

ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y EXTRACCIÓN DE NUTRIMENTOS POR *Coffea arabica* L. cv. COLOMBIA EN TRES LOCALIDADES DE LA ZONA CAFETERA CENTRAL

Néstor M. Riaño-Herrera*; Jaime Arcila-Pulgarín**; Álvaro Jaramillo-Robledo***; Bernardo Chaves-Córdoba****.

RESUMEN

RIAÑO H., N. M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., Á.; CHAVES C., B. Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera. Cenicafé 55(4):265-276.2004

Con el fin de contribuir al conocimiento del crecimiento y la extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia, se realizó durante cinco años un experimento en tres localidades de la zona cafetera central de Colombia, contrastantes por su oferta hídrica. Las evaluaciones se hicieron en diferentes etapas del crecimiento del cafeto hasta los 2.000 días después de la siembra. Los resultados indican que el potencial de acumulación de la materia seca por la planta es similar en las tres localidades, pero la distribución de los asimilados en los órganos constituyentes de la planta es diferente, lo cual determina el potencial productivo en cada sitio. La extracción de nutrimentos por tanto, presenta una dinámica particular, lo que permite determinar las necesidades de la planta en cada etapa del crecimiento. Es la primera vez que se presentan resultados sobre la dinámica de crecimiento y distribución de la materia seca del cafeto, enlazados con la extracción de nutrimentos. Los resultados obtenidos permitirán determinar la máxima eficiencia en el uso de los fertilizantes, que se traduzcan en un menor impacto sobre el medio ambiente y una mejor relación costo - beneficio para el agricultor.

Palabras claves: Oferta hídrica, oferta edáfica, dinámica de crecimiento, distribución de materia seca, absorción de nutrimentos, *Coffea arabica*, variedad Colombia.

ABSTRACT

In order to contribute with knowledge about the growth and extraction of nutriments for *Coffea arabica* L. cv. Colombia, an experiment in three localities of the central colombian coffee zone that were contrastive in their hydric offer was carried out for five years. The evaluations were done in different stages of the coffee plant growth until 2,000 days after the sowing. The results indicate that the accumulation potential of the dry matter for the plant is similar in the three localities, but the distribution of the assimilates in the organs that make up the plant is different, which determines the productive potential in every site. Therefore, the nutriments extraction exhibits a particular dynamics that allows to determine the needs of the plant in every growth stage. This is the first time that results on growth mechanics and distribution of coffee plants dry matter, related to nutriments extraction are presented. The results obtained will allow to determine the greatest efficiency in the use of fertilizers, which can be translated into a smaller impact on the environment and a better cost-benefit relation for the grower.

Keywords: Hydric offer, edaphic offer, growth mechanics, dry matter distribution, nutriments absorption, *Coffea arabica*, Colombia variety.

* Investigador Científico II. Fisiología Vegetal. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Principal I. Fitotecnía. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Investigador Científico II. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

**** Investigador Científico II. Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, hasta julio de 2001. Chinchiná, Caldas, Colombia

El crecimiento vegetal, tanto en los sistemas naturales como en los sistemas agrícolas, depende de la oferta ambiental y del suelo, que interactúan con los genotipos para producir la biomasa vegetal de la cual se obtienen los productos económicamente aprovechables como alimentos, fibras y madera, entre otros.

Las plantas son los productores primarios en la cadena trófica y de ellas depende casi la totalidad del suministro de energía, debido a que son las responsables de atrapar y convertir la energía radiante en energía química; parte de esta energía se usa en la absorción de los elementos minerales necesarios para el funcionamiento del sistema y para la producción de biomoléculas ricas en enlaces de carbono que son almacenadas, para finalmente ser utilizada por el hombre.

Para medir el crecimiento de las plantas se han utilizado diferentes métodos entre los cuales se encuentra el aumento en volumen, en longitud o en número de órganos, pero sin duda la mejor forma de analizar el crecimiento es con el incremento de la materia seca en conjunto con el área foliar (sistema de asimilación) (4, 5, 13, 14, 16, 17, 18, 25, 31). El uso de la técnica del análisis del crecimiento ha demostrado ser importante en estudios de producción de materia seca en relación con diferencias varietales en plantas cultivadas o afectadas por prácticas agronómicas (fertilización, riego, etc.) o sometidas a diferente oferta ambiental.

En el café, a pesar de su importancia económica por cerca de un siglo, los estudios sobre la acumulación de la materia seca, su

distribución y el análisis del crecimiento son limitados (3,6,7,8,20,26,30). En Colombia, la mayoría de los estudios han relacionado el crecimiento en longitud, número y tamaño de los órganos de la planta con la oferta climática, encontrándose estacionalidad en el crecimiento (1, 15, 19, 27).

La dinámica en la absorción, translocación y acumulación de nutrimentos durante el ciclo de vida del café ha sido poco estudiado (9, 10, 11, 23). En Colombia, la mayor parte de los estudios se han centrado en determinar el efecto de la adición de nutrimentos a partir de fuentes orgánicas o químicas, sobre la cantidad y calidad del producto cosechado (21, 22, 24, 28, 29).

