898	0,0655							<0,0001	0,2969
	A	REA vs T	$f=y_0+a*x+b*y+c*x^2+d*y^2$	-54,5669	3,8128	0,0342	-0,0657	-1,4003E-005	1221	29,01	<0,0001	0,8746	
	A	REA vs DPV	$f=y_0+a*x+b*y+c*x^2+d*y^2$	0,2613	0,1841	0,0329	-0,0072	-1,3855E-005	1187	12,78	<0,0001	0,8976	
	E	gs	$f=a*x^b$	13,3397	0,7123							<0,0001	0,8560
	A	E/DPV	$f=y_0+a*(1-\exp(-b*x))$	-2,9897	57,7545	0,8218						<0,0001	0,8675
	A	gs	$f=y_0+a*(1-\exp(-b*x))$	-2,1182	30,6980	1,4146						<0,0001	0,8193
	A	Ci	$f=y_0+(a/x)$	15,7760	8026,1469							<0,0001	0,6350
	Gs	DPV	$f = a*\exp(-b*x)$	1,1002	0,0968							<0,0001	0,3390
<i>E. grandis</i>	A	REA vs T	$f=y_0+a*x+b*y+c*x^2+d*y^2$	-18,5681	1,7891	0,0406	-0,0425	-1,6541E-005	1227	21,04	<0,0001	0,8418	
	A	REA vs DPV	$f=y_0+a*x+b*y+c*x^2+d*y^2$	1,2799	0,1857	0,0347	-0,0136	-1,4573E-005	1190	6,82	<0,0001	0,8642	
	E	gs	$f=a*x^b$	10,5749	0,6402							<0,0001	0,8008
	A	E/DPV	$f=y_0+a*(1-\exp(-b*x))$	-2,4795	30,8193	1,2613						<0,0001	0,8090

en los días de medición; este valor fue de 26,38 y de 24,06 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para cada especie, respectivamente.

Relación entre la asimilación y la concentración de CO_2 intercelular

En las tres especies la relación entre la asimilación de CO_2 y C_i estuvo dada por un modelo exponencial decreciente (Figura 5 a y b), en el cual a medida que se incrementó la concentración intercelular de CO_2 disminuyó la asimilación. Éste es el comportamiento típico, debido a que a nivel intercelular el incremento de CO_2 causa el cierre de estomas, mientras que su disminución induce la apertura de éstos (32).

Relación entre la conductancia estomática y el déficit de presión de vapor

La respuesta de la conductancia estomática al déficit de presión de vapor de agua fue exponencial decreciente. A medida que el DPV se incrementa en las dos especies forestales, los valores de conductancia estomática se reducen, hasta que finalmente no hay respuesta (Figura 5 e y f). Esto ocurre porque el DPV es directamente dependiente de la humedad relativa, de esta manera cuando el déficit aumenta significa que la humedad en el aire disminuye (18). Lo anterior induce al cierre estomático, limitando la entrada de CO_2 a la planta (22).

Relación entre la transpiración y la conductancia estomática

Tanto en *E. pellita* como en *E. grandis* la respuesta de la transpiración a valores de conductancia estomática estuvo dada por un modelo exponencial (Figura 5 c y d). A medida que aumentó la conductancia estomática se incrementó la transpiración. En este estudio, para el rango de datos analizados,

no se obtuvieron valores de conductancia en los cuales la transpiración llegara a un tope, sin embargo, lo normal es que esto ocurra; si se aumentara la conductancia hasta cierto grado, la transpiración alcanzaría una asíntota en la que ya no existiría respuesta a tal incremento.

La estrecha relación entre estas dos variables ocurre porque la transpiración es un determinante primario del balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta (34). Este proceso comprende la evaporación del agua desde las células superficiales en el interior de los espacios intercelulares y su difusión fuera del tejido vegetal, principalmente a través de los estomas, y en menor medida a través de la cutícula y las lenticelas; junto al intercambio de dióxido de carbono, la transpiración determina la eficiencia de uso del agua de una planta (31).

Los estomas ejercen el mayor control a corto plazo en las relaciones hídricas de una planta, debido a que controlan la salida de agua que ocurre en respuesta a un fuerte gradiente de presión de vapor entre el aire y la hoja. Tanto la absorción desde suelo, por la raíces, como la transpiración, ejercen un control primario en la regulación de la conductancia estomática (24).

El comportamiento natural de la asimilación con respecto a otras variables no es estrictamente creciente o decreciente, pero generalmente existe un punto óptimo. Por tal razón, en las relaciones tridimensionales (Figura 6) se utilizó el paraboloide que describe la Ecuación <6>; en este caso, el óptimo se halló con la combinación de x_1 y x_2 , en la cual la asimilación (f) es máxima. Por fuera de estos valores la asimilación es menor.

