

# LA FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA DEL *Coffea arabica* L. EN SUELO FERRÍTICO ROJO OSCURO. PARTE II. FERTILIZACIÓN ÓRGANO-MINERAL

M. Ochoa, R. Rivera<sup>✉</sup>, C. Bustamante y Maritza I. Rodríguez

**ABSTRACT.** The experiment was carried out in the period of 1988-1998 located in Pinares de Mayarí table land, at 650 m over sea level, on a Dark Red Ferritic Soil planted with *Coffea arabica* L. var. "Isla 6-14" at a distance of 2x1 m under the shade of pines (*Pinus cubensis* Griceb). Different systems of phosphoric fertilization were studied, with an initial application of 25 t.ha<sup>-1</sup> organic matter (filtercake) and 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>, with differences at the time of restarting annual mineral phosphoric fertilizer applications (after two, three and four years of being planted), as well as in the annual doses of 50 or 150 kg.ha<sup>-1</sup> and another receiving 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup> per year. Two reference controls were employed: one with only an initial application of 25 t.ha<sup>-1</sup> filtercake and the second one only with mineral phosphoric fertilizer application at doses of 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>. The treatments also received annual doses of N and K<sub>2</sub>O. A randomized block design was used with five replicates. There was a significant answer of coffee to the application of phosphoric fertilizer, the initial applications of mineral fertilizer and organic matter being necessary to obtain the best yields. It was feasible to restart annual applications at the fourth year of plantation, in doses of 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>, obtaining by this system an average yield of 2.5 t coffee berries. ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> and mineral fertilizer economics. Also, a strong relationship was obtained between growth and P leaf contents, thus a critical index of 0.205 % was fixed and a high phosphoric fertilization response was recorded with lower or the same contents at 0.15 %.

**Key words:** *Coffea arabica*, phosphorus, organic-mineral fertilization, tissue analysis, leaves, soil

**RESUMEN.** El experimento se realizó durante el período de 1988-1998 en la meseta de Pinares de Mayarí, a 650 m snm, sobre suelo Ferrítico Rojo oscuro, plantado con *Coffea arabica* L. var. "Isla 6-14" a una distancia de 2 x 1 m, bajo sombra de pinos (*Pinus cubensis* Griceb). Se estudiaron diferentes sistemas de fertilización fosfórica, que conllevaron a la aplicación inicial de 25 t.ha<sup>-1</sup> de abono orgánico y 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>, diferenciándose en el momento de reiniciar las aplicaciones anuales de fertilizante mineral fosfórico (dos, tres y cuatro años de plantado), así como en la dosis anual de 50 ó 150 kg.ha<sup>-1</sup> y otro que recibió anualmente 150 kg.ha<sup>-1</sup>. Se utilizaron dos testigos de referencia: uno que sólo recibió la aplicación inicial de 25 t.ha<sup>-1</sup> de cachaza y el segundo que sólo recibió fertilizante mineral fosfórico en dosis de 150 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. Todos los tratamientos recibieron dosis anuales de N y K<sub>2</sub>O. Se utilizó un diseño de Bloques al azar con cinco réplicas. Se encontró una respuesta significativa del café a la aplicación de fósforo, siendo imprescindibles las aplicaciones iniciales conjuntas de abono orgánico y fertilizante mineral para obtener los mayores rendimientos, encontrándose que fue factible reiniciar las aplicaciones anuales en el cuarto año de la plantación, en dosis de 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>, obteniéndose con este sistema rendimientos promedio de 2.5 t café oro.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y ahorros del fertilizante mineral. Se encontró asimismo una fuerte relación entre los rendimientos obtenidos y los contenidos foliares de P, estableciéndose un índice crítico de 0.205 % y encontrándose condiciones de fuerte respuesta a la fertilización fosfórica con contenidos menores o iguales a 0.15 %.

