

# Influencia de la intensidad de luz en la producción de posturas de cafeto (*Coffea Arabica L.*) en vivero

## Influence of light intensity in the production of coffee seedlings (*Coffea Arabica L.*) in Nursery.

Max Encalada Córdova<sup>1</sup>

Francisco Soto Carreño<sup>2</sup>

Donaldo Morales Guevara<sup>2</sup>

Tania Cabrera Erreyes<sup>2</sup>

Mayeli Jaramillo Rojas<sup>3</sup>

1. Profesor principal de la Carrera de Agronomía de la Universidad Nacional de Loja, Ecuador

2. Investigadores titulares del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas INCA, Cuba

3. Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Loja, Ecuador

\*Autor para correspondencia: max.encalada@unl.edu.ec

RECIBIDO: 14/04/2016

APROBADO: 16/11/2016

### RESUMEN

El cultivo del cafeto ha cobrado gran importancia en la Región Sur del Ecuador dada su reactivación en los últimos años, que ha generado nuevas plantaciones y renovaciones en pequeñas y medianas unidades productivas, que demandan gran cantidad de posturas de calidad. Por ello, la importancia de estudiar su crecimiento y comportamiento fisiológico en vivero, en diferentes condiciones de iluminación. Para contribuir a ese conocimiento, se realizó en Chaguarpamba, Ecuador a 760 msnm, un experimento en condiciones de vivero, con cuatro niveles de luz (100, 70, 50 y 20 %). Se evaluaron los indicadores: contenido de clorofila, área foliar, densidad estomática y masa seca. Se utilizó un diseño muestral y para procesar los datos se realizaron análisis de varianza, intervalos de

### ABSTRACT

The cultivation of coffee has gained great importance in the South of Ecuador given its revival in recent years, which has generated new plantations and renewal in small and medium production units, which require many quality seedlings. Hence the importance of studying growth and physiological behaviour in nursery, in different lighting conditions. To contribute to that knowledge, he was held in Chaguarpamba, Ecuador to 760 meters, an experiment under nursery conditions with four light levels (100, 70, 50 and 20%). The indicators was evaluated: chlorophyll content, leaf area, stomatal density and dry mass. A sampling design was used, for data processing was performed analysis of variance, confidence intervals and regressions. The results showed a direct relation between

confianza y regresiones. Los resultados mostraron una relación directa entre la intensidad de la luz y el contenido de clorofila total y expresó proporcionalmente mayor contenido de clorofila b respecto a la clorofila a, lo cual permitió una mayor captación de la energía lumínica disponible. En los tratamientos de menor intensidad de luz se obtuvo una mayor superficie foliar que estuvo dada por el mayor tamaño de las hojas. La densidad estomática fue mayor en las hojas crecidas a pleno sol, debido al menor tamaño de las mismas. Como consecuencia de la mayor eficiencia de captación y conversión de la luz solar, los tratamientos de menor intensidad lumínica produjeron mayores valores de masa seca total, que estuvo determinada mayoritariamente por la masa seca de las hojas.

**Palabras clave:** clorofila, crecimiento, iluminación, sombra.

the light intensity and the total chlorophyll content and expressed proportionally higher chlorophyll b from chlorophyll a, enabling greater capture of light energy available. In the treatment of lower light intensity, greater leaf area was due to the higher size of the leaves was obtained. The stomatal density was higher in leaves grown in full sun, due to the smaller size of the same. As a consequence of the greater efficiency of collection and conversion of sun light, the lower light intensity treatments produced higher levels of total dry mass, which was determined mainly by the dry mass of the leaves.

**Keywords:** chlorophyll, growth, lighting, shadow.

## ■ INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos de exportación de muy alto valor en el mundo entero (FAO, 2011); es un cultivo de amplio rango de adaptación ecológica que está presente en muchos lugares del mundo, especialmente la especie *Coffea arabica* L., que representa cerca del 67 % del cultivo total (DaMatta y Rodríguez, 2007).

En el Ecuador este cultivo se desarrolla en una franja altitudinal que va desde los 300 hasta los 1800 m, ubicándose en el litoral y en las estribaciones occidental y oriental de la Cordillera de los Andes (COFENAC, 2013). A la actividad productiva se dedican aproximadamente 120.000 familias que representan el 12 % de la Población Económicamente Activa Agrícola PEAA y 4 % de la Población Económicamente Activa (PEA) total (COFENAC, 2011).

El deficiente manejo del cultivo y el envejecimiento de las plantaciones han determinado la baja productividad, con rendimientos promedio de 0.35 t ha<sup>-1</sup>, lo que ha provocado

cierta inestabilidad del sector (COFENAC-MAGAP, 2014). Esta situación se trata de enfrentar y modificar desde el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ecuador MAGAP, con la implementación del proyecto de reactivación de café y cacao que busca renovar la superficie de 20.000 ha de café arábico a nivel nacional (MAGAP, 2015).

