

Aplicación del enfoque multivariado para estudiar las respuestas fisiológicas del cafeto (*Coffea arabica* L. var. Caturra rojo) a diferentes niveles de radiación solar

Luis Rodríguez Larramendi (1), Ramiro Valdés (2), Ramón Medina, Eduardo Velasco (3), Idalmis Fonseca (1), Juan Verdecia (1), Rosalba Zamora (1) y Fernando Celeiro R. (1)

(1) Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov". Bayamo, provincia de Granma, Cuba

(2) Universidad Agraria de La Habana (UNAH)

(3) Universidad de Granma (UDG)

RESUMEN. Se investigaron las respuestas adaptativas del cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L. var. Caturra rojo) a tres niveles de exposición solar (Pleno sol, $16,7 \text{ MJ m}^{-2}/\text{día}^{-1}$, Sombra regulada, $9,8 \text{ MJ m}^{-2}/\text{día}^{-1}$ y Sombra no regulada, $6,4 \text{ MJ m}^{-2}/\text{día}^{-1}$) y dos densidades de plantación (7 140 y 12 500 plantas/ha) en condiciones de la Sierra Maestra ($20^{\circ} 4' \text{ N}$ y $76^{\circ} 47' \text{ W}$) con el uso combinado del Análisis Multivariado (MANOVA) y Análisis Factorial de Componentes Principales (AFCP). Se demostró que con la combinación de ambos análisis multivariados se llega a una conclusión más integral acerca del proceso adaptativo del cultivo del cafeto a ambientes contrastantes de irradiancia. Desde el punto de vista fisiológico, se observó una disminución significativa del crecimiento foliar: Área Foliar por planta (AFP), Índice de Área Foliar (IAF) y Acumulación de masa seca foliar (MSF) con incrementos de la irradiancia, debido a un incremento de la abscisión foliar (ABS) durante las fases posteriores a la floración. La masa foliar específica (MFE) se incrementó al aumentar el nivel de irradiancia, en ambas densidades de plantación. Se discute el papel de las fases fenológicas en la respuesta adaptativa del cultivo a los niveles contrastantes de irradiancia.

Palabras clave: *Coffea arabica* L., crecimiento foliar, nitrato reductasa, masa foliar específica, abscisión foliar, anatomía.

ABSTRACT. Agronomic responses of coffee trees to different sunlight exposition levels are well documented, but the physiological responses are being investigated. The adaptive responses of coffee trees (*Coffea arabica* L. var. Red Caturra) to different irradiance levels (Open sunlight, $16,7 \text{ MJ m}^{-2}/\text{d}^{-1}$, Regulated Shade, $9,8 \text{ MJ m}^{-2}/\text{d}^{-1}$ and Non Regulated Shade, $6,4 \text{ MJ m}^{-2}/\text{d}^{-1}$) at *Sierra Maestra* mountain range, were investigated using a combination of Multivariate Analysis and Factor Analysis. It was proved that using a combination of both multivariate analyses, more integral conclusions about the effect of contrasting light environment is possible. From the physiological point of view, a significantly decrease of plant growth: Leaf Area per plant, Leaf Area Index, Leaf Dry Weight, due to an increasing of leaves abscission in open sunlight treatment mainly at post flowering stages was observed. An increasing of specific leaf weight with higher irradiance levels was observed in both plant densities. The role of phenological phases in the adaptive responses to irradiance is discussed.

Key words: *Coffea arabica* L., plant growth, nitrate reductase, leaves abscission, leaf anatomy.

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos comerciales más importantes en cerca del 70 % de los países de los trópicos húmedos donde se cultiva en 10 millones de hectáreas siendo la producción mundial de aproximadamente cinco millones de toneladas de café verde, de las cuales el 69 % proviene de variedades de *Coffea arabica* L. (Arcila *et al.*, 2001).

En Cuba, el cafeto se cultiva bajo la sombra que le proyectan otros árboles al igual que en la

mayoría de los países de América Central, aunque se han desarrollado diversas investigaciones para estudiar su comportamiento a pleno sol (Cortés *et al.*, 1994; Ramos y Cortés, 1994; Acevedo *et al.*, 1999 y Ramos y Viñals, 1999), con resultados que demuestran altos rendimientos con el empleo de altas densidades de plantación.