**Palabras clave:** *Coffea arabica*, fósforo, abonos órgano-minerales, análisis de tejidos, hojas, suelo

## INTRODUCCIÓN

El fósforo es sin dudas uno de los elementos esenciales en la nutrición del café, aunque se expresa por la mayoría de los autores que este cultivo presenta poca respuesta a sus aplicaciones (1), debido a que posee un

mecanismo de absorción eficiente, criterio que se refuerza con el hecho de ser un cultivo micótrofo obligatorio (2, 3), lo cual incrementa su capacidad de absorción de nutrientes y en especial del fósforo.

En la generalidad de los suelos en que se cultiva el café en Cuba, la situación es similar, pues no se presentan procesos de fijación irreversibles y responden entonces positivamente a las aplicaciones de fósforo mineral hechas para varios años, por lo que aprovechan la residualidad de este elemento en el suelo (4).

Sin embargo, en el caso de los suelos Ferríticos Rojos oscuros de Pinares de Mayarí, en varios experimentos evaluados durante 12 cosechas (5, 6) se ha encontrado

Ms.C. M. Ochoa, Dr.C. C. Bustamante y Maritza I. Rodríguez, Investigadores Auxiliares de la Red de Estaciones de Investigación de Café y Cacao (ECICC), Cruce de los Baños, Tercer Frente, Santiago de Cuba; Dr.C. R. Rivera, Investigador Titular del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba.

✉ rrivera@inca.edu.cu

una fuerte respuesta a la fertilización fosfórica mineral con altos requerimientos de  $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , alcanzándose sólo el 2.0 % del rendimiento máximo en los tratamientos que no recibieron fósforo, presentando estos suelos hasta una profundidad de 1.0 m en el perfil, una alta capacidad de fijación fosfórica, >99 % (4).

Estos suelos que se caracterizan por su baja fertilidad (7), presentan bajos contenidos de N, P y K, que son elementos limitantes para el crecimiento y rendimiento del café en estas condiciones (8).

En los países productores de café se plantea el uso combinado y racional de los fertilizantes minerales y los abonos orgánicos (9, 10), efectivos inclusive en presencia de suelos lateríticos (11), para lograr que las plantas mantengan un buen equilibrio fisiológico y la producción sea estable, manteniéndose a su vez un largo período de residualidad del fósforo en el suelo (12).

Por todo lo anterior se diseñó el presente trabajo, con los objetivos de mejorar la eficiencia de la fertilización fosfórica a través del uso combinado de las fuentes orgánicas y minerales, en este tipo de suelo de muy alta capacidad de fijación de fósforo, así como comprobar si los criterios obtenidos anteriormente (6) para la interpretación de los contenidos foliares de P, en estas condiciones edáficas, se mantenían en presencia de las aplicaciones órgano-minerales de fósforo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante el período 1988-1998 en áreas de la Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao, ubicadas en la meseta de Pinares de Mayarí, provincia de Holguín, a 650 m snm, con condiciones climáticas adecuadas para el cultivo del café, dadas por una precipitación media de 1650 mm bien distribuida, con 180 días de lluvias.  $\text{año}^{-1}$  y temperatura media anual de  $21.6^\circ\text{C}$  (Tabla I).

**Tabla I. Medias anuales de las variables climáticas registradas en el área experimental durante el período 1988-1998**

Precipitaciones (mm)												
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
88.6	56.5	78.3	91.9	246.4	250.6	154.2	90.5	250.5	145.6	80.5	16.4	1650
Temperatura media ( $^\circ\text{C}$ )												
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
18.1	18.8	19.7	20.8	22.9	23.8	24.0	24.0	23.4	22.5	21.3	19.9	21.6

Se utilizaron posturas de *Coffea arabica* L. var. "Isla 6-14" plantadas a una distancia de  $2 \times 1 \text{ m}$  bajo sombra de pinos (*Pinus cubensis* Griseb) con una edad de 16 años (fase fustal del bosque) y una densidad inicial de  $800 \text{ árboles} \cdot \text{ha}^{-1}$ , la que fue raleada al culminar el primer ciclo productivo (cuatro cosechas) del café en 1994 y llevada a  $400 \text{ árboles} \cdot \text{ha}^{-1}$  (fase de maduración del bosque).