Para conocer la dinámica de la acumulación de materia seca, y la absorción, la translocación y la acumulación de nutrimentos, se llevó a cabo esta investigación en tres localidades representativas de la zona cafetera central de Colombia, contrastantes por su disponibilidad hídrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en tres localidades de la zona cafetera central de Colombia: la Estación Central Naranjal, ubicada en Chinchiná, Caldas; la Subestación Paraguaicito en Buenavista, Quindío y la Subestación Santa Helena, en Marquetalia, Caldas. Las características geográficas y climáticas de cada localidad se describen en la Tabla 1.

Las características físicas y químicas del suelo en cada localidad se presentan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 1. Características geográficas y climáticas de las localidades estudiadas en la zona cafetera central de Colombia (11).

Localidad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Brillo Solar (horas)
Naranjal	4°59	75°39	1.400	21,7	2.987	1.469,9
Paraguaicito	4°23	75°44	1.250	22,4	2.032	1.450,9
Santa Helena	5°19	75°00	1.450	20,7	4.583	1.378,3

Se sembraron semillas de la variedad Colombia en cajas plásticas sobre arena de río lavada (100 semillas por caja) y se evaluó el porcentaje de germinación a los 48 y a los 60 días después de siembra (dds) en cada localidad.

En cada sitio se estableció un almácigo con bolsas plásticas de 17 x 23cm, utilizando como sustrato una mezcla de suelo cernido con pulpa de café descompuesta en proporción 3:1. En cada bolsa se transplantó una chapola de café bien formada, que fue escogida al azar de un grupo de 15 bandejas asignadas aleatoriamente a cada localidad.

A los 30 y a los 90 días después del transplante al almácigo se escogieron aleatoriamente 15 plantas y se les midió el área foliar con la regla desarrollada por Arcila (2). Las hojas, el tallo y las raíces se colocaron en bolsas de papel y se llevaron a una estufa a 80°C con recirculación de aire hasta obtener un peso constante, medido en una balanza Mettler BB2400.

Las plantas fueron llevadas al campo a los 200dds, y se transplantaron en un lote de 2.000m²

por cada localidad, con una densidad de siembra final de 3.906 plantas ha⁻¹ (2,56m²/planta); al mismo tiempo de la siembra se realizó el tercer muestreo sobre 15 plantas escogidas aleatoriamente. Simultáneamente se sembraron por localidad 60 plantas en bolsas de polipropileno de 1,2m de altura y 1,0m de diámetro, que fueron llenadas previamente con suelo adyacente al lote experimental, tratando de mantener la disposición del perfil. Los 16 muestreos siguientes se realizaron cada 90 días, en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre, escogiendo al azar 10 plantas del lote y 5 plantas de las bolsas. A cada planta se le midió el área foliar y se le tomó el peso seco del tallo, de las ramas, de las hojas, las flores y los frutos, como se hizo con las plantas del almácigo. Adicionalmente, se extrajeron las raíces de las plantas que permanecían en las bolsas, con la ayuda de agua a presión y luego se obtuvo su peso seco.

La información sobre el clima asociado con cada sitio, se tomó con los instrumentos de la estación meteorológica en cada Subestación Experimental y se recopiló y analizó en la Disciplina de Agroclimatología de Cenicafé. En cada lote se tomaron las muestras de suelo

Tabla 2. Características físicas de los suelos de las localidades estudiadas en la zona cafetera central de Colombia

Localidad	Densidad real (g/cc)	Densidad aparente (g/cc)	Retención de humedad (Atm)					Granulometría* (%)			Clasificación
			1/3	1	5	10	15	Ar	L	A	
Paraguaicito	2,32	1,05	36,4	33,4	26,6	23,9	20,8	22	20	58	FARa
Naranjal	2,25	0,85	55,5	51,9	39,4	30,4	25,1	25	21	54	FARa
Santa Helena	1,93	0,66	94,4	87,6	70,5	67,9	62,8	26	31	43	F

* Ar: arcilla; L: limo; A: arena

Tabla 3. Características químicas de los suelos de las localidades estudiadas en la zona cafetera central de Colombia

Localidad	pH	M.O. (%)	P (ppm)	K (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Al (meq/100g)	Sat. Al %
Paraguaicito	5,0	6,7	75	0,35	3,1	0,6	0,8	16,49
Naranjal	4,5	10,8	32	0,15	0,1	0,1	1,5	81,08
Santa Helena	4,9	17,7	2	0,08	0,2	0,1	1,0	72,46

para su respectivo análisis y se determinó el plan de fertilización para cada sitio. Las desyerbas se hicieron de acuerdo con las necesidades de cada lote.

Los datos obtenidos se analizaron mediante los paquetes estadísticos SAS (Statistical Analysis System) y Sigma Plot (SPSS Inc.)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Oferta ambiental. Los sitios de experimentación se seleccionaron por ser contrastantes en cuanto a su disponibilidad hídrica. En la Figura 1, se presenta el comportamiento de la oferta ambiental tanto en lo referente a la precipitación como a la energética, mediante el tiempo térmico acumulado y el brillo solar acumulado. Se observa a través del tiempo que hubo la mayor oferta hídrica en la granja Santa Helena en el municipio de Marquetalia (Caldas), mientras que la menor se presentó en Paraguaicito (Buenavista, Quindío), y Naranjal (Chinchiná, Caldas) presentó valores intermedios.