$$f = y_0 + ax_1 + bx_2 + cx_1^2 + dx_2^2 \quad <6>$$

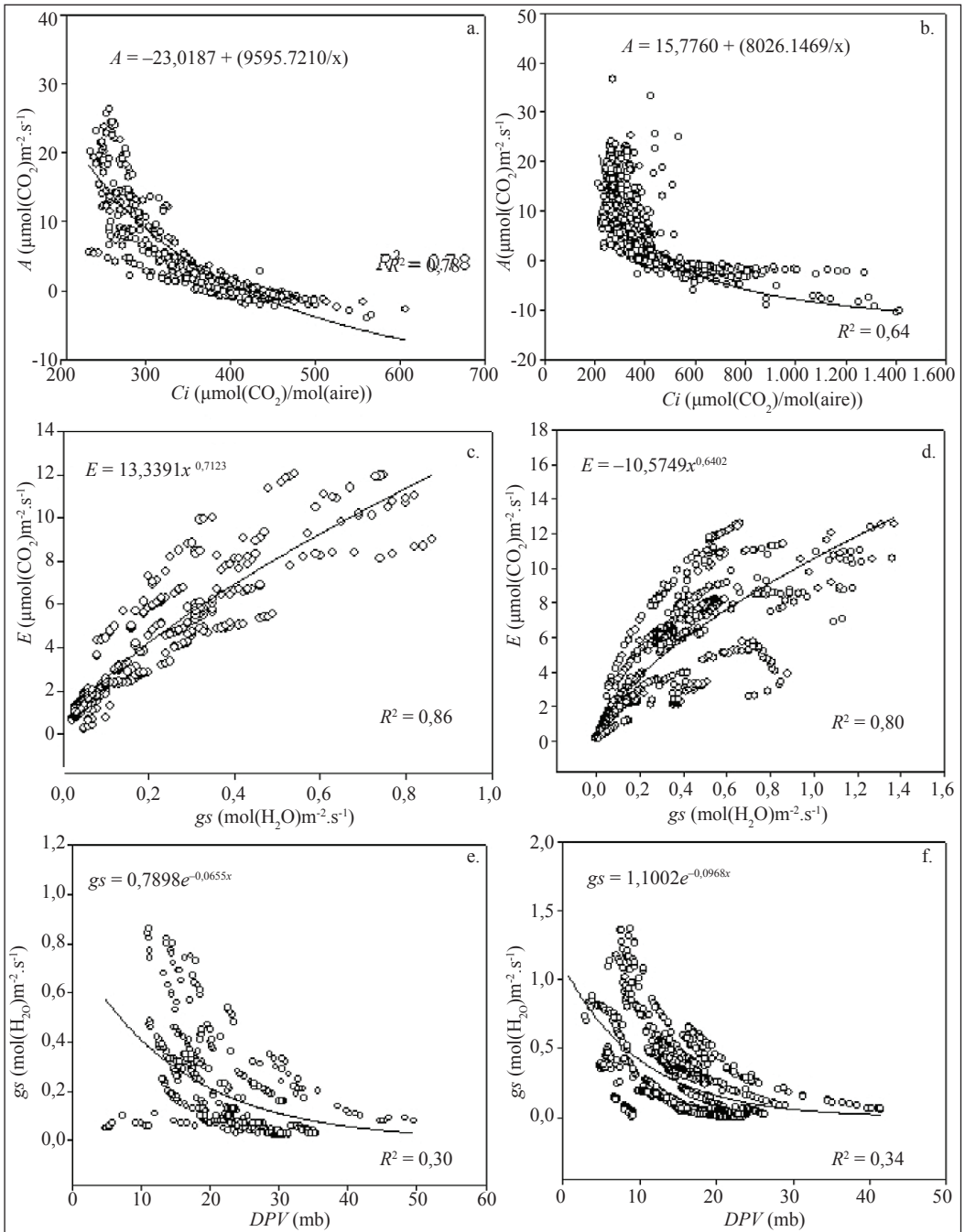


Figura 5. Comportamiento de la asimilación frente a la concentración interna de CO_2 de la transpiración frente a la conductancia estomática y de la conductancia estomática, con respecto al déficit de presión de vapor de agua, en las especies *E. pellita* (a, c y e) y *E. grandis* (b, d y f).

El parámetro y_0 es una constante que representa la asimilación cuando las variables x_1 y x_2 son iguales a cero. El parámetro “ a ” representa el crecimiento o decrecimiento lineal de la asimilación con respecto a x_1 . El parámetro “ c ” representa el comportamiento parabólico de la asimilación con respecto a x_1 . Igualmente, b representa el crecimiento o decrecimiento lineal de la asimilación con respecto a x_2 , y “ d ” representa el comportamiento parabólico de la asimilación con respecto a x_2 .

Si “ c ” o “ d ” son estadísticamente diferentes de cero (y más concretamente negativos) implica que la asimilación tienen un comportamiento parabólico con su respectivo máximo. En este caso “ a ” y “ b ” no se interpretan.

En caso contrario, significa que no existe comportamiento parabólico y se debe definir si “ a ” y “ b ” son diferentes de cero. Si lo son, quiere decir que la asimilación solamente crece (a y b positivos) o solamente decrece (a y b negativos) en el rango observado de x_1 y/o x_2 . Si estadísticamente alguno de estos parámetros no es diferente de cero, quiere decir que en el rango observado la asimilación no varía significativamente.

Respuesta de la asimilación frente a la temperatura vs la RFA

En la Tabla 2, en el análisis del paraboloides ajustado puede observarse que para las dos especies forestales los coeficientes de los términos cuadráticos c y d son negativos y estadísticamente diferentes de cero ($P < 0,0001$), por lo tanto, se encontró que la asimilación crece a medida que aumenta la radiación y la temperatura, alcanzando un punto máximo de 21,63 y 25,17 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a los 29,01 y 21,04°C y a los 1.221 y 1.227 $\mu\text{mol}(\text{fotones}) \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para *E. pellita* y *E. grandis*, respectivamente (Figura 6 a y b).

Se realizó el análisis del efecto combinado de temperatura y RFA hacia la asimilación, debido a que en estudios anteriores se ha encontrado que la combinación de radiación y temperaturas elevadas provoca el cese de la actividad fotosintética más rápidamente que cada punto de saturación de la asimilación de manera independiente. Kumar y Tieszan (17) en Brasil, encontraron que valores de RFA de 600 $\mu\text{mol}(\text{fotones})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ combinados con temperaturas mayores a 25°C, reducen notablemente la asimilación en *Coffea arabica* al disminuir la conductancia estomática; además notaron que a temperatura constante de 25°C no hubo reducción en la asimilación con radiaciones hasta de 1.200 $\mu\text{mol}(\text{fotones}) \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

La temperatura afecta a la fotosíntesis a nivel estomático y cloroplástico. Por un lado, el aumento de la temperatura afecta a la velocidad de las reacciones metabólicas (Q10); por el otro, si la temperatura del aire es elevada puede producirse un desequilibrio entre el estado hídrico de la hoja y el flujo de transpiración, de manera que si la demanda evapotranspirativa supera a la absorción por las raíces, los estomas se cierran y se frena el intercambio gaseoso (8, 21). Cada proceso vital está determinado a unos límites de temperatura y a una temperatura óptima de funcionamiento, de modo que si se sobrepasa, disminuye su rendimiento.