Se ha comprobado, por estudios realizados en este cultivo o en otros de importancia económica, que la eficiencia con que un cultivo puede interceptar la radiación solar está altamente relacionada con el crecimiento y las prácticas de cultivo empleados,

la distribución de asimilados, cambios fisiológicos y bioquímicos que denotan importantes características de acomodo a altos niveles de irradiancia (Hikosaka y Terashima, 1995; Ramalho *et al.*, 1998; Ramalho *et al.*, 2000 y Caviglia y Sadras, 2001) y la asimilación del nitrógeno y su relación con la fotosíntesis (Ramalho *et al.*, 1999).

En cuanto a la asimilación del nitrógeno, se conoce que la actividad de la enzima nitrato reductasa es el primer paso en dicho proceso; el cual está regulado tanto por factores endógenos como exógenos. Entre los primeros se destacan la concentración interna de NO_3^- , el suministro de potenciales de reducción producto de la fotosíntesis necesarios para la reducción del nitrato (Salisbury y Ross, 1994, Dennis y Turpin, 1995), así como la concentración de Mg^{2+} , K^+ , y Ca^{2+} en hojas (Cadena y Arcila, 2000). Entre los factores externos se encuentran la iluminación, la disponibilidad de agua, la concentración de NO_3^- en el suelo y la concentración exógena de NO_2^- (Almeida y Gómez, 2002).

Respecto a la influencia de los niveles de iluminación, Fahl *et al.* (1994) estudiaron el

efecto de distintos niveles de irradiancia en el crecimiento y la fotosíntesis de plantas jóvenes de café. Sobre la base de sus resultados, concluyen que el café se puede clasificar como una especie facultativa de sombra con atributos de aclimatación al sol. Indicaron, además, que cuando el café se cultiva a pleno sol, desarrolla hojas más gruesas, los cloroplastos contienen menos granas y menos tilacoides por grana, una característica típica de plantas adaptadas al sol.

El objetivo de este trabajo fue estudiar los cambios fisiológicos en cuanto al crecimiento foliar y la actividad foliar de la enzima nitrato reductasa en cafetos crecidos en diferentes ambientes de radiación solar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aspectos generales

Se estableció un experimento de campo siguiendo un diseño en parcelas divididas, con tres réplicas en la localidad de Banco Abajo, a los $20^\circ 4' \text{ N}$ y los $76^\circ 47' \text{ W}$, a una altura de 450 m.s.n.m, sobre un suelo fersialítico pardo rojizo (Instituto de Suelos, 1999), con una pendiente menor del 30 % cuyas características químicas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características químicas del suelo del área experimental

PH (H_2O)	mg/100 g				cmol.kg ⁻¹ de suelo		
	%MO	% N (total)	P_2O_5	K_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+
5,8	1,42	0,13	6,17	4,52	27,05	7,33	0,11

Las precipitaciones acumuladas en esta zona oscilan entre 1 800 y 2 200 mm anuales, con 1 200 y 1 400 mm en períodos lluviosos. La temperatura promedio anual es de 20-22 °C; las máximas absolutas se encuentran entre 32 y 34 °C, mientras que las mínimas oscilan entre 6 y 8 °C. La insolación media anual está en el rango de 2 500 a 2 700 horas luz y la radiación global media anual es de 15,5 MJ·m⁻² (Instituto de Geografía, 1989).

Los árboles predominantes son *Samanea saman* Mer, *Gliciridia sepium* Jack e *Inga vera* W. La variedad utilizada fue Caturra rojo.

El factor principal, con tres niveles de exposición a la radiación solar, consistió en una parcela a pleno sol (PS), en la segunda parcela (SR) se reguló la sombra según lo establecido en las Normas Técnicas vigentes para este cultivo (MINAGRI, 1987) y en la tercera parcela

(SNR), se dejaron los árboles de sombra a libre crecimiento sin regulaciones durante todo el ciclo.

