



Intervalo crítico de nitrógeno y época de muestreo en *Coffea canephora* en suelos Cambisoles¹

Nitrogen critical interval and sampling season in *Coffea canephora* in Cambisol soils

Alberto Pérez-Díaz², Carlos Bustamante-González³, Rolando Viñals-Núñez³, Ramón Rivera⁴

- ¹ Recepción: 27 de mayo, 2022. Aceptación: 29 de noviembre, 2022. Este trabajo formó parte del proyecto nacional (PNCT 007-03-0130). Incremento de la eficiencia de la nutrición N y K de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cultivado en suelos Pardos de los macizos Sierra Maestra y Sagua Nipe Baracoa. 2009-2012, financiado por el Programa Nacional de Ciencia y Tecnología de Cuba.
- ² Universidad de Guantánamo, Ave. Che Guevara, km 2½ de la carretera a Baracoa, Guantánamo, Cuba. aperezdiaz1972@gmail.com o albertopd@cug.co.cu (autor para correspondencia, <http://orcid.org/0000-0002-0966-7341>).
- ³ Instituto de Investigaciones Agroforestales (INAF), La Habana, Cuba. marlonalejandro2012@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-1136-8762>); vinals1967@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3928-1132>).
- ⁴ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700. rrabracadabra14@gmail.com (<http://orcid.org/0000-0001-6621-7446>).

Resumen

Introducción. La introducción comercial de *Coffea canephora* en Cuba ocurrió en 1930. Se han realizado investigaciones sobre los requerimientos de fertilizante nitrogenado, pero no han incluido el análisis foliar como criterio para el diagnóstico del estado nutricional. **Objetivos.** Establecer los intervalos críticos de los contenidos de nitrógeno foliar y el momento de muestreo más adecuado para proponer correcciones a la fertilización nitrogenada en café. **Materiales y métodos.** La investigación se desarrolló entre el 2008 y 2011. Se estudió la respuesta del café a dosis de nitrógeno (0, 50, 100, 150, 200 kg ha⁻¹) en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro réplicas en suelos del orden Cambisoles. Los muestreos foliares se realizaron en las etapas de floración, fructificación, crecimiento del grano e inicio de maduración. Se determinaron las relaciones entre el rendimiento relativo y las dosis de fertilizante, así como entre las concentraciones foliares de N y el rendimiento relativo. Se estimó el intervalo crítico de contenidos de N (%) que permitió alcanzar de 90 % a 100 % de los rendimientos relativos. **Resultados.** Los intervalos críticos de nitrógeno (ICN) para rendimientos entre 90 % y 100 %, fueron similares entre años y localidades para la fructificación, aunque variaron entre las etapas fenológicas. Las mayores concentraciones foliares y el intervalo más amplio de estos (2,79–2,97 % N) se encontró en el inicio de fructificación, momento que se consideró más adecuado para corregir el sistema de fertilización empleado. Hubo relación entre los rendimientos relativos de las cosechas anuales y las concentraciones foliares de N para el café robusta. **Conclusiones.** El intervalo crítico de N foliar en café se estableció en la etapa de fructificación con una concentración de 2,79 %. El muestreo al iniciar la fructificación fue el más adecuado para valorar la corrección de la fertilización nitrogenada.

Palabras clave: análisis foliar, fertilizante nítrico, nutrición foliar, nutrición de las plantas.



Abstract

Introduction. The commercial introduction of *Coffea canephora* in Cuba occurred in 1930. Research on nitrogen fertilizer requirements has been conducted, but has not included foliar analysis as a criterion for the diagnosis of nutritional status. **Objective.** To establish the critical intervals of foliar nitrogen content and the most appropriate sampling moment to propose corrections to nitrogen fertilization in coffee. **Materials and methods.** The investigation was carried out between 2008 and 2011. The response of the coffee plants to nitrogen doses (0, 50, 100, 150, 200 kg ha⁻¹) was studied in a randomized block experimental design with four replicates in soils of the Cambisoles order. Leaf sampling was carried out at the stages of flowering, fruiting, grain growth, and beginning of maturation. The relationships between relative yield and fertilizer doses were determined, as well as between the foliar N concentrations and relative yield. The critical range of N contents (%) that allowed reaching 90 % to 100 % of the relative yields was estimated. **Results.** Critical nitrogen intervals (ICN) for yields between 90 % and 100 % were similar among years and locations for fruiting, although they varied among phenological stages. The highest foliar concentrations and the widest range of these (2,79–2,97 % N) were found at the beginning of fructification, which was considered the most appropriate time to correct the fertilization system employed. There was a relationship between the relative annual crop yields and the N foliar concentrations for the robusta coffee plants. **Conclusions.** The critical nitrogen intervals of foliar N in coffee plants was established in the fruiting stage with a concentration of 2.79 %. Sampling at the beginning of fruiting was the most appropriate to assess the correction of nitrogen fertilization.

Keywords: foliar analysis, foliar nutrition, nitrate fertilization, plant nutrition.

Introducción

La especie *Coffea canephora* Pierre ex Froehner var. Robusta se caracteriza por su rusticidad, resistencia a enfermedades y retención de granos por algún tiempo después de la maduración; se desarrolla desde elevaciones en el nivel del mar hasta más de 1000 m de altura (Asociación Nacional de Café [Anacafé], 2016; Uganda Coffee Development Authority, 2019), posee alta capacidad productiva y exigencias nutricionales (Partelli et al., 2014). Estas condiciones han ocasionado sustitución de la especie *Coffea arabica* en Cuba en altitudes por debajo de los 400 m (Bustamante-González et al., 2010).

La producción mundial de esta especie en el período 2014-2019, varió entre 59 y 70 millones de sacos (de 60 kg) por año, lo que representó entre el 36 % y 38 % de la producción mundial y se espera que supere los 74 millones de sacos de 60 kg en los próximos años (S&P Global Commodity Insights, 2020).

El café se caracteriza por una gran exportación de nutrientes del suelo, por lo que requiere la aplicación adecuada de corrección de la fertilización para lograr una alta productividad (de Melo Farnezi et al., 2009). Los estudios han confirmado que los análisis de los sistemas de fertilización del cultivo deben involucrar información conjunta sobre el suelo y el estado nutricional de las plantas (da Silva et al., 2015; Teixeira do Amaral et al., 2011).

Desde los primeros años de este siglo, hubo investigaciones encaminadas a dar respuesta a los requerimientos de nutrientes por la especie *C. canephora* y se establecieron las dosis de N, P y K en suelos durante los primeros dos ciclos de cosecha del cultivo (Bustamante-González et al., 2010; Pérez-Díaz et al., 2011; Viñals-Núñez et al., 2015). Sin embargo, faltaron por definir los intervalos críticos de nutrientes, como criterio para el análisis del estado nutricional de la especie Robusta, así como la adecuación de la fertilización mediante el análisis foliar, pues esta presenta un patrón de crecimiento y potencial de rendimiento diferente al de *C. arabica*.

El diagnóstico foliar del café necesita del establecimiento de tablas de interpretación o definición de las zonas de nutrición en función del contenido del elemento, las cuales deben de ser obtenidas para cada localidad, forma de cultivar y relación de los tenores foliares y el rendimiento (da Fonseca et al., 2018a; de Oliveira, 2007; Partelli et al., 2006).

El uso de algunos métodos como el análisis químico del suelo y foliar (de Assis Silva & de Sousa Lima, 2012; Partelli et al., 2014; Teixeira do Amaral et al., 2011), el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendaciones (DRIS, por sus siglas en inglés) (da Fonseca, 2018; da Silva et al., 2015; Partelli et al., 2016), la variabilidad espacial de Índices Equilibrados de Kenworthy (BIK, por sus siglas en inglés) (da Fonseca et al., 2018b) y el Índice Relativo de Clorofila (IRC) (Oliosi et al., 2017), han contribuido a optimizar la fertilización, con un incremento de la producción de café Robusta.