Los óptimos de la temperatura foliar para la fotosíntesis presentan ciertas variaciones según sean las condiciones climáticas y edáficas de la zona en la que se encuentran las plantas, según las características genéticas, las condiciones culturales y las condiciones previas en las que ha tenido lugar el desarrollo foliar. Marur y Faria (20) al evaluar la fotosíntesis en café, encontraron que al superar la temperatura óptima ($>25^\circ\text{C}$ para el cultivar IAPAR 59 *Coffea arabica* L. en

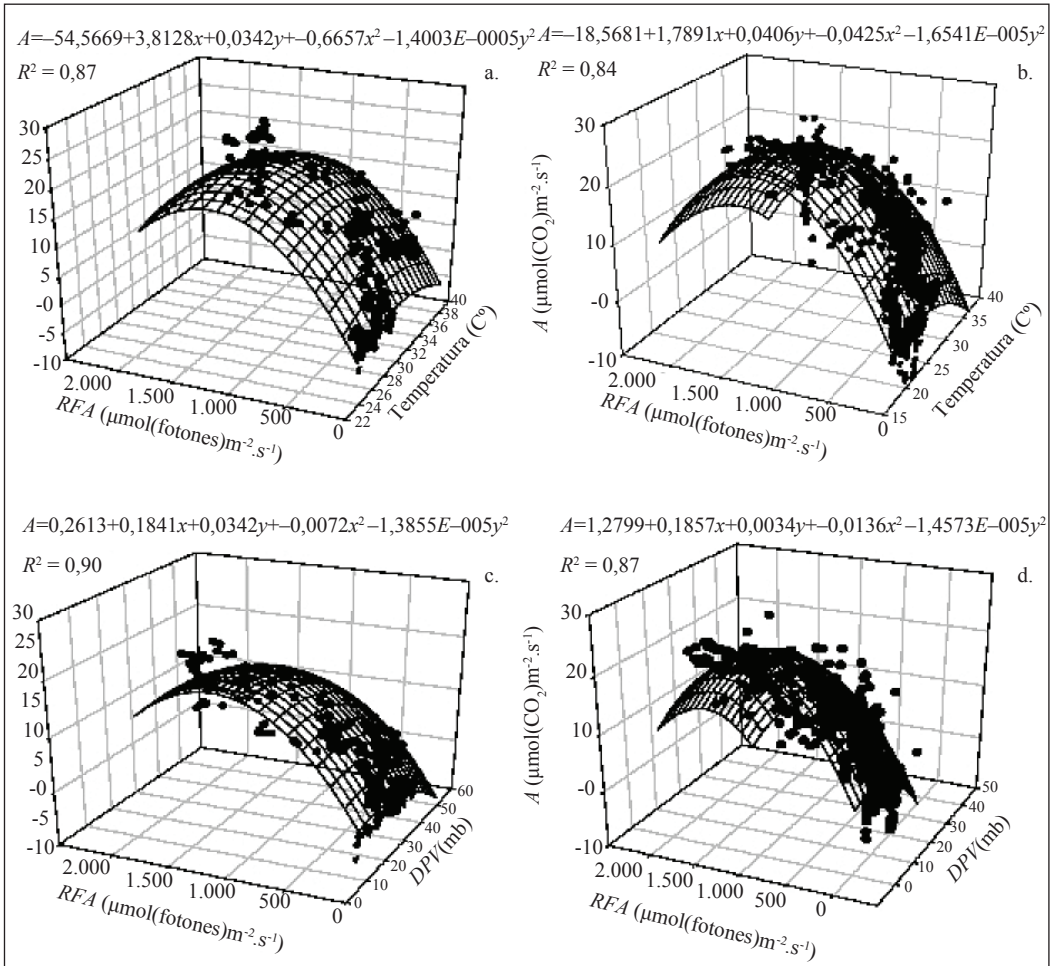


Figura 6. Comportamiento de la asimilación en respuesta a la temperatura y la RFA, y la asimilación en respuesta del DPV y a la RFA, para las especies *E. pellita* (a, c) y *E. grandis* (b, d).

Brasil) aumentó la fotorrespiración, el DPV obtenido entre la hoja y la atmósfera mostró un patrón de comportamiento similar al de la temperatura de la hoja (20).

Respuesta de la asimilación frente al DPV vs la RFA

Los coeficientes de los términos cuadráticos en los dos eucaliptos son negativos y estadísticamente diferentes de cero (P

<0,0001), por lo tanto, la asimilación tuvo un comportamiento parabólico con respecto al déficit de presión de vapor y a la RFA (Figura 6 c y d). En *E. pellita* la asimilación máxima fue de 21 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ alcanzada a una RFA de 1.187 y un DPV de 12,98 mb, en el caso de *E. grandis* la asimilación fue de 22 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ con una RFA de 1.190 y un DPV de 6,8 mb. Por fuera de estos valores la asimilación fue menor.

Puede concluirse que:

- Las máximas asimilaciones de CO₂ registradas para las dos especies de eucaliptos fueron alrededor de 25 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.
- El rendimiento cuántico (ϵ) en *E. pellita* y *E. grandis* fue de 0,0546 y 0,0784 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ asimilados por cada μmol de fotones de RFA, respectivamente.
- Con valores máximos de conductancia estomática de 0,9 y 1,4 $\text{molH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$ se encontraron valores de asimilación de 26,94 y 22,87 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en *E. pellita* y *E. grandis*, respectivamente. Con los datos obtenidos en los días de medición no fue posible establecer la conductancia de saturación (valor de la conductancia en el cual la asimilación de carbono es máxima).
- Con valores máximos de la relación *E/DPV* de 0,8 y 1,5 moles de H₂O de transpiración por cada milibar de *DPV*, se encontraron valores de asimilación de 26,38 y de 24,06 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en *E. pellita* y *E. grandis*, respectivamente. Con los datos obtenidos en los días de medición no fue posible establecer el valor de la relación *E/DPV* de saturación en el cual la asimilación es máxima.
- La asimilación crece a medida que aumenta la radiación y la temperatura alcanzando un punto máximo de 21,63 y 25,17 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a los 29,01 y 21,04°C y a los 1.221 y 1.227 $\mu\text{mol}(\text{fotones})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para *E. pellita* y *E. grandis*, respectivamente.
- El intercambio gaseoso en el eucalipto y en todas las plantas, en general, no es un proceso aislado, ya que depende de la interacción de variables fisiológicas y ambientales. En este estudio se avanzó

en el conocimiento de la ecofisiología del eucalipto, logrando establecer los puntos óptimos de algunas relaciones entre la fotosíntesis y variables climáticas y fisiológicas en dos regiones de Colombia. Sin embargo, se recomienda para posteriores trabajos realizar mediciones en diferentes niveles altitudinales con el objetivo de ampliar el rango de respuesta de la planta.

