

238

## LA FERTILIZACION NITROGENADA DE *Coffea arabica*, Lin. CULTIVADO AL SOL, BAJO RIEGO, EN SUELO FERRALITICO ROJO. III. RENDIMIENTO

J. R. MARTIN

### RESUMEN

Con el objetivo de evaluar los efectos de la fertilización residual con nitrógeno, a mediano plazo, sobre el rendimiento del café, se estudiaron seis niveles de N con dos fondos de P y K aplicados a cafetos plantados a 2 x 1 m en suelo Ferralítico Rojo compactado, a plena exposición solar y bajo riego, desde julio de 1978 a diciembre de 1986. Se empleó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas y diez plantas de cálculo por parcela. El N se aplicó en el momento del establecimiento de la plantación, a los dos años (primera cosecha) y desde ese momento, anualmente. El P y el K fueron aplicados únicamente al efectuar la plantación. Los principales resultados obtenidos mostraron que el rendimiento de los cafetos fue afectado significativamente y positivamente por el nitrógeno aplicado, desde la primera cosecha y que su magnitud estuvo condicionada por el crecimiento de las plantas y por la concentración de nitrógeno en sus hojas. No fue positivo aplicar el nitrógeno de una sola vez en el momento del establecimiento de la plantación de los cafetos, para utilizar su efecto residual a mediano plazo.

### INTRODUCCION

Al criterio de una respuesta prácticamente general del café, a través de sus rendimientos, por las aplicaciones de nitrógeno (Carvajal, 1984), se suman los de Rivera y Martín (1980), obtenidos particularmente en Cuba.

Esta respuesta puede explicarse, según Rivera (1988), por los conocidos efectos positivos del N sobre el crecimiento del café, en general, la capacidad fotosintética, la floración, el cuajado y la retención de los frutos así como la resistencia a la sequía, entre otros.

Este trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar los efectos de la fertilización residual con nitrógeno, a mediano plazo, sobre el rendimiento de *Coffea arabica*, L. cultivado en suelo Ferralítico Rojo, a plena exposición solar y bajo riego, así como las relaciones existentes entre las dosis de nitrógeno estudiadas con respecto al crecimiento e índices agroquímicos y de estos, a su vez, con el rendimiento.

### MATERIALES Y METODOS

Las características y condiciones del área experimental y la metodología general de trabajo empleada fueron descritas en la primera y la segunda partes de esta serie (Martín, 1988 a y b).

En el momento de efectuar cada "pase" o recolección en cada cosecha, se determinó el rendimiento total, en peso de café cereza (kg/planta), para las plantas de cálculo de cada parcela. Con estos datos se pudo calcular el rendimiento total por planta en cada cosecha y el acumulado de las seis cosechas.

Los resultados de las diferentes evaluaciones se sometieron a análisis de varianza de clasificación doble, procediéndose también a realizarles análisis de regresión lineal cuadrática, entre algunas de las variables estudiadas, obteniéndose las ecuaciones y los índices de determinación ( $R^2$ ) correspondientes.

Para determinar las concentraciones críticas preliminares de los nutrientes en la planta, se siguieron los procedimientos recomendados al efecto por Waugh, Cate y Nelson (1973), Howeler (1983) y por Arozarena y García (1984). No obstante, se conocieron las limitaciones que tiene la aplicación del primer método cuando se cuenta con datos de un solo sitio experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La respuesta de los cafetos, en cuanto a la influencia de los tratamientos estudiados sobre los rendimientos con los dos fondos aplicados, no difirió significativamente hasta la tercera cosecha (1982), en que se mantuvieron los más altos rendimientos con el fondo más bajo. A partir de la citada cosecha, estos se hicieron significativamente superiores con el fondo más alto. Es por ello, que en las dos primeras cosechas se analizan los efectos de los tratamientos nitrogenados en estudio, con el fondo más bajo en cada caso y a partir de la tercera cosecha con el fondo más alto, al igual que cuando se analiza el rendimiento acumulado o total en las seis cosechas, que también resultó ser significativamente superior con el fondo más alto.