El caféto es un cultivo que tolera tanto la sombra como el pleno sol, lo que justifica el interés por estudiar especialmente su ecofisiología, a fin de proporcionar elementos que conduzcan a un mejor uso de los recursos disponibles en la producción. Según el Ministerio de la Agricultura de Cuba (2013), la calidad de las posturas de caféto es el factor que más tiempo ejerce influencia sobre una plantación; por ello, se vuelve de gran importancia su producción en condiciones que aseguren la continuidad del crecimiento y un buen rendimiento futuro. Gagliardi (2014) y Alves y Guimaraes (2010) señalan que a pesar de que la mayoría de las plantaciones de café son cultivadas a pleno sol, estudios apuntan a que

la especie es de sombra, principalmente para la producción de posturas.

Las plántulas de cafeto, pasan por un proceso de crecimiento y adaptación en el que las condiciones ambientales tienen gran importancia y ejercen influencia directa sobre su fisiología en las diferentes etapas de crecimiento; uno de esos factores es la luz. Debido a la escasa producción científica disponible sobre la ecofisiología del cafeto y particularmente de la luz como factor determinante del crecimiento de posturas en vivero en la Zona Sur del Ecuador, se emprendió en el estudio de su comportamiento en condiciones lumínicas diferentes, como medio para lograr definir mejores alternativas de manejo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el cantón Chaguarpamba, provincia de Loja en Ecuador, a 760 msnm, en las coordenadas 03° 52' 23" Sur y 79° 38' 27" Oeste, con una temperatura media durante el período de evaluación de 23,8 °C. Se desarrolló en condiciones semi controladas, con cultivar caturra, colocándose 300 plántulas bajo cuatro niveles de intensidad de luz solar: 100, 70, 50 y 20 %; la intensidad se manejó con la colocación de mallas polisombra de color negro con densidades establecidas por el fabricante; estas condiciones se mantuvieron hasta 215 días después de la emergencia (DDE), momento en que las posturas contaron con ocho pares de hojas, presentando condiciones para su trasplante en el campo.

Durante este período se evaluaron contenido de clorofila, densidad estomática, área foliar y masa seca total y de los órganos. Se utilizó un diseño muestral con un esquema de campo en franjas, donde cada franja representó un nivel de intensidad de luz; para procesar los datos se realizaron análisis de varianza y regresiones, utilizando el programa Statgraphics Plus 5,0 y análisis de intervalos de confianza con el pro-

grama Microsoft Excel.

**Contenido de Clorofila.** Este indicador se determinó a los 215 días después de la emergencia (DDE), por el método de espectrofotometría, para lo cual se muestreó dos posturas de cada tratamiento, de las cuales se tomó las hojas y se pesó cinco gramos, se las trituró y se colocó en acetona por 10 minutos dejándose en un vaso de precipitación por 24 horas en ausencia de luz; después de transcurrido este tiempo se filtró y se aforó a 100 ml con acetona al 80 %; este producto se llevó al espectrofotómetro y se realizó la lectura de absorbancia a longitudes de onda de 660 y 642,5. Con estos datos se aplicó las siguientes ecuaciones: Clorofila total en mg/g = 7,12 (lectura a 660) + 16,8 (lectura a 642,5); Clorofila a = 9,93 (lectura a 660) - 0,777 (lectura a 642,5); Clorofila b = clorofila total - clorofila a (Cambrón, et al., 2011). Se procesaron los datos con un análisis de intervalos de confianza y la relación clorofila a/clorofila b por diferencia porcentual.

**Área foliar.** Para este indicador se muestreó cinco posturas de cada tratamiento desde los 65 hasta los 215 DDE, con frecuencia de 25 días, a las que se les midió el largo y el ancho de sus hojas; luego, se estimó el área foliar aplicando la ecuación:  $AF = 0.64 \times (L \times A) + 0.49$  (Soto, 1994), en donde: AF = Área Foliar, L= largo de las hojas, A= ancho de las hojas. Los datos resultantes se analizaron con intervalos de confianza; además, se determinó la dinámica de crecimiento, para lo cual se ajustaron los datos a una función exponencial polinómica de segundo grado, a partir de estas ecuaciones se calculó la Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC).

**Densidad estomática.** La evaluación se realizó a los 215 DDE y consistió en colocar una capa de esmalte de uñas incoloro sobre ambos lados de la nervadura central del lado abaxial de las hojas ubicadas en la parte central de la postura (Caldwel y Stone, 1932); se obtuvo de cada

aplicación una lámina grabada que se colocó en un portaobjetos humedecido y luego se cubrió para su observación.

Las muestras se observaron en un microscopio óptico MOTIC, modelo BA-210 Digital, con un aumento de 100x. Se tomaron dos campos por muestra, para un total de ocho campos por tratamiento. Para el conteo se consideró un estoma cuando las dos células oclusivas estuvieron presentes. El procesamiento de los datos se realizó con un análisis de varianza simple, y se expresó la densidad con número de estomas por mm<sup>2</sup> (Herrera et al., 2000).