- La significancia estadística (p -valor $<0,0001$) de todos los parámetros evaluados con respecto a la fotosíntesis, permite tener valores asociados a niveles de probabilidad que pueden ser utilizados para alimentar el modelo CREFT V 2.0.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural la cofinanciación del proyecto Ajuste, validación y ampliación del modelo de crecimiento y captura de carbono para especies en el trópico – CREFT, contrato 028-2007K5702-359-07, al Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, a Smurfit Kappa – Cartón de Colombia y a la Reforestadora del Caribe por toda la colaboración en la toma de la información.

LITERATURA CITADA

1. AMBROSIO, N.D., ARENA, C., SANTO, A.V. De: Temperature response of photosynthesis, excitation energy dissipation and alternative electron sinks to carbon assimilation in *Beta vulgaris* L. 55, 248–257 (2006).
2. BOTKIN, D.: Prediction of Net Photosynthesis of Trees From Light Intensity and Temperature. *Ecology*. 50, 854–858 (1969).
3. BOWYER, J.R., LEEGOOD, R.: Photosynthesis. *Plant Biochem*. 49–110 (1997).

4. CARVALHO CARELLI, L., FAHL, J.I., TRIVELIN, P.C.O., QUEIROZ-VOLTAN, R.B.: Carbon isotope discrimination and gas exchange in coffee species grown under different irradiance regimes 1. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* 11, 63–68 (1999).
5. CENICAFÉ: Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. *El Eucalipto*. Centro Nacional de Investigaciones del Café CENICAFÉ (2006).
6. CONIF. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. 1st ed.; AGRICULTURA, M. DE, PROEXPORT, Eds.; 2009.
7. CORPOICA: Eucaliptus Pellita, Especie multipropósito al servicio de la ganadería de los llanos orientales. (2007).
8. Cunningham, S.C.: Effects of vapour pressure deficit on growth of temperate and tropical evergreen rainforest trees of Australia. *Acta Oecologica*. 30, 399–406 (2006).
9. EDWARDS, G., KU, S., FOSTER, J.G.: Physiological constraints to maximum yield potential. In: Kommedahl, T. and Williams, P.H. (eds.) *American Phytopathological Society*. pp. 105–119 (1983).
10. GARDNER, F.P.: Carbon fixation by crop canopies. *Physiol. Crop Plants*. 31–57 (1985).
11. GOUDRIAAN, J.: Crop production and plant growth in optimal conditions. Potential production process. In: Wageningen (ed.) *Simulation of plant growth and crop production*. p. 308. , Holanda (1982).
12. GOUDRIAAN, J.: A simple and fast numerical method for the computation of daily totals of crop photosynthesis. *Agric. For. Meteorol.* 38, 249–254 (1986).
13. GROSSI, H.: Distribución espacial de la radiación fotosintéticamente activa en Argentina. *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.* 29, 27–36 (2004).
14. HUNT, M. A., BATTAGLIA, M., DAVIDSON, N.J., UNWIN, G.L.: Competition between plantation *Eucalyptus nitens* and *Acacia dealbata* weeds in northeastern Tasmania. *For. Ecol. Manage.* 233, 260–274 (2006).
15. JARAMILLO, Á.: La temperatura. In: FEDERACAFÉ (ed.) *Clima andino y café en Colombia*. pp. 63–74. Chinchiná (2005).
16. KALLARACKAL, J., SOMEN, J.: An ecophysiological evaluation of the suitability of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics. *For. Ecol. Manage.* 95, 53–61 (1997).
17. KUMAR, D., TISZEN, L.L.: Photosynthesis in coffee arabica: effects of Light and temperature, (1980).
18. LANDSBERG, J.J., WARING, R.H.: A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *For. Ecol. Manage.* 95, 209–228 (1997).
19. MARQUARDT, D.: An Algorithm for Least Squares Estimation of Parameters. *J. Soc. Ind. Appl. Math.* 431–441 (1963).
20. MARUR, C.J., FARIA, R.T. De: Photosynthesis of individual leaves in a coffee plant. *Acta Sci. Agrono.* 28, 331–335 (2006).
21. MATHUR, S., AGRAWAL, D., JAJOO, A.: Photosynthesis: Response to high temperature stress. *J. Photochem. Photobiol. B.* 137, 116–26 (2014).
22. MIELKE, M.S., ALMEIDA, A.F. DE, GOMES, F.P.: Photosynthetic Traits of Five Neotropical Rainforest Tree Species : Interactions between Light Response Curves and Leaf-To-Air Vapour Pressure Deficit. 48, 815–824 (2005).
23. OLIOSO, A., CARLSON, T.N., BRISSON, N.: Simulation of diurnal transpiration and photosynthesis of a water stressed soybean crop. *Agric. For. Meteorol.* 81, 41–59 (1996).
24. OP DE BEECK, M., LÖW, M., DECKMYN, G., CEULEMANS, R.: A comparison of photosynthesis-dependent stomatal models using twig cuvette field data for adult beech (*Fagus sylvatica* L.). *Agric. For. Meteorol.* 150, 531–540 (2010).
25. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION - FAO: Evapotranspiración del cultivo, (2006).
26. PALLARDY, S.G.: Photosynthesis. *Physiology of Woody Plant*. pp. 107–167 (2007).
27. PALLARDY, S.G.: Transpiration and Plant Water Balance. *Physiology of Woody Plant*. pp. 325–366 (2007).
28. PEARCE, R., SCHULZE, E., ZIMMERMANN, R.: Measurement of transpiration and leaf conductance. In: Chapman and Hall (ed.) *Plant Physiological*