Desde el inicio del experimento los valores acumulados de precipitación presentaron tendencias definidas lo cual indica que el criterio de selección de los sitios por esta característica fue adecuado. Sin embargo, el solo hecho de presentar mayor o menor precipitación no es un indicativo de que esta característica sea determinante en el comportamiento del café; su distribución a través del año y el balance entre la entrada y la salida del agua en el sistema es un componente más importante que la misma cantidad acumulada. Con base en lo anterior se calculó el Índice de Humedad del Suelo (IHS) para cada localidad, teniendo en cuenta la precipitación, la evapotranspiración potencial y real, y los parámetros del suelo. Para este índice se estima que un valor inferior a 0,5 se asocia con deficiencias hídricas para la planta, lo cual induce respuestas fisiológicas determinantes en el crecimiento y redistribución de los

asimilados. Solamente en la Subestación Paraguaicito se presentaron valores del IHS inferiores al 0,5 en diferentes años, mientras que para las otras dos localidades no se presentaron valores inferiores a 0,7.

En cuanto a la oferta energética, los componentes brillo solar acumulado y tiempo térmico acumulado en la localidad de Santa Helena tuvieron los menores valores, mientras que en Paraguaicito y Naranjal fueron similares los valores de brillo solar. En Paraguaicito ocurrió la mayor oferta energética en cuanto al tiempo térmico acumulado.

El conjunto de la oferta ambiental en cada localidad determina la forma como se acumula y distribuye la materia seca, lo cual tiene incidencia directa sobre la absorción y distribución de los nutrientes en cada localidad estudiada.

Acumulación y distribución de la materia seca. En las tres localidades la curva que describe el crecimiento del café *Coffea arabica* L. cv. Colombia, en términos del incremento en la materia seca total de la planta a través del tiempo, del tiempo térmico y el brillo solar acumulado, sigue un modelo sigmoidal clásico (Figura 2), el cual posee una etapa inicial de crecimiento lento, seguida de una etapa exponencial o de crecimiento acelerado y por último, una etapa de estabilización o asíntota, donde se obtienen los valores máximos de acumulación de materia seca.

La etapa inicial de crecimiento va desde la germinación hasta los 650 días después de la siembra (dds), independiente de la localidad estudiada, coincidiendo con valores de 2.000 horas de brillo solar acumulado y 10.000 grados día de tiempo térmico acumulado, lo que indica que en esta etapa inicial de crecimiento la oferta ambiental no tiene efecto notable sobre la acumulación total de la materia seca. Esta etapa del crecimiento coincide con la fase vegetativa inicial, pues es a partir de los 650dds que se