Frente al testigo absoluto ( $T_0$ ), los cafetos dieron los más bajos rendimientos desde la primera cosecha, mientras que el testigo de referencia ( $T_1$ ) posibilitó la obtención de mayores rendimientos, en la primera y segunda cosecha, que cualquiera de los tratamientos estudiados, no provocando este mismo efecto a partir de la tercera cosecha, ni en el rendimiento total o acumulado, resultando insuficiente en estos para posibilitar los rendimientos máximos y óptimos obtenidos frente a los tratamientos en estudio.

Las aplicaciones de nitrógeno influyeron significativamente sobre los rendimientos desde la primera cosecha (1980). Como se puede apreciar en la Tabla I y en la Figura 1, esta influencia tuvo un comportamiento cuadrático en todas las cosechas, alcanzándose los valores de óptimos rendimientos con dosis que variaron desde 61,35 (en la primera cosecha) hasta 115 g de N/plantón, lográndose la cosecha más alta, la tercera (1982), con dosis de 89,89, aproximadamente 90,0 g de N/plantón. Al analizar el rendimiento acumulado en las seis cosechas, resultó óptima la dosis de 90,31, aproximadamente 90,0 g de N/plantón; dosis que fueron determinadas a partir de las ecuaciones de regresión, mediante la aplicación de la fórmula  $X \text{ óptima} = \frac{1}{2} b_2 (P_x/P_y - b_1)$ , donde  $P_x$  es el precio unitario del café cereza para despulpe, según Deroncelé, Ratón y Beltrán (1984).

Se determinó el grado de influencia de los efectos del nitrógeno sobre el crecimiento y el rendimiento de los cafetos, como se expone en la Figura 2, destacándose cómo los cafetos dieron los máximos rendimientos a partir de que alcanzaron una altura y un diámetro de sus copas superiores a 2,26 y 1,39 m, respectivamente, si se determina esta relación aplicando el método recomendado por Waugh, Cate y Nelson (1973) y de 2,60 y 1,42 m respectivamente, de acuerdo con uno de los métodos considerados por Howeler (1983), basado en evaluar como satisfactorio el valor analizado, ante el cual se obtiene entre el 90 y 100 por ciento del rendimiento relativo.

Se encontró, además, una relación de dependencia entre el rendimiento y la concentración de nitrógeno en las hojas, como se evidencia en la Figura 3, en la que se señalan los valores considerados como Bajos, Suficientes y Altos, de acuerdo con los criterios de Howeler (1983), basados en evaluar como tales los valores analizados cuando ante éstos se obtiene: del 80 al 90; del 90 al 100 y del 100 al 90 % del rendimiento relativo, respectivamente.

Al analizar integralmente los resultados experimentales obtenidos en este estudio, se constata el marcado efecto positivo de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento, el rendimiento y la concentración de este nutriente en las hojas, así como la dependencia existente entre el rendimiento y el crecimiento de los cafetos y con las concentraciones de nitrógeno en las hojas.