El café se cultivó sobre suelo Ferrítico Rojo oscuro derivado de rocas serpentinitas de baja fertilidad, dada por su baja capacidad de cambio catiónico (CCC)  $<5 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ , bajos contenidos de materia orgánica, P disponible y con una alta capacidad de fijación de fósforo (4, 7), entre otras (Tabla II).

**Tabla II. Características químicas y físicas del suelo Ferrítico Rojo oscuro, muestreo realizado en la profundidad de 0-40 cm**

1	pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )	5.82	arena gruesa	%	35.04
2	MO (%)	1.82	arena fina	%	10.04
3	$\text{P}_2\text{O}_5$ (mg. $100\text{g}^{-1}$ )	1.06	limo	%	19.11
4	$\text{K}_2\text{O}$ (mg. $100\text{g}^{-1}$ )	3.52	arcilla	%	35.18
5	Ca ( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	1.86	pendiente	%	3-5
6	Mg ( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	1.55	estructura	-	granular

1. Relación 1:2,5 2. Walkley and Black 3 y 4. Método Oniani 5 y 6. Extracción en  $\text{NH}_4 \text{Ac}$  1N pH-7, relación suelo/solución 1/5

Se utilizó un diseño experimental de Bloques al azar con 10 tratamientos y cinco réplicas (Tabla III). Cada parcela estuvo constituida por 32 plantas, de las cuales 12 se consideraron de cálculo.

**Tabla III. Sistemas de fertilización órgano-mineral fosfórica estudiados y momento de reinicio de la aplicación**

Tratamientos	Aplicación inicial	Reinicio de la aplicación de P mineral
1	Cachaza -----	
2	Cachaza + $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	
3	Cachaza + $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	2 <sup>do</sup> año $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$
4	Cachaza + $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	3 <sup>ro</sup> año $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$
5	Cachaza + $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	4 <sup>to</sup> año $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$
6	Cachaza + $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	2 <sup>do</sup> año $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$
7	Cachaza + $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	3 <sup>ro</sup> año $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$
8	Cachaza + $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	4 <sup>to</sup> año $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$
9	Cachaza + $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	Anualmente $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$
10	----- $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	Anualmente $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$

Los diferentes tratamientos recibieron aplicaciones comunes de nitrato de amonio (34-0-0) y cloruro de potasio (0-0-60) en dosis de  $240$  y  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , respectivamente. El nitrógeno se aplicó en cuatro momentos en el año (25 % mar.-25 % jun.-25 % sep.-25 % dic.) y el potasio en dos (50 % mar.-50 % jun.), excepto en los años de la plantación y en el que se podaron los cafetos que recibieron el 50 % de las dosis planteadas, aplicándose el nitrógeno sólo en dos momentos y el potasio en uno. Las aplicaciones fueron de forma localizada en la zona de goteo del café.

El abono orgánico utilizado fue cachaza procedente del Complejo Agroindustrial "Julio A. Mella" con buen grado de descomposición y altos contenidos nutrimentales (Tabla IV), la cual se aplicó en dosis de  $25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , localizada en el hoyo al momento de realizar la plantación de café.

**Tabla IV. Composición química del abono orgánico (cachaza) en base seca**

PH (KCL)	MO (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> libre (%)
5.4	36	1.6	0.6	0.2	2.7	1.2	0.0

En cada año de cosecha se registró la producción de café cereza y se expresó como tonelada de café oro. ha<sup>-1</sup> (relación café oro/cereza=18 %). En el mes de junio de los años 1990, 1993, 1996 y 1998, se tomaron muestras en el cuarto par de hojas de las ramas fructíferas, determinándose los contenidos de P (porcentaje de masa seca).

Para mantener un buen crecimiento y alto nivel productivo en todo el período experimental, se utilizó el sistema de renovación total por poda baja a 40 cm de altura (13), que se ejecutó en el mes de enero de 1994, definiéndose dos ciclos productivos del café conformado cada uno por cuatro cosechas. Los datos obtenidos de las evaluaciones se procesaron mediante análisis de varianza de clasificación doble, realizándose además análisis de regresión entre los contenidos foliares (porcentaje de P) y el rendimiento para el establecimiento de los criterios de interpretación del análisis foliar.