Dentro de cada parcela se introdujo un factor adicional consistente en dos densidades de plantación: 12 500 plantas/ha (2 x 0,4 m) y 7 140 plantas/ha (2 x 0,7 m), distribuidas al azar. Cada tratamiento se replicó tres veces. Las subparcelas se diseñaron con dimensiones de 10 m de ancho por 20 m de largo lo cual, de acuerdo al marco de plantación, posibilitó la existencia de 10 hileras en cada densidad, cada una con 14 plantas para la menor densidad y 25 plantas para la mayor densidad.

Las fertilizaciones y demás labores agrotécnicas se realizaron según lo establecido en las Normas Técnicas vigentes para el cultivo (MINAGRI, 1987).

Variables evaluadas y metodología de los muestreos

• Irradiancia

La cantidad de energía radiante incidente por unidad de área se determinó con tres piranómetros, colocados simultáneamente en el centro de las parcelas siguiendo las curvas de nivel. Se colocó el sensor del equipo sobre un soporte metálico por encima de la copa de los cafetos para impedir el efecto del autosombreo de los mismos. Durante dos años consecutivos se midió esta variable tres días por mes (una vez en cada réplica) durante 15 minutos (30 minutos durante las horas cercanas al mediodía).

• Crecimiento foliar y altura de la planta

En cada una de las variantes de exposición se seleccionaron al azar dos plantas por subparcela. El Área foliar por planta (AFP) se calculó indirectamente midiendo la longitud de cada una de las hojas de la planta a partir de las fórmulas obtenidas por Rodríguez y Pérez (1995), en un estudio realizado en las mismas condiciones experimentales. Los muestreos cubrieron desde la fase juvenil (10 meses de edad) hasta el tercer ciclo reproductivo del cafeto (tercera cosecha) a intervalos de uno o dos meses. El Índice de área foliar (IAF) se

calculó dividiendo el AF entre la superficie de suelo ocupada por las plantas de acuerdo con la densidad de plantación.

La Masa foliar específica (MFE) se calculó dividiendo la masa seca foliar entre el área foliar por planta, el Área foliar específica (AFE) de manera inversa y la Altura de la planta (AP), midiendo con una cinta métrica la longitud del eje ortotrópico desde la base del tallo hasta el ápice del mismo.

La abscisión foliar (ABS) se registró en las mismas plantas seleccionadas contando las hojas caídas de la planta entre un muestreo y el siguiente.

• Procesamiento estadístico de la información

Se realizó un Análisis de Varianza Bifactorial Multivariado considerando los factores niveles de radiación solar y densidad de plantación. Posteriormente y considerando la significación de la interacción se procedió a la realización de un Análisis Factorial de Componentes Principales, el cual permitió graficar en el plano formado por las dos primeras componentes, la distribución de las variables y los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los niveles de exposición solar en el crecimiento foliar y la altura de la planta

El análisis de varianza multivariado (MANOVA) detectó interacción significativa de los niveles de exposición solar y las densidades de plantación sobre los indicadores del crecimiento (Área foliar por planta (AFP), Índice de área Foliar (IAF), Masa foliar por planta (MSFP), Altura de la planta (AP), Abscisión foliar por planta (ABS), Masa seca foliar específica (MFE) y Área foliar específica (AFE)) durante las fases de crecimiento del fruto (1 de Wilk=0,22; p £ 0,0047) y maduración del fruto (1 de Wilk = 0,26; p £ 0,016). Durante las fases juvenil (1 de Wilk=0,72; p £ 0,4), y floración (1 de Wilk=0,37; p £ 0,10), la interacción no resultó significativa, lo que in-

dica que el efecto de ambos factores depende de las fases de desarrollo del cultivo; esto se

observa con mayor precisión en los resultados que se transcriben en la Figura 1.