- Ecology: Field methods and instrumentation. pp. 137–153. , New York (1989).
29. RIAÑO, N.M., TANGARIFE, G., OSORIO, O.I., GIRALDO, J.F., OSPINA, C.M.: CREFT: Captura de Carbono para Especies Forestales en el Trópico, (2005).
 30. SHIRGURE, A.K.S.: Water management in citrus. Evapotranspiration Principles and Applications for Water Management. pp. 273–303 (2014).
 31. TALLEC, T., BÉZIAT, P., JAROSZ, N., RIVALLAND, V., CESCHIA, E.: Crops' water use efficiencies in temperate climate: Comparison of stand, ecosystem and agronomical approaches. Agric. For. Meteorol. 168, 69–81 (2013).
 32. THOLEN, D., ZHU, X.-G.: The mechanistic basis of internal conductance: a theoretical analysis of mesophyll cell photosynthesis and CO₂ diffusion. (2011).
 33. WHITEHEAD, D., BEADLE, C.L.: Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. For. Ecol. Manage. 193, 113–140 (2004).
 34. ZHANG, B., LIU, Y., XU, D., CAI, J., LI, F.: Evapotranspiration estimation based on scaling up from leaf stomatal conductance to canopy conductance. Agric. For. Meteorol. 151, 1086–1095 (2011)

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA
GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Centro Nacional de Investigaciones de Café
“Pedro Uribe Mejía”

DIRECCIÓN

Fernando Gast H., Biólogo Ph.D.
Ángela Liliana Zapata R., Administradora de Empresas M.Sc.

PROGRAMA PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo Ph.D

PROGRAMA CAFICULTURA Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Néstor Miguel Riaño H., Ing. Agrónomo Ph.D.

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Calidad

Gloria Inés Puerta Q., Ing. Química, Ing. Alimentos M.Sc.
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga **
Andrés Mauricio Villegas H., Ing. Agrónomo M.Sc.**
Mariana Santos Rivera, Medica Veterinaria Zootecnista
Gustavo Echeverri M

Gestión de Recursos Naturales y Conservación

Nelson Rodríguez V., Ing. Químico Ph.D.
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico
Rocío Espinosa A., Médico Veterinario y Zootecnista
Claudia Rocío Gómez P., Tec. Química
Juan Carlos López N., Microbiólogo **
Andrés Mauricio López L., Médico Veterinario y Zootecnista
José Rafael Rodríguez N., Lic. Biología y Química Esp.
Laura Vanessa Quintero Yepes, Ing. Química **
Sergio Gómez Rios, Aprendiz Universitario
Daniela Guzmán Cortés, Aprendiz Sena

Fisiología vegetal

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.
Aristóteles Ortiz, Químico, M.Sc
Jenny Lorena Aguirre M., Ing. de Alimentos
Claudia Yoana Carmona G., Ing. Agrónomo
Luz Fanny Echeverry G., Química
Marta Bibiana Escobar P., Tec. Químico
Lizardo Norbey Ibarra R., Ing. Agrónomo
Mauricio Serna O., Ing. Electrónico
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo M.Sc.
Humberto Iván Ríos., Ingeniero Ambiental Esp.
Yulieth Paola Giraldo E. Ing. de Sistemas y Telecom Esp.
Juan David Hernández Arredondo, Ing. Agrónomo M.Sc.
Claudia Marcela Mora Agudelo **
Mario Franco A.
Braian Alejandro López O.
Claudia Patricia Valencia V.
José Robín García C.
Rocío del Pilar Pineda Sandoval, Ing. de Alimentos

Suelos

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo Ph.D.
Hernán González O., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo M.Sc.*
José Horacio Rivera P., Ing. Agrónomo Ph.D.
Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga**
Alveiro Salamanca J., Ing. Agrónomo Ph.D.
Vanessa Catalina Díaz P., Química
Janeth Escudero A., Microbióloga Industrial y Ambiental
Fabio Alexis Torres Angarita, Ing. Agrónomo Esp.
Arturo Gómez V.

Fitotecnia

Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo M.Sc.
José Raúl Rendón Sáenz, Ing. Agrónomo M.Sc.
Carlos Augusto Ramírez C., Tec. Técnicas Forestales
Leidy Tatiana Bermúdez F., Ing. Agrónomo
Nathalia Díaz Mejía, Ing. Agrónomo
José Rubiel Castrillón G, Ing. Sistemas y Telecom.

Mejoramiento Genético

José Ricardo Acuña Z., Biólogo Ph.D.
María del Pilar Moncada B., Ing. Agrónomo Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D
Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Jefferson Medina O., Biólogo**
Alexa Yadira Morales C., Bióloga
Ligia Belén Suescún P., Ing. de Prod. Biotecnológica
Mónica Quintero M., Ing. Biológica **
Conrado Antonio Quintero D., Administrador Financiero
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
Jairo Jaramillo O., Tec. en Electrónica
Andrea Valencia O., Bióloga **
Hernán Díaz C.
Cruz Elena Díaz M.
Omar Villarreal
Sandra Liliana Largo V.

Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo Ph.D.
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga Ph.D.
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo Ph.D.
Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo M.Sc.
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Flor Edith Acevedo B., Ing. Agrónomo*
Aníbal Arcila M., Ing Agrónomo
Mauricio Jiménez Q., Tec. Administración Agropecuaria
Lucio Navarro E., Biólogo*
Juan Paulo Pimentel S., Tec. Adm. Empresas Agropecuarias
Juan Carlos Ortiz F.
Carlos Alberto Quintero A.
Diana Soraya Rodríguez A., Téc. en Producción de Café
Claudia Bibiana Tabares B.
Faber de Los Ríos P.
Diana Marcela Giraldo V.

