

## **Crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*) bajo la sombra de cinco especies arbóreas**

Growth and development of coffee (*Coffea arabica*)  
under five shadow tree species

---

**Néstor Solórzano\* y Daniel Querales\***

Recibido: 12-04-2010 / Aceptado: 02-06-2010

### **Resumen**

El estudio realizado permitió comparar el crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*), variedad cauí amarillo, bajo la sombra de cinco especies arbóreas. El trabajo se ejecutó en la finca San Miguel, municipio Guanare, estado Portuguesa, a una altura de 260 msnm y sobre suelos del orden ultisol. Las especies arbóreas fueron *Samanea saman*, *Samanea guachapele*, *Gliricidia sepium*, *Cassia moschata*, *Pachira quinata* y un testigo sin sombra. Se seleccionaron aleatoriamente dos árboles de cada especie y debajo de éstos seis plantas de café, a las cuales se le midieron la altura total, diámetro del tallo, ancho de la copa y se contó el número de ramas. Debajo de cada árbol se midió la cantidad de radiación solar incidente. La época del año y la especie de árbol influyeron en la cantidad de radiación solar recibida por las plantas de café. El café alcanzó mayor altura y diámetro bajo la sombra del samán y masaguaro. El café es una planta de ambientes sombreados, la cual responde bien a los aumentos graduales en la cantidad de radiación solar recibida, es decir, su mayor potencial lo desarrolla bajo condiciones intermedias de luminosidad.

**Palabras clave:** café bajo sombra, agroforestería, cauí amarillo, *Samanea saman*, *Samanea guachapele*, *Gliricidia sepium*, *Cassia moschata* y *Pachira quinata*.

### **Abstract**

A comparison study of the growth and development of coffee (*Coffea arabica*), yellow cauí variety, was made under the shadow of five tree species. The work was executed in farm San Miguel, municipality Guanare,

---

\* Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Ingeniería de los Recursos Naturales Renovables. Guanare, estado Portuguesa. Código postal 3350. Correo electrónico: Josesolorzano@cantv.net.

Portuguesa State, at an altitude of 260 meters above sea level and ultisol soils order. Tree species were *Samanea saman*, *Samanea guachapele* *Gliricidia sepium*, *Cassia moschata*, *Pachira quinata* and a control treatment without shadow. Two trees of each specie were randomly selected, and also six coffee plants, under the shadow or canopy of each tree. The total height, stem diameter canopy and total number of branches was measured for each coffee plants. The amount of incident solar radiation was measured under of each tree. The seasons of the year and tree species influenced the amount of solar radiation received by the coffee plants. Coffee reached greater height and diameter under the shadow of the samán and masaguaro. Coffee is a shaded environment plant which responds well to gradual increases in the amount of solar radiation received, i.e. its greatest potential develops under intermediate light conditions.

**Key words:** coffee under shadow, agroforestry, yellow Catuai variety, *Samanea saman*, *Samanea guachapele*, *Gliricidia sepium*, *Cassia moschata* and *Pachira quinata*.

## Introducción

El café (*Coffea arabica*) es originario de África; en estado silvestre, se le encuentra en las montañas de Etiopía, en un rango de altitud entre 1.000 y 2.000 msnm, con precipitaciones que varían desde 1.200 hasta 2000 mm por año y temperaturas medias anuales entre 16,5°C y 22,5 y °C (Schuller, 2006).

Según Jiménez (2007) las temperaturas ideales para los cafetos de la especie arábica oscilan entre 18°C y 24°C y, el óptimo de pluviosidad se ubica entre 1.500 mm y 1.900 mm anuales.

En América Latina, el café es uno de los cultivos más importantes en las zonas de piedemonte y montaña. Puede ser explotado, tanto en pequeñas unidades agrícolas como en grandes plantaciones (Mogollón *et al.*, 1995). Su cultivo reviste interés ecológico cuando se cultiva bajo la sombra, motivo por el cual, se convierte en protector de los árboles que le sirven sombra.

En el estado Portuguesa, la producción de café se localiza en zonas entre 600 y 900 msnm, correspondiente a los municipios Unda, Sucre y la parte alta del municipio Ospino, en los límites con el estado Lara. La mayoría de la producción se realiza bajo sombra de árboles, salvo algunos productores que cultivan de forma más intensiva y, en algunos casos a plena exposición solar (SERDET, 2006).

El café prefiere suelos bien drenados y ventilados, porque tiene un sistema de raíces superficial, también crece en suelos con poca profundidad y ligeramente ácidos. El nitrógeno es el nutrimento más limitante en el cultivo de café. La disponibilidad de este elemento afecta 40% del volumen de la cosecha de un cafetal. Los requerimientos de nitrógeno por parte de la planta de café son altos; una plantación necesita en promedio entre 250 kg y 350 kg de N/ha/año (Roskoski, 1980).

El cafeto aprovecha aproximadamente uno por ciento de la luz solar incidente (ideal aprox. 1.500 horas/año) para el proceso fotosintético. Si la temperatura de la hoja sobrepasa los 34°C, el nivel de asimilación será prácticamente cero, por ello, el coeficiente de fotosíntesis de las plantas bajo sombra es más alto que cuando están a plena exposición solar. Por esta razón, la sombra en el café, favorece la maduración completa del grano (Jiménez, 2007). Si la intensidad de la luz aumenta demasiado, hay funciones que se vuelven negativas, los estomas se cierran, la fotosíntesis disminuye, la temperatura de las hojas aumenta considerablemente y el metabolismo se acelera hasta ser detrimental (ANACAFE, 1991). Sin embargo, el café puede adaptarse a altas intensidades de luz, lo cual puede aumentar la producción, si se combina con altas cantidades de insumos y elevadas poblaciones por unidad de superficie (Beer, 1997).