En el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.), se estableció una metodología para determinar los valores críticos de nutrientes a partir de las relaciones entre las dosis del elemento en cuestión y los rendimientos máximos estables anuales del cultivo, la evolución de la concentración del nutriente durante el período muestreado con diferentes dosis de fertilizantes, la relación entre la concentración foliar del elemento para cada momento de muestreo, el rendimiento relativo del cultivo y la estimación de la concentración del elemento (%) al rendimiento máximo (100 %) y al 90 % en cada muestreo (Roberts & Dow, 1982).

Esta metodología también la utilizaron Rosen et al. (2014) en *S. tuberosum* y Hernández et al. (2009) en *S. lycopersicum*; sin embargo, no ha sido utilizada en cultivos perennes como el cafeto, lo cual brinda al trabajo la posibilidad de su aplicación para la toma de decisiones de una fertilización adecuada y oportuna en el sistema productivo.

El presente trabajo tuvo como objetivo establecer los intervalos críticos de los contenidos de nitrógeno foliar y el momento de muestreo más adecuado para proponer correcciones a la fertilización nitrogenada en café.

Materiales y métodos

Condiciones experimentales generales

La investigación se desarrolló en las localidades de Tercer Frente, provincia de Santiago de Cuba, Cuba (20°09' latitud norte y 76° 16' longitud oeste a 150 m s. n. m.) y La Alcarraza, municipio Sagua de Tánamo, provincia de Holguín, Cuba (20°35' latitud norte y 75° 15' longitud oeste, a 300 m s. n. m.).

Los cafetos se sembraron en mayo de 1996 a 3 m x 1,5 m, bajo sombra de piñón (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Walp). En febrero del 2003 se realizó una poda baja al cafeto (primer ciclo productivo) y se repitió en febrero del 2008 (segundo ciclo productivo), en los que se dejaron tres tallos por plantón.

En los sitios experimentales se hicieron perfiles de suelo al inicio de los experimentos y se determinaron algunas características químicas (Cuadro 1). Los suelos se clasificaron como Cambisol éutrico (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2015) y Cambisol estagnico éutrico (FAO, 2015).

Cuadro 1. Resultados del análisis químico de suelos, Cambisol éutrico de la localidad de Tercer Frente, provincia de Santiago de Cuba, Cuba y Cambisol estagnico de La Alcarraza, municipio Sagua de Tánamo, provincia de Holguín, Cuba.

Table 1. Soil chemical analysis results, eutric Cambisol in the locality of Tercer Frente, province of Santiago de Cuba, Cuba and stagnic Cambisol in La Alcarraza, municipality of Sagua de Tánamo, province of Holguín, Cuba.

Tipo de suelo	M.O. (%)	pH (H ₂ O)	P ₂ O ₅	K ₂ O	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
			(mg 100/g suelo)				
Cambisol éutrico	3,97	5,96	153,92	101,20	0,90	21,55	9,12
Cambisol estagnico	4,12	5,83	156,70	106,10	0,95	26,80	10,80

El porcentaje de nitrógeno total (Nt) estimado a partir del porcentaje de materia orgánica (% M.O.) estuvo en el orden de 0,19±0,01. Para el análisis químico del suelo se utilizaron las siguientes técnicas analíticas: pH (H₂O)

por el método potenciométrico, con relación suelo:solución de 1:2,5; materia orgánica (% M.O.) por el método de Walkley y Black (Nelson & Sommers, 1982, p. 539); P asimilable por extracción con H_2SO_4 0,1 N con relación al suelo: solución 1:2,5; cationes intercambiables ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) por extracción con NH_4Ac 1 mol L^{-1} a pH 7 y determinación por complexometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (K).

Se estudió la respuesta de cinco dosis de fertilización nitrogenada (Cuadro 2) y fondo de fósforo (50 kg ha^{-1}) y potasio (160 kg ha^{-1}), en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro réplicas. Las parcelas fueron constituidas por siete plantas, se muestrearon las cinco plantas centrales, para un total de veinte plantas por tratamiento (0,54 ha).

Cuadro 2. Sistemas de fertilización mineral para café Robusta en la localidad de Tercer Frente, provincia de Santiago de Cuba y La Alcarraza, municipio Sagua de Tánamo, provincia de Holguín, Cuba. 2008-2011.

Table 2. Mineral fertilization systems for Robusta coffee in the locality of Tercer Frente, province of Santiago de Cuba, Cuba and La Alcarraza, municipality of Sagua de Tánamo, province of Holguín, Cuba. 2008-2011.

N kg ha^{-1}	2008	2009, 2010 y 2011
N_0	0	0
N_1	25	50
N_2	50	100
N_3	75	150
N_4	100	200

Los sistemas de fertilización mineral empleados consideraron los altos contenidos de fósforo y potasio disponibles en el suelo al finalizar el segundo ciclo productivo del cultivo (2007). El fraccionamiento de los fertilizantes (en porcentaje de la dosis total) se realizó de la siguiente manera: en el período de abril – mayo se aplicó el 50 % de la dosis anual de nitrógeno, 100 % del fósforo y 60 % de la fertilización potásica, el resto de esos mismos nutrientes se aplicó en octubre – noviembre. Se utilizaron la urea, el cloruro de potasio y el superfosfato simple.

Condiciones climáticas

En un promedio de dieciocho años, la localidad de Tercer Frente, posee temperaturas que van de 15,50 °C a 31,10 °C, precipitaciones anuales de 1609 mm y 109,4 días de lluvia, mientras La Alcarraza con temperaturas mínima de 15,50 °C y máxima de 24,15 °C, precipitaciones anuales de 1922 mm y 120 días de lluvia, adecuadas para el cultivo del café robusta (Bustamante-González et al., 2015).

Análisis foliar

Los muestreos se realizaron en los meses de marzo (floración), junio (fructificación), septiembre (crecimiento del grano) y diciembre (inicio de maduración), en todos los tratamientos, durante los años 2010 y 2011, correspondiente a la segunda y tercera cosecha, de acuerdo con las etapas fenológicas planteadas por Villers et al. (2009) para la especie *C. canephora* en México: crecimiento foliar, desde abril hasta octubre; floración, desde marzo a mayo; crecimiento del fruto, de mayo hasta diciembre y maduración desde diciembre a abril.

Se tomaron muestras del cuarto par de ramas fructíferas de la parte central de la planta. Cada muestra correspondiente a las parcelas experimentales estuvo compuesta por 32 pares de hojas, se tomó cuatro pares de hojas por planta de cálculo. Las hojas correspondientes a cada muestra se lavaron y se secaron en estufa a 70 °C hasta obtener masa constante.

El análisis químico de N se realizó mediante digestión húmeda con H_2SO_4 + Se y determinación colorimétrica con el reactivo de Nessler, el resultado se expresó en porcentaje de masa seca.

Metodología para determinar el intervalo crítico de nitrógeno

Para determinar el intervalo crítico de nitrógeno se utilizó la metodología propuesta por Roberts y Dow (1982) y Hernández et al. (2009), y que se define de la siguiente manera:

- a. Determinación del rendimiento relativo ($RR = \text{rendimiento real} / \text{rendimiento máximo} \times 100$) en cada variante estudiada, para luego definir la ecuación de tendencia que caracterizó la respuesta del cultivo ante la aplicación de N.
- b. Curvas de ajustes, ecuaciones y coeficientes de determinación que caracterizan la evolución de la concentración del nutriente (N) durante el período muestreado con diferentes dosis de fertilizantes.
- c. Ecuaciones y coeficientes de determinación que caracterizan la relación entre la concentración foliar del elemento (N) para cada momento de muestreo y el rendimiento relativo del cultivo a partir de un modelo cuadrático.
- d. Estimación de la concentración del elemento (%) al rendimiento máximo (100 %) y al 90 % en cada momento de muestreo.
- e. Los valores estimados de concentración foliar del elemento en cada muestreo para el 90 % y el 100 % del rendimiento se utilizaron para definir las curvas y ecuaciones que delimitan y el cálculo del ICN en el período de muestreo.

Variable evaluada

Durante dos años (2010 - 2011) se evaluó el rendimiento del cultivo. Se cosecharon los frutos maduros de cada parcela, se pesaron (kg) y se extrapolaron a toneladas de café cereza por hectárea y a tonelada de café oro por hectárea ($t\ ha^{-1}$), con un factor de conversión de 0,22 para *C. canephora*.