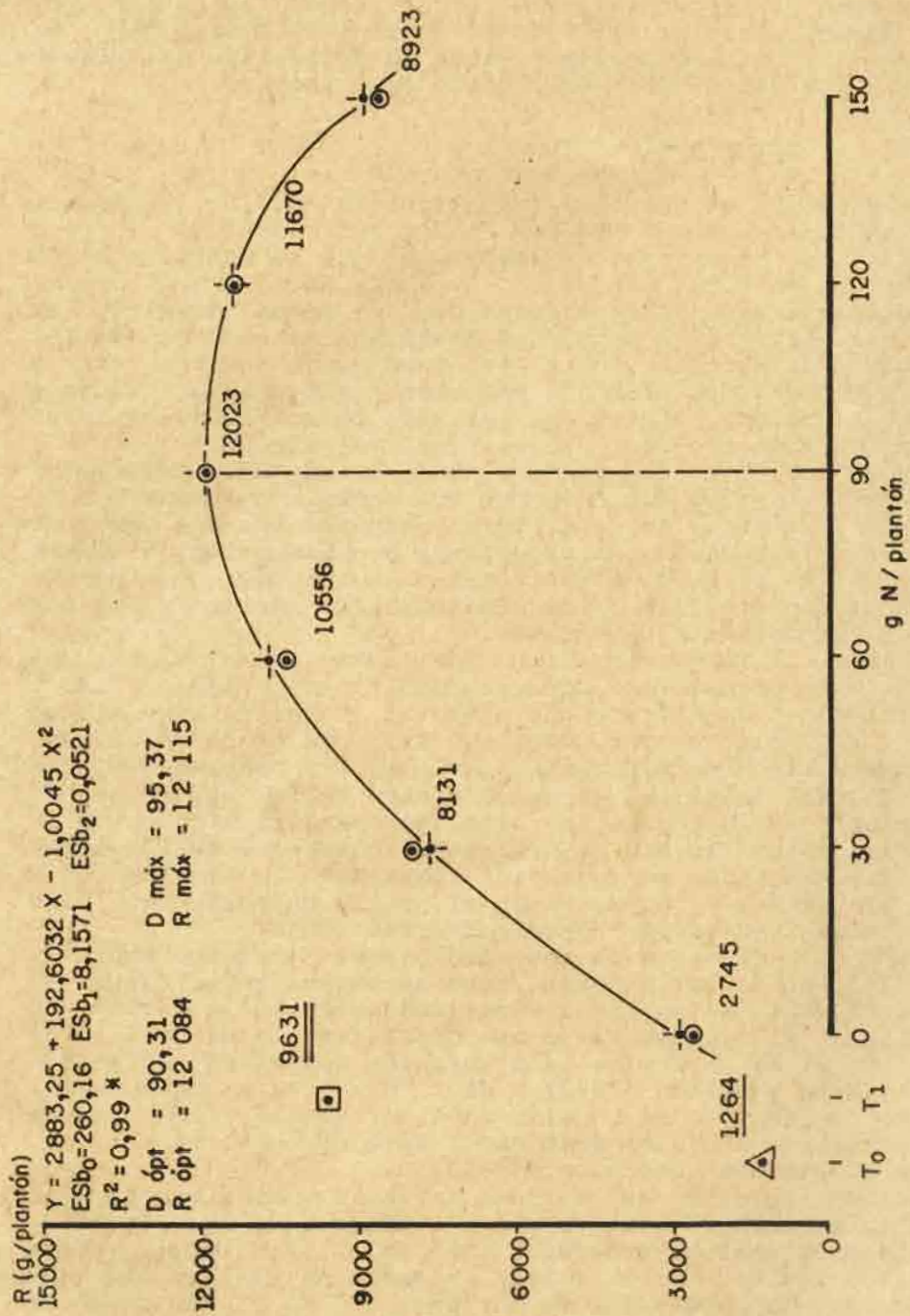


Figura 1. Relaciones entre el rendimiento del café (acumulado 1980-1985) y las dosis de nitrógeno aplicadas.