El cultivo del café a pleno sol aumenta la utilización de pesticidas, uso de fertilizantes nitrogenados y densidad de plantación, lo cual produce un aumento de los costos de producción y efectos negativos en el ambiente, con repercusiones negativas en la conservación del suelo, biodiversidad y calidad del fruto del café (Santana, *et al.*, 2007).

La mayoría de las explotaciones cafetaleras ubicadas en Venezuela, se encuentran sometidas a un manejo bajo árboles de sombra, con predominancia de especies de la familia de las leguminosas como guamo (*Inga* sp) y bucare (*Erythrina poeppigiana*) y maderables como pardillo (*Cordia alliodora*). Además se utilizan cambures (*Musa* sp.) y cítricos (*Citrus* sp.) con el mismo fin (Mogollón *et al.*, 1995 y Escalante, 1985).

La plantación típica de café (policultivo), es posiblemente la que más beneficios trae al agricultor y a la vida silvestre (Miranda (s/f)). La mayoría de las veces, se planta bajo la sombra de árboles, lo cual permite tener cultivos en sistemas sustentables, en el sentido que favorece el aumento de mi-

croorganismos benéficos del suelo, disminuye la erosión y mejora la ecología y economía del agro ecosistema (Arango, 2007). La sombra de los árboles protege a los cafetos de la acción directa de los rayos del sol, contribuye a disminuir la temperatura del suelo, mantiene la humedad por más tiempo durante los meses secos y permite mayor longevidad a la planta, al impedir su agotamiento prematuro (Ramírez, 1996).

La producción de café, bajo la concepción agroforestal diversificada, es una práctica extendida en muchos países del trópico americano, se considera una alternativa de manejo la cual presenta ventajas adicionales al mejoramiento del microclima que circunda al cultivo principal; se piensa que podría contribuir a la resolución de problemas específicos que afectan la sostenibilidad de un monocultivo como café a pleno sol; por ejemplo, disminución en fertilidad del suelo, erosión o ataques de enfermedades y plagas; a demás, reducción del impacto de situaciones climáticas adversas como presencia de vientos y tormentas (Ramírez, 1996).

Agricultores de varias partes del estado Portuguesa (Las Cruces, Mesa de Cavacas, Tucupido, entre otros), han plantado café a poca altitud y bajo la sombra de varias especies de árboles maderables y leguminosos, sobre suelos muy pobres, sin conocer si los rendimientos son o serán buenos. Este trabajo se planteó con el fin de cuantificar el crecimiento y desarrollo del café (variedad catuaí amarillo) a baja altitud, plantado bajo la sombra de cinco especies de árboles en la finca San Miguel, municipio Guanare.

## Antecedentes

Russo y Botero (2003) valoraron el componente forestal como recurso forrajero en los sistemas silvopastoriles en San José, Costa Rica, en el cual utilizaron *Cassia moschata* y *Gliricidia sepium*, entre los principales árboles forrajeros y leguminosas en zonas tropicales y observaron que estas especies se encuentran en los primeros lugares, en cuanto a intersección de luz, producción y calidad de pastos bajo su sombra.

En Turrialba, Costa Rica, Águila *et al.* (2000), observaron el desarrollo del café asociado con *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* en la etapa de establecimiento, y obtuvieron, que las plantas de café asociadas con ár-

boles maderables, presentaron hasta 29% mayor crecimiento que las plantas a plena exposición solar.

La acumulación de carbono y nutrientes en un sistema de café (*Coffea canephora* var *robusta*) asociado con *Albizia adianthifolia* y a plena exposición solar fue estudiada por Dossa *et al.* (2007) y encontraron mayor producción de biomasa aérea en el sistema agroforestal.

En Venezuela, el nitrógeno potencial disponible en los suelos de cafetales de diferentes edades, asociados con árboles de *Inga villosissima* y *Citrus sinensis*, fue evaluado por Mogollón *et al.* (1995); los resultados indicaron valores de N significativamente más altos ( $p < 0,001$ ) en suelos café-leguminosa que en los suelos café-cítricos.

Plantaciones de café asociados con *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata* y *Casuarina* sp, como árboles de sombra, dieron retornos económicos más elevados que las prácticas de producción con monocultivos (Carrad, 1982).

En Venezuela, el crecimiento del café sometido a fertilización orgánica fue estudiado por Valdez (2005), encontrándose, que los árboles ideales para asociar con el cafeto son los pertenecientes a las leguminosas (guamos y bucare).

Los efectos del samán (*Samanea saman*) sobre la fertilidad del suelo en pastizales de estrella, en Portuguesa, Venezuela, fueron evaluados por Solórzano (1997) y concluyó que, el nitrógeno total aumentó a medida que se acercó al tronco de los árboles, también encontró que la distancia al tronco, la cual se traduce en un gradiente de intensidad de luz, tuvo un efecto marcado sobre las características químicas del mismo.

## Descripción del café

El café (*Coffea arabica*) es un arbusto perteneciente a la familia Rubiaceae, conformado principalmente por un solo tallo o eje principal; con ramas laterales que se originan en las yemas axilares, las cuales se alargan continuamente a medida que el eje central madura. El sistema radical formado por un eje central o raíz pivotante, la cual puede extenderse de forma cónica hasta un metro desde el tronco. Las hojas opuestas aparecen en las ramas laterales. El fruto es una drupa ovalada o elipsoidal (Monroig, 2000).