Una vez obtenidos los datos experimentales, se ordenaron en función de las dosis crecientes de nutrientes, se establecieron los rendimientos entre los niveles de los tratamientos, la pendiente de la respuesta y el punto de inflexión del rendimiento. Se consideró en los modelos que el punto inicial era la respuesta al nutriente en estado mínimo (factor limitante) y un punto final, que fue el rendimiento máximo estable (RME), según el método de Cate-Nelson.

Análisis estadístico

En cada fecha de muestreo se establecieron regresiones entre los porcentajes de N de cada uno de los tratamientos y los porcentajes de rendimiento máximo obtenidos por cada tratamiento en los diferentes años de trabajo. Se utilizaron diferentes modelos matemáticos, para seleccionar el de mayor coeficiente de determinación (R^2) para la obtención del momento de muestreo más adecuado y el estado nutricional asociado al porcentaje de N foliar. Se realizó un análisis de varianza a los datos obtenidos. En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias se compararon por la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p < 0,05$).

A partir de los contenidos de N foliar y la relación obtenida entre las dosis óptimas de N y los rendimientos máximos estables anuales en ambos sitios estudiados, se propuso una guía para la corrección de la fertilización nitrogenada del café robusta para suelos Cambisoles de Cuba.

Resultados

Análisis químico del suelo

Los suelos Cambisoles donde se condujeron las investigaciones se caracterizaron por una fertilidad adecuada para el cultivo, con valores altos de acidez (5,83 – 5,92), pero dentro del rango establecido para el café a nivel internacional, contenidos altos de fósforo (155 mg/100 g suelo) y potasio (104 mg/100 g suelo) asimilable, producto de las fertilizaciones recibidas en los ciclos productivos anteriores, con predominio del calcio en el complejo de absorción y contenidos altos de potasio intercambiable. El porcentaje de este último catión con respecto a la suma de bases es alto y mostró una situación de equilibrio y una relación Ca / Mg dentro del rango adecuado para el cultivo.

En los dos sitios los contenidos de materia orgánicas fueron altos (3,97 – 4,12 %), superiores a los obtenidos al inicio de la investigación en 1996 que estuvieron entre 2,87 % y 2,97 %. El porcentaje de nitrógeno total (Nt) estuvo en el orden de 0,19±0,01.

Determinación del rendimiento relativo en cada variante estudiada como respuesta del cultivo ante la aplicación de N

Entre la fertilización nitrogenada y el rendimiento relativo (%), hubo relación con valores de R² altos y significativos; aunque las dosis óptimas de fertilizante variaron con los años, para garantizar el 100 % de los rendimientos de *C. canephora* en ambos tipos de suelos (Figura 1 a y b). En la localidad de Tercer Frente en el año 2010 los rendimientos se incrementaron hasta 1 t ha⁻¹ de café oro (100 %) con dosis de 100 kg ha⁻¹ de N, mientras que el año 2011 en que los rendimientos se incrementaron hasta 1,25 t ha⁻¹ de café oro (100 % del rendimiento relativo) la dosis óptima fue de 150 kg ha⁻¹ de N.

En la localidad de La Alcarraza los efectos fueron similares y en el año 2010 los rendimientos fueron de 1,75 t ha⁻¹ de café oro y una dosis óptima de 150 kg ha⁻¹ de N, que ascendieron a 200 kg ha⁻¹ de N cuando el rendimiento se incrementó a 2,01 t ha de café oro (100 % del rendimiento relativo).

Los rendimientos obtenidos estuvieron influenciados no solo por la aplicación de nitrógeno, sino también por las precipitaciones; así en La Alcarraza las condiciones fueron más favorables para el desarrollo de la especie con precipitaciones entre 1588 mm y 1900 mm, con 120 días de lluvia (promedio de diez años). En Tercer Frente, las precipitaciones estuvieron entre 1446 mm y 1600 mm y 114 días de lluvia (promedio de diez años).

Análisis foliar

Las dosis de fertilizante nitrogenado y los tenores foliares correspondientes mostraron relaciones con coeficientes de determinación altos, sobre todo en los muestreos de inicio de fructificación y floración (Figura 2 y 3). Las concentraciones de nitrógeno mayores se encontraron en el muestreo de inicio de fructificación en ambas localidades y asociadas a la dosis óptima encontrada en cada año.

En el resto de los momentos (crecimiento del grano, inicio de maduración) los coeficientes fueron menores con el inicio de la maduración, fenómeno asociado con los altos requerimientos de la maduración del grano y la disminución del ritmo de absorción de N en esta etapa.

Relación entre las concentraciones foliares de N para cada momento de muestreo y el rendimiento máximo estable anual (RME)

En el muestreo del mes de junio correspondiente al inicio de la fructificación, se obtuvieron valores de R² altos y significativos, los cuales disminuyeron en los meses de septiembre (crecimiento del grano) y diciembre (inicio

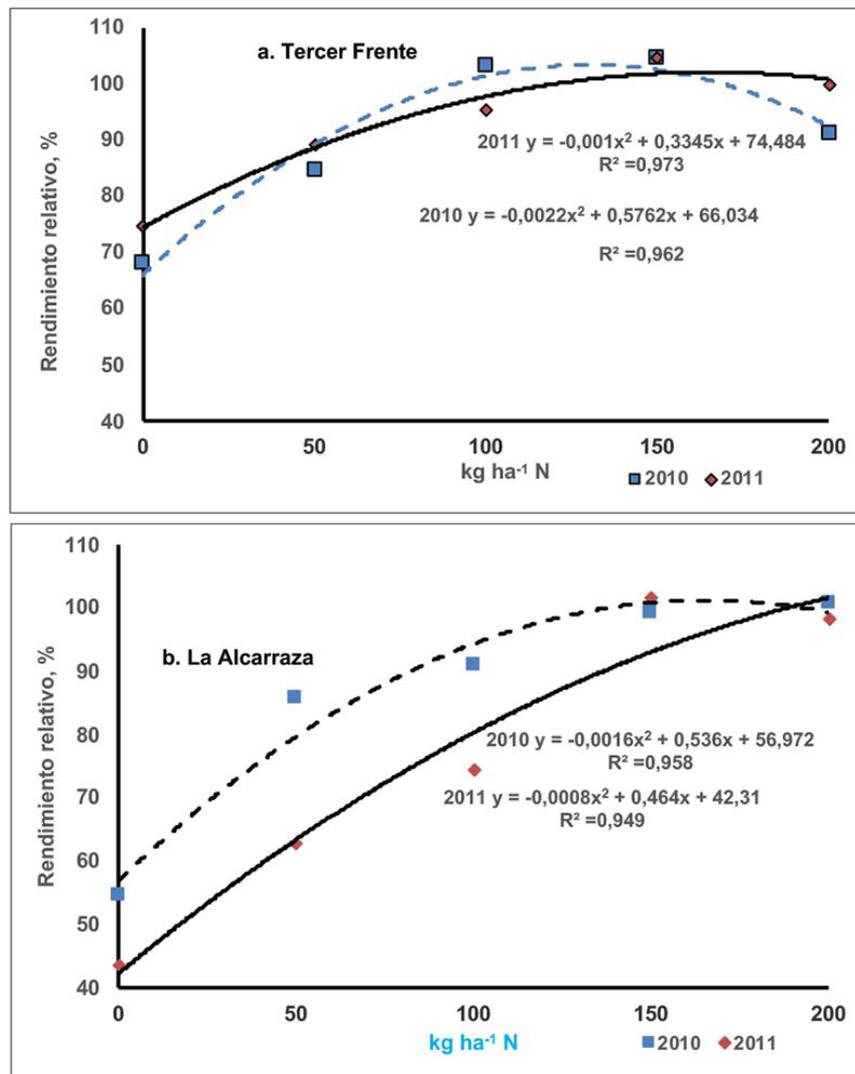


Figura 1. Relación entre las dosis de N y el rendimiento relativo en *C. canephora*. Tercer Frente, provincia de Santiago de Cuba y La Alcarraza, Sagua de Tánamo, provincia de Holguín, Cuba. 2010 (a) y 2011 (b).