**Masa seca de los órganos y total.** Este indicador se evaluó desde los 65 hasta los 215 DDE; se tomó como muestra cada 25 días cinco posturas y se separó cada órgano, estas partes se secaron en una estufa de circulación forzada a 80 °C hasta peso constante; luego se pesó en una balanza analítica SARTORIUS modelo TE-214 de Capacidad 120 g, con una precisión de 0,1 mg. La suma de los valores de cada órgano determinó la masa seca total. Con estos datos se realizaron comparaciones entre tratamientos con análisis de intervalos de confianza para cada órgano a los 140 y 215 DDE; además, se estudió la dinámica de acumulación de masa seca ajustando los datos a una función exponencial polinómica de segundo grado, con las ecuaciones resultante se calculó la Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC).

## RESULTADOS

### Contenido de clorofila

El contenido mayor de clorofila total se produjo en el nivel de 20 % de luz con diferencias respecto a los demás (Figura 1); el valor me-

nor fue el de las posturas desarrolladas en 100 % de luz, mostrándose una relación positiva entre la sombra y el contenido total de clorofila, que evidenció una respuesta de las hojas para lograr una mayor captación de la luz en condiciones de menor luminosidad incidente.

Del mismo modo se utilizó el método sintético que sirvió para establecer y sintetizar los datos obtenidos en el trabajo de campo, mismos que favorecieron para resumir en qué medida se cumplió los objetivos propuestos, encontrándose la respuesta al problema; como en la fundamentación teórica que se hizo a través del estudio de autores que han investigado y/o reflexionado sobre la problemática de interés; y, luego de obtener la información se procedió a la organización y redacción del informe, de cuyos resultados da cuenta el presente artículo científico.

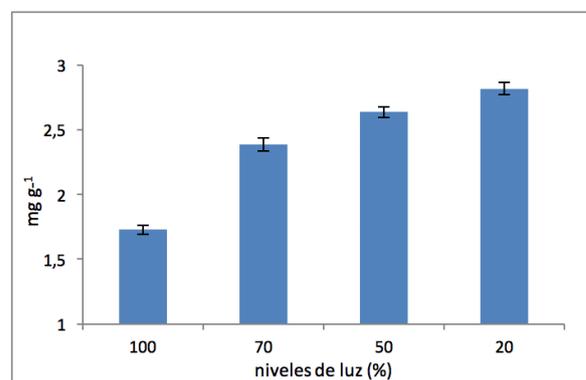


Figura 1. Contenido de clorofila total a los 215 DDE en posturas de caféto crecidas con cuatro niveles de intensidad de luz. Las líneas verticales sobre las barras muestran el intervalo de confianza  $1-\alpha = 0,05$

El contenido de clorofila a tuvo mayores valores a la sombra con respecto a las posturas de total iluminación; no se presentaron diferencias estadísticas entre el 50 y el 20 % de luz y entre el 50 y el 70 % de luz. En cuanto a la clorofila b, los valores mayores se produjeron en los niveles de 70, 50 y 20 % de luz (Figura 2).

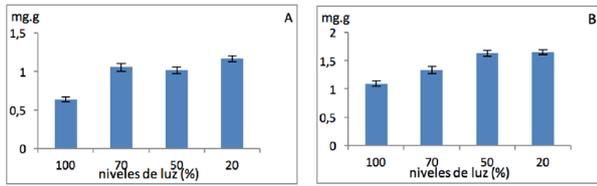


Figura 2. Contenido de clorofila *a* y clorofila *b* en posturas de café crecidas con cuatro niveles de intensidad de luz. A. Clorofila *a*, B. Clorofila *b*. Las líneas verticales sobre las barras muestran el intervalo de confianza  $1-\alpha = 0,95$ .

Aunque los dos tipos de pigmentos se incrementaron con la sombra, la relación de clorofila a clorofila b, pasó de 48/52 (%) de 100 % de luz a una relación de 42/58 en las posturas crecidas a 20 % de luz (Figura 3).

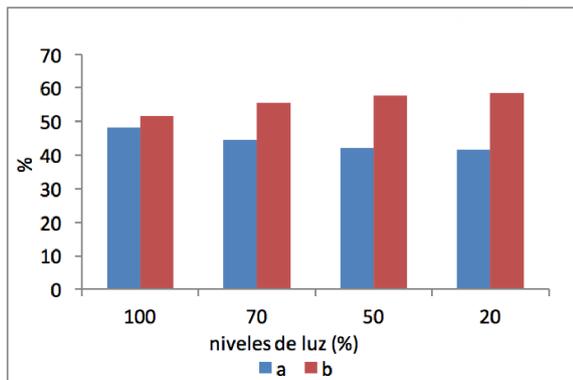


Figura 3. Contribución de clorofila *a* y *b* (%) al contenido total de clorofila de posturas de café crecidas con cuatro niveles de intensidad de luz

**Área foliar.** La dinámica del Área Foliar indicó que a los 115 DDE los tratamientos aún no se habían diferenciado entre sí; a los 140 DDE se empezaron a diferenciar los de 100 y 70 % de luz entre sí. De ahí en adelante, el nivel de 100 % de luz se mantuvo por debajo de los demás, luego se ubicó el tratamiento de 70 %; las líneas de la curva de crecimiento de los tratamientos de 50 y 20 % siempre se mantuvieron en el mismo nivel, lo que supone que no se produjeron diferencias entre éstos (Figura 4, A).