**Variedad Catuaí:** es originaria de Brasil y se trata de un cruzamiento entre las variedades caturra amarillo y mundo novo, el cual, dio origen a líneas de catuaí rojo y catuaí amarillo. Fue introducida a Venezuela por el Instituto Hondureño del Café en el año 1979, procedente de Guatemala (Mogollon *et al.*, 1995).

La variedad catuaí se caracteriza principalmente por su porte bajo, menos compacto y más desarrollado que la caturra, pacas y villa sarchí; posee elevado vigor vegetativo, alto potencial productivo, ramificación abundante y entrenudos cortos, precoz para entrar en producción, buena adaptabilidad a diferentes ambientes y excelente comportamiento en zonas de altura. Su maduración tardía y la desuniformidad de la maduración en zonas de altura se considera como una desventaja de la variedad (Santacreo, 1998).

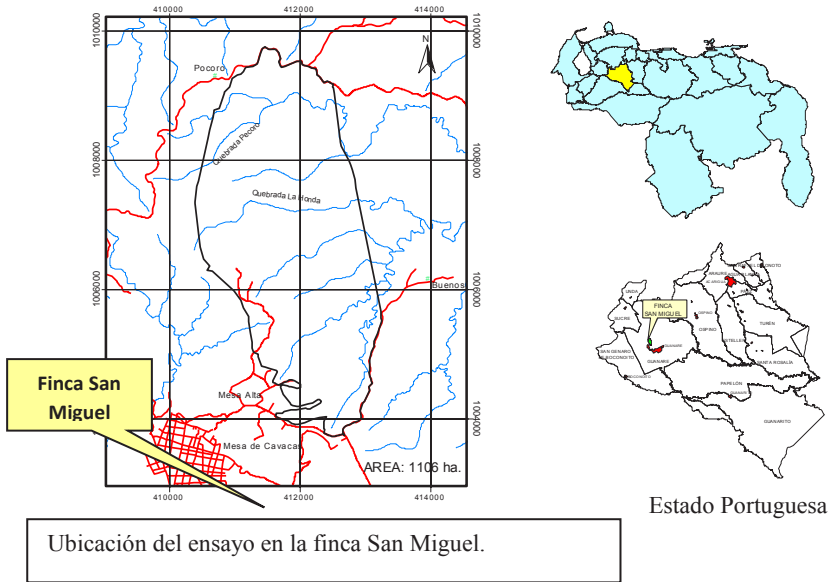
La variedad catuaí, es de crecimiento más fuerte y robusto que la caturra, tiene líneas de guindas de color amarillo y rojo. Necesita más sol y poda sanitaria intensiva (para el cuidado) que las variedades del país, pero es de mayor rendimiento que éstas. Se apropia parcialmente para plantaciones orgánicas de cuidado intensivo. Los granos son de conveniente tamaño y calidad (Mogollón *et al.*, 1995).

## **Materiales y métodos**

### ***Descripción del área***

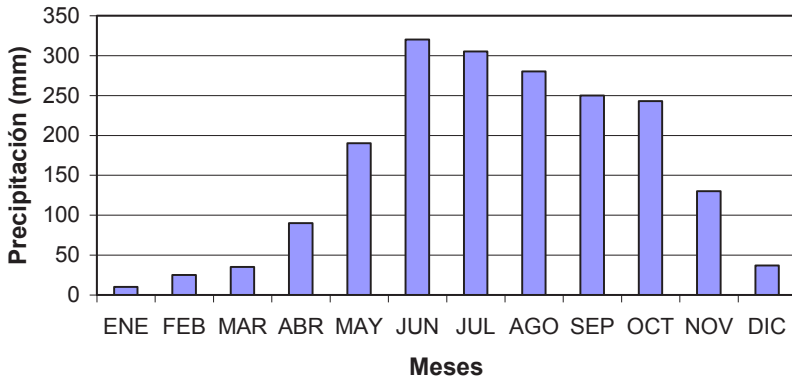
El ensayo se realizó en la finca San Miguel, la cual es propiedad de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora y está ubicada en la parroquia San Juan de Guanaguanare, municipio Guanare del estado Portuguesa. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 410000-414000 este y 1004000-1008000 norte (Figura 1) y a una altura de 255 msnm.

El área presenta un contraste notable entre el período seco y el lluvioso, el período seco se extiende desde noviembre hasta abril. Enero y marzo presentan los menores registros de precipitación con 9,15 mm y 24,90 mm respectivamente (Figura 2). El período lluvioso se extiende desde mayo hasta octubre. Junio y julio son los meses de máxima precipitación con 320 mm y 305 mm respectivamente. El promedio de precipitación de los últimos 20



**Figura 1.** Ubicación relativa del área donde se realizó el ensayo.

Fuente: Centro cartográfico de la UNELLEZ Guanare.



**Figura 2.** Valores promedio mensuales de precipitación para la estación Mesa de Cavacas en el período (1981-2000). Fuente: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 2001.

años fue 1.808 mm. La temperatura varía poco durante el año, con un promedio de 26,5°C para los últimos veinte años (MARNR, 2001). En función del clima y con el uso del sistema de Zona de Vida de Holdridge, la zona pertenece al Bosque Seco Tropical.

