



Acumulación de nutrientes e índices de clorofila en *Coffea canephora* como respuesta a las dosis de nitrógeno

Nutrient Accumulation and Chlorophyll indices in *Coffea canephora* in response to nitrogen rates

 Camilo Busato¹,  Edvaldo Fialho dos Reis², Marcos Góes Oliveira^{3*},
 Giovanni de Oliveira Garcia²,  Cristiani Campos Martins Busato⁴,  Fábio Luiz Partelli³

¹Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo, Colatina, ES, Brasil. camilobusato@yahoo.com.br

²Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Agropecuário, Departamento de Engenharia Rural, Alegre, ES, Brasil. edreis@cca.ufes.br; giovanni.garcia@ufes.br

³Universidade Federal do Espírito Santo Universitário, Centro Norte do Espírito Santo, Departamento Ciências Agrárias e Biológicas, São Mateus, ES, Brasil. mgoesoliveira@hotmail.com; partelli@yahoo.com.br

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Colatina, ES, Brasil. cristiani.busato@ifes.edu.br

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios en la concentración y contenido de macro y micronutrientes en hojas de *Coffea canephora* en respuesta a diferentes dosis de nitrógeno. El experimento se realizó en Colatina-ES, Brasil, en cafetales conilon de la variedad clonal Emcapa 8111, genotipo 02. Se evaluaron seis dosis de nitrógeno (0, 110, 220, 440, 880 y 1320 kg N ha⁻¹) en evaluaciones periódicas de las características de crecimiento y rendimiento. Las concentraciones y contenidos de nutrientes se determinaron mediante análisis químicos de laboratorio. Los efectos de las dosis de N sobre los niveles acumulados de N, P, K, Ca y S, así como de Fe, Zn, Mn, Cu y B en las hojas de café dependieron del nutriente y del período evaluado. Las concentraciones de macronutrientes en las hojas de café fueron más altas en junio. Las mediciones indirectas del contenido de clorofila pueden ser una herramienta importante para diagnosticar el estado de N del café conilon. Para esta medición se recomienda la hoja de diagnóstico, debido al fácil acceso físico a ella en la planta, asegurando una medición de campo más rápida.

Palabras clave: fertilización, nutrientes minerales, riego.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate changes in the concentration and content of macro- and micronutrients in leaves of *Coffea canephora* in response to different nitrogen rates. The experiment was carried out in Colatina-ES, Brazil in conilon coffee plantations of the clonal variety Emcapa 8111, genotype 02. Six nitrogen rates (0, 110, 220, 440, 880 and 1320 kg N ha⁻¹) were evaluated in periodic assessments of growth and yield characteristics. The nutrient concentrations and contents were determined by chemical laboratory analyses. The effects of the N rates on the cumulative levels of N, P, K, Ca and S as well as Fe, Zn, Mn, Cu and B in the coffee leaves depended on the nutrient and the evaluated period. The macronutrient concentrations in the coffee leaves were highest in June. Indirect measurements of the chlorophyll content may be an important tool to diagnose the N status of conilon coffee. For this measurement, the diagnostic leaf is recommended, due to the easy physical access to it on the plant, ensuring a faster field measurement.

Keywords: fertilization, mineral nutrients, irrigation.

*Autor para correspondencia: mgoesoliveira@hotmail.com

Recibido: 12/05/2021

Aceptado: 14/02/2022

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: Todos los autores contribuyeron por igual a la concepción y redacción del manuscrito. Todos los autores revisaron críticamente el manuscrito y aprobaron la versión final.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

El café es una de las bebidas más apreciadas y consumidas del mundo. Aunque existen muchas especies del género *Coffea*, sólo dos se explotan comercialmente para el consumo: *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* (1). Varios países producen café y casi todas las naciones lo consumen, sin embargo, el 70 % de la oferta mundial se produce en sólo cuatro países: Brasil, Vietnam, Colombia e Indonesia (1). En este escenario, Brasil es el mayor productor mundial de café, donde se cultiva tanto arábica (*C. arabica*, ca. 65 %) como conilon/robusta (*Coffea canephora*, ca. 35 %) (2).