Figure 1. Relationship between N doses and relative yield in *C. canephora*. Tercer Frente, province of Santiago de Cuba and La Alcarraza, Sagua de Tánamo, province of Holguín, Cuba. 2010 (a) and 2011 (b).

maduración), respectivamente, lo que indicó una estrecha relación entre ambas variables y el estado fenológico del cultivo (Cuadro 3).

Las plantas en el muestreo de junio (fructificación) no solo presentaron las mayores concentraciones de N foliar para cada una de las dosis de nitrógeno, sino que presentaron las mayores diferencias en los porcentajes de N entre los tratamientos, de forma tal que se encontraron los mayores valores de determinación con los porcentajes de los rendimientos máximos estables obtenidos en cada cosecha y sitio (Figuras 4 y 5).

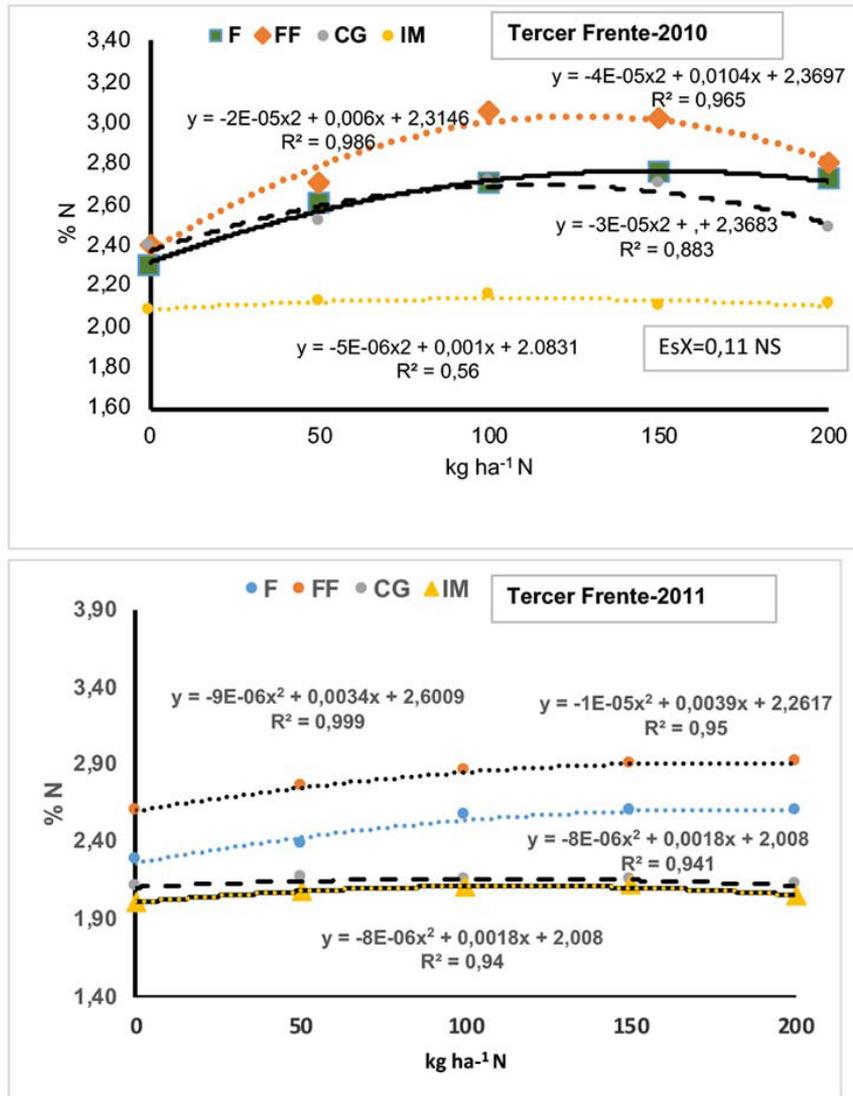


Figura 2. Efecto de las dosis de N en las concentraciones de nitrógeno en hojas según fenología del café (*C. canephora*) en la localidad de Tercer Frente, provincia de Santiago de Cuba, Cuba. 2010-2011.

F: floración, FF: fructificación, CG: crecimiento del grano, IM: inicio de maduración.

Figure 2. N doses effect on the nitrogen concentrations in leaves according to the phenology of the coffee (*C. canephora*) tree in the locality of Tercer Frente, province of Santiago de Cuba, Cuba. 2010-2011.

F: flowering, FF: fruiting, CG: grain growth, IM: beginning of maturation.

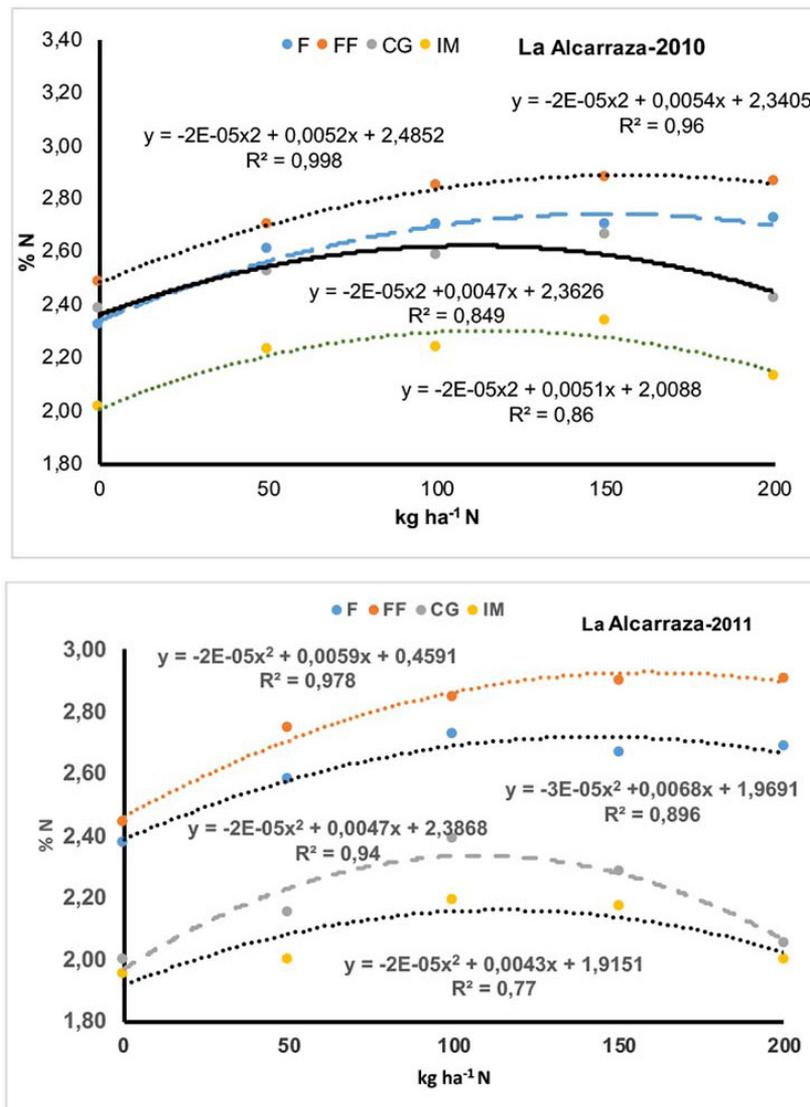


Figura 3. Efecto de las dosis de N en las concentraciones de nitrógeno en hojas según fenología del cafeto (*C. canephora*) en la localidad de La Alcarraza, provincia Holguín, Cuba. 2010-2011.

F: floración, FF: fructificación, CG: crecimiento del grano, IM: inicio de maduración.

Figure 3. N doses effect on the nitrogen concentrations in leaves according to the phenology of the coffee (*C. canephora*) tree in the locality La Alcarraza, province Holguín, Cuba. 2010-2011.

F: flowering, FF: fruiting, CG: grain growth, IM: beginning of maturation.