El relieve es plano, con pendientes entre 1,0% y 5,0%, característico del paisaje de terraza o mesa de la parroquia San Juan de Guanaguanare. La formación geológica predominante es la Formación Río Yuca, con cubrimientos ligeros de las formaciones Guanapa y Parángula. La Formación Río Yuca presenta un gran espesor de capas muy lenticulares, que contienen todos los matices de areniscas, lutitas y conglomerados, dispuestos irregularmente (Rengel *et al.*, 1983).

El suelo es franco arcilloso, con 40 % de arcilla, 35% de arena y 25% de limo. La fertilidad natural es baja, con valores de 1,34 % de materia orgánica, 0,05-0,09 ppm de nitrógeno, 3,0 ppm de fósforo y 20-25 ppm de potasio (Solórzano, 2006). pH fuertemente ácido (4,5-5,0), con baja capacidad de intercambio catiónico (Stergios, 1999) y predominan las arcillas caolínicas.

Predomina la vegetación arbórea, con especies plantadas como: *Samanea saman*, *Cassia moschata*, *Gliricidia sepium*, *Mangifera indica*, *Genipa americana* y *Gmelina arborea*; la vegetación herbácea está representada por pasto barrera (*Urochloa decumbens*) y yaraguá (*Hyparrhenia ruffa*). En los alrededores se observa la presencia de bosques nativos muy intervenidos y pastizales naturalizados de yaraguá, pata de gallina (*Paspalum* sp) y barrera (Stergios, 1999).

## **Métodos**

**Población.** Se conformó con 600 plantas de café, plantadas en junio de 2006, bajo la sombra de árboles maderables como samán (*Samanea saman*), matorratón (*Gliricidia sepium*), cañafistola (*Cassia moschata*), Saqui saquí (*Pachira quinata*) y masaguaro (*Samanea guachapele*), con un distanciamiento de 1,20 m de separación entre plantas y 2,50 m entre hileras. Ocupa una superficie de 0,5 ha. Al momento del establecimiento las plantas presentaron una altura promedio de 42 cm, 8,0 cm de diámetro de tallo a nivel del suelo y un ancho de copa de 30 cm (Mora, 2007).

La fertilización se ha realizado con abono orgánico (bosta de ganado y compost) en septiembre 2006 mayo y septiembre 2007. El control de malezas se realizó cada tres meses, de forma mecanizada entre hileras y manualmente alrededor de la planta (Mora, 2007).

El trabajo de campo se realizó desde junio 2007 hasta abril 2008, con el objetivo de cubrir los periodos de lluvia y sequía respectivamente.

**Muestra.** Para la elección de la muestra se siguió la metodología establecida por Mora (2007), la cual consistió en seleccionar aleatoriamente dos árboles por especie, donde había café plantado a excepción del masaguaro con un árbol. Las especies seleccionadas fueron samán (10 años de edad), cañafístola y masaguaro (ocho años de edad), matarratón y Saqui saquí (con seis años de edad). Debajo de cada árbol se seleccionaron aleatoriamente las plantas de café que conformaron la muestra, distribuidas de la manera siguiente: seis debajo de la sombra de cada árbol de cañafístola, samán y matarratón, cinco debajo la sombra de cada masaguaro, cuatro bajo la sombra de los dos saqui saqui y seis sin sombra (control). Esta selección representó el 10% de la población inicial. Se midieron las variables siguientes:

Altura total de la planta, se midió desde el nivel del suelo hasta la yema terminal de la planta, con una cinta graduada de precisión al centímetro y con frecuencia de dos meses.

Ancho de copa, se midió el diámetro de copa de la planta, en sentido norte-sur y este-oeste, se promediaron las lecturas y se registró el valor. Se utilizó una cinta graduada de precisión al centímetro y la frecuencia bimensual.

Diámetro de tallo, se midió a nivel del suelo, con un calibrador (Vernier), marca PRETUL, con un rango de lectura de 0,1 a 125 mm. La frecuencia de medición fue cada dos meses.

Número de ramas, se contaron las ramas primarias de cada planta, cada dos meses.

Cantidad de luz incidente, se establecieron dos puntos de muestreo por árbol, uno al este y otro al oeste, en la dirección del movimiento diario del sol. La distancia de los puntos con respecto al árbol se definió en función del radio de la copa, ubicándose en el punto medio de este valor. Las mediciones se realizaron en días soleados o nublados en cada árbol y distancia, tres días

consecutivos en el mismo rango de hora (12:00 m a 1:00 pm), con frecuencia mensual, coincidente con la medición de las plantas de café. Se utilizó un fotómetro (Light meter), marca EXTECH Instruments. Las lecturas se realizaron en Lux y posteriormente fueron convertidas a unidades de energía ( $W/m^2$ ) con el uso de la relación  $1 \text{ Lux} = 0,0015 \text{ W/m}^2$  (Margalef, 1983).

Una vez seleccionados los árboles bajo los cuales creció el café, se caracterizaron en función de:

Altura total, la cual se midió desde el nivel del suelo hasta la parte más alta de la copa del árbol. Se utilizó una cinta graduada de precisión al centímetro.

Ancho de copa, se midió la proyección en el suelo de la sombra de la copa del árbol, en el mismo sentido de las líneas de café. Se utilizó una cinta graduada de precisión al centímetro.

Diámetro a la altura de pecho, se midió la circunferencia del fuste del árbol, en un punto ubicado a 1,30 m de altura del suelo, el valor obtenido de circunferencia se dividió entre 3,1416 para obtener el diámetro a la altura de pecho. La medición se realizó con una cinta graduada de precisión al centímetro.