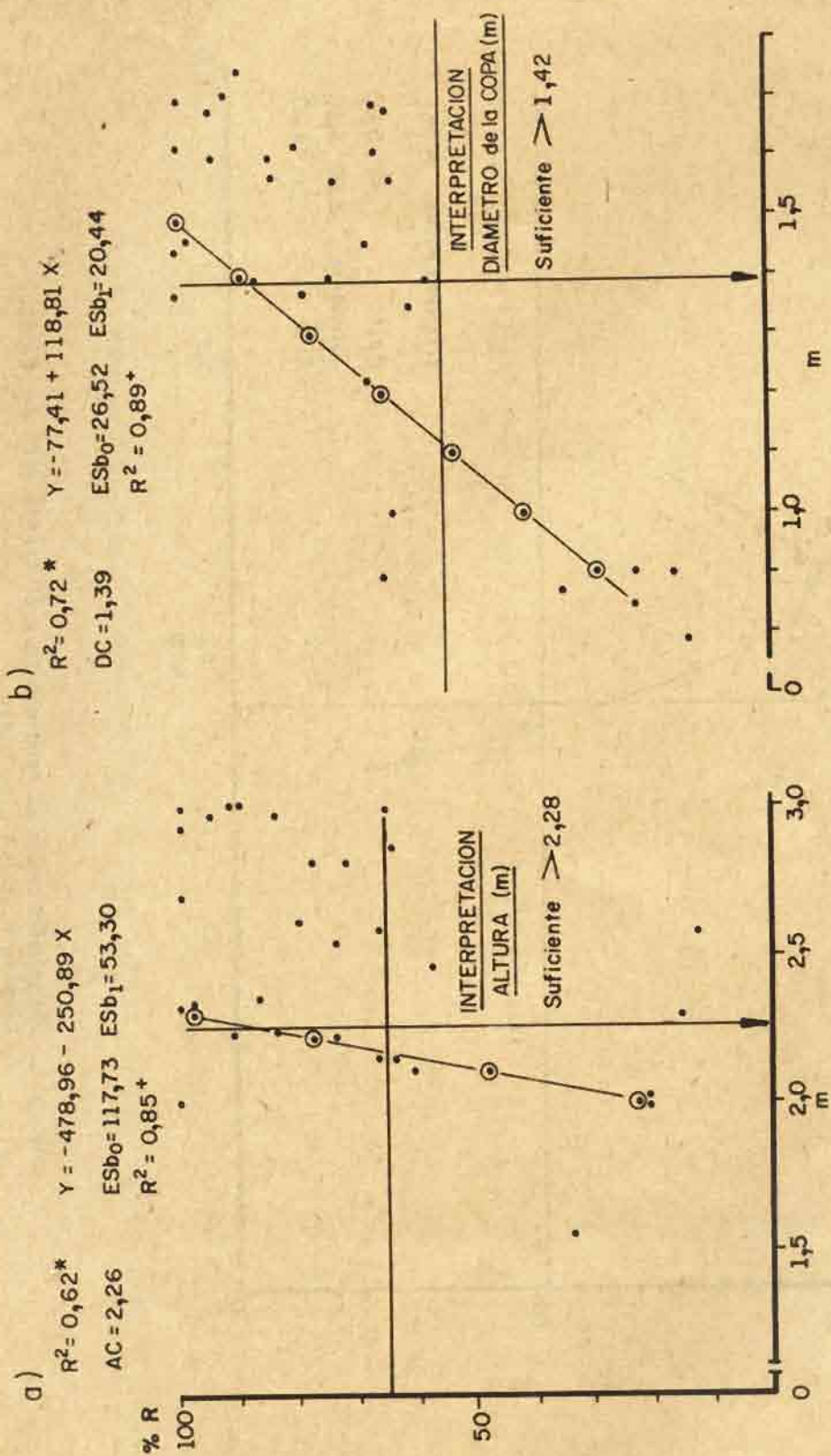


Figura 2. Relaciones entre el rendimiento y el crecimiento del café.  
 a) Altura de los plantones.  
 b) Diámetro de la copa de los plantones.