El nitrógeno (N) es un macronutriente que desempeña un papel importante en el crecimiento de las plantas y en el desarrollo metabólico, en procesos como la fotosíntesis, la distribución de nutrientes y la producción de biomasa (3,4). La deficiencia de nitrógeno puede disminuir marcadamente la actividad enzimática, el contenido de clorofila, la fotosíntesis, la tasa de respiración y el rendimiento de la planta (5) y promover cambios en la acumulación de otros nutrientes (6).

Para los cafetos, el nitrógeno es uno de los macronutrientes más universalmente necesitados (7,8). Esto hace que el balance entre un correcto manejo del N y una producción sostenible sea un gran reto, ya que tanto el exceso como la deficiencia de N son problemas comunes en la producción de café (9,10). La fertilización excesiva de N, por ejemplo, reduce el rendimiento económico, disminuye la calidad y cantidad del rendimiento y aumenta la contaminación.

Los otros macro y micronutrientes también son importantes para el crecimiento, desarrollo y rendimiento del café conilon, pero las concentraciones varían según las diferentes condiciones de cultivo (8,11), regiones (12), genotipos (13-15) etapas fenológicas (11,16) y estacionalidad (17).

Después del nitrógeno, el segundo nutriente más demandado y con mayores niveles acumulados en cafetos conilon es el potasio (K), el cual es exportado en grandes cantidades por los cafetos (7). El potasio está directamente relacionado con el rendimiento, principalmente por su papel en la síntesis de carbohidratos en las hojas y el transporte de carbohidratos a los frutos y otros órganos (18). Entre los micronutrientes con mayores niveles acumulativos se encuentran el hierro (Fe), seguido del manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn) y cobre (Cu) (7,19).

En varios estudios, se informó de una relación directa entre la variación de la concentración de N y el contenido de clorofila (20). Así, las mediciones de clorofila pueden ser una herramienta auxiliar para diagnosticar indirectamente las necesidades de fertilización con N.

Las relaciones entre la absorción y asimilación de macro y micronutrientes con los efectos de las cantidades de N implicadas en el crecimiento y desarrollo de las plantas son complejas. Se sabe que las concentraciones de nutrientes

y clorofila se ven directamente afectadas por las diferentes disponibilidades de N. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de las dosis de N sobre los macro y micronutrientes y los índices de clorofila de las plantas de café conilon.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El experimento se llevó a cabo en una finca de café en el distrito de Colatina, en el noroeste del estado de Espírito Santo, Brasil (19° 35' 47" S; 40° 25' 25" O; 83 m s.n.m.; temperaturas medias diarias máxima y mínima de 28,2 °C y 12,7 °C, respectivamente), de 2012 a 2014. El clima regional es tropical, clasificado como Aw por la clasificación climática de Köppen, con veranos cálidos y húmedos e inviernos secos (21) y la precipitación media anual es de 1100 mm. Durante el período experimental, el rango de humedad relativa en el área de estudio fue de 49,4 - 92,1 %, registrado con un registrador de datos (Log Tag, HAXO-8, China).

La zona experimental tenía una topografía plana y el suelo se clasificó como Latosolo Rojo-Amarillo distrófico (22). Las propiedades químicas del suelo de la capa 0 - 40 cm fueron analizadas antes del experimento (Tabla 1).

Diseño experimental

Los árboles de *Coffea canephora* de tres años de edad, variedad clonal Emcapa 8111, genotipo 02, se cultivaron a pleno sol, con un espaciamiento de 3,5 x 1,0 m, y se podaron y aclararon de forma convencional, hasta alcanzar 5-6 ramas planta⁻¹, es decir, hasta alcanzar una densidad de 13.333 ramas ha⁻¹. El manejo consistió en prácticas agronómicas comúnmente aplicadas de fertirrigación, deshierbe y control químico de insectos y patógenos. El manejo consistió en las prácticas agronómicas comúnmente aplicadas de fertirrigación, escarda y control químico de insectos y patógenos. El encalado y la fertilización con nutrientes distintos del N se aplicaron según las recomendaciones.