La TAC demostró que el crecimiento hasta los 90 DDE fue lento en todos los tratamientos, luego de lo cual se produjo un crecimiento

exponencial en los tratamientos con restricción lumínica, para finalmente alcanzar su máxima velocidad de crecimiento a los 190 DDE, disminuyendo rápidamente esta velocidad hasta los 215 DDE (Figura 4, B).

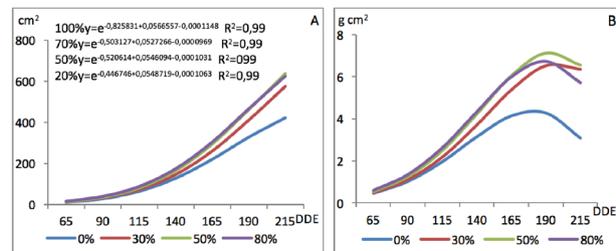


Figura 4. Área foliar de posturas de café con cuatro niveles de intensidad de luz. A. Dinámica del Área Foliar, B. Tasa Absoluta de Crecimiento.

Este comportamiento visto en tres momentos al comparar las medias de los tratamientos, presentó los siguientes resultados: a los 65 DDE no se diferenciaron los tratamientos entre sí; a los 140 DDE se evidenció los valores mayores en el tratamiento de 20 % de luz, sin diferencias significativas con los tratamientos de 50 y 70 % de luz; los menores valores se presentaron con el tratamiento de 100 % de luz, el cual se diferenció significativamente con el tratamiento de 20 %. A los 215 DDE los valores mayores se produjeron en el tratamiento de 50 % de luz; sin embargo, al igual que a los 140 DDE, no se diferenció con el 70 y 20 % de luz; a esta edad las posturas que menor área foliar lograron, fueron las de pleno sol, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos (Figura 5).

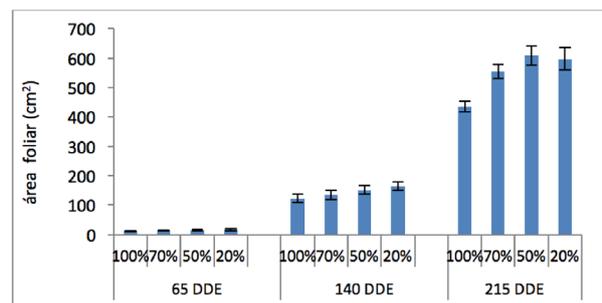


Figura 5. Área foliar de posturas expuestas a diferentes niveles de luz (100, 70, 50 y 20%) en tres momentos de su desarrollo en el vivero (65, 140 y 215 DDE). Las líneas verticales sobre las barras muestran el intervalo de confianza  $1-\alpha = 0,95$

El área foliar estuvo determinada por el tamaño de año de las hojas, lo que se puede observar en la Figura 6, donde se presentan los valores mayores de tamaño de las hojas en los tratamientos de 50 y 20 % de luz, que no se diferenciaron significativamente entre sí y los menores valores se dieron en el tratamiento de 100 % de luz con diferencia significativa con los demás (Figura 6). Los resultados demostraron que a menor intensidad de luz las hojas amplían el tamaño de su lámina como una forma de adaptación para captar con mayor eficiencia la poca luz disponible.

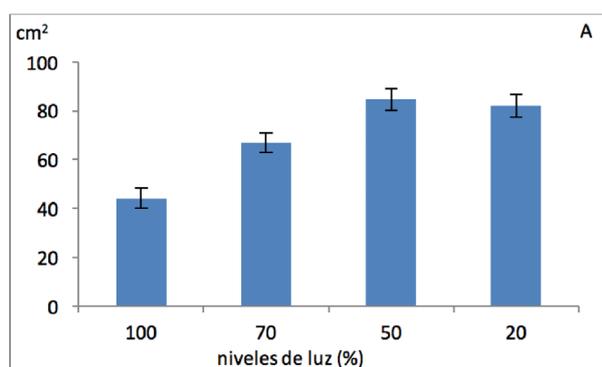
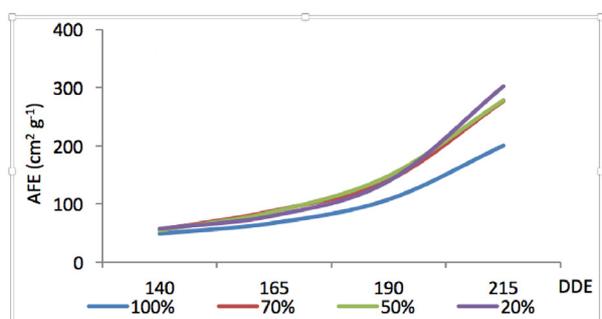