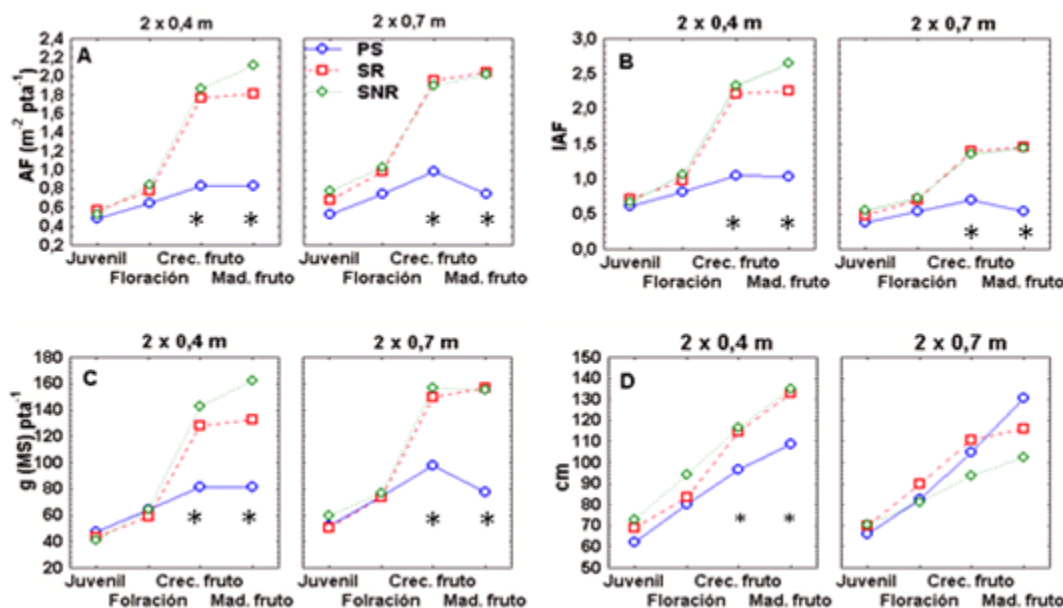


Figura 1. Efecto de los niveles de exposición solar y las densidades de plantación en el Área foliar(A), Índice de área foliar (B), Masa seca foliar(C) y Altura de la planta (D) durante diferentes fases fenológicas. El símbolo * en la Figura representa que hubo diferencias para $p \leq 0,05$ entre los tratamientos de sol y los de sombra.

Fue a partir de la fase de crecimiento del fruto cuando se diferenciaron con mayor claridad las variantes de exposición en ambas densidades de plantación, sobre todo para las variables que caracterizan el crecimiento foliar, pues aunque la altura de la planta se diferencia más durante las fases de crecimiento y maduración del fruto en la densidad de 12 500 plantas/ha, en la menor densidad (7 140 plantas/ha) no se reproduce el mismo efecto, alcanzando mayor altura los cafetos expuestos al sol al final del período reproductivo. Este incremento de la altura de la planta a pleno sol está en correspondencia con los resultados de Fahl *et al.* (1994) quienes observaron en experimentos bajo condiciones controladas, que los cafetos jóvenes crecidos al sol, tanto con altas como con bajas dosis de nitrógeno, desarrollaron mayor altura en relación con los cafetos sombreados.

En cuanto al crecimiento foliar, nótese el reducido crecimiento mostrado por los cafetos expuestos al sol después de la fase de floración en comparación con los cafetos sombreados, lo cual está de acuerdo con los resultados de Fahl *et al.* (1994) y con los

publicados por Rena *et al.* (1994) quienes, además, afirman que los incrementos en esta variable bajo sombra, es probable que se deban a una mayor tasa de crecimiento relativo y quizá a una mayor tasa de asimilación de CO_2 .

A pesar del mayor crecimiento foliar mostrado por los cafetos sombreados y atendiendo a los resultados encontrados por Valencia (1973), los cafetos crecidos bajo estas condiciones no muestran todo su potencial de crecimiento, pues los valores de IAF distan mucho del óptimo (IAF=8) encontrado por dicho autor en las condiciones de Costa Rica en cafetos de la misma variedad crecidos al sol a los tres años de plantados a razón de 10 000 plantas/ha.

Aunque con resultados no totalmente equivalentes, Cortés y Simón (1993) investigando el efecto de diferentes densidades de plantación en cafetos de la variedad Caturra rojo refieren valores de IAF de 20 con densidad de 25 000 plantas/ha. Estos mismos autores, al referir sobre las posibles causas del limitado crecimiento foliar que muestran

algunas plantaciones cafetaleras del país en comparación con otras fuera de Cuba, indican que la menor altura sobre el nivel del mar, las altas temperaturas del aire y los bajos regímenes pluviométricos pueden incidir sobre el reducido crecimiento de este cultivo.