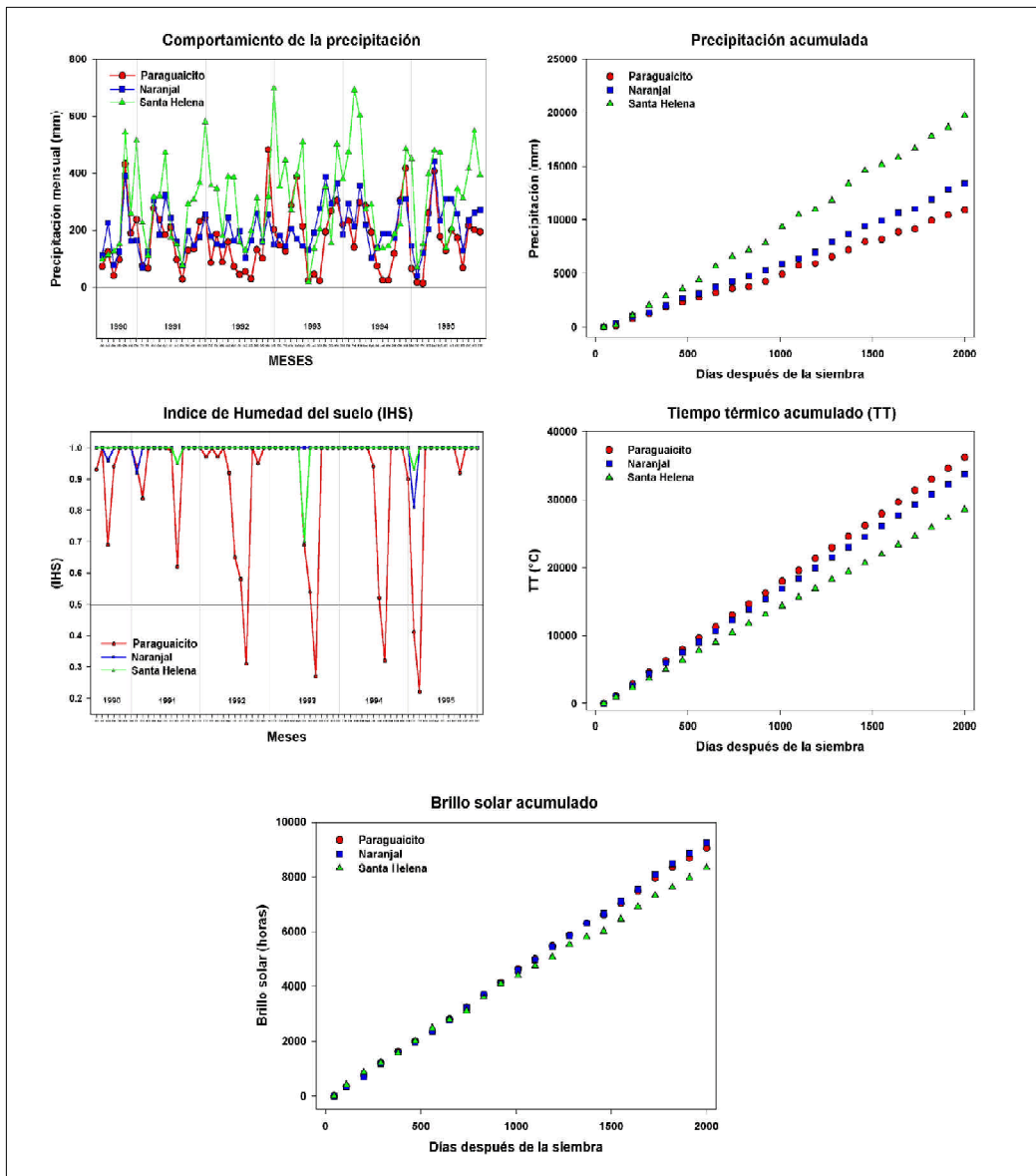


Figura 1. Comportamiento de la precipitación, la precipitación acumulada, el índice de humedad del suelo (IHS), el tiempo térmico acumulado y el brillo solar acumulado en Paraguito (Buenavista-Quindío), Naranjal (Chinchiná-Caldas) y Santa Helena (Marquetalia-Caldas), entre junio de 1990 y noviembre de 1995.

da inicio a la etapa reproductiva. Durante la primera etapa de crecimiento la materia seca se distribuye principalmente en las hojas, la raíz y el tallo, presentando al final del mismo

un aumento de la acumulación en las ramas a expensas de una disminución en la raíz y las hojas (Figura 3).

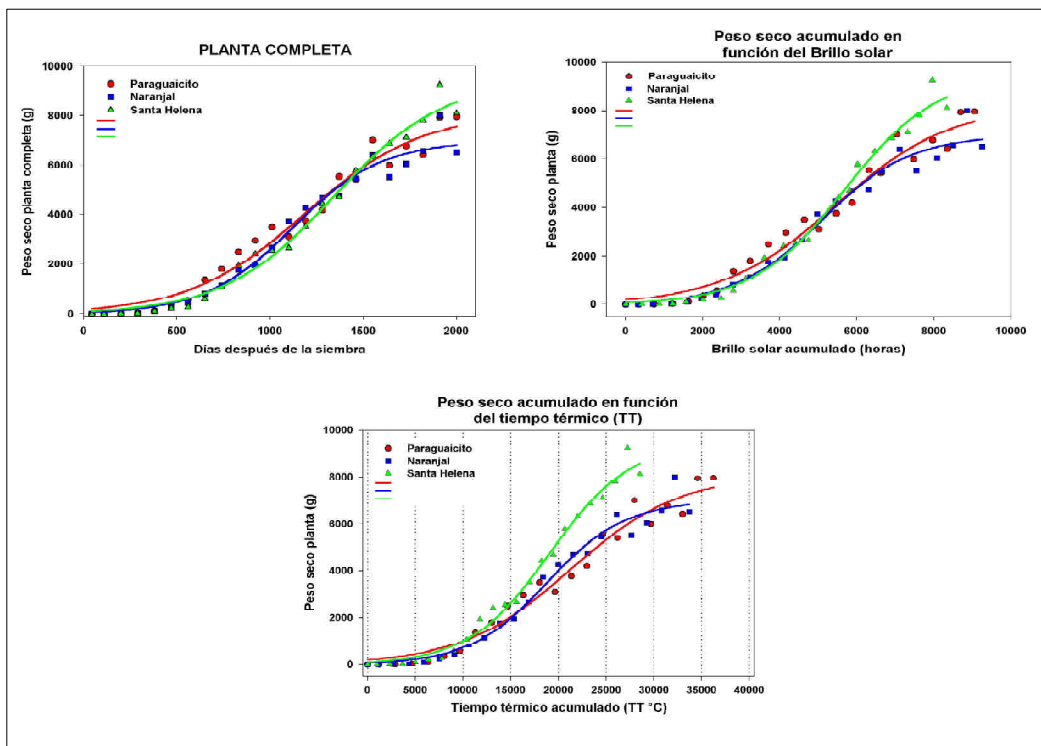


Figura 2. Curvas de crecimiento de *Coffea arabica* L. cv. Colombia en términos de la materia seca acumulada y en función del tiempo cronológico, brillo solar acumulado y tiempo térmico acumulado, en tres localidades Paraguaicito (Buenavista-Quindío), Naranjal (Chinchiná-Caldas) y Santa Helena (Marquetalia-Caldas)

La segunda etapa de crecimiento o etapa de crecimiento exponencial no muestra diferencias en la pendiente (tasa de incremento) cuando se presenta en función del tiempo; sin embargo, se observan cambios notables en el punto de inflexión para el inicio de la tercera etapa o de máxima acumulación. El punto en el cual cambia la velocidad de crecimiento se alcanza primero en Naranjal, seguido por Paraguaicito y Santa Helena. Además, al relacionar la oferta energética con la acumulación de materia seca, la mayor pendiente se presenta en Santa Helena, lo cual está relacionado con su distribución (Figura 3), pues es en este sitio donde se tiene la menor acumulación en los frutos a través del tiempo lo cual se traduce en un mayor crecimiento vegetativo y por tanto,

de la planta completa, lo cual se corrobora con los valores de máxima acumulación en la etapa tres de crecimiento que son mayores en Santa Helena, seguidos por Paraguaicito y Naranjal.