Las atenciones agrotécnicas y fitosanitarias se cumplieron de acuerdo con las Instrucciones técnicas para el cultivo del café y el cacao (14).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Rendimiento.** En la Tabla V se presenta la influencia de los diferentes sistemas de fertilización fosfórica sobre el rendimiento de café oro (t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) en cada una de las ocho cosechas y el acumulado, donde se ha encontrado un efecto significativo (p=0.001) entre los tratamientos para todos los años en que se ejecutó el experimento.

A los dos años de plantados los cafetos (1990) se obtuvo la primera cosecha, encontrándose que con la aplicación combinada inicial de abono orgánico y P mineral se obtienen los mayores rendimientos de café oro. En este primer período que alcanzó hasta la segunda cosecha, la aplicación inicial combinada garantizó el fósforo necesario, sin necesidad de nuevas aplicaciones de fósforo mineral, aún cuando se obtuvieron altos rendimientos de café.

La información obtenida indicó, asimismo, que la aplicación inicial de abono orgánico de por sí sola no garantizó los requerimientos de fósforo para el cultivo del café en estas condiciones de baja disponibilidad del elemento, aún cuando fue del orden de 200 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>, presentando un comportamiento inferior desde la primera cosecha en relación con los mejores tratamientos que combinaron la fertilización órgano-mineral y sólo garantizando al cabo de las ocho cosechas un 21 % del rendimiento máximo obtenido (Tabla V).

A partir de la tercera cosecha (1992), quedaron bien definidas las diferencias entre los diferentes sistemas de fertilización fosfórica, que se basaban en la aplicación combinada, encontrándose cómo a partir de ese año se vuelve necesario reiniciar las aplicaciones de fertilizante mineral y en dosis de 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>, manteniéndose a partir de esa cosecha una diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos con las dosis de 50 y 150 kg.ha<sup>-1</sup>, obteniéndose con la primera solo el 80 % del rendimiento encontrado con la segunda.

El tratamiento que solo recibió la aplicación combinada inicial, presentó un buen comportamiento durante las primeras dos cosechas, pero comenzó a presentar a partir de la tercera un comportamiento inferior y al cabo de las ocho cosechas solo alcanzó el 48 % del rendimiento máximo obtenido.

El propio hecho que la aplicación combinada inicial (350 kg. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>) garantizó el fósforo necesario durante los primeros cuatro años (dos cosechas), y que en experimentos anteriores en que solo se estudió la aplicación

**Tabla V. Influencia de los sistemas de fertilización órgano-mineral fosfórica sobre el rendimiento de café oro (t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) en un suelo Ferrítico Rojo oscuro**

Tratamientos	1990	1991	1992	1993	1995	1996	1997	1998	Total	(%)
C + P <sub>0</sub>	0.45c	0.69c	0.52d	0.36e	0.28e	0.48e	0.39e	0.29e	3.46e	21
C + P <sub>150</sub> *	1.48a	2.46a	0.98c	0.66d	0.53d	0.85d	0.48d	0.35d	7.79d	48
C + P <sub>150</sub> * + P <sub>50</sub> ** 2° año	1.44a	2.42a	1.87b	0.98c	1.09b	2.35b	1.84b	1.20b	13.79b	80
C + P <sub>150</sub> * + P <sub>50</sub> ** 3° año	1.41a	2.45a	1.88b	0.96c	1.08b	2.40b	1.83b	1.23b	13.84b	81
C + P <sub>150</sub> * + P <sub>50</sub> ** 4° año	1.48a	2.43a	1.79b	0.95c	1.11b	2.46b	1.78b	1.28b	13.28b	79
C + P <sub>150</sub> * + P <sub>150</sub> ** 2° año	1.46a	2.43a	2.01a	1.39a	1.69a	3.12a	2.43a	1.58a	16.11a	97
C + P <sub>150</sub> * + P <sub>150</sub> ** 3° año	1.48a	2.46a	1.94a	1.43a	1.70a	3.15a	2.41a	1.59a	16.16a	98
C + P <sub>150</sub> * + P <sub>150</sub> ** 4° año	1.44a	2.48a	2.04a	1.42a	1.67a	3.23a	2.46a	1.61a	16.35a	99
C + P <sub>150</sub> **	1.50a	2.42a	2.03a	1.52a	1.76a	3.26a	2.50a	1.47a	16.46a	100
P <sub>150</sub> **	0.92b	1.65b	1.87c	1.16b	0.98c	2.01c	1.84c	0.95c	10.28c	69
Es X	0.03***	0.05***	0.04***	0.03***	0.04***	0.06***	0.05***	0.04***	0.32***	
C.V (%)	15.1	10.4	12.2	11.9	12.6	10.0	12.7	13.4	10.8	