Cuadro 3. Relación entre las concentraciones de nitrógeno y el rendimiento máximo estable (RME) de *C. canephora* en la localidad de Tercer Frente, provincia de Santiago de Cuba, Cuba y La Alcarraza, municipio Sagua de Tánamo, provincia de Holguín, Cuba. 2010-2011.

Table 3. Relationship between nitrogen concentrations and the maximum stable yield (RME) of *C. canephora* in the locality of Tercer Frente, province of Santiago de Cuba, Cuba and La Alcarraza, municipality of Sagua de Tánamo, province of Holguín, Cuba. 2010-2011.

Localidad	Muestras	Ecuaciones	R ²	y ^{90%}	y ^{100%}
Tercer Frente	mar-2010	y= -93,61+69,86x	96**	2,62	2,77
	jun-2010	y= -68,31+56,76x	98**	2,78	2,96
	sep-2010	y=-320,00+162,73x	88**	2,51	2,58
	dic-2010	y= -577,43+315,91x	56*	2,11	2,14
	mar-2011	y= -96,39+76,15x	95**	2,44	2,57
	jun-2011	y= -154,42+88,22x	99**	2,77	2,88
	sep-2011	y= -462,75+260,07x	94**	2,12	2,16
	dic-2011	y= -334,76+206,14x	85*	2,06	2,10
La Alcarraza	mar-2010	y= -109,07+74,16x	96**	2,81	2,68
	jun-2010	y= -88,37+64,77x	99**	3,07	2,92
	sep-2010	y= -489,13+275,34x	86*	2,13	2,10
	dic-2010	y= -66,18+89,41x	84*	1,8	1,74
	mar-2011	y= -155,17+91,30x	94**	2,79	2,68
	jun-2011	y= -123,25+75,94x	98**	2,93	2,80
	sep-2011	y= -209,68+140,94x	89**	2,21	2,14
	dic-2011	y= -209,42+139,46x	78*	2,19	2,12

y^{90%}: concentración de N foliar estimada para un rendimiento máximo estable de 90 %. y^{100%}: concentración de N foliar estimada para un rendimiento máximo estable de 100 %. * y ** coeficientes de determinación positivos y significativos para P<0,05 y P<0,01. / y^{90%}: estimated foliar N concentration for a maximum stable yield of 90 %. y^{100%}: estimated foliar N concentrations for a maximum stable yield of 100 %. * y ** positive and significant coefficients of determination for P<0.05 y P<0.01.

A medida que disminuyeron las concentraciones de N foliar, los porcentajes del rendimiento máximo estable disminuyeron; aunque los valores encontrados con el tratamiento testigo (no fertilizado) no fueron menores al 60 % RME, en correspondencia con el suministro de nitrógeno de los suelos Cambisoles.

Intervalos críticos de nitrógeno para el café robusta

Para el N se estableció un intervalo crítico al inicio de la floración de 2,63 – 2,78 %, de 2,79 – 2,97 % en fructificación, de 2,45 – 2,58 % en el crecimiento del grano y de 2,11 – 2,20 % en el inicio de la maduración (Cuadro 4).

Propuesta de corrección de la fertilización nitrogenada con base al análisis foliar para el café robusta en suelos Cambisoles

Para concentraciones de N foliar entre 2,79 % y 2,97 % en el mes de junio (fructificación) se propone mantener el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en dos momentos (50 % de la dosis anual en abril – mayo y el

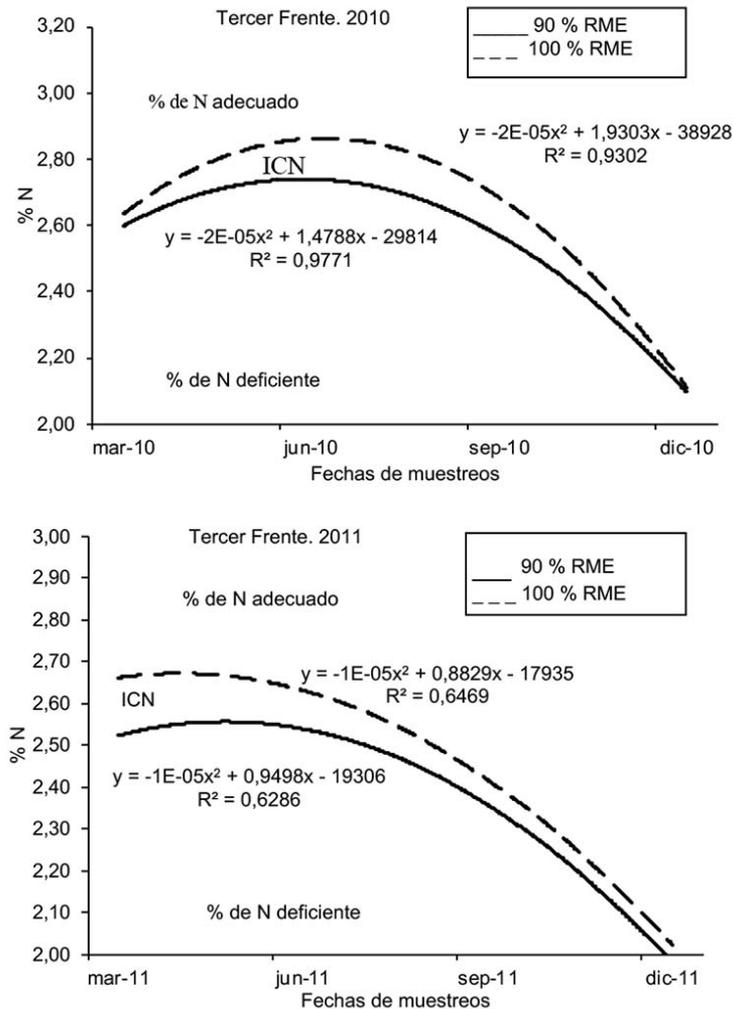


Figura 4. Intervalo crítico de nitrógeno para el *C. canephora* en la localidad de Tercer Frente, provincia de Santiago de Cuba, Cuba. 2010-2011.

ICN: intervalo crítico de nitrógeno, RME: rendimiento máximo estable anual.

Figure 4. Critical nitrogen interval for *C. canephora* in the locality of Tercer Frente, province of Santiago de Cuba, Cuba. 2010-2011.

ICN: critical nitrogen interval, RME: annual maximum stable yield.

resto en octubre); concentraciones inferiores a 2,79 % N, se deben corregir las dosis con una aplicación extra (30 % de la dosis de octubre) en el periodo junio-julio, para evitar una fuerte depauperación de la plantación, debido a las altas exigencias de la cosecha en formación; el resto del N (20 %) debe aplicarse en octubre (Cuadro 5).