## ***Diseño estadístico***

### ***Factores***

Época del año con dos niveles: lluvia y seca. Especie de árbol con cinco niveles: café bajo sombra de cañafistola, café bajo sombra de samán, café bajo sombra de saqui saqui, café bajo sombra de masaguaro, café bajo sombra de matarratón y café sin sombra (control).

Repeticiones. Se realizaron dos para los árboles y seis para las plantas de café a excepción del masaguaro que se replicó una sola vez.

Análisis estadísticos de datos. Los datos de las variables medidas, fueron evaluados a través de un análisis de varianza (MANOVA), en el programa SPSS versión 11.5. Se utilizó la prueba de Tukey, para separación de las medias.

El modelo estadístico usado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = U_1 + k_1 + t_1 + e_1 + U_2 + k_1 + t_1 + e_2 + U_3 + e_3 + U_4 + e_4 + \dots + U_n + k_n + t_n + e_n$$

$Y_{ijkl}$  = Variables dependientes.  $U_n$  = Efecto de especies (tratamientos).  $k_1$  = Época del año.  $t_1$  = intensidad de luz.  $e_n$  = error.

## Resultados y discusión

### *Efecto de la época del año y la especie de árbol sobre la cantidad de luz recibida por el café*

La época del año y la especie de árbol bajo la cual creció, influyeron en la cantidad de luz recibida por el café ( $P < 0,05$ ). En la época seca, las especies formaron tres grupos (Tukey  $< 0,05$ ). Debajo del saqui saqui y el control se recibieron los mayores niveles de radiación solar (Tabla 1) y debajo del cañafístola y matarratón los menores, estos últimos sólo recibieron 59,6 % de la radiación incidente, en relación al control, esto significó una reducción del 41,4%.

La mayor cantidad de luz recibida por el café debajo del saqui saqui, se explica por el carácter caducifolio de esta especie, la cual, a diferencia de las otras, dura de tres a cuatro meses sin hojas durante este período, lo cual permitió la mayor entrada de luz. Además, fue la especie que presentó la copa más estrecha. Al contrario, cañafístola y matarratón son especies brevidecíduas y presentaron los valores más altos de ancho de copa, esto determinó la menor cantidad de luz que pasó a través de sus copas (Tabla 5).

Para la época lluviosa, las especies formaron tres grupos (Tukey  $< 0,05$ ). El samán y masaguaro recibieron los valores mayores (Tabla 1) y cañafístola y matarratón los menores. Debajo de estas especies sólo se recibió 21% de la radiación recibida por el control.

La arquitectura del árbol define la cantidad de luz que pasa a través de su follaje. Así, la altura, orientación de las ramas en relación al plano horizontal, forma y tamaño de las hojas, son variables que se deben tomar en cuenta. El matarratón y cañafístola tuvieron la copa más ancha y extendida, lo cual disminuyó la cantidad de luz que entró por los laterales en la mañana y en la tarde. Por el contrario, el masaguaro y samán, presentaron una copa más estrecha y la orientación de las ramas más verticales, por lo cual, registraron mayor entrada de luz por los laterales.

**Tabla 1.** Medias estimadas de radiación solar incidente sobre las plantas de café, por época y especie de árbol, en la finca San Miguel.

<b>Especie</b>	<b>Época seca (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Época lluviosa (W/m<sup>2</sup>)</b>
Cañafistola	0,64 a	0,31 a
Matarratón	0,87 a	0,28 a
Masaguaro	1,05 b	0,80 c
Samán	1,06 b	0,71c
Saqui saqui	1,41 c	0,57 b
Control (Sin sombra)	1,57 c	1,37 d

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas. Tukey ( $p < 0,05$ ). Fuente: Elaboración propia.

En términos de la forma y tamaño de las hojas, sólo el saqui saqui tiene hojas relativamente más grandes que las demás. El samán, cañafistola, masaguaro y matarratón tienen hojas pequeñas muy similares.

### ***Efectos de la época del año sobre el crecimiento del café cuando creció bajo la sombra***

La época del año produjo diferencias estadísticamente significativas sobre el incremento en altura, diámetro, ancho de copa y número de ramas del café. El incremento fue mayor durante la época de lluvias para la altura, diámetro del tallo y ancho de copa, con respecto a la temporada seca. En general, la humedad en el suelo es fundamental para la descomposición y mineralización de los restos orgánicos y el movimiento de los nutrimentos en la solución del suelo (Jiménez, 2007). Además, según Babbar y Zak (1999) la tasa de mineralización y nitrificación tienen una variación marcadamente estacional, con el valor más alto en el período lluvioso.

El incremento en el número de ramas fue mayor en el período seco, sin diferencias significativas (Tabla 2). Este comportamiento se puede explicar por la emergencia de las ramas al inicio del período seco, debido la brotación de las yemas producidas durante las lluvias y, a diferencia de las otras variables no se redujo por efecto del estrés hídrico.

**Tabla 2.** Incremento de la altura, ancho de copa, diámetro del tallo y número de ramas del café en función de la época del año, en la finca San Miguel.

VARIABLES	Época de lluvia	Época seca
Altura (cm/mes)	1,6a	0,5b
Ancho de copa (cm/mes)	6,85a	-3,45b
Diámetro de tallo (cm/mes)	0,05a	0b
Número de ramas / mensual	0,15a	0,25a

Letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas. Tukey ( $p < 0,05$ ). Fuente: Elaboración propia.