\* aplicación de P inicial

\*\*aplicación de P anual

C: aplicación inicial de cachaza

\*\*\* (p=0.001) Letras iguales en una misma columna no difieren significativamente entre sí, según prueba de rangos múltiples de Duncan

mineral fueron necesarias aplicaciones anuales de  $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$  (equivalente a  $600 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) para obtener inclusive rendimientos inferiores (6), indicó que la combinación órgano-mineral incrementó, entre otros aspectos, la disponibilidad del fósforo aplicado, aumentando la eficiencia de este y disminuyendo la intensidad de la fijación.

En Brasil, algunos autores (15) trabajando en un suelo Latosólico de fase cerrado, con una importante fijación de fósforo, encontraron que las aplicaciones iniciales y situadas en el fondo del hoyo garantizaron suficiente fósforo para el crecimiento y primeras cosechas de la plantación, siendo entonces necesario reiniciar las aplicaciones anuales a partir del quinto año.

En presencia de suelos con menor capacidad de fijación, las aplicaciones iniciales localizadas son también muy adecuadas como vía para el suministro de fósforo (16), pero en estos casos se pueden aplicar menores cantidades, presentando estas un efecto más prolongado sobre la disponibilidad del elemento y no fueron necesarias las aplicaciones combinadas órgano-mineral, es decir, fueron suficientes las aplicaciones orgánicas o las minerales (8).

Por otra parte, en el tratamiento sin abono orgánico, aunque se aplicó un sistema de fertilización mineral fosfórica con dosis anuales de  $150 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , no se alcanzaron los mayores rendimientos, con una respuesta inferior desde el primer año de producción, acumulando sólo el 69 % del rendimiento máximo, estimándose por tanto en un 31 % el efecto positivo de la aplicación combinada sobre la disponibilidad de los nutrientes para el café en estos suelos.

Diferentes investigadores (1, 8, 17) informan como positiva la adición de abonos orgánicos conjuntamente con los fertilizantes minerales en los suelos erosionados, de textura liviana y baja fertilidad, planteándose en la India (11) que la materia orgánica es un componente dinámico en la plantación de café, pues influye en la fertilidad y capacidad productiva de los suelos Lateríticos, recomendándose asimismo su combinación con los fertilizantes minerales.

Estos resultados experimentales coinciden además con los obtenidos por diversos autores (5, 15, 18, 19), quienes hallaron incrementos en el crecimiento y la producción de los cafetos por la aplicación conjunta de abonos orgánicos y fertilizantes minerales.

El análisis integral de los rendimientos permitió definir que el sistema más adecuado de fertilización fosfórica en estos suelos, consistió en la aplicación inicial de abono orgánico y  $150 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ , reiniciando las aplicaciones minerales anuales con esta dosis a partir del cuarto año de la plantación; con este se lograron alcanzar rendimientos medio de  $2.5 \text{ t café oro} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  (99 % del rendimiento máximo) y ahorros en la aplicación de fertilizante mineral del orden de  $450 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

**Análisis de suelo.** En la Tabla VI se presenta la dinámica del fósforo disponible en el suelo (0-40 cm) en un grupo

de tratamientos seleccionados, obteniéndose los siguientes aspectos:

- ⇒ Se encontró un alto efecto de la fertilización fosfórica sobre este indicador.
- ⇒ El efecto positivo de la aplicación de cachaza fue disminuyendo gradualmente y prácticamente desapareció al cabo de los 10 años, presentándose una alta relación entre los contenidos de fósforo y el rendimiento.
- ⇒ La aplicación anual de fertilizante fosfórico sin cachaza, siempre presentó contenidos menores que los mejores tratamientos de fertilización órgano-mineral, con un comportamiento similar al del rendimiento, lo que sugiere que las diferencias entre estos fueron consecuencia, al menos parcialmente, de la disponibilidad de fósforo que garantizó un tratamiento u otro.