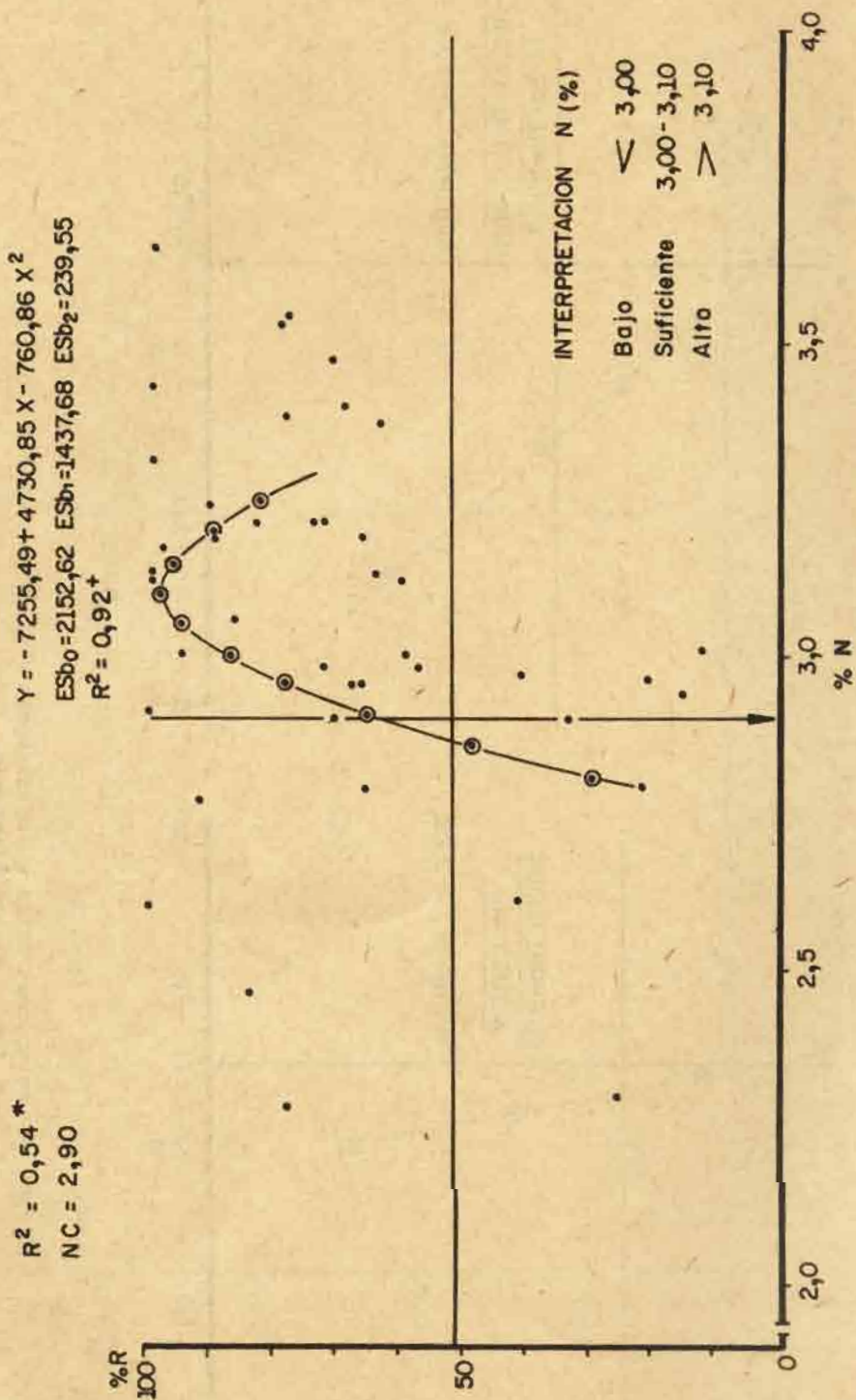


Figura 3. Relaciones entre el rendimiento y el crecimiento del café.  
 a) Altura de los plantones.  
 b) Diámetro de la copa de los plantones.

Tabla I. Relaciones entre el rendimiento y las dosis de nitrógeno aplicadas.

Relación	Ecuación	ESb <sub>0</sub>	ESb <sub>1</sub>	ESb <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	X máx.	Y máx.	X ópt.	Y ópt.
1 Gramos de café cereza por planta VS g de N/plantón (1980)	$Y = 161,69 + 4,0921X - 0,0221X^2$	14,55	5,7016	0,0024	0,86*	92,58	351	61,35	329
2 Gramos de café cereza por planta VS g de N/plantón (1981)	$Y = 283,17 + 10,8553X - 0,0577X^2$	25,48	8,6867	0,0111	0,78*	94,06	793	82,05	785
3 Gramos de café cereza por planta VS g de N/plantón (1982)	$Y = 1112,44 + 89,5152X - 0,4899X^2$	100,11	4,5719	0,0266	0,99*	91,36	5201	89,89	5200
4 Gramos de café cereza por planta VS g de N/plantón (1983)	$Y = 667,64 + 38,9364X - 0,1630X^2$	60,08	10,3396	0,0661	0,91*	120,17	2992	115,66	2990
5 Gramos de café cereza por planta VS g de N/plantón (1984)	$Y = 372,49 + 38,2326X - 0,2170X^2$	33,52	4,6147	0,0295	0,90*	88,91	2056	85,49	2055
6 Gramos de café cereza por planta VS g de N/plantón (1985)	$Y = 302,14 + 10,3771X - 0,0515X^2$	27,19	4,8033	0,0107	0,92*	100,74	824	87,27	815