### Efecto de la especie de árbol sobre el crecimiento del café

En el análisis de la varianza se encontraron evidencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), las cuales indicaron que la especie de árbol influyó sobre el crecimiento en altura, diámetro del tallo, ancho de copa y número de ramas del café (Tabla 3).

Altura. Con la utilización de la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) se conformaron tres grupos, el primero integrado por el samán y masaguaro, en los cuales, las plantas de café alcanzaron los mayores valores de altura (73,4 y 73,02 cm) y el tercero por el saqui saqui y matarratón con los valores más bajos (Tabla 3).

Diámetro. Las plantas se agruparon en dos conjuntos (Tukey  $< 0,05$ ). El primero formado por aquellas que crecieron debajo de la sombra del samán y masaguaro, las cuales alcanzaron mayor diámetro y, en el otro, las que estuvieron debajo del cañafistola, saqui saqui, matarratón y el control sin sombra, con valores más bajos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Efecto de la especie de árbol sobre el crecimiento en altura y diámetro del café, en la finca San Miguel.

Variable	Especies					
	Samán	Masaguaro	Control	Cañafistola	Saqui Saqui	Matarratón
Altura (cm)	73,40 a	73,02 a	67,30 b	66,34 b	60,18 c	58,42 c
Diámetro de tallo (cm)	1,56 a	1,46 a	1,37 b	1,34 b	1,33 b	1,30 b

Letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas. Tukey ( $p < 0,05$ ). Fuente: Elaboración propia.

Ancho de copa. Se conformaron dos grupos (Tukey < 0,05), el primero integrado por las plantas que crecieron debajo de la sombra del samán, matarratón, masaguaro, el control y cañafistola y el segundo por el saqui saqui (Tabla 4).

Número de ramas. Para esta variable se formaron tres grupos (Tukey < 0,05). Samán y masaguaro integraron el primero, con 18 y 16 ramas respectivamente. El control y cañafistola el segundo y el tercero por saqui saqui y matarratón (Tabla 4).

Las cuatro variables analizadas no se comportaron de la misma manera en las diferentes especies de árboles y el control, sin embargo, para el crecimiento en diámetro, altura y número de ramas, los valores mayores se registraron bajo la sombra del samán y masaguaro, y los menores para el saqui saqui y matarratón (Tablas 3 y 4).

**Tabla 4.** Efecto de la especie de árbol sobre ancho de copa y número de ramas del café, en la finca San Miguel.

Variable	Especies					
	Samán	Matarratón	Masaguaro	Control	Cañafistola	Saqui Saqui
Ancho de copa (cm)	72,83 a	68,42 a	66,33 a	65,14 a	61,42 a	51,36 b
Variable	Samán	Masaguaro	Control	Cañafistola	Saqui Saqui	Matarratón
Número de ramas	18 a	16 a	15 b	15 b	14 c	13 c

Letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas. Tukey (p<0,05). Fuente: Elaboración propia.

Para el ancho de copa, el comportamiento fue diferente, debajo del samán se alcanzó el valor mayor, seguido por el matarratón.

¿A qué se pueden atribuir las diferencias en el crecimiento del café bajo la sombra de estas especies de árboles?

Cuatro de las especies son leguminosas fijadoras de nitrógeno (samán, matarratón, cañafistola y masaguaro). Está bien documentado en la literatura el efecto mejorador del suelo de este grupo de plantas. El saqui saqui no fija nitrógeno atmosférico.

Todas las especies son decíduas, es decir, botan las hojas en respuesta al estrés hídrico en el período seco; de ellas, el samán y cañafistola son brevedecíduas, significa que se quedan sin hojas por un período de tiempo muy breve. El masaguaro pierde las hojas dos veces al año y el saqui saqui se queda sin hojas por más de tres meses.

Con respecto a la arquitectura foliar, las leguminosas tienen hojas pequeñas, divididas y el saqui saqui hojas mesófilas y enteras.

El café es una planta de ambientes sombreados, la cual responde bien a los aumentos graduales en la cantidad de radiación solar recibida, es decir, su mayor potencial lo desarrolla bajo condiciones intermedias de luminosidad.

Llama la atención que el control superó al cañafistola, saqui saqui y matarratón en todas las variables, excepto el ancho de copa. Esto se puede explicar, en función de la cantidad de radiación solar recibida, la cual fue muy baja para el matarratón y cañafistola, tanto para el período seco como en el lluvioso. Debajo de estas especies sólo llegó 21% de la cantidad que recibió el control. Por otro lado, el saqui saqui, además de que no fija nitrógeno, durante el período seco recibió la misma cantidad de luz que el control, debido a su carácter decíduo, por más de tres meses. Es decir, el elemento que restringió el crecimiento del café fue la disminución de la cantidad de radiación solar recibida durante el período de lluvias, época en la cual se produce el mayor crecimiento de las plantas.

**Tabla 5.** Características generales y valores promedios de altura total, ancho de copa y diámetro a la altura de pecho (1,30 m), para los árboles de cada tratamiento, en la finca San Miguel.

Especie	Periodicidad del follaje	Período sin hojas (días)	Tamaño de las hojas	Altura Total (m)	Ancho de Copa (m)	Diámetro del tronco (m)
Cañafistola	Brevidéciduo	10-20	Micrófilo	5,75	13,00	0,40
Samán	Brevidéciduo	10-20	Micrófilo	5,00	4,80	0,21
Saqui Saqui	Decíduo	90-120	Mesófilo	4,75	3,00	0,21
Matarratón	Decíduo	45-90	Micrófilo	4,50	6,50	0,10
Masaguaro	Decíduo	70-90	Micrófilo	3,50	4,00	0,14

Fuente: Elaboración propia.