Esto indica que el potencial de acumulación de materia seca para el genotipo en las tres localidades presenta diferencias que están relacionadas con la oferta ambiental y principalmente, con la distribución de los asimilados, de tal forma que se presenta un potencial de producción particular en cada localidad (Figura 4).

Al observar los valores integrados de acumulación para los 2.000 días de estudio en las tres localidades se encuentra que en

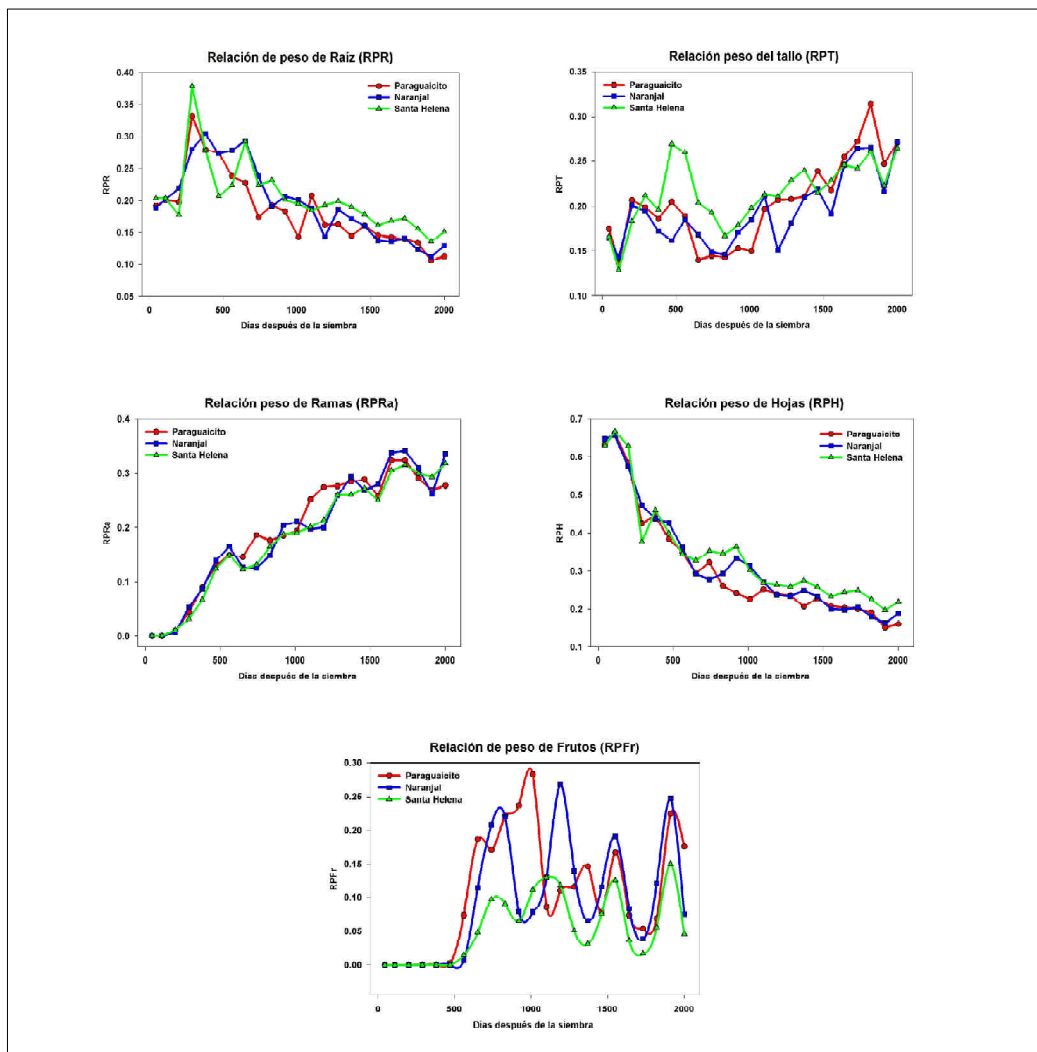


Figura 3. Relación del peso de raíz, tallo, ramas, hojas y frutos en *Coffea arabica* L. cv. Colombia a través del tiempo, en tres localidades Paraguaicito (Buenavista-Quindío), Naranjal (Chinchiná-Caldas) y Santa Helena (Marquetalia-Caldas). Entre junio de 1990 y noviembre de 1995.

Paraguaicito ocurrió la mayor acumulación de materia seca en el tallo, las ramas, las flores, los frutos, la planta completa y el área foliar, lo cual indica que al no ocurrir la mayor acumulación en las hojas pero sí en el área foliar, hay una disminución en el tamaño promedio de la hoja, lo cual se confirmó al calcular los

índices de crecimiento, la relación de área foliar y el área foliar específica. De manera contrastante, la acumulación de la materia seca en Santa Helena fue mayor en la raíz y las hojas, en comparación con Paraguaicito y Naranjal, y en los demás órganos, a excepción de los frutos, mayor que en Naranjal. Mien-