Estos resultados corroboran el importante papel fisiológico que desempeña el nitrógeno en la nutrición vegetal en general y del café en particular, para alcanzar un adecuado crecimiento y desarrollo de esta planta, que posibilita obtener incrementos de hasta el 15 % en la altura de los plántones y 42 % en el diámetro de sus copas; de 15 % en la concentración de nitrógeno en las hojas y de 78 % en el rendimiento total, en relación con el tratamiento que no recibió fertilizante nitrogenado.

El comportamiento cuadrático de los rendimientos, con las dosis crecientes de nitrógeno aplicadas al suelo, puede tener su explicación fundamental en la conocida "Ley del Máximo" (Voisin, 1966); comportamientos semejantes han sido informados en el caso particular del nitrógeno, por Loué (1954), Pereira y Jones (1954), Müller (1966) y Carvajal (1984) y atribuido entre otras causas a un incremento del crecimiento vegetativo en perjuicio de la producción.

También se pudo comprobar, aunque de forma menos pronunciada en relación con el rendimiento, que el crecimiento se vio afectado por las dosis altas de nitrógeno y mostró, de igual forma, un comportamiento cuadrático.

Las dosis de nitrógeno, consideradas como las más adecuadas en este experimento de 60-90 g de N/plánton/año (300-450 kg de N/ha/año), son relativamente altas en comparación con las recomendadas por varios autores que han experimentado con cafetos; así, por ejemplo, Carvajal (1984) resume y considera que las dosis de 40-60 g de N/plánton/año son adecuadas para obtener altos rendimientos en Costa Rica, para una densidad de 5 000 cafetos por hectárea (200-30 kg de N/ha/año); sin embargo, es conocido que en países en que se ha cultivado el café al sol intensivamente, como en Hawaii, se consideró adecuada la dosis de 324 g de N/planta/año para una densidad de 1 250 cafetos por hectárea (405 kg de N/ha/año) (Goto y Fukunaga, 1956). En Cuba, en condiciones semejantes a las de este estudio, Martín, Rivera y Yolanda Abad (1980) informaron que la dosis de 150 g de N/planta/año era la mejor para una densidad de 1 666 cafetos por hectárea (250 kg de N/ha/año). Mediante esa dosis no se logró alcanzar un máximo de los rendimientos con los tratamientos crecientes de nitrógeno estudiados y, recientemente, Rivera (1988) recomendó dosis de 61,5 g N/plánton/año (306 kg N/ha/año) fraccionada en tres oportunidades para el año de la segunda cosecha.

Es muy conocido que, especialmente en el caso de la fertilización nitrogenada, la magnitud de la dosis a aplicar en un período de tiempo dado está muy relacionada con el fraccionamiento o número de veces en que se aplique en ese período (Robinson, 1971; Malavolta, 1963; Gallo et al., 1971 e Hiroce et al., 1974), por lo que en este caso, en que se estudió solamente una aplicación al año, la eficiencia de la dosis de nitrógeno debe ser menor que si se fraccionara en dos o tres oportunidades en ese mismo período; no obstante, también es conocido que los cafetos cultivados a plena exposición solar tienen una mayor demanda de nitrógeno que los que crecen bajo sombra, la que está seguramente relacionada con la alta producción que posibilitan los primeros, de acuerdo con los criterios de Machado (1956), Chaverry, Bornemiza y Chávez (1957), Müller (1969) y Carvajal (1984). Las dosis consideradas como las más adecuadas, para ser aplicadas anualmente a los cafetos en este caso, son relativamente superiores a las recomendadas en Cuba (Cuba. MINAGRI, 1986).

Las concentraciones más adecuadas de nitrógeno en las hojas, determinadas en este estudio (3,00 - 3,10 % N), son superiores en general a las informadas para cafetos que crecen y producen bajo sombra (Müller, 1969), pero relativamente coincidentes con las encontradas para cafetos creciendo a plena exposición solar, según Lott et al. (1956), Chaverry et al. (1957), Hiroce et al. (1974) y recientemente informados en Cuba por Rivera, 1988 (3,05 - 3,40 % N), dada la alta producción y el intenso metabolismo del nitrógeno, que se dan en condiciones de cultivo a plena exposición solar (Tanada, 1947 y Georgiev y Vento, 1975).