Figura 6. Tamaño de las hojas de caféto crecidas en cuatro niveles de intensidad de luz a los 215 DDE. Las líneas verticales sobre las barras muestran el intervalo de confianza  $1-\alpha = 0,95$

El área foliar específica (AFE), en todo momento en los niveles de 70 y 50 % estuvo por arriba de los demás tratamientos; no así las posturas expuestas a 20 % de luz que inicialmente se presentaron en un nivel similar al 70 y 50 %, pero a partir de los 190 DDE se presentó superior a los demás; el tratamiento que menor AFE presentó fue el de 100 % (Figura 7).



**Densidad estomática.** En cuanto a la densidad estomática (Tabla 1), se observó que las hojas expuestas a pleno sol presentaron una mayor densidad, diferenciándose significativamente con los demás tratamientos; los niveles de 70 y 50 % no se diferenciaron significativamente entre sí; El nivel de 20 % de luz presentó la menor densidad de estomas por superficie foliar.

Tabla 1. Densidad estomática a los 205 DDE (estomas x mm<sup>2</sup>) en hojas de posturas de caféto crecidas en cuatro niveles de intensidad de luz

| Nivel de sombra (%) | Estomas por mm <sup>2</sup> |
|---------------------|-----------------------------|
| 100                 | 321,7 a                     |
| 70                  | 252,0 b                     |
| 50                  | 265,7 b                     |
| 20                  | 179,3 c                     |
| E.S.                | 5,03                        |

Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a  $p \leq 0.05$ , según test de Tukey.

**Masa Seca.** En la curva de la dinámica se observó que hasta los 115 DDE, aunque se observó un incremento relativamente rápido de la masa seca, las curvas no se separaron entre tratamientos; a partir de ese momento se observó un crecimiento diferenciado, manteniéndose los tratamientos de menor intensidad de luz (50 y 20 %) por arriba de los otros dos (70 y 100 %) hasta los 215 DDE (Figura 8, A).

El tratamiento de 20 % de luz a los 190 DDE obtuvo los valores mayores de incremento (0,06 g día<sup>-1</sup>), luego de lo cual fue disminuyendo esa velocidad hasta llegar a los 215 DDE a 0,04 g día<sup>-1</sup>. El tratamiento del 50 % de luz obtuvo la mayor velocidad de incremento a los 165 DDE con un valor de 0,05 g día<sup>-1</sup>, los niveles de 100 y 70 % alcanzaron la más baja velocidad de incremento durante todo el experimento (Figura 8, B).

Figura 7. Dinámica del área foliar específica de posturas de caféto expuestas a cuatro niveles de intensidad de luz, en cuatro momentos de evaluación.

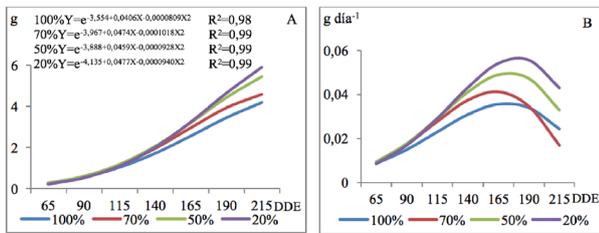


Figura 8. Masa seca total de los tratamientos. A. Dinámica de crecimiento. B. Tasa Absoluta de Crecimiento.

En la comparación de medias de la masa seca se observó que a los 65 DDE no se diferenciaron los tratamientos; mientras que a los 140 DDE como efecto de los tratamientos, se ven diferencias entre los valores, logrando el mayor el 20 %; sin embargo, entre los tratamientos sombreados no hay diferencia. A los 215 DDE, los mayores valores se produjeron en los tratamientos de 20 y 50 y %, con diferencias significativas frente a los demás (Figura 9). Esto se relaciona con el mayor crecimiento que adquirieron las posturas en respuesta a los tratamientos durante el período de experimentación.

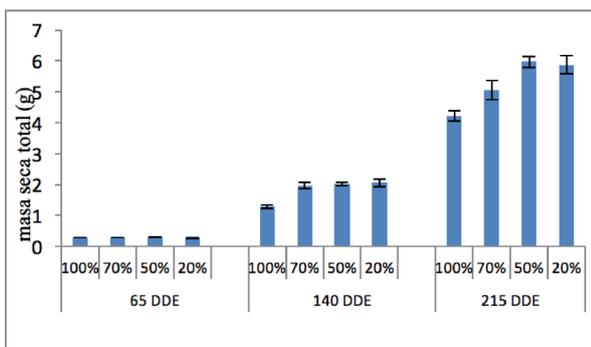


Figura 9. Masa seca total de posturas expuestas a cuatro niveles de luz (100, 70, 50 y 20%) en tres momentos de su desarrollo en el vivero (65, 140 y 215 DDE). Las líneas verticales sobre las barras muestran el intervalo de confianza  $1-\alpha = 0,95$

Al realizar el análisis de los resultados de la masa seca por órganos, se obtuvo que a los 140 DDE la masa seca de las hojas fue mayor en las posturas con menor luz, con diferencia significativa con el tratamiento de 100 % de luz, mientras que a los 215 DDE los valores mayores

se presentaron en los tratamientos de 50 y 20 %. El tratamiento de 100 % presentó los valores menores de masa seca de hojas con diferencia frente a los demás (Figura 10, A).