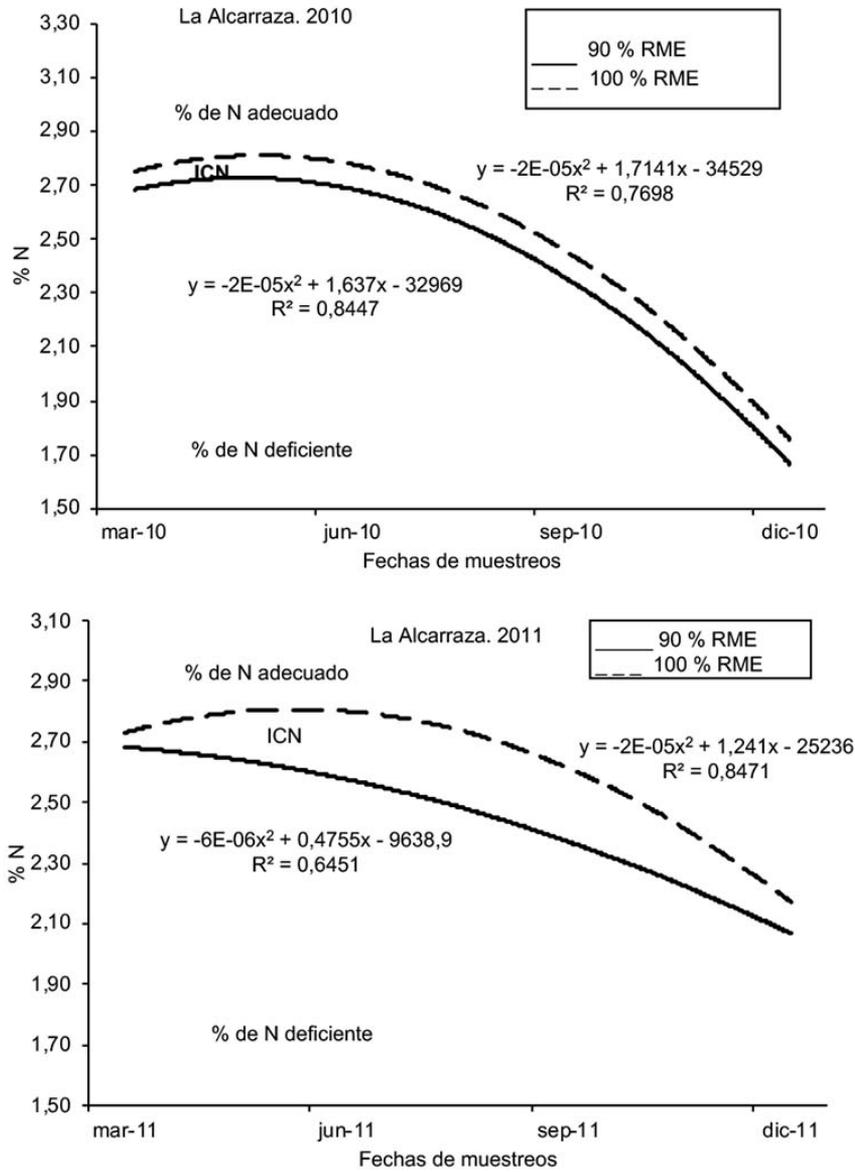


Figura 5. Intervalos críticos de nitrógeno para el *C. canephora* en la localidad La Alcarraza, provincia de Holguín, Cuba. 2010-2011.

ICN: intervalo crítico de nitrógeno, RME: rendimiento máximo estable anual.

Figure 5. Critical nitrogen interval for the *C. canephora* in the locality La Alcarraza, province of Holguín, Cuba. 2010-2011.

ICN: critical nitrogen interval, RME: annual maximum stable yield.

Cuadro 4. Intervalos críticos de N foliar en *C. canephora* para cada momento de muestreo, en la localidad de Tercer Frente, provincia de Santiago de Cuba y La Alcarraza, municipio Sagua de Tánamo, provincia de Holguín, Cuba. 2010 – 2011.

Table 4. Critical interval of foliar N in *C. canephora* for each sampling moment, in the locality of Tercer Frente, province of Santiago de Cuba and La Alcarraza, municipality of Sagua de Tánamo, province of Holguín, Cuba. 2010 -2011.

Localidad	Muestreos	Etapas fenológicas	N	
			Y 90 %	Y 100 %
Tercer Frente	Marzo	Floración	2,63	2,77
	Junio	Fructificación	2,79	2,94
	Septiembre	Crecimiento de grano	2,52	2,58
	Diciembre	Inicio maduración	2,11	2,14
La Alcarraza	Marzo	Floración	2,68	2,78
	Junio	Fructificación	2,80	2,97
	Septiembre	Crecimiento de grano	2,45	2,58
	Diciembre	Inicio maduración	2,15	2,20

Y90 %: concentración de N foliar estimada para un rendimiento máximo estable anual de 90 %. Y100 %. concentración de N foliar estimada para un rendimiento máximo estable anual de 100 %. / Y90 % estimated foliar N concentration for a maximum stable yield of 90 %. y 100 %: estimated foliar N concentration for a maximum stable yield of 100 %.

Cuadro 5. Propuesta de corrección de la fertilización N para diferentes valores del rendimiento máximo anual del café robusta *C. canephora*, con base en el análisis foliar (ICN) realizado en el mes de junio en suelos Cambisoles de las localidades de Tercer Frente y La Alcarraza, Cuba. 2010-2011.

Table 5. Proposal for the correction of N fertilization for different values of the maximum annual yield of the robusta coffee (*C. canephora*) tree, based on the foliar analysis (ICR) carried out in June on Cambisol soils in the locality of Tercer Frente and La Alcarraza, Cuba. 2010-2011.

Rendimientos (t ha ⁻¹ café oro)	1,25 ± 0,2	1,7 ± 0,2	2,1 ± 0,2
Dosis N recomendada (kg ha ⁻¹)	100	150	200
% N Foliar	Estado nutricional asociado	Rendimiento máximo estable (%)	Sistema de corrección de dosis según análisis foliar realizado en el mes de junio
2,79 - 2,97	Adecuado	90 - 100	Mantener fertilización propuesta
2,45 - 2,78	Bajo	70 - 89	Corregir la dosis de fertilización propuesta
≤ 2,45	Muy Bajo	≤ 69	

Discusión

Los suelos Cambisoles objeto de estudio, se caracterizaron por presentar entre 5,83 y 5,96 de acidez, superior a lo reportado para el cultivo en Centroamérica entre 5,0 y 5,5 y con una relación Ca / Mg dentro del rango adecuado para el cultivo (Carvajal, 1984), con texturas que oscilan entre loam a loam arcilloso, de ligera a baja plasticidad con predominio del calcio en el complejo de absorción.

Los altos contenidos de fósforo y potasio asimilable fueron producto de las fertilizaciones recibidas en los dos ciclos anteriores a la realización de la investigación, por lo que fueron suficientes la aplicación de fósforo (50 kg ha^{-1}) y potasio (160 kg ha^{-1}) para garantizar los requerimientos del cultivo. Al respecto, Viñals-Núñez et al. (2015) encontraron que dosis entre 100 kg ha^{-1} y 200 kg ha^{-1} de K_2O y un fondo de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 , cubrieron las necesidades de *C. canephora* para alcanzar rendimientos entre 1,33 t y 2,12 t café oro/ha en suelos Cambisoles de Cuba, similares a los aquí obtenidos.

Los altos contenidos de materia orgánica encontrada pudieron estar influenciados por los aportes de los restos de las podas durante dos ciclos productivos y de los restos de hojarascas del agroecosistema. En investigaciones realizadas en ambas localidades por Pérez-Díaz et al. (2015), encontraron que por concepto de caída de hojas se retornan $0,35 \text{ t ha}^{-1}$ de masa seca, por restos del cafeto (flores, frutos y ramas) unas $0,20 \text{ t ha}^{-1}$, por la eliminación de las arvenses hasta $1,80 \text{ t ha}^{-1}$ de masa seca y por la poda y deshijes hasta 5 t ha^{-1} .

A nivel internacional, las dosis de N para el cafeto robusta varían entre 80 kg ha^{-1} y 480 kg ha^{-1} por año, las cuales están relacionadas con el rendimiento, la tecnología de cultivo y las condiciones edafoclimáticas (Bustamante-González et al., 2022; Bragança et al., 2009; Teixeira Chagas et al., 2019). Las dosis recomendadas estuvieron entre este rango, valores de 100 kg ha^{-1} y 200 kg ha^{-1} incrementaron los rendimientos entre $1,25 \text{ t ha}^{-1}$ y $2,01 \text{ t ha}^{-1}$ de café oro, mayores en el sitio La Alcarraza, por un posible efecto de las mayores precipitaciones que ocurrieron en esa localidad. Las existencias de condiciones favorables de humedad en el suelo, debido a las precipitaciones propician que las plantas de *Coffea canephora* puedan manifestar un buen crecimiento y productividad en cualquiera de sus ciclos productivos (Bosveld & Bouten, 2001). En México, Villers et al. (2009) encontraron que altas precipitaciones entre los meses de mayo a diciembre, aseguran el crecimiento del fruto de *C. canephora*.

Es de destacar que la relación rendimiento – precipitación no es tan simple y aquí influye además la distribución de la lluvia en función de la etapa fenológica del cultivo, el número de días de lluvia y la propia alternancia del cultivo (Rivera et al., 2006).