La razón por la cual los cafetos crecieron más y dieron un mejor rendimiento en los primeros años, con las dosis y el plan de aplicación recomendados por el Ministerio de la Agricultura (Cuba. MINAGRI, 1986), (T<sub>1</sub>), que ante cualquiera de los tratamientos en estudio, pudiera estar dada porque garantizara un mejor y oportuno suministro de nitrógeno.

La evidencia experimental indica que no es conveniente hacer aplicaciones de nitrógeno en el momento del establecimiento de la plantación para utilizar su efecto residual, sino que por el contrario, debe hacerse al menos una apli-

cación anual de N, cuando por razones de insuficiente fuerza de trabajo disponible o de equipos e implementos para su aplicación, esta no pueda fraccionarse en dos o más oportunidades al año.

## REFERENCIAS

- AROZARENA, N. Y A. GARCIA. Aspectos metodológicos de la determinación de niveles críticos en suelo y planta. En: Niveles críticos de la fertilidad de los suelos. Reunión Nacional de Metodologías de la Investigación Agroquímica. Ciudad de la Habana: Academia de Ciencias de Cuba. Dirección Agrícola, 1984. p. 33-45.
- CARVAJAL, J.F. Cafeto: Cultivo y Fertilización. 2da. Ed. Berna: Instituto Internacional de la Potasa, 1984. 254 p.
- CUBA. MINAGRI. Metodología para la fertilización del café por el servicio agroquímico. Ciudad de la Habana: Centro Nacional de Suelos y Fertilizantes, 1986. 34 p.
- CHAVERRY, G.; E. BORNEMIZA Y R. CHAVEZ. Resultados del análisis foliar del café en Costa Rica. IICA. *Información Técnica* (3) :1-39, 1957.
- DERONCELE, C. R.; MAGALY RATON Y L. R. BELTRAN. Metodología para la determinación del óptimo económico en investigaciones agroquímicas. Reunión Nacional de Metodologías de la Investigación Agroquímica. Ciudad de la Habana: Academia de Ciencias de Cuba. Dirección Agrícola, 1984. p. 50.
- GALLO, J.R.; R. HIROCE; O. C. BATAGLIA E R. P. P. DE MORAES. Teores de nitrógeno en folhas de cafeeiro, em relação a adubação química. I. Latossolo roxo transição para latossolo vermelho amarelo-orto. *Bragantia* 30 (17) :169-177, 1971.
- GEORGIV, G. AND H. VENTO. The Influence of Light Intensity Combined With Mineral Nutrition of the Leaf Pigment Content of Young Coffee Plants. *Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences* 28 (6) :825-828, 1975.
- GOTO, Y. B. AND E. T. FUKUNAGA. Coffee; Care of The Mature Orchard. *University of Hawaii. Extension Circular* (358), 1956.
- HIROCE, R.; O. C. BATAGLIA; J. R. GALLO E R. P. P. DE MORAES. Teores de nitrógeno nas folhas de cafeeiro, em relação a adubação química. II. Solo podzólico vermelho amarelo-orto. *Ciencia e Cultura* 24 (1) :64-69, 1974.
- HOWELER, P. H. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales; algunos cultivos tropicales. Cali: CIAT, 1983. 28 p.
- LOTT, W. L.; J. P. NERY; J. R. GALLO AND J. C. MEDCALF. Leaf Analysis Technique in Coffee Research. *IBEC Research Institute. Bulletin* (9) :1-17, 1956.
- LOUE, A. Influence de l'arbre d'ombrage sur la nutrition du caféier. *Bingerville (Cote d'Ivoire). Centre de Recherches Agronomique. Bulletin Scientifique* (5) :255-260, 1954.
- MACHADO, A. Los fertilizantes para el café y el diagnóstico foliar. *Centro Nacional de Investigaciones del Café. Boletín Informativo* 7 (76) :123-136, 1956.
- MALAVOLTA, E. Nutrição do cafeeiro. En: *Cultura e adubação do Cafeeiro*. Sao Paulo: Instituto Brasileiro da Potassa, 1963. p. 143-190.
- MARTIN, J. R.; R. RIVERA Y YOLANDA ABAD. Informe final del Tema 09-10 "Nutrición del café con macroelementos primarios en suelo Ferralítico Rojo". La Habana: INCA, 1980. 66 p.
- MARTIN, J. R. Fertilización nitrogenada de *Coffea arabica*, L. cultivado al sol, bajo riego, en suelo Ferralítico Rojo. I. Crecimiento. *Cultivos Tropicales* 10 (4), 1988 (a).
- MARTIN, J. R. Fertilización nitrogenada de *Coffea arabica*, L. cultivado al sol, bajo riego, en suelo Ferralítico Rojo: II. Índices Agroquímicos. *Cultivos Tropicales* 10 (4), 1988 (b).
- MULLER, L. E. Coffee Nutrition. En: *Temperate to Tropical and Sub-Tropical Fruit Nutrition*. Ed. by N. F. Childers. Somerville (New Jersey) Somerset Press, 1966. p. 685-776.
- MULLER, L. Nutrición Mineral. Detección y control de deficiencias de elementos esenciales. En: *Progresos en la Técnica de la producción de café*. Academia de Ciencias de Cuba. *Serie Agrícola* (11) :97-109, 1969.
- PEREIRA, H. C. Y P. A. JONES. Field Responses by Kenya Coffee to Fertilizer Manures and Mulches. *The Empire Journal of Experimental Agriculture* 22 (85) :23-36, 1954.