La masa seca del tallo a los 140 DDE presentó valores mayores para el tratamiento de 100 % de luz, disminuyendo los mismos conforme la exposición a la luz fue menor; a los 215 DDE la masa seca del tallo presentó un valor mayor en el tratamiento del 50 %, diferenciándose significativamente de los demás; el tratamiento de 100 % a esta edad de las posturas presentó el segundo valor más alto después del 50 % (Figura 10, B).

En el peso seco de raíces se destacó el tratamiento del 20 %, tanto a los 140 como a los 215 DDE, con diferencias significativas en ambos casos, los menores valores los presentó el tratamiento de 100 % de luz (Figura 10, C).

Porcentualmente el mayor aporte a la masa seca total a los 215 DDE, estuvo dado por las hojas desde el 55,80 % en el tratamiento de pleno sol, hasta el 61,81 % en el tratamiento de 50 % de luz, que fue el que presentó los valores mayores; luego estuvo el aporte del tallo que estuvo en un rango entre el 22,96 % en el trata-

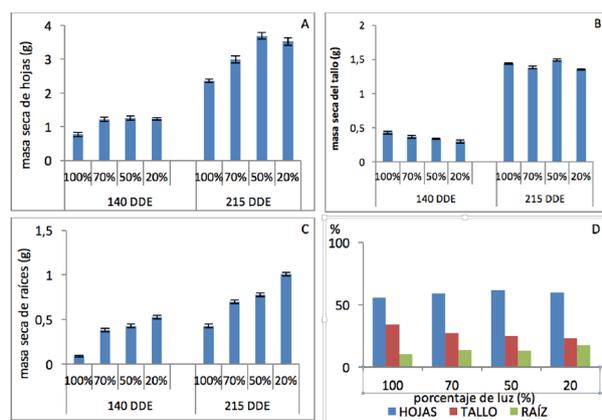


Figura 10. Masa seca por órganos de posturas expuestas a cuatro niveles de intensidad de luz a los 140 y 215 DDE. A. masa seca de las hojas, B. masa seca de tallo. C. masa seca de raíces. D. porcentaje de aporte de cada órgano a la masa seca total a los 215 DDE. Las líneas verticales sobre las barras muestran el intervalo de confianza  $1-\alpha = 0,95$

miento de 20 % de luz, hasta el 34,04% en el tratamiento de 100 % de luz; en este caso el comportamiento fue lineal, a menor intensidad de luz, menor fue el porcentaje de aporte del tallo a la masa seca; en el caso de la raíz, el aporte estuvo entre el 10,16 % que fue el más bajo y que correspondió al tratamiento de 100 % de luz, hasta el 17,18 % que presentó el tratamiento de 20 % (Figura 10, D).

## ■ DISCUSIÓN

El contenido de clorofila total estuvo en el rango de 1,73 a 2,82 mg/g de masa fresca, lo cual se corresponde con lo encontrado en hojas de caféto por Valencia *et al.* (1997); el incremento lineal de clorofila que se produjo en relación con la intensidad de luz, coincide con lo señalado por Rivera *et al.* (2013) y González *et al.* (2013). Los resultados evidenciaron la capacidad del caféto para adaptarse a condiciones de sombra, ya que el incremento del contenido de clorofila provoca la mayor captación de la disminuida intensidad de luz incidente. En condiciones de vivero, Da Silva (2013) encontró que las hojas de caféto expuestas a pleno sol, redujeron el 30 % de clorofila total respecto a las cultivadas a la sombra.

En lo que corresponde a los tipos de clorofila a y b, se encontró que la clorofila a fue mayor a la sombra con respecto a las posturas de total iluminación, lo cual también fue informado por Mariño (2014). Así mismo, Nakazono *et al.* (2001), Medina-Cano *et al.* (2006) y Lombardini *et al.* (2009), informaron del incremento de la clorofila b en correspondencia positiva con el incremento de la sombra. Este fenómeno explica que existe cierta capacidad fisiológica del caféto para activar los pigmentos accesorios (clorofila b), cuando el funcionamiento de los pigmentos activos (clorofila a) se ve disminuido por la poca iluminación, de tal forma que la

combinación de ambos (a y b), por un lado facilita la captación de luz y por otro incrementa la capacidad fotosintética de la planta en estas condiciones ambientales (Cambrón *et al.*, 2011).