La situación encontrada en los sitios de estudio, conlleva a plantear que la especie robusta con un suministro adecuado de nutrientes, cuando se favorece con las precipitaciones anuales, puede alcanzar rendimientos entre $1,25 \text{ t ha}^{-1}$ y 2 t ha^{-1} de café oro, con independencia de la localidad y tipo de suelo. En las mismas condiciones en las que se estableció este experimento, Rivera et al. (2006) encontraron que, en *C. arabica*, dosis de 100 kg ha^{-1} de N solo garantizaron productividades anuales de 1 t ha^{-1} de café oro. Esto sugiere que *C. canephora* es capaz de producir con mayor eficiencia y con igual dosis de N ($1,25 \text{ t ha}^{-1}$ de café oro), indicativo de mejor adaptación para aquellas zonas consideradas como marginales para *C. arabica* en Cuba.

En relación con el análisis foliar, estos se interpretaron de acuerdo con el criterio adaptado de Bragança et al. (2007) para el cafeto robusta en Brasil, que establecieron como adecuados valores de N entre 2,90 % y 3,02 %. En investigaciones realizadas en diferentes etapas fenológicas, se propusieron valores en la fructificación entre 2,70 % y 3,06 % (Partelli et al., 2016; Prezotti & Bragança, 2013), mientras que Gomes et al. (2016) en estudios realizados en siete genotipos de robusta lo situaron entre 2,70 % y 2,99 %. Los resultados obtenidos en las investigaciones mencionadas coinciden con los aquí planteados para las condiciones edafoclimáticas de Cuba, al obtener concentraciones de N foliar entre 2,79 % y 2,97 % en la etapa de fructificación del cafeto robusta.

Los resultados obtenidos estuvieron relacionados con la fertilización realizada en el mes de abril-mayo y por la ocurrencia de las lluvias en ese período en Cuba, que proporciona mayor absorción del nutriente por el cafeto robusta, similar a los resultados obtenidos por Partelli et al. (2016). Esta información permite plantear que al menos uno de los momentos adecuados para evaluar el grado de suministro de N de un sistema de fertilización, sea el inicio de la fructificación, lo cual coincide con lo reportado por Carvajal (1984), Partelli et al. (2016) y Rivera et al. (2006). El período de crecimiento de los frutos es un momento adecuado para el diagnóstico del N foliar (Carvajal, 1984). En este caso se prefiere para el *C. canephora* el mes de junio, ya que el resultado del análisis se puede utilizar

en el ajuste de la fertilización del año en cuestión y evitar descompensación por carencia de N, lo cual no se puede hacer en los meses de noviembre-diciembre.

En el mes de diciembre de cada año y sitio, se encontraron las más bajas concentraciones de N foliar, fenómeno que pudo estar asociado con los altos requerimientos de la maduración del grano, la disminución del ritmo de absorción de N en esta etapa (Rivera et al., 2006) y la formación de ramas ortotrópicas y plagiotrópicas que ocurre en el período de octubre a diciembre (Dubberstein et al., 2017).

La disminución de los porcentajes de N al final de cada año en los tratamientos, incluso en los que recibieron las mayores dosis estudiadas, indicó que la última aplicación de N (50 % de la dosis anual) no debe de hacerse tardía (noviembre), para evitar la caída brusca de los tenores foliares que conllevó, entre otras, a una rápida caída de las hojas y por consiguiente, a la disminución del área fotosintética de la planta (Rivera et al., 2006).

Se consideraron como valores adecuados del porcentaje de N foliar, aquellos que garantizaron más del 90 % del rendimiento máximo estable anual (RME) y una zona donde se presentan rendimientos entre 90 % y 100 % del RME considerada crítica, que constituye una zona dudosa en la que no se justifica la necesidad de incrementos en el sistema de fertilización empleado (Hernández et al., 2009; Roberts & Dow, 1982). Como valores bajos o indicativos de un sistema de fertilización insuficiente, se tuvieron aquellos que garantizaron rendimientos por debajo de 89 % del RME.

Los porcentajes del rendimiento máximo estable alcanzados en el testigo (60 % RME), estuvieron en correspondencia con el suministro de nitrógeno de los suelos Cambisoles de Cuba, que permite que se alcance hasta un 60 % del rendimiento según refieren Bustamante-González et al. (2010) y Pérez-Díaz et al. (2011).

Se sugiere expresar el rendimiento como porcentaje del rendimiento máximo estable anual (% RME) obtenido, si se busca relacionarlo con las concentraciones foliares como indicador del grado de satisfacción de la nutrición por el sistema de fertilización en cuestión y además, es una consecuencia de que la relación entre las concentraciones de un elemento (en este caso el N) y el rendimiento no tiene que ser una relación sencilla, ya que la producción es la integración de diferentes factores, de los cuales uno de ellos es la nutrición.

En el caso del cafeto, la relación entre el RME y las concentraciones foliares se vuelve más complicada por ser un cultivo indeterminado, en el cual el rendimiento está predeterminado por el crecimiento vegetativo del año anterior (Rivera et al., 2006), lo que provoca que dos recomendaciones de fertilización para años diferentes garanticen concentraciones similares de N en las hojas y sin embargo, se obtengan diferentes rendimientos en cada año, por tener distintas cantidades de ramas nuevas en el momento de la floración del cafeto y por tanto, no se puede usar el análisis foliar para establecer relaciones con los rendimientos relativos, ni con las dosis de fertilización que estos requieren, sino con los rendimientos máximos estables anuales.

La producción de madera nueva y el estado nutricional del cafeto, están relacionados con el rendimiento, pero no siempre la primera es una consecuencia de la segunda, al estar influenciada por las condiciones climáticas, manejo, estado de la plantación, densidad y sobreproducción, donde una misma concentración puede estar asociada con diferentes producciones (Rivera et al., 2006).

Los resultados obtenidos con la utilización de la metodología propuesta por Hernández et al. (2009) y Roberts & Dow (1982) para condiciones óptimas de cultivo del robusta, ha servido para emitir criterios de evaluación del estado nutricional, realizar recomendaciones de dosis de nitrógeno y corregir de manera oportuna posibles desequilibrios del elemento en la planta.

Debido a que los contenidos foliares determinados en el mes de junio fueron más bajos, necesitaron una mayor dosis de N, la corrección de las dosis aplicadas en el primer fraccionamiento se debe de realizar en junio, para evitar la depauperación de la plantación por un inadecuado estado nutricional, debido a las altas exigencias de la cosecha en formación (Carvajal, 1984).

Conclusiones

Hubo relación entre los rendimientos relativos de las cosechas anuales y las concentraciones foliares de N para el café robusta cultivado en suelos Cambisoles.

Los intervalos críticos de nitrógeno para rendimientos entre 90 % y 100 % del rendimiento máximo estable anual, fueron similares entre años y localidades para la fructificación, aunque variaron entre las etapas fenológicas. Se estableció como crítico en la fructificación la concentración de 2,79 % de nitrógeno.

Las mayores concentraciones foliares y los intervalos más amplios de estos se encontraron en el muestreo de inicio de fructificación. Lo anterior unido al fraccionamiento del nitrógeno utilizado, sugiere validar este momento de muestreo como el más adecuado para corregir el sistema de fertilización empleado para el café robusta.