Agroclimatología

Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola
Wilmar A. Rendón G., Tec. en Sistemas Informáticos
Myriam Giraldo M.
Luis Gonzaga Henao R.
Fabián Sánchez L.
Luis Fernando Torres Q.
Jorge Hernán Marulanda E., Tec. en Electrónica
Orlando Salazar G.

Fitopatología

Álvaro León Gaitán B., Microbiólogo Ph.D.
Juan Manuel López Vásquez, Ing. Agrónomo, M.Sc.
Alejandra María Hoyos G. Ing. Agrónomo
Carlos Alberto Zuluaga E., Tec. en Mantenimiento en Comp. y Redes
Carlos Arturo González V.
Jorge Dicksson Ocampo M.
Jaroliver Cardona G.
Juan Carlos López C.

Sostenibilidad

Juan Mauricio Rojas A., Ing. Alimentos M.Sc.
Gloria Esperanza Aristizábal V., Lic. Bióloga y Química M.Sc.
María Cristina Chaparro C., Química M.Sc.
Janeth Alexandra Zuluaga M., Economista Empresarial M.Sc.
Paola Andrea Espejo G. Antropóloga **
Mario López L.
Juan Sebastián Ospina Ramírez, Aprendiz Sena

Ingeniería agrícola

Carlos Eugenio Oliveros T., Ing. Agrícola Ph.D.
Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico Ph.D.
César Augusto Ramírez G., Arquitecto M.Sc.
Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos M.Sc.*
Paula Jimena Ramos G., Ing. Electrónico M.Sc.**
Ricardo José Grisales M., Tec. en Electrónica
José Farid López D., Tec. en Administración Agropecuaria
Javier Arias H.
Mario Espinosa G.
Javier Velásquez H.

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Admr de Empresas Agropecuarias M.Sc.
Kelly Johana Correa A., Prof. en Adm. de Mercadeo

Estación Central Naranja

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo

Estación Experimental El Tambo

Hernán Darío Menza F., Ing. Agrónomo M.Sc.

Estación Experimental El Rosario

Carlos Mario Ospina P., Ing. Forestal**

Estación Experimental La Catalina

Diego Fabián Montoya, Agrónomo
Francisco Javier Álzate O.
Vidal de Jesús Largo T.

Estación Experimental Líbano

Jorge Camilo Torres N., Ing. Agrónomo

Estación Experimental Paraguaito

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo **
Daniel Antonio Franco C., Tec. en Gestión Agropecuaria **

Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

Estación Experimental Santander

Pedro María Sánchez A., Ing. Agrónomo
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos

APOYO A LA INVESTIGACIÓN

Biometría

Esther Cecilia Montoya R., Estadístico M.Sc.
Rubén Darío Medina R., Estadístico M.Sc.
Hernando García O., Técnico en Mantenimiento Eléctrico**

Documentación

Alma Patricia Henao T., Lic. en Lenguas Modernas, Bibliotecóloga, Esp.
Nancy Elena Pérez M., Contador Público
Jorge Wilmar Valencia G. Tec. en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información

Economía

César Alberto Serna G., Contador, M.Sc.

Divulgación y Transferencia

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónomo M.Sc.
Carmenza Bacca R., Diseñadora Visual
Jair Montoya T., Administrador de Empresas M.Sc.
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual
Luz Adriana Álvarez M., Diseñadora Visual
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Sebastián Sánchez Agudelo, Aprendiz

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Luz Miryam Corredor R., Administradora de Empresas, Contador Público, Esp.
Rufina Perdomo G.

Gestión Contable y Tributaria

Martha Elena Vélez H., Contador Público Esp.
Jesús Danilo González O., Contador Esp.
María Consuelo González H.
Adrián Castro Duque, Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios Mantenimiento

Óscar Fernando Ramírez C., Ing. Mecatrónica**
Cristian David Sabogal E., Ing Electrónico y Electricista
Gabriel Hernando Ortiz C., Tec. en Gestión Bancaria y Financiera
Uriel López P.
José Asdrúbal Muñoz
Rogelio Rodríguez G.
Javier Vanegas V.
Eduardo Villegas A.
Fredy Hernán Osorio C.
Alexander Erazo S. Técnico Electricista
Cristian Andrés Chica Gómez, Aprendiz Universitario

Gestión de Tesorería

Luis Fernando Ospina A., Contador Público, Esp.

Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social M.Sc.

Luz Yaneth Guarín C., Tec. Administración de Negocios

Germán Uriel G., Administrador de Empresas, Esp.

Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional Esp.**

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L. Ing. Industrial M.Sc.

Damaris Márquez G., Administradora Financiera**

Federico Giraldo D., Administrador de Empresas

Gestión de Bienes y Servicios Contratación

Juan David Alzate Ocampo, Economista, M.Sc.

Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial

Luz Stella Duque C., Tec. en Administración de Negocios

Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional**

Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público

Yolanda Castaño G.

Gabriel Antonio Melo P.

Juan Pablo Jaramillo B., Técnico en Fotografía

Lina María Giraldo, Tec. Asistente Administrativo**

Oscar Eduardo Morales V., Aprendiz

Yuliana Paola Zambrano C., Aprendiz

Tecnología de la Información y Comunicaciones

Luis Ignacio Estrada H., Ing. Químico

Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.**

Luz Ángela Fernández R., Licenciada en Psicopedagogía

Elkin Marcelo Valencia L., Ingeniero de Sistemas**

Arley Valencia S., Ingeniero Electrónico**

Daniel Orozco J., Ing. Sistemas y Telecom. Esp.

Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecom. Esp.

Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecom. Esp.

Andrés Felipe Ramírez M., Ing. Sistemas y Telecom.