Las plantas en ambientes sombreados tienden a invertir mayor cantidad de energía en la producción y desarrollo del brote o tallos. Parece contradictorio entonces, que en los ambientes con menor luminosidad, el crecimiento en altura del café haya sido menor, con respecto a los que recibieron mayores niveles de luz, como en el caso del samán y masaguaro. Esto se puso en evidencia en el ancho de copa, donde las plantas de café que crecieron debajo

del matarratón se ubicaron en el segundo lugar y delante del masaguaro, con 68,42 cm de ancho de copa. Es decir, en respuesta a la menor disponibilidad de luz, las plantas desarrollaron una copa más ancha para o en búsqueda de mayor cantidad de radiación solar. La especie debajo de la cual el café obtuvo menor desempeño fue el saqui saqui.

El buen desempeño del café bajo la sombra del samán y masaguaro, se explica por los adecuados niveles de radiación solar, lo que le permitió hacer un mejor uso de las condiciones edáficas, las cuales se espera hayan sido mejoradas por la presencia de los árboles por más de siete años, en especial, las leguminosas fijadoras de nitrógeno. Debajo de estas especies se recibió 54 % de la radiación incidente, en comparación al 25 % debajo de las copas del matarratón y 33 % para el cañafístola, en el período lluvioso, época de mayor actividad del crecimiento vegetal.

En términos absolutos, los valores de altura, diámetro del tallo y ancho de copa del café, se encuentran entre los reportados por otros autores, por ejemplo, Garriz y Vicuña (1986) reportaron valores de 71 cm y 1,82 cm de altura y diámetro respectivamente, para plantas de dos años, manejados con fertilización química y una altura sobre el nivel del mar de 1.350 m. De igual manera, Manchego *et al.* (1999) registraron valores de 139 cm de altura y 3,36 cm de diámetro del tallo, para una plantación de tres años de edad, con fertilización química y 900 msnm, en el estado Mérida. Bustamante *et al.*, (2004) también encontraron registros similares en Santa Anita (950 msnm) en el estado Táchira. Es decir, el crecimiento obtenido en este trabajo se considera relativamente bueno, además, si se le agrega la baja altura sobre el nivel del mar.

## Conclusiones

La disminución de la disponibilidad de luz durante el la época lluviosa fue la variable más importante en la determinación del crecimiento del café bajo la sombra de las cinco especies de árboles.

La periodicidad del follaje y la arquitectura de los árboles definen la cantidad de luz que pasa a través de sus copas.

Las mejores especies para asociar el cultivo del café a baja altura, fueron el samán y masaguaro, lo cual se puede atribuir a la arquitectura, la cual

regula en buena forma el paso de la radiación solar y por la incorporación de nitrógeno al suelo a través de las raíces, hojarasca y restos vegetales, los cuales fueron aprovechado por la planta para su crecimiento.

Con los resultados de este trabajo no se pudo diferenciar el efecto particular de las especies fijadoras de nitrógeno sobre el crecimiento del café.

## Referencias bibliográficas

- ÁGUILA, A., BEER, J., VAAST, P., JIMÉNEZ, F., STAVAR, C. y KLEINN, C. 2000. Desarrollo del café asociado con *Eucalyptus deglupta* ó *Terminalia ivonensis* en la etapa de establecimiento. Turrialba, Costa Rica. Agroforestería de las Américas. [Revista en línea]. En: [http://www.ramilcar\(a\)mipafcatie.org.ni](http://www.ramilcar(a)mipafcatie.org.ni). [Consultado Febrero 2008].
- ANACAFE. 1991. La sombra del cafetal. Manual de Caficultura. Asociación Nacional del Café. Guatemala. **Boletín Técnico** N° 1. 12 pp.
- ARANGO, M. 2007. Zonificación agro ecológica del café en Puerto Rico y análisis estructural y de composición de especies arbóreas presentes en el agro ecosistema cafetero. Tesis MSc. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, 126 pp.
- BABBAR, L. y ZAK, D. 1994. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presene and absence of shade trees. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 48: 107-113.
- BEER, J. 1997. Café bajo sombra en América central: ¿Hace falta más investigación sobre este sistema agroforestal exitoso?. **Revista Agroforestería de las Américas** 4(13): 4-5.
- BUSTAMANTE, J., CASANOVA, A., ROMÁN, N. y MONTERREY, C. 2004. Estimación temprana del potencial de rendimiento en café (*Coffea arabica* L.). INIA, Estado Tachira. [Documento en línea]. Consultado en: [www.bioagro.com.ve](http://www.bioagro.com.ve). [Consultado el 15 de julio de 2007].
- CARRAD, B. 1982. Economics aspects of smallholder practices: mixed cropping of food and coffee. In Bourke, R. and Kesaren, V. Eds. 2<sup>da</sup>. Papua New Guinea. Food and crops conference; Procc. Port Maresby, Papua New Guinea. p. 294-302.
- DOSSA, E., FERNANDES, E., REID, W. y EZUI, K. 2007. Above and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. **Agroforestry Systems** 72(2):103-115.