- ROBINSON, J. B. D. Nitrogen Studies in a Coffee Soil. II. The Influence of Mulch on Natural and Fertilizer Levels of Nitrate and Ammonia in The Top Soil. *Journal of Agricultural Science* 56 :49-59, 1961.
- RIVERA, R. Y J. R. MARTIN. Efectos de niveles de N, P y K en *C. arabica* var. Mundo Novo, cultivado al sol sobre fondo fijo de arropo y compost en la fase de fomento. II. Parámetros de crecimiento y rendimiento. *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Café y Cacao* 2 (1) :51-64, 1980.
- RIVERA, R. Nutrición y fertilización nitrogenada del café y algunos aspectos de la dinámica y balance del  $^{15}\text{N}$  en un suelo Ferralítico Rojo compactado. La Habana: INCA, 1988. 30 p. (Resumen de la Tesis para optar por el grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas).
- TANADA, T. Utilization of Nitrates by the Coffee Plant under Different Sunlight Intensities. *Journal of Agricultural Research* 72 (7) :254-258, 1946.
- VOISIN, A. Nuevas leyes científicas en la aplicación de los abonos. Madrid. Editorial Tecnos, 1966.
- WAUGH, D. L.; R. S. CATE AND L. A. NELSON. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. Washington: Proyecto Internacional de Evaluación y Mejoramiento de la fertilidad del suelo, 1973. 106 p. (Boletín Técnico, 7).

### ABSTRACT

NITROGENOUS FERTILIZATION OF *Coffea arabica*, L. GROWING ON A RED FERRALITIC SOIL, UNDER SUNLIGHT AND IRRIGATION CONDITIONS. III YIELD

*This trial was performed with the purpose of evaluating the effects of mid-term N residual fertilization on coffee yield. Therefore, six levels of N together with two fixed ones of P and K were applied to coffee trees, growing on a compacted Red Ferralitic soil at 2 x 1 m, under full sunlight and irrigation, from July 1978 to December 1985. A randomized block design with four replicates and ten calculus plants per plot was used. Nitrogen was applied at plant establishment, two years later (first harvest) and then every year. P and K were just applied at planting time. The main results have proved that coffee yields were significant and positively affected by N applied, since the first harvest. Its magnitude was conditioned by plant growth and leaf N concentration. It was not positive to apply N at once to coffee plant establishment, for improving its mid-term residual effect.*

Manuscrito recibido el 28/X/88.