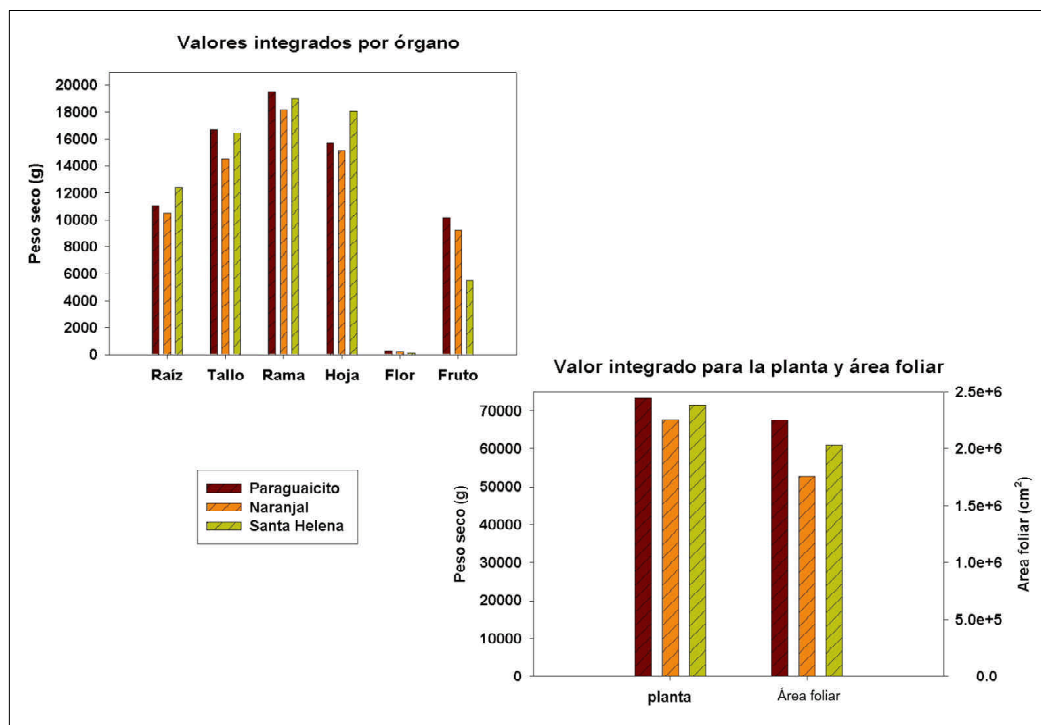


Figura 4. Valores integrados de acumulación de materia seca durante 2.000 días para la raíz, el tallo, las ramas, las hojas, las flores, el fruto, la planta completa y el área foliar en *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera colombiana.

tras que el área foliar acumulado fue superior al de Naranjal e inferior al de Paraguaicito.

La información presentada permite concluir que el potencial de acumulación de la materia seca por la variedad Colombia es similar en la etapa inicial del crecimiento independiente de la localidad estudiada y es modulada por la distribución de asimilados entre los frutos y los órganos vegetativos en la etapa de crecimiento exponencial, lo cual está estrechamente relacionado con la oferta ambiental. Por tanto, cada localidad tiene un potencial productivo particular.

Absorción de nutrientes. La absorción de nutrientes depende de la dinámica en el

crecimiento de la planta y de la distribución de la materia seca, la cual como se presentó anteriormente, está relacionada con la oferta ambiental y con las propiedades físico - químicas del suelo.

La acumulación de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg en la primera etapa del crecimiento (fase lenta) que coincide con la etapa de crecimiento vegetativo inicial, hasta los 650dds, se presenta en la Tabla 4.

Paraguaicito presenta los mayores valores acumulados de todos los nutrientes, seguido por Naranjal y Santa Helena. La absorción de N para una planta de cafeto en los primeros 650dds, oscila en el rango de 8,55 hasta 19,36g/planta, lo

Tabla 4. Absorción de nutrimentos hasta los 650dds, por la planta completa de café *Coffea arabica* L. cv. Colombia y por hectárea, en tres localidades de la zona cafetera central de Colombia.

	Naranjal		Paraguaicito		Santa Helena	
	g/planta	kg/ha	g/planta	kg/ha	g/planta	kg/ha
N	12,45	48,6	19,36	75,62	8,55	33,4
P	0,86	3,35	2,7	10,59	0,58	2,26
K	12,38	48,36	25,28	98,75	7,64	29,84
Ca	5,09	19,9	10,59	41,37	3,88	15,1
Mg	1,83	7,16	2,07	8,1	1,21	4,73

cual representa una extracción acumulada por hectárea en ese período de tiempo de 33,4 a 75,62kg para una densidad de 3.906 plantas/ha. La diferencia se relaciona directamente con la acumulación de materia seca en este período, pues mientras que en Paraguaicito se acumularon 1.362g, en Santa Helena y Naranjal se acumularon 575,9 y 811,8g, respectivamente.

Al calcular la relación de N absorbido por cada gramo de materia seca producida se obtiene un valor de 0,0145gN/gM.S. en las tres localidades, lo cual indica que depende más del componente genético que de la interacción genotipo-ambiente, esta última regula la velocidad de acumulación de materia seca y su distribución dentro de la planta.

Los valores de las relaciones para los demás elementos son 0,0010-0,0011 para el P; 0,013-0,018 para el K; 0,0062-0,0067 para el Ca y 0,0015-0,0025 para el Mg. La relación N/K es de 1,0; 0,77 y 1,13 para Naranjal, Paraguaicito y Marquetalia, respectivamente.