El crecimiento del Área Foliar se correspondió con los valores del contenido de clorofila y demostró una inversión mayor de fotoasimilados en hojas para maximizar la captación de la luz disponible, como lo señala también Gobbi *et al.* (2011). Este resultado se traduce en una mayor eficiencia en condiciones de luz restringida, lo cual es importante, ya que el Área Foliar está involucrada directamente en la actividad fotosintética y, por tanto, en la acumulación de masa seca (Rodríguez, 2002).

El Área Foliar Específica (AFE), en los tratamientos de 70 y 50 % siempre se presentó superior a los demás tratamientos; no así las posturas expuestas a 20 % de luz que inicialmente se presentaron en un nivel similar al 70 y 50 %, pero a partir de los 190 DDE se ubicó por encima de los demás tratamientos. El tratamiento que menor AFE presentó fue el de 100 %. Considerando que el AFE está ligada al crecimiento de las plantas, los resultados nos demostraron que las posturas de café se desarrollaron mejor en condiciones de menor intensidad de luz; De la Vega *et al.* (2010) señalan en un estudio realizado en pino, que la respuesta de mayores valores de AFE en el dosel se logra cuando disminuye la intensidad de la luz. Considerando que el AFE es un indicador del crecimiento y de la eficiencia fotosintética, se puede afirmar que el resultado obtenido de una mayor AFE en los tratamientos de luz restringida, estuvo relacionado con los mayores valores de masa seca que estos mismos tratamientos lograron. Lee y Heuvelink (2003), señalan que el AFE varía con la intensidad lumínica y que además las plantas con menor AFE presentan hojas lignificadas y con menor tamaño celular, lo cual coincide con el resultado de menor tamaño de las hojas en el

tratamiento de 100 % de iluminación.

En cuanto a la densidad estomática en términos generales se observó una respuesta de las posturas frente a los tratamientos, en donde, los mayores valores se dieron en el tratamiento de mayor intensidad de luz, disminuyendo conforme se redujo la iluminación; esto corrobora lo informado por Nughes et al. (2013). Por otra parte, la diferencia en densidad estomática estuvo dada por la mayor concentración de las células estomáticas en las hojas de menor superficie, que en este caso, se produjo en las posturas crecidas en un nivel de iluminación de 100%. En este mismo sentido, Camargo y Marengo, (2011), encontraron en árboles amazónicos una relación positiva entre la densidad estomática y la altura de los mismos, iguales resultados encontró Naizaque et al. (2014) en *Acca sellowiana*, lo cual se debió a la influencia del entorno de mayor luz a medida que las hojas se ubicaban en los estratos superiores.

En lo relacionado con la masa seca, se encontró el comportamiento de la curva normal de crecimiento de los cultivos, considerando que su declinación es indicativo de que la postura ha llegado a su máxima velocidad de crecimiento por la influencia del autosombreo y la competencia por recursos, lo cual sugiere su plantación en el campo. Al respecto Hernández y Soto (2013) y Jeréz y Martín (2014), señalan que una mayor masa seca total en los cultivos, en niveles de menor iluminación significa una mayor eficiencia del follaje en la interceptación y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento. Estos resultados coincidieron con Dardengo (2013), quien encontró en posturas de café que el tratamiento de 50 % de luz, permitió un mayor aporte de masa seca por parte de las hojas.

## ■ CONCLUSIONES

Los resultados de las variables evaluadas, demostraron una relación directa entre la intensidad de la luz y la producción de las posturas expresada en masa seca; ya que en todos los casos se observó que a menor intensidad lumínica, mayor fue la acumulación de masa seca.

En los tratamientos de menor intensidad de luz se obtuvo una mayor superficie foliar, la cual está relacionada directamente con una mayor capacidad para la interceptación de la limitada luz disponible.

Así mismo, las condiciones de menor iluminación determinaron como mecanismo de eficiencia, el incremento del contenido de clorofila, lo cual permitió una mayor captación de la energía lumínica disponible que es uno de los factores fundamentales para la realización del proceso fotosintético.

La mayor superficie foliar y el mayor contenido de clorofila explican la mayor acumulación de masa seca en los tratamientos de 50 y 20 % de iluminación