Referencias

- Asociación Nacional de Café. (2016). *Manual técnico para la producción de café Robusta*. Asociación Nacional de Café. <https://bit.ly/3ZmWMIw>
- Bosveld, C. E., & Bouten, W. (2001). Evaluation of transpiration models with observations over a Douglas fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 247–264. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00251-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00251-9)
- Bragança, S. M., Prezotti, L. C., & Lani, J. A. (2007). Nutrição do cafeeiro conilon. In R. G. Ferrão, A. F. A. da Fonseca, S. M. Bragança, & L. H. De Muner (Eds.), *Café Conilon: Vitória* (pp. 296–327). Incaper. <https://bit.ly/3Ny9xdL>
- Bragança, S. M., Barros Silva, E., Guarçoni Martins, A., Pereira Santos, L., Lani, J. A., & Volpi, P. S. (2009). Resposta do cafeeiro conilon à adubação de NPK em sistema de plantio adensado. *Coffee Science*, 4(1), 67–75.
- Bustamante-González, C., Ferrás-Negrín, Y., Hernández-Forte, I., & Rivera-Espinosa, R. (2022). Beneficio del intercalamiento de canavalia inoculada con hongos micorrizicos y *Rhizobium* en *Coffea canephora*. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), Artículo 46288. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46288>
- Bustamante-González, C., Pérez Díaz, A., Rivera-Espinosa, R., Martín-Alonso, G. M., & Viñals Nuñez, R. (2015). Influencia de las precipitaciones en el rendimiento de *Coffea canephora* Pierre cultivado en suelos Pardos. *Cultivos Tropicales*, 36(4), 21–27. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1071>
- Bustamante-González, C., Viñals, R., Pérez, A., Rodríguez, M. I., Díaz, W., & Araño, L. (2010). *Fertilización mineral y uso de abono verde en Coffea canephora Pierre ex Froehner cultivado bajo poda sistemática en los macizos montañosos de la Sierra Maestra y Sagua Nipe Baracoa* [Informe Final Proyecto Nacional 07.03.087]. Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao.
- Carvajal, J. F. (1984). *Cafeto, cultivo y fertilización* (2ª ed.). Instituto Internacional de la Potasa.
- da Fonseca, A. S. (2018). *Mapeamento do estado nutricional, produtividade e qualidade de bebida do café conilon* [Tese doutorado, Universidade Federal do Espírito Santo]. Repositório da Universidade Federal do Espírito Santo. <https://repositorio.ufes.br/handle/10/7618>
- da Fonseca, A. S., de Souza Lima, J. S., & de Assis Silva, S. (2018a). Spatial variability of Balanced Indexes of Kenworthy (BIK) for macro and micronutrients on the *Coffea canephora*. *Journal of Experimental Agriculture International*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/41211>

- da Fonseca, A. S., de Souza Lima, J. S., & de Assis Silva, S. (2018b). Use of the Integrated Diagnosis and Recommendation System and Sufficiency Band for Nutritional Status of Conilon Coffee. *Journal of Experimental Agriculture International*, 22(2), 1–7. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/40559>
- da Silva, S. A., Creste, J. E., Tiritan, C. S., Guerra, W. E. X., & do Amaral Ecker, A. E. (2015). Nutritional Diagnosis by Dris method of the cultivars coffee in the northern region of Paraná, Brazil. *Coffee Science*, 10(2), 204–213.
- de Assis Silva, S., & de Sousa Lima, J. S. (2012). Multivariate analysis and geostatistics of the fertility of a humic rhodox hapludox under coffee cultivation. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 36, 467–474. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200016>
- de Melo Farnezi, M. M., de Barros Silva, E., & Gontijo Guimarães, P. T. (2009). Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): normas DRIS e faixas críticas de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 969–978. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400021>
- de Oliveira, R. B. (2007). *Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas café conilon para fins de agricultura de precisão* [Tese Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil]. Repositório da Universidade Federal do Espírito Santo. <https://repositorio.ufes.br/handle/10/4843>
- Dubberstein, D., Partelli, F. L., Machado Dias, J. L., & Curitiba Espindula, M. (2017). Influência da adubação no crescimento vegetativo de cafeeiros na amazônia sul ocidental. *Coffee Science*, 12(2), 197–206.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, update 2015: World soil resources* [Reports 106]. <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>
- Gomes, W. R., Rodrigues, W. P., Vieira, H. D., Oliveira, M. G., Dias, J. R. M., & Partelli, F. L. (2016). Genetic diversity of standard leaf nutrients in *Coffea canephora* genotypes during phenological phases. *Genetics and Molecular Research*, 15(4), Article 15048839. <https://doi.org/10.4238/gmr.15048839>
- Hernández, M. I., Arozarena, N. J., & Chailloux, M. (2009). Rango crítico de nitrógeno y potasio en hojas indicadoras para dos épocas de plantación en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Híbrido HA-3019. *Cultivos Tropicales*, 30(4), 79–86. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/780>
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (2nd ed., pp. 539–579). American Society of Agronomy, Inc., & Soil Science Society of America, Inc. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
- Oliosi, G., de Oliveira Rodrigues, J., Falqueto, A. R., Ribeiro Pires, F., Monte, J. A., & Partelli, F. L. (2017). Fluorescência transiente da clorofila a e crescimento vegetativo em cafeeiro conilon sob diferentes fontes nitrogenadas. *Coffee Science*, 12(2), 248–259.
- Partelli, F. L., Curitiba Espindula, M., Braida Marré, W., & Duarte Vieira, H. (2014). Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3), 214–222. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100021>
- Partelli, F. L., Duarte Vieira, H., Monnerat, P. H., & Pio Viana, A. (2006). Comparação de dois métodos DRIS para o diagnóstico de deficiência nutricionais do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(2), 301–306. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200015>

- Partelli, F. L., Ramos Gomes, W., Goes de Oliveira, M., Mechado Dias, J. R., & Curitiba Espindula, M. (2016). Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon na pré-florada e granação, no espírito santo. *Coffee Science*, *11*(4), 544–554.
- Pérez-Díaz, A., Bustamante González, C. A., Martín Alonso, G. M., Rivera Espinosa, R. A., Viñals Núñez, R., & Rodríguez Castro, M. I. (2011). Fertilización nitrogenada después de la poda del cafeto robusta en Cambisoles. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, *46*(8), 935–943. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000800021>
- Pérez-Díaz, A., Tauk Tornisielo, S. M., Bustamante González, C., Martín Alonso, G. M., Rivera Espinosa, R., Viñals Nuñez, R., & Alvarez Villar, V. (2015). Reciclaje de residuos cafetalero, descomposición y liberación del nitrógeno. *Holos Environment*, *15*(1), 49–62. <https://doi.org/10.14295/holos.v15i1.8994>
- Prezotti, L. C., & Bragança, S. M. (2013). Acúmulo de massa seca, N, P e K em diferentes materiais genéticos de café conilon. *Coffee Science*, *8*(3), 284–294.
- Rivera, R., Fernández, F., Sánchez, C., Fernández, K., & Joao, J. P. (2006). Nutrición y fertilización del *Coffea arabica* en Cuba. En R. Rivera & F. Soto (Eds), *El cultivo del cafeto en Cuba: Investigaciones y perspectivas* (Cap. 6, pp. 197–254). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. <https://doi.org/10.13140/2.1.2597.4569>
- Roberts, S., & Dow, A. I. (1982). Critical nutrient ranges for petiole phosphorous levels of sprinkler-irrigated Russet Burbank potatoes. *Agronomy Journal*, *74*(3), 583–585. <https://doi.org/10.2134/agronj1982.00021962007400030042x>
- Rosen, C. J., Kelling, K. A., Stark, J. C., & Porter, G. A. (2014). Optimizing phosphorus fertilizer management in potato production. *American Journal Potato Research*, *91*(2), 145–160. <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9371-2>
- S&P Global Commodity Insights. (2020, July 29). *World coffee production stays ample in 2019/2020*. <https://bit.ly/3JPtYms>
- Teixeira Chagas, W. F., Guelfi Silva, D. R., Reis Lacerda, J., Campos Pinto, L., Baldansi Andrade, A., & Faquin, V. (2019). Nitrogen fertilizers technologies for coffee plants. *Coffee Science*, *14*(1), 55–66. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1528>
- Teixeira do Amaral, J. F., Prieto Martinez, H. E., Galvêas Laviola, B., Fernandes Filho, E. I., & Damião Cruz, C. (2011). Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, *41*(4), 621–629. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000027>
- Uganda Coffee Development Authority. (2019). *Robusta coffee handbook. A sustainable coffee industry with high stakeholder value for social economic transformation*. <https://www.ugandacoffee.go.ug/sites/default/files/2022-03/Robusta%20Coffee%20Handbook.pdf>
- Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C., & Hernández, J. (2009). Impacto de cambio climático en la floración y el desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, *34*(5), 322–327. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/322-VILLERS-8.pdf>
- Viñals-Núñez, R., Bustamante-González, C. A., Pérez-Díaz, A., & Ramos-Hernández, R. (2015). Requerimientos de K por *Coffea canephora* Pierre durante el establecimiento y primer ciclo productivo del cultivo en suelos Pardos. *Café Cacao*, *14*(1), 22–28.