Tal como se mencionó anteriormente, la acumulación y distribución de la materia seca en la fase reproductiva, para el presente estudio entre los 650 hasta los 2.000dds, se relaciona directamente con la oferta ambiental, que modula la aparición de estructuras reproductivas, induciendo cambios en la

redistribución de los asimilados. Por tanto, la acumulación de los nutrimentos se verá afectada de igual forma.

La Figura 5, presenta el comportamiento de la acumulación de los nutrimentos estudiados hasta los 2.000dds. Se observa que se acumularon en promedio 140gN, 13gP, 130gK, 60gCa y entre 15-30gMg por planta en ese período de tiempo. La mayor acumulación de N y K ocurrió en Santa Helena, sitio donde se presentó la mayor acumulación de materia seca, pero la menor producción de frutos. Hubo absorción notablemente mayor del Mg en Naranjal, que incidió sobre el comportamiento del Ca mas no sobre el K, lo cual parece no tener relación con la totalidad de materia seca acumulada, principalmente en los frutos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de las siguientes personas y entidades que participaron en el desarrollo del presente estudio: A los señores Mario Franco A., José D. Soto, Faber de los Ríos y Luis F. Gómez de la disciplina de Fisiología Vegetal de Cenicafé; A los jefes de experimentación de la Estación Central Naranjal y la Subestación Paraguaicito y al Comité de Cafeteros de Caldas. A la disciplina de Química Agrícola de Cenicafé y a la señora Luz Stella Duque.

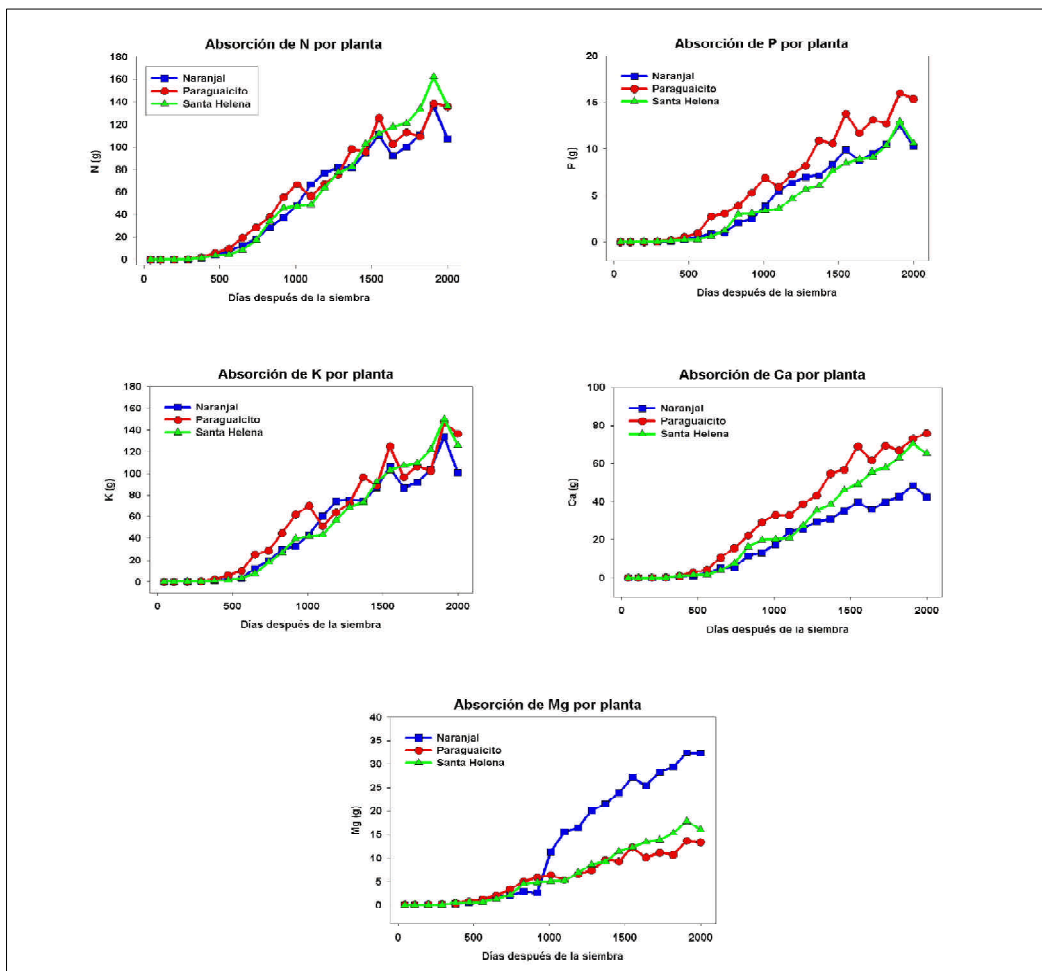


Figura 5. Absorción de nutrientes en plantas de café *Coffea arabica* L. cv. Colombia durante 2.000 días, en tres localidades de la zona cafetera colombiana.