**Tabla VI. Fósforo disponible en el suelo en diferentes momentos del experimento ( $\text{mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$  de suelo), muestreo realizado en la profundidad de 0-40 cm**

Tratamientos	1988 (muestreo inicial)	1990	1993	1996	1998
C + P <sub>0</sub>	0.98	7.51c	5.14c	3.78d	1.05d
C + P <sub>150</sub> *	0.95	35.18a	15.63a	10.16c	8.75c
C + P <sub>150</sub> * + P <sub>50</sub> **4º año	0.96	35.34a	16.04a	20.30b	18.14b
C + P <sub>150</sub> * + P <sub>150</sub> **4º año	1.01	36.05a	16.58a	25.18a	25.41a
-- + P <sub>150</sub> **	0.97	25.15b	10.78b	18.03b	20.00b
EsX	0.67ns	1.63***	0.92***	0.88***	0.79***
C.V.(%)	16.02	15.06	12.78	10.15	12.26

\*aplicación de fósforo inicial

\*\*aplicación de fósforo anual

\*\*\*Letras iguales en una misma columna no difieren significativamente entre sí, según prueba de rangos múltiples de Duncan ( $p=0.001$ )

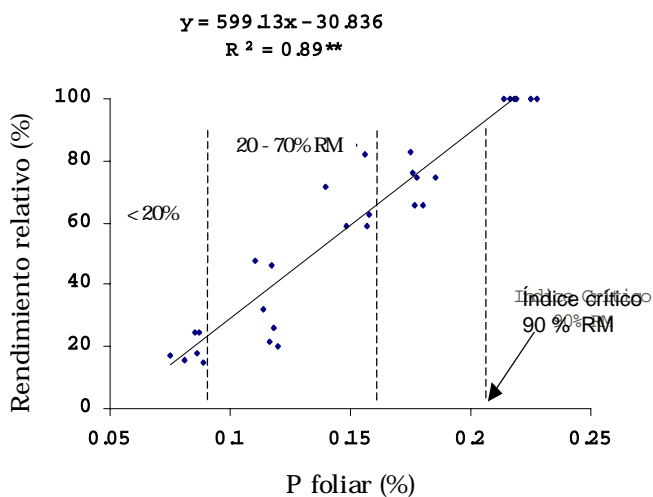
C: aplicación inicial de cachaza

Se asociaron contenidos de  $35 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}$  con condiciones de alta disponibilidad del elemento en el suelo, no siendo necesario realizar aplicaciones siempre que se presenten estos contenidos. Contenidos de  $25 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}$  pero en presencia de aplicaciones anuales de  $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ , también lograron mantener un suministro adecuado de fósforo al sistema.

**Análisis foliar.** Los diferentes sistemas de fertilización fosfórica también originaron incrementos significativos en los contenidos de P foliar, de forma tal que se encontró una respuesta significativa y positiva entre el rendimiento (porcentaje de rendimiento relativo) y el porcentaje de P en los diferentes años en que se realizaron estos análisis (Figura 1).

En ausencia de fertilizante mineral fosfórico o cuando se utilizaron sistemas con dosis inferiores a  $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , no sólo se obtuvieron rendimientos inferiores sino también menores contenidos de fósforo, encontrándose en el primer caso valores entre 0.08-0.09 % asociados con condiciones de extrema deficiencia (<20 % del rendimiento máximo anual) y en el segundo contenidos entre 0.12-0.16 % asociados entonces con condiciones de un estado nutricional deficiente (<70 % del rendimiento máximo anual).