Dada la relación entre la respuesta del cultivo a la irradiancia con las fases fenológicas, se realizaron Análisis de Componentes Principales para las fases

Juvenil, Floración, Crecimiento y Maduración de los frutos con el objetivo de buscar una respuesta fisiológica de la planta en función del estadio de desarrollo del cultivo, a través de las correlaciones observadas entre las variables y las componentes.

Durante la fase juvenil (Tabla 2), el análisis arrojó una extracción del 71 % de la variabilidad total en las dos primeras componentes.

Tabla 2. Porcentaje de contribución de las componentes principales, correlaciones entre las variables del crecimiento foliar, la irradiancia y las componentes principales durante las diferentes fases de desarrollo del cultivo

Variables	Fases fenológicas / componentes principales							
	Juvenil		Floración		Crecimiento fruto		Maduración fruto	
	CI	CII	CI	CII	CI	CII	CI	CII
Irradiancia (Irrad.)	0,02	0,81	-0,85	0,09	0,60	0,36	-0,86	-0,12
Altura de la planta (AP)	0,60	-0,23	0,52	0,10	-0,46	0,73	0,14	0,48
Área foliar por planta (AFP)	0,96	-0,07	0,29	0,93	-0,92	-0,04	0,51	0,82
Índice de área foliar (IAF)	0,87	-0,05	0,32	0,65	-0,87	0,09	0,47	0,78
Masa seca foliar (MSF)	0,94	0,23	-0,11	0,97	-0,78	-0,16	0,36	0,86
Abscisión foliar (ABS)	0,15	0,49	0,17	0,05	0,65	0,57	-0,72	-0,01
Masa seca foliar específica (MFE)	-0,21	0,92	-0,94	0,23	0,88	-0,20	-0,87	-0,34
Área foliar específica (AFE)	0,27	-0,89	0,93	0,25	-0,86	0,17	0,87	0,35
% de la varianza total	40,92	30,22	44,00	22,64	59,00	13,79	59,77	14,49
% de varianza acumulada	40,92	71,14	44,00	66,64	59,00	72,79	59,77	74,26

En la primera componente, durante la fase juvenil, se asociaron las variables del crecimiento foliar, Área foliar por planta (AFP), Índice de área foliar (IAF), Altura de la planta (AP) y Masa seca foliar por planta (MSF), mientras que en la segunda componente se agruparon la Irradiancia (Irrad.), la Masa seca foliar específica (MFE) y el Área foliar específica (AFE), esta última con signo negativo. Atendiendo a la componente I y de acuerdo con la distribución de las variables y los tratamientos en el plano formado por ambas componentes (Figura 2 a y b), se observa la tendencia al agrupamiento de los tratamientos de sombra en la parte positiva del eje, excepto el tratamiento de SNR y densidad de 12 500 plantas/ha. La ubicación de la variable irradiancia en la componente II justifica la falta de respuesta del café a los niveles de irradiancia durante esta fase. Nótese que al

explorar la componente II, el agrupamiento de los tratamientos de sol es más evidente y de acuerdo a la magnitud de la correlación de las variables MFE y AFE, ubicadas en la componente II, estas son las responsables de dicho agrupamiento.

Estos resultados demuestran que, durante esta fase, el crecimiento foliar no está directamente correlacionado con la irradiancia, o lo que es lo mismo, el efecto de la irradiancia no se hace perceptible en el café durante la fase juvenil. Resulta significativo, sin embargo, que la MFE y AFE sí responden significativamente, durante esta fase, a los niveles de irradiancia.