LITERATURA CITADA

1. ALVIM, P. DE T. Fisiología del crecimiento y de la floración del café. *Café* 2(6):57-64. 1960.
2. ARCILA P., J. Métodos rápidos para la determinación del área foliar del café en el campo. *In*: CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, 21. SIMPOSIO Nacional sobre Fisiología de la Nutrición Mineral, 1. Manizales, Febrero 20-22, 1991. Resúmenes. Manizales, COMALFI, 1991.
3. ARCILA P., J. Productividad potencial del café en Colombia. *In*: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. 50 Años de Cenicafé 1938-1988. Conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafé, 1990. p. 105-119.
4. BLACKMAN, U.H. The compound interest law and plant growth. *Annals of Botany* 33: 353 - 360. 1919.

5. BRIGGS, G.E.; KIDD, F.; WEST, C. A. Quantitative analysis of plant growth. *Annals of Applied Biology* 7: 202 - 223. 1920.
6. CANNELL, M.G.R. Production and distribution of dry matter in trees of *Coffea arabica* L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. *Annals of Applied Biology* 67: 99 - 120. 1971.
7. CANNELL, M.G.R. Effects of fruiting, defoliation and ring-barking on the accumulation and distribution of dry matter in branches of *Coffea arabica* L. in Kenya. *Experimental Agriculture* 7: 63 - 74. 1971.
8. CASTILLO Z., J. Ensayo de análisis del crecimiento en café. *Cenicafé* 12(1):1-16. 1961.
9. CATANI, R.A.; MORAES, F. R. P. DE. A composicao quimica do cafeiro. Quantidade e distribucao de N, P₂O₅, K₂O, CaO e MgO en cafeiro de 1 a 5 anos de idade. *Revista de Agricultura* 33: 45 - 52. 1958.
10. CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; BERGAMIN FILHO, H.; GLORIA, N.A. DA.; GRANER, C.A.F. A absorcao de nitrogenio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pelo cafeiro. *Coffea arabica* variedade Mundo Novo B. *Rodr. Choussy/aos dez anos de idade. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"* 22:81-93. 1965.
11. CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; ALCARDE, J.C.; GRANER, C.A.F. Varicao na concentracao e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeiro, durante o seu desenvolvimento. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"* 24:249-263. 1967.
12. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Anuario meteorológico cafetero 1997. Chinchiná, Cenicafé, 1998. 513 p.
13. EVANS, G.C. The quantitative analysis of plant growth. Oxford, Blackwell Scientific, 1972. 734 p.
14. FISHER, R.A. Some remarks on the methods formulated in a recent article on "The quantitative analysis of plant growth". *Annals of Applied Biology* 7: 367-372. 1920.
15. GÓMEZ G., L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. *Cenicafé* 28(1):3-17. 1977.
16. GREGORY, F.G. The effect of climatic conditions on the growth of Barley. *Ann. Bot.* 40:1-26. 1926.
17. HARDWICK, R.C. Some recent developments in growth analysis. A review. *Annals of Botany* 54: 807-812. 1984.
18. HUNT, R. Plant growth analysis. London, Edward Arnold Publishers, 1978. 112 p. (Studies in Biology No.96).
19. JARAMILLO R., Á.; VALENCIA A., G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L., en Chinchiná, Colombia. *Cenicafé* 31(4):127-143. 1980.
20. LÓPEZ C., F.J.; NARANJO J., O.; VILLEGAS E., M.; VALENCIA A., G. Influencia de la altitud en el desarrollo de plantas de café en almácigo. *Cenicafé* 23(4):87-97. 1972.
21. MESTRE M., A.; SALAZAR A., J.N. Comparación de cinco formas de aplicación de fertilizantes en café. *Cenicafé* 40(3):80-85. 1989.
22. MESTRE M., A.; SALAZAR A., J.N. Iniciación de la fertilización en zocas de café. *Cenicafé* 42(2):53-60. 1991.
23. PALANIAPPAN, S. Growth and nutrient accumulation in young *Coffea liberica* plants. *Café Cacao The (Francia)* 37(4):303-312. 1993.
24. PARRA H., J. Correlaciones entre los contenidos de nitrógeno y fósforo del suelo y la composición del tejido vegetal en café y pasto. *Cenicafé* 22(1):18-26. 1971.
25. RADFORD, P.J. Growth analysis formulae - their use and abuse. *Crop Science* 7: 171-175. 1967.
26. RIVERA, R. Crecimiento, nutrición y fertilización (N, P, K) del cafeto a plena exposición solar, sobre suelos Ferralíticos Rojos. Principales resultados obtenidos por el INCA en el período 1973-1989. *Cultivos Tropicales* 14(2-3):5-36. 1993.
27. SUÁREZ DE C., F.; RODRÍGUEZ G., A. Relaciones entre el crecimiento del cafeto y algunos

- factores climáticos. Boletín Técnico Cenicafé 2(16):1-31. 1956.
28. URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto del nitrógeno, el fósforo y el Potasio sobre la producción de café. Cenicafé 27(4):158-173. 1976.
29. VALENCIA A., G.; ARCILA P., J. Efecto de la fertilización con N, P, K a tres niveles en la composición mineral de las hojas del cafeto. Cenicafé 28(4):119-138. 1977.
30. VENTAKARAMANAN, D.; VASUDEVA, N.; RAJU, K.I.; RATAGERI, M.C.; GOPAL, N.H. Growth analysis of coffee. 1. The relative growth and net assimilation rate of certain cultivars of coffee. Journal of Coffee Research 14: 6 – 13. 1983.
31. WATSON, D.J. The dependence of net assimilation rate of leaf area index. Annals of Botany 22: 37-54. 1958.