*Comisión de Estudios

** Adelantando estudios en el país

Instructivo para la elaboración de los artículos de la Revista Cenicafé

TEXTOS

- Digite los textos, no los diagrame
- Cuando cite la palabra Cenicafé, escriba la primera letra en mayúscula y las siguientes en minúsculas
- Los nombres científicos se escriben en letra itálica o cursiva; la primera letra debe ir en mayúscula, ejemplo: *Beauveria bassiana*
- Las palabras *et al.*, *in vitro* y cualquier otra locución latina se escriben en letra itálica o cursiva
- El estilo de escritura debe ser absolutamente impersonal, en tiempo gramatical pasado, evitando la conjugación de verbos en primera o tercera persona del singular o el plural
- Las ecuaciones deben nombrarse y enumerarse mediante el siguiente modelo matemático <>:
 $A = R \times K \times S \times L \times C \times P <1>$
- Si se emplean siglas y abreviaturas poco conocidas, se indicará su significado la primera vez que se mencionen en el texto y en las demás menciones bastará con la sigla o abreviatura
- Evite al máximo el uso de nuevas siglas poco conocidas

TABLAS Y FIGURAS

- Elabore las tablas en el formato de tabla de word o de excel
- No las incluya en el documento como fotos o imágenes
- Las cifras decimales sepárelas con una coma, no con punto
- Las tablas deben titularse en la parte superior y al enunciarla en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Tabla 10
- Las tablas deben crearse en blanco y negro
- Como norma general, las figuras deben titularse en la parte inferior, y cuando enuncie la figura en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Figura 10
- Las fotografías se deben tomar con el mayor tamaño (número de píxeles) y la mejor calidad (Fine) posibles, ya que esto asegura mejores impresiones de informes, pósteres o publicaciones
- Las fotografías deben nombrarse con el autor y su descripción
- Las tablas y figuras deben presentarse en archivos independientes y con numeración consecutiva (Tabla 1... Tabla n; Figura 1... Figura n, etc.)
- Los textos y tablas deben presentarse en el procesador de palabra Word
- Las tablas y los diagramas de frecuencia (barras y torta) originales deben suministrarse en el archivo del manuscrito y también en su original de Excel
- Otras figuras, como fotografías sobre papel y dibujos, se pueden enviar en originales o escanearlas y remitirlas en el formato digital de compresión JPG, preferiblemente con una resolución de 600 x 600 dpi (mínimo 300 dpi)

ECUACIONES

- Use una sola letra para denotar una variable y emplee subíndices para particularizar
- Para las variables utilice letra itálica
- El producto no se denota con *. Use solamente espacios
- Las matrices y vectores se denotan con letra en negrilla e itálica

SISTEMA DE UNIDADES

- En los productos de investigación a divulgar se utiliza exclusivamente el Sistema Métrico Decimal (SI), además de las unidades específicas de mayor uso por parte de la comunidad científica.
- Los puntos de multiplicación y los números superíndice negativos pueden ser usados solamente con unidades del SI (por ejemplo, $m^3 \cdot s^{-1}$ y $m^3 s^{-1}$, que podría indicar milisegundos).

- No se debe interrumpir la notación de unidades del SI con símbolos que no corresponden a unidades del sistema internacional ni con palabras diferentes, porque las unidades son expresiones matemáticas. Reordene la frase apropiadamente, por ejemplo así:
 - _ El rendimiento en peso seco fue de 5 g.día⁻¹, y no 5 g de peso seco.día⁻¹
 - _ Se aplicaron 25 g.ha⁻¹ del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha
 - _ Cada planta recibió 20 g.ha⁻¹ de agua, y no 20 g H₂O/ha por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: 10 °C/h ó 10 L/materia)
- Nunca use el punto elevado (.) y el *slash* en la misma expresión. Si se hallan mezcladas unidades del SI con unidades que no son del SI, use primero el slash y luego la palabra 'por' en segundo término.
- Nunca utilice dos o más líneas oblicuas o *slashes* (/) o la palabra 'por' más que una vez en la misma frase, pues estos dos términos son equivalentes; por ejemplo en cepilladas/día por planta, redacte la frase así: cada planta fue cepillada dos veces al día. Para unidades totalmente verbales, use un slash, como en 3 flores/planta ó 10 frutos/rama
- Use la misma abreviatura o símbolo para las formas en singular o plural de una unidad determinada (por ejemplo, 1 kg y 25 kg). Deje un espacio entre el valor numérico y el símbolo (por ejemplo, 35 g y no 35g). En una serie de medidas ponga la unidad al final (excepto para el signo de porcentaje) así: entre 14 y 20°C o hileras a 3, 6 y 9 m, pero 14%, 16% y 18%
- En las publicaciones se emplea la coma (,) para separar decimales y el punto (.), para separar miles y millones

BIBLIOGRAFÍA

Antes de enviar las propuestas de publicaciones tenga en cuenta los siguientes modelos para citar las bibliografías, de acuerdo con los criterios determinados por el Comité Editorial de Cenicafé.

Libros, folletos y monografías

- Autor(es) . Título : Subtítulo. No. de edición. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Partes o capítulo de un libro

- Autor(es) del capítulo o parte. Título del capítulo o parte : Subtítulo. Paginación de la parte citada. En: Compilador(es) o editor(es) del trabajo general . Título del trabajo general: Subtítulo. No. de edición. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs. del libro.

Ponencias

- Autor(es) ponencia, congreso, etc . Título de la ponencia, etc. : Subtítulo. Paginación de la parte citada. En: Título oficial del congreso, simposio, etc . (No. arábigo correspondiente al congreso : fecha y año de realización : ciudad donde se realizó). Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Trabajos de grado

- Autor(es) del trabajo. Título : Subtítulo. Ciudad : Institución universitaria que otorga el título. Facultad o Escuela, Fecha. No. total de págs. Trabajo de grado: título recibido.

Congresos, Seminarios, Simposios

- Nombre del congreso en mayúscula sostenida la primera palabra : Memorias, Actas, Procedimientos, etc. (No. Arábigo correspondiente al congreso : fecha y año de realización : ciudad donde se realizó). Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Artículos de revistas

- Autor(es) . Título del artículo : Subtítulo . Título de la revista. Volumen(número):Pág. inicial-pág.final del artículo. Año

Separatas y reimpresos

- Autor(es). Título de la separata : Subtítulo. En: Título de la publicación de la cual se extrae la separata Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha) si es un libro, o, Volumen y/o número si es una revista Año. (separata). No. Total de págs.

Boletines y Publicaciones en serie

- Autor(es) . Título : Subtítulo . Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs. (Avances Técnicos, Boletín Técnico, Circular, etc. No. 00).