**Figura 1. Relación entre el rendimiento relativo (%) y el contenido de P foliar (%) durante el período experimental. Ecuación de regresión y coeficiente de correlación. (Fecha de muestreo foliar-junio; RM- rendimiento máximo)**

Cuando se utilizaron los sistemas de fertilización combinados que garantizaron los mayores rendimientos, se encontraron tenores entre 0.21-0.23 %, los cuales fueron por tanto indicativos de un estado nutricional adecuado en estas condiciones, obteniéndose entonces como índice crítico el valor de 0.205 % a partir de estimar la concentración que garantizó el 90 % del rendimiento máximo.

Es importante señalar que en el café el rendimiento no solo es consecuencia del estado nutricional, sino que también está predeterminado por la cantidad de «madera nueva» en el período de floración (8), lo que se manifestó en que en los diferentes años se obtuvieron distintos niveles de rendimiento con los mismos contenidos foliares.

Lo anterior no limita el uso del análisis foliar en el café, sino que es un elemento a tener en cuenta para una correcta interpretación y obliga a un enfoque «relativo» como el de porcentaje del rendimiento cuando se quiere integrar, como en este caso, la información de varias cosechas en una sola ecuación de regresión (20).

Las relaciones encontradas entre los niveles de P foliares y el rendimiento coinciden de forma general con los resultados de otros autores (9, 21, 22), quienes obtuvieron que en la medida que los porcentajes de NPK aumentaban, la producción efectiva del café era mayor.

En relación con los criterios de interpretación del análisis foliar, se asocian contenidos cercanos a 0.08 % con condiciones de extrema deficiencia (1, 23) de forma similar a como se encontró en este trabajo; sin embargo, la mayoría de los autores (1, 8, 24) informan contenidos entre 0.13-0.15 % y hasta 0.18 % (25), como indicativos de una nutrición fosfórica adecuada y en este trabajo se asociaron con condiciones deficientes en mayor o menor grado.

Es decir, en estas condiciones de alta fijación de fósforo, alta respuesta a la fertilización fosfórica y condiciones climáticas adecuadas para altos rendimientos, el análisis foliar realizado en junio, que además es la etapa inicial del crecimiento del fruto, se asoció estrechamente con el rendimiento alcanzado, encontrándose un índice crítico de fósforo de 0.205 %.

Lo anterior puede ser explicable sobre la base de la alta capacidad de fijación de fósforo, que parece no haber permitido un suministro estable de P a lo largo de toda la estación de crecimiento dentro del propio año, aún en los tratamientos fertilizados, siendo entonces necesarios altos contenidos foliares en esta etapa inicial del crecimiento del fruto y cercana a la fertilización, para garantizar los requerimientos de fósforo de la cosecha en formación.

## REFERENCIAS

1. Carvajal, J. F. Café. Cultivo y fertilización. - 2ª edic. Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 1984, p. 143-245.
2. Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas en la producción de posturas de café. [Tesis de grado], INCA, 1999, 102 p.
3. Gopimany, R. Preliminary results of long-term experiment in alternative farming. *Indian Coffee*, 1996, vol. 60, no. 7, p. 13.
4. Rivera, R. /et al./ La fertilización fosfórica de *Coffea arabica* en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 1995, vol. 16, no. 1, p. 8-15.
5. Ochoa, M. /et al./ Utilización de fuentes de abonos orgánicos en combinación con fertilizante mineral (NPK) en la producción de posturas de *Coffea arabica* L. En: XI Seminario Científico del INCA. La Habana, 1998, p. 210.
6. Ochoa, M. /et al./ La fertilización fosfórica del *Coffea arabica* L. en suelo Ferrítico Rojo oscuro. Parte I. Fertilización mineral. *Cultivos Tropicales*, 2000, vol. 21, no. 1, p. 73-79.
7. Hernández A. /et al./ Suelos dedicados al café en Cuba. El cultivo del café en Cuba. Investigaciones y resultados. INCA 1999.
8. Rivera, R. Nutrición y fertilización del *Coffea arabica* en Cuba. El cultivo del café en Cuba. Investigaciones y resultados. INCA, 1999.
9. Cervellini, /et al./ Modo de aplicación de esterco e de fertilizantes minerales no solo no cafeeiro. *Bragantia*, 1995, vol. 54, no. 1, p. 167-176.
10. Nunes, M. Eficiencia agronómica de cinco fosfatos aplicados a lenco e no sulco de plantio en solo de cerrado. En: Congreso Brasileiro de Ciencia do Solo, 24 Resumos, 1993, p. 213-214.
11. Glory, S. y Chandra, P. Fertility management in coffee: The Kerala growers way. *Indian Coffee*, 1995, vol. 62, no. 1, p. 7-9.
12. Njoroge, M. y Mivakha, E. Results of field experiments, Ruiru. I. Long-term effects of various cultural practices on *Coffea arabica* L. yield and quality. *Kenya Coffee*, 1995, vol. 60, no. 610, p. 545-563.
13. Cortés, S.; Soto, F. y Díaz, W. Establecimiento y manejo de plantaciones de café en Cuba. Agrotecnia de su cultivo. El cultivo del café en Cuba. Investigaciones y resultados. INCA, 1999.