Durante la fase de floración, nuevamente el porcentaje total de la varianza extraída es alto (> 60 %). Durante esta fase se repite la tendencia a la correlación observada durante el estadio

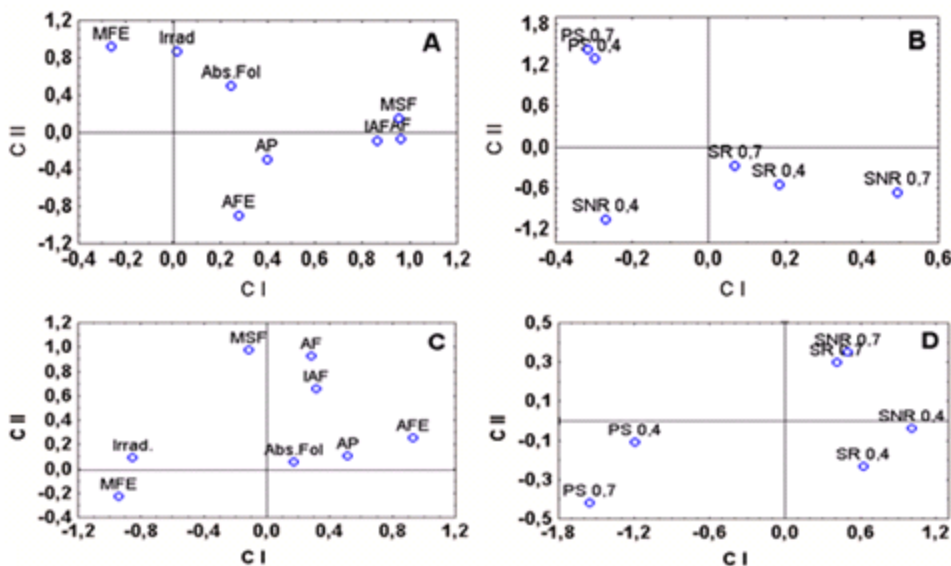
juvenil, con la diferencia de que hay un cambio en la asociación de las variables con cada componente; mientras que durante el crecimiento del fruto la componente I agrupa a todas las variables excepto la altura de la planta, demostrándose la influencia de la fase fenológica sobre la respuesta de estos indicadores a niveles contrastantes de irradiancia. Se destaca, además, que es a partir de esta fase en que la abscisión foliar por planta (ABS) tiene una respuesta positiva y significativa a la irradiancia.

De acuerdo al plano formado por ambas componentes durante la fase de floración (Figura 2 c y d) y atendiendo a la componente I, los tratamientos se agrupan con mayor claridad, indicando que durante esta fase las diferencias en la MFE y AFE son las responsables del agrupamiento o diferenciación entre tratamientos. Ya en la fase de crecimiento del fruto (Figura 2 e y f) el agrupamiento y diferenciación de los tratamientos responde a todas las variables en su conjunto, excepto a la altura de la planta.

Durante la fase de maduración del fruto, al igual que durante las fases juvenil y de floración, se correlacionan los indicadores del desarrollo foliar pero esta vez al igual que en la fase anterior, la abscisión foliar se asocia con la componente I y positivamente con los incrementos en la irradiancia.

Los resultados indican que la MFE y AFE muestran una marcada consistencia en la respuesta a los niveles de irradiancia independientemente de la fase fenológica, mientras que la respuesta de las variables del crecimiento foliar y la abscisión foliar a la irradiancia dependen de la fase en que se encuentre el cultivo. Durante las fases de crecimiento y maduración del fruto, las disminuciones del área foliar y la pérdida de masa foliar se atribuyen a la excesiva abscisión foliar, posiblemente debido a una retraslocación de asimilados y metabolitos hacia los frutos.

Se concluye entonces que la MFE y el AFE son buenos indicadores para estudiar la respuesta adaptativa del cafeto a niveles contrastantes de irradiancia durante la ontogenia de la planta, mientras que para el resto de los indicadores es imprescindible considerar la fase fenológica del cultivo. Esta respuesta positiva de la MFE a la irradiancia resulta de relevancia para el cultivo dada las posibles implicaciones que la misma podría tener en la asimilación de CO₂ y por tanto en la productividad agrícola del cultivo, ratificando lo planteado por Fahl *et al.* (1994) y Liang *et al.* (1995). Estos últimos autores encontraron relaciones entre la fotosíntesis neta proporcionales a los incrementos en la MFE en una especie forestal que crece en el trópico.