Normas

- Autor(es). Título : Subtítulo. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). (NTC 000). No. de págs.

Documentos electrónicos

- Autor(es). Título : Subtítulo. [En línea]. Lugar de publicación : Publicador, fecha. Disponible en internet: <http://www.> . Parte de un documento electrónico o registro de base de datos Consultado el ...Fecha de la consulta.

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

El artículo postulado para su publicación debe ser original o inédito, y de igual manera no puede estar postulado para su publicación en otras revistas

Título – Máximo 16 palabras

- Que sea breve y preciso
- Que identifique el aporte del estudio, es decir, hágalo interesante pero preciso.
- Si se incluye el nombre común o el binomial (científico) de una especie en el título, utilice uno de los dos pero nunca ambos.
- No prometa más de lo que va a entregar
- Evite el uso de subtítulos
- Evite abreviaturas, paréntesis, fórmulas, caracteres desconocidos
- Nombre del (los) autor (es)
- Se debe incluir la profesión y demás títulos obtenidos
- Si el autor o alguno de los autores ya no se encuentra trabajando en Cenicafe, se debe incluir la fecha de retiro (mes y año)

Resumen – Máximo 250 palabras

- El resumen debe señalar de manera concisa los objetivos, resultados y conclusiones del estudio.
- No debe contener referencias bibliográficas
- Su contenido se debe entender sin tener que recurrir al texto, tablas y figuras
- Al final del resumen deben incluirse de 3 a 6 palabras claves que describan los tópicos más importantes del trabajo, con el fin de facilitar la inclusión en los índices internacionales; las palabras claves no deben estar incluidas en el título

Abstract - Máximo 250 palabras

- Es la versión del resumen traducida al inglés. Debe ser preparado por el autor y debe incluirse

Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

- La naturaleza del problema, de manera concisa
- El estado del problema (revisión de literatura)
- Solo deben citarse las referencias estrictamente pertinentes
- No debe incluir datos, ni conclusiones del trabajo
- El propósito de la investigación

Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

Debe escribirse de tal manera que un investigador con conocimiento del tema pueda repetirlo, que informe al lector cómo fue realizado el estudio y proporcione suficiente información para interpretarlo y evaluarlo. Está seguro de no omitir información que pueda afectar la interpretación de los resultados, es decir:

- Describa las condiciones experimentales, precisa y concisamente
- Los detalles del medio ambiente, especímenes, técnicas, materiales y equipos deben considerarse en esta sección del artículo
- Haga énfasis en hechos que sean nuevos
- No entre en detalle cuando se trate de métodos estandarizados de investigación
- Use citas de literatura si son pertinentes
- Si un método estándar ya publicado ha sido modificado, describa la naturaleza de los cambios
- Describa los métodos en la secuencia que va a describir los resultados
- La primera vez que mencione un nombre científico utilice el binomial con el clasificador, ejemplo: *Coffea arabica* L.; de allí en adelante sólo use el género abreviado y escriba la especie, ejemplo: *C. arabica*

- Siempre use el tiempo pasado
- Defina técnicamente las variables y cómo se obtienen
- Describa el diseño experimental o soporte estadístico, de acuerdo con el tipo de investigación
- Describa el análisis de la información
- Describa los criterios de decisión

Resultados y discusión – Máximo 2.500 palabras

En este capítulo se presentan los análisis y la interpretación de los datos obtenidos en la investigación, discutidos según los resultados anteriores. Como guías deben tenerse en cuenta las siguientes:

- Presente los datos en la secuencia abordada en la metodología
- Use tablas o figuras (ilustraciones y gráficas)
- No repita los datos en distintas formas. O están en figuras o en las tablas o en el texto
- Si el contenido total de la tabla puede ser descrito con claridad en el texto, no la presente. La tabla debe contener, al menos una medida de tendencia central, una medida de dispersión o intervalo de confianza, si requiere la prueba de comparación estadística. Al pie de la tabla indicar la prueba de comparación, con su nivel de significación y la descripción de las abreviaturas utilizadas en ella
- Utilice la figura para ilustrar en forma rápida un resultado complejo
- En el caso de ilustrar promedios, utilice los intervalos de confianza. No incluya en las figuras los datos de promedios ni las letras asociadas a la prueba de comparación
- En una misma figura no incluya dos variables dependientes diferentes. Utilice correctamente el plano cartesiano
- Las descripciones de figuras y tablas deben contener la información suficiente para entender los resultados descritos en ellas, sin tener que acudir al texto
- El mensaje central debe ser suficientemente claro
- Indique la aplicación de los resultados
- Interprete los resultados
- Discuta hechos controversiales con objetividad
- Permítale al lector seguir su línea de pensamiento
- Identifique resultados que abran nuevas posibilidades de estudio
- No se sienta obligado a escribir una explicación positiva para cada faceta del estudio
- Nunca utilice “se necesita hacer más trabajo. . .”
- No haga discusión trivial

Agradecimientos – Máximo 70 palabras

Con esta sección se pretende abrir un espacio lo suficientemente notable para que se tengan en cuenta las personas que con sus aportes colaboraron a guiar o desarrollar las investigaciones o a redactar y revisar el manuscrito que se somete a consideración, y que de no existir una sección como ésta, el autor en ocasiones se ve forzado a considerarlas como coautoras del artículo. Además, debe incluir la fuente de financiación de la investigación que originó el artículo, como el código de la misma

Literatura citada

- Se deben colocar en esta Sección sólo las referencias citadas
- No más de 50 citas bibliográficas
- La literatura se debe organizar en estricto orden alfabético y se debe enumerar siguiendo un orden ascendente Las referencias deben citarse en el texto utilizando el número correspondiente al orden alfabético

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Revisión de textos y corrección de estilo: Sandra Milena Marín López Ing. Agr. MSc.

Diseño y diagramación: Óscar Jaime Loaiza E.

Fotografías: Archivo Cenicafé

Impresión:

1.200 ejemplares



Cenicafé

Al servicio de los caficultores colombianos, desde 1938

www.cenicafe.org