14. Cuba, Ministerio de la Agricultura, DNCC Instrucciones técnicas para el cultivo del café y el cacao. La Habana, CIDA, 1987, 208 p.
15. Viana, A. /et al./ Estudio de dosis crecientes de estierco de curral, complementado con adubacao química, en cafeeiro instalados en solo de fase cerrado. En: 14 Congreso Brasileiro de Pesquisas Caffeeiras. Campinas, Instituto Brasileiro de Café, 1987, p. 244-248.
16. Fixen, P. Cuál es la mejor forma de aplicar fósforo al suelo. *Informaciones Agronómicas*. 1997, no. 27, p. 1-4.
17. Jayarama, C. /et al./ Biodegradable organic matters as potential sources of coffee plantation in India. *Indian Coffee*, 1996, vol. 60, no. 3.
18. Bako, J. Use of filter press cake as organic matter source for coffee and cacao, II Effect on coffee production. *Pelita Perkebunam*, 1989, vol. 5, no. 2, p. 52-57.
19. Santinato, R. Adubacao orgánica para o cafeeiro velha de optimos resultados. *Cafeicultura moderna*, 1988, vol. 3, p. 48-53.
20. Rivera, R. Nutrición, fertilización y balance del fertilizante nitrogenado ( $^{15}\text{N}$ ) para el cafeto en un suelo Ferralítico Rojo compactado. [Tesis de grado], INCA, 1988, 110 h.
21. Büll, L.; Lacerda, S. y Nakagawa, J. Termofosfato: Alteracões em propiedades químicas em um Latossolo Vermelho- Escuro e eficiencia agronómica, *Bragantia*, 1997, vol. 56, no. 1, p. 169-179.
22. Pavan, M. A.; Chavez, J., y Filho, A. Produção de café em função da densidade de plantio, Adubação e tratamento fitosanitario. *Turrialba*, 1994, vol. 44, no. 4, p. 127-231.
23. Kumar, S. Nutrition management in coffee. *Indian Coffee*, 1997, vol. 61, no. 5, p. 11.
24. Rajú, T. Method of fertilizer application in coffee plantations. *Indian Coffee*, 1996, vol. 60, no. 5, p. 7-13.
25. González, C. /et al./ Indices para diagnosticar el estado nutritivo del *Coffea arabica* L. cultivado bajo sombra en la región central de Cuba. En: XI Seminario Científico del INCA. La Habana. 1998, p. 212.

Recibido: 5 de abril del 2001

Aceptado: 23 de agosto del 2001

# DIPLOMADOS

Precio: 500 USD

*Formación de especialistas en matemática  
aplicada a las ciencias agrícolas*

Coordinador: Dr.C. Alberto Caballero Núñez

Duración: 1 año



## SOLICITAR INFORMACIÓN

**Dr.C. Walfredo Torres de la Noval**  
**Dirección de Educación, Servicios Informativos**  
**y Relaciones Públicas**  
**Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)**  
**Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,**  
**La Habana, Cuba. CP 32700**  
**Telef: (53) (64) 6-3773**  
**Fax: (53) (64) 6-3867**  
**E.mail: posgrado@inca.edu.cu**