- ESCALANTE, E. 1985. Promising Agroforestry Systems in Venezuela. *Agroforestry Systems*, 3: 209-221.
- GARRIZ, P. y VICUÑA, R. 1986. Variaciones anuales en el crecimiento vegetativo y la arquitectura del canopeo de *Coffea arabica*. Universidad Nacional de Comahue. Facultad de Ciencias Agrarias. Apdo. 85. Cinco Saltos. Argentina 32 pp. Disponible en: <http://www.fhia.org.hn.com> [Consultado el 27 de abril de 2008].
- JIMÉNEZ, J. 2007. Fijación biológica de nitrógeno por leguminosas arbóreas para sombra de café en Puerto Rico. Tesis MSc. Universidad de Puerto Rico. 48 p.
- MANCHEGO, R., BUSTAMANTE, J. y GARNICA, J. 1999. Evaluación agronómica de ocho líneas de café (*Coffea arabica*) resistentes a la roya en la localidad de el playón, estado Mérida. *Bioagro* 11(3): 97-102 [Revista en línea]. En: [http://www.ramilcar\(a\)mipafcatie.org.ni](http://www.ramilcar(a)mipafcatie.org.ni). [Consultado abril 2008].
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona, España. 660 p.
- MARNR. 2001. Resumen climatológico período 1981-2000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Red Básica de Hidrometeorología. Dirección Estatal Ambiental Portuguesa. 178 p.
- MOGOLLÓN, J., GARCÍA, J., SÁNCHEZ, F., CHACÓN N. y ARAUJO, J. 1995. Nitrógeno potencialmente disponible en suelos de cafetales bajo diferentes árboles de sombra. XII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay, octubre de 1995. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/db/ssaber/edocs/pubelectronicas/forestall/articulo3.pdf>. [Consultado el 10 de febrero de 2008].
- MONROIG, M. 2000. Análisis compresivo de la empresa del café. CAE café. Puerto Rico. [Documento en línea]. Disponible en: <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id57.htm>. [Consultado el 12 de Abril de 2008].
- MORA, P. 2007. Crecimiento de café bajo sombra de especies forestales en la finca San Miguel, municipio Guanare del estado Portuguesa. Trab. Esp. Grado. Ing. en Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora, Guanare. 36 p.
- MIRANDA, L. (s/f). Cafetales cultivados bajo sombra. Coordinación del Programa de Servicio de Pesca y Vida Silvestre. Boquerón. 2 pp. [Documento en línea]. Disponible en: [www.fws.gov/caribeam.ecoteam/español/cafetales\\_](http://www.fws.gov/caribeam.ecoteam/español/cafetales_) [Consultado el 15 de julio de 2007].
- RAMÍREZ, J. 1996. Poda y manejo de *Coffea arabica* L. Instituto del Café de Costa Rica, ICAFE. Heredia, Costa Rica 44 pp. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.icafe.col.cr/.com>. [Consultado el 6 de septiembre de 2007].

- RENGEL, L. ORTEGA, F. y AYMARD, G. 1983. Dinámica de las variaciones de la cobertura vegetal y la erosión en el piedemonte andino de Guanare. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Vicerrectorado de Producción Agrícola. Guanare, 37 p.
- ROSKOSKI, J. 1980. Importancia de la fijación de nitrógeno en la economía del cafetal. Universidad Autónoma de México, Xalapa, México, 143 p.
- RUSSO, R. y BOTERO, R. 2003. El componente arbóreo como recurso forrajero en los sistemas silvopastoriles. LEAD, CATIE pp. 12-14 San José, Costa Rica. [Documento en línea]. Disponibles en: <http://www.lead.virtualcenter.org/es/ele/coferencia1/Botero8.htm>. [Consultado el 10 de Enero de 2008].
- SANTACREO, R. 1998. Variedades y mejoramiento genético del café. FAO. Sistema de Información Científico Técnica. Honduras. Resumen 027. [Documento en línea] Disponible en: <http://www.ihcafe.org/>. [Consultado 12 de Abril de 2008].
- SANTANA, M., VALENCIA, J. y DÍAZ, C. 1999. Evaluación de tres sistemas silvopastoriles de guayaba (*Psidium guayaba*), cañafístola (*Cassia moschata*) y guayaba-cañafístola con *Brachiaria humidicola*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 86-88 pp. [Documento en línea] Disponible en: <http://www.agronet.gov.co> [Consultado el 12 de Abril de 2008].
- SCHULLER, S. 2006. Caficultura Sostenible I: conservación de la biodiversidad. pp 12-16. [Artículo en línea] Disponible en: [susschulle(a)yahoo.com].
- SERDET. 2006. Propuesta de autoevaluación del proyecto cafés especiales “grano de oro de Biscucuy”. República Bolivariana de Venezuela. Municipio Sucre, Portuguesa. 23 pp. [Documento en línea]. Disponible en: <http://moodle.eclac.cl/doc/Sucre-Venezuela.pdf>. [Consultado 28 de abril 2008].
- SOLÓRZANO, A. 2006. Crecimiento y producción de biomasa aérea por tres tipos de estacas de matarratón. Trab. Esp. Grado. Ing. en Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora, Guanare. 22 p.
- SOLÓRZANO, N. 1997. Efectos del samán (*Samanea saman* (Jacq.) Merrill) sobre la oferta y calidad forrajera del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst), Papelón, estado Portuguesa. Tesis MSc. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida. 37 p.
- STERGIOS, B. 1999. Guía de las plantas superiores de Mesa de Cavacas y sus alrededores: parte I. Liliopsida. Trab. Ascenso. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Vice-rectorado de Producción Agrícola. Guanare. 114 p.

VALDEZ, M. 2005. Crecimiento del café sometido a fertilización orgánica en terrazas individuales con dos clases de coberturas. Trab. Esp. Grado. Ing. en Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Guanare. 17 p.