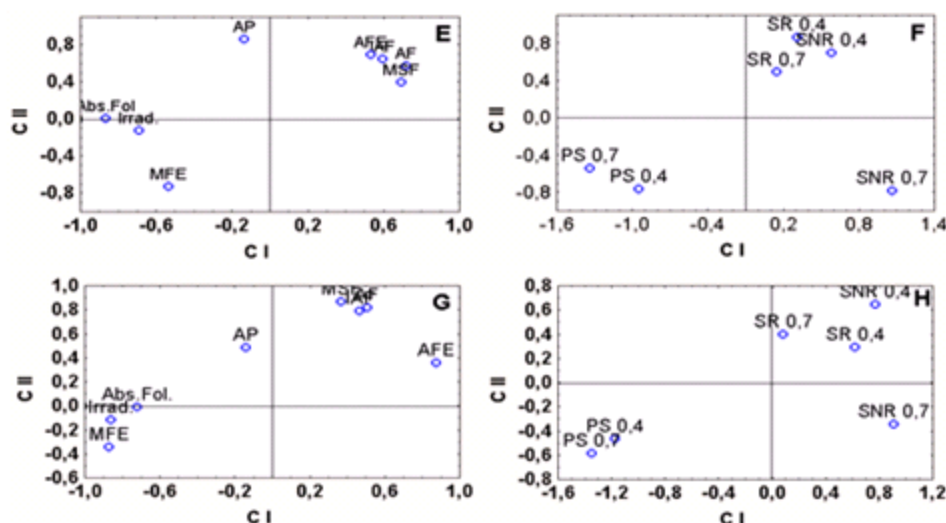


Figura 2. Distribución de las variables (izquierda) y tratamientos (derecha) en el plano formado por las componentes I y II durante las fases Juvenil (A y B), Floración (C y D), Crecimiento del fruto (E y F) y Maduración del fruto (G y H). PS (Pleno sol), SR (Sombra regulada), SNR (Sombra no regulada), 0,4(2*0,4m), 07(2*0,7m).

CONCLUSIONES

1. La combinación del Análisis de Varianza Multivariado con el Análisis de Componentes Principales permite enfocar integralmente los procesos de adaptación del café a niveles contrastantes de radiación solar ya que con estos se combinan las correlaciones que existen entre las variables del crecimiento de acuerdo con su naturaleza fisiológica y posibilita, al simplificar la magnitud de la información disponible, en un mismo análisis, visualizar las correlaciones entre los indicadores fisiológicos y la intensidad de la radiación solar, así como agrupar los tratamientos en función de dichos indicadores.
2. Este enfoque permitió demostrar que el efecto de la irradiancia en el cultivo del café, para la zona de estudio, guarda estrecha relación con la fenología de la planta y la misma se produce durante las fases posteriores a la floración, fundamentalmente durante el crecimiento y maduración del fruto. Durante estas fases los cafetos desarrollan mayor Área foliar, Índice de Área foliar, Área foliar específica y Altura de la planta cuando se cultivan bajo sombra regulada. Bajo sol se incrementa la Masa foliar específica (MFE), lo cual se puede considerar como una

característica de acomodo a los altos niveles de irradiancia. Bajo las condiciones de sol se produce un incremento significativo en la abscisión foliar lo cual fue la causa de la disminución en el crecimiento foliar durante las fases de fructificación.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, V. R. and A. S. Gómez (2002): "Activation of nitrate reductase of cashew leaf by exogenous nitrite". *Bras. J. Plant Physiol.* 14(1): 39-44.
- Acevedo, A.; C. Cabrera; W. Díaz; P. Caro (1999): Tecnología para el manejo de la sombra y la poda sistemática en plantaciones de café en la zona del Escambray. Simposio Internacional de Café y Cacao CAFÉ 99, Programa de Conferencias y Resúmenes, Santiago de Cuba, 25-27 de noviembre.
- Arcila, P. J.; L. Buhr; H. Bleiholder; H. Hack; H. Wicke (2001): "Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café (*Coffea arabica* L.)", *Cenicafé, Boletín Técnico* no. 23, 32 pp.
- Cadena, R. M. E.; P. J. Arcila (2000): "Actividad foliar de la enzima nitrato reductasa (aNR) como indicador de la concentración de Mg^{2+} , K^+ y Ca^{2+} en hojas de café." *Cenicafé* 51(2): 85-96.