## LITERATURA CITADA

- Alves, J. y Guimarães, R. (2010). Sintomas de desordens fisiológicas em cafeeiro. en: Guimarães, R., Mendes, A. y Baliza, D. (Ed.). *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*, Lavras: UFLA, p.169-215.
- Caldwell, R. y Stone M. (1932). Appressorium formation and penetration by leaf rust of Wheat *Puccinia triticina* in relation to stomatal aperture. *Phytopathology*, vol. 22, pp. 39-51.
- Camargo, M. y Marenco, R. (2011). Density, size and distribution of stomata in 35 rainforest tree species in Central Amazonia. *Acta Amazonica*, Vol. 41, No. 2, pp. 205-2012.
- Cambrón, V., España, M., Sánchez, N., Sáenz, C., Vargas, J. y Herrerías Y. (2011). Producción de clorofila en *Pinus pseudostrobus* en etapas juveniles bajo diferentes ambientes de desarrollo. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Vol.17, No. 2, pp. 253-260.
- Consejo Cafetalero Nacional COFENAC. (2011). División técnica, Informe técnico 2010. Portoviejo, Ecuador. 89 p.
- Consejo Cafetalero Nacional COFENAC., (2013). Situación del sector cafetalero ecuatoriano: diagnóstico. Portoviejo, Ecuador. 71 p.
- Consejo Cafetalero Nacional COFENAC, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca MAGAP, (2014). Sistema nacional de innovación tecnológica cafetalera. Quito, Ecuador. 46 p.
- Da Silva, M. (2013). Plasticidade do cafeeiro à luz: respostas morfofisiológicas em genótipos de *Coffea arabica* L. Tesis presentada como opción al grado de Dr. en Ciencias. Universidad de Viçosa. 71 p.
- DáMatta, F. y Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico. Una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana*, vol. 25, no. 1, pp. 113-123, ISSN 0120-9965.
- Dardengo, M., De Sousa, E., Dos Reis, E. y Gravina, G. (2013). Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento. *Coffee Science*, Lavras, vol. 8, no. 4, p. 500-509.
- De la Vega, M. y Pinazo, M. (2010). Variación del área foliar específica en *pinus elliottii* var. *Elliottii* engelm. x *pinus caribaea* var *hondurensis* morelet y su extrapolación al cálculo del área foliar proyectada. 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNAM, Montecarlo, 10, 11 y 12 de junio.
- FAO, (2011). FAOSTAT Agriculture Data. En: <http://faostat.fao.org/>
- Gagliardi, S. (2014). Intraspecific trait plasticity in coffee agroforestry systems of Costa Rica. A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Science. University of Toronto. 72 p.
- Gobbi, K., García, R., Ventrella, M. Garcez, A. y Rocha, G. (2011). Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.40, no.7, pp.1436-1444.
- González, C., Andrade1, J., Orellana, R., Peña, L. y Reyes, C. (2013). Microambiente lumínico y morfología y fisiología foliar de *Bromelia karatas* en una selva baja caducifolia de Yucatán, México. *Botanical Sciences*, vol. 91, no. 1, pp. 75-84
- Hernández, N. y Soto, F. (2013). Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 2, pp. 24-29.

Herrera, J., Moreno-Ruiz, G. y Cháves-Córdova, B. (2000). Discriminación de grupos de ploidía en café mediante el análisis multivariado de indicadores morfológicos indirectos. *Cenicafé*, vol. 51, no. 3, p. 207-215.

Jerez, E., Martín, R. (2014). Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), por métodos no destructivos. *Cultivos Tropicales.*, vol. 35, no. 1, pp. 57-61.

Lee, J. y Heuvelink, E. (2003). Simulation of leaf area development based on dry matter partitioning and specific leaf area for cut crisanthemum. *Ann Botany*, no. 91. Pp. 319-327.

Lombardini, L., Restrepo, H. y Volder, A. (2009). Photosynthetic Light Response and Epidermal Characteristics of Sun and Shade Pecan Leaves. *J. AMER. SOC. HORT. SCI.* Vol. 134, No. 3, pp. 372–378.

Mariño, Y. (2014). Respuesta fotosintética de *Coffea arabica* L. a diferentes niveles de luz y disponibilidad hídrica. *Acta Agronómica*, vol. 63, no. 2, p. 128-135.

Medina-Cano, C., Martínez-Bustamante, E., Lobo-Arias, M., López-Núñez, J. y Riaño-Herrera, N., (2006). Comportamiento bioquímico y del intercambio gaseoso del Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a plena exposición solar en el bosque húmedo montano bajo del oriente antioqueño colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Vol. 59, No. 1, pp. 3123-3146.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2015). Proyecto de Reactivación de Café y Cacao. Consultado: octubre 2015, en: <http://balcon.magap.gob.ec/pruebas/index.php/proyecto-de-reactivacion-de-cafe-y-cacao-nacional-fino-de-aroma>

Ministerio de la Agricultura de Cuba. (2013). Instructivo Técnico para la producción de Café arábico. 137 p.

Naizaque, J., García, G., Fischer, G., Melgarejo, L. (2014). Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en feijoa (*Acca sellowiana* [O. BERG] BURRET) *Revista de U.D.C.A.* Vol. 17, No. 1, pp. 115-121.

Nakazono, M., Da Costa, M., Futatsugi, K. y Silveira, P. (2001). Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. em diferentes regimes de luz. *Revista Brasileira de Botânica.* Vol. 24, No. 2, pp.173-179.

Nughes, L., Colares, M., Hernández, M. y Arambarril, A. (2013). Morfo-anatomía de las hojas de *Celtis ehrenbergiana* (celtidaceae) desarrolladas bajo condiciones naturales de sol y sombra. *Bonplandia*, vol. 22, no.2, pp. 159-170. ISSN: 0524-0476.