- Caviglia, O. P. and V. O. Sadras (2001): "Effects of nitrogen on conductance, water and radiation use efficiency of wheat". *Fields Crop Research* 64 (3): 259-266.
- Cortés, S. L.; W. Díaz y P. Bigirumwani (1994): "La Fructificación del cafeto (*Coffea arabica* L.) cultivar Caturra, sometido a altas densidades de plantación". *Cultivos Tropicales* 15(1): 40-46.
- Cortés, S. L. y E. Simón (1993): "Índice de Área Foliar óptimo en el cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) var. Caturra a plena exposición solar". *Cultivos Tropicales*, 14(1): 56-58.
- Dennis, T. D. and N. H. D. Turpin (1995): *Plant Physiology, biochemistry and molecular biology*. Logman Scientific & Technical. John Wiley & Sons, Inc, New York, 529 pp.
- Fahl, J. I.; M. L. C. Carelli; J. Vega y A. C. Magalhaes (1994): "Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.)". *J.Hort.Sci.* 69: 161-169.
- Hikosaka, K and I. Terashima (1995): "A model of the acclimation of Photosynthesis in leaves of C3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use". *Plant, Cell and Environment*. 18: 605-618.
- Instituto de Geografía (1989): *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.
- Instituto de Suelos (1999): Nueva versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, Ministerio de la Agricultura, 42 pp.
- Liang, N.; M. Nagayama; M. Nakata; K. Maruyama (1995): "Growth, Photosynthesis and Nitrogen content in Japanese beech (*Fagus crenata* Bl.) seedlings grown under five irradiances". *Photosynthetica* 31(2): 257-268.
- MINAGRI (1987): *Instructivo Técnico para el cultivo, cosecha y beneficio del café y el cacao*. La Habana.
- Ramalho, J. C.; P. S. Campos; V. L. Quartin; M. J. Silva; M. A. Nunes (1999): "High irradiance impairment on photosynthetic electron transport, ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxigenase and N assimilation as a function of N availability in *Coffea arabica* L. plants". *Journal of Plant Physiology* 154(3): 319-326.
- Ramalho, J. C.; P. S. Campos; M. Texeira; M. A. Nunes (1998): "Nitrogen dependent changes in antioxidant system and fatty acid composition of chloroplast membranes from *Coffea arabica* L. Plants submitted to high irradiance". *Plant Science* 135: 115-124.
- Ramalho, J. C.; T. L. Pons; H. W. Groeneveld; H. G. Azinheira; M. A. Nunes (2000): "Photosynthetic acclimation to high light conditions in mature leaves of *Coffea arabica* L.: Role of xanthophylls, quenching mechanisms and nitrogen nutrition". *Australian Journal of Plant Physiology* 27(1): 43-51.
- Ramos, H. R. y N. R. Viñals (1999): Efecto del nivel de iluminación sobre los rendimientos y la calidad del grano en *Coffea arabica* var. Isla 6-14. Simposio Internacional de Café y cacao CAFÉ 99, Programa de Conferencias y Resúmenes. Santiago de Cuba, 25-27 de noviembre.
- Ramos, R. y Sara Lourdes Cortés (1994): "Diferentes tecnologías de cultivo en cafeto (*Coffea arabica* L.) evaluadas en la localidad de Sagua de Tánamo". *Cultivos Tropicales* 15(1): 36-39.
- Rena, B. A.; S. R. Barros; M. Maestri; M. R. Sondahl (1994): Coffee. en: Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volume II, Subtropical and tropical crops. CRC Press., pp. 101-122.
- Rodríguez, L. L.; A. O. Pérez (1995): "Estimación indirecta del área y la biomasa foliar en plantas de cafeto al sol y bajo sombra". *Centro Agrícola*, 2: 23-26.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross (1994): *Fisiología Vegetal. Versión en Español de la obra de Plant Physiology*, 4ta ed., Grupo Editorial Iberoamericana, S.A., México, 759 pp.