El experimento se organizó en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones en parcelas divididas, donde las parcelas consistieron en seis tasas de nitrógeno (N) (0, 110, 220, 440, 880 y 1320 kg N ha⁻¹ año⁻¹) y las subparcelas de cuatro períodos de evaluación (E1 - noviembre de 2012; E2 - diciembre de 2012; E3 - febrero de 2013; E4-junio de 2013). Cada parcela consistió en una hilera de 7 plantas, de las cuales se evaluaron las cinco centrales, pero no las dos de los bordes. El experimento comenzó en julio de 2012, cuando se aplicó el muestreo del suelo, el encalado, la fertilización con nutrientes distintos del N y los tratamientos, y finalizó en junio de 2014, después de la cosecha del café. De esta manera, las evaluaciones abarcaron la 1ª temporada de cultivo de 2012/2013 y la 2ª temporada de cultivo de 2013/2014.

Tabla 1. Propiedades químicas y granulométricas de las muestras de suelo recogidas antes del experimento, de las capas 0-20 y 20-40 cm

Propiedades químicas	Capas	
	0-20 cm	20-40 cm
pH en agua-1: 2.5	5.80	4.60
Materia orgánica (MO) (dag kg ⁻¹) ¹	1.70	1.10
P (mg dm ⁻³) ²	41.00	9.00
K (mg dm ⁻³) ²	64.00	36.00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ³	1.50	0.80
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ³	0.70	0.30
Acidez intercambiable (Al ³⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	0.00	1.10
Acidez potencial (H + Al) (cmol _c dm ⁻³) ⁴	2.90	4.20
Suma de bases (SB) (cmol _c dm ⁻³)	2.40	1.20
CEC efectiva (t) (cmol _c dm ⁻³)	2.40	2.30
CEC a pH 7.0 (T) (cmol _c dm ⁻³)	5.30	5.40
Saturación de bases (V) (%)	44.90	22.10
Propiedades granulométricas ⁵		
Arena gruesa (dag kg ⁻¹)	35	-
Arena fina (dag kg ⁻¹)	10	-
Limo (dag kg ⁻¹)	7	-
Arcilla (dag kg ⁻¹)	48	-
Propiedades físico-acuáticas		
Capacidad de carga (kg kg ⁻¹) ⁶	0.201	-
Punto de marchitamiento (kg kg ⁻¹) ⁷	0.126	-
Densidad del suelo (kg kg ⁻¹) ⁸	1.1	-

¹ OM=carbono o materia orgánica x 1.724–Walkley-Black; ² Extractor Mehlich-; ³ 1 mol L⁻¹ Extractor KCl; ⁴ 0.5 mol L⁻¹ Extractor acetato de calcio pH 7.0; ⁵ Método de la Pipeta[®] (Embrapa, 1997); ⁶ Potencial -10 kPa; ⁷ Potencial -1500 kPa; ⁸ Método del cilindro

Evaluaciones de la concentración y contenido foliar de nutrientes

Se recolectaron muestras foliares del 3^{er} o 4^{to} par de hojas, contadas a partir de las puntas de las ramas plagiotrópicas del tercio medio de los cafetos, identificadas como hoja de diagnóstico (DL) y hoja más vieja (OL) de la misma rama, a ambos lados de los árboles. Las muestras se introdujeron en bolsas de papel, se secaron hasta masa constante en estufa, con circulación forzada de aire a 70 °C, y se pesaron en balanza de precisión para determinar la masa seca. Posteriormente, las muestras se molieron en un molino de judías y se analizaron para determinar las concentraciones de macro (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn y B), según la metodología propuesta por (23).

El contenido total de nutrientes de la hoja se calculó como el producto de la concentración de nutrientes de la materia seca de la hoja (en g kg⁻¹) por la masa seca de la hoja de diagnóstico (en kg). Las hojas más viejas no se tuvieron en cuenta para los análisis.

Estimación de la concentración de clorofila

La concentración de clorofila se midió indirectamente con un medidor de clorofila portátil (ClorofiLOG CFL1030; FALKER, 2008). Las evaluaciones se realizaron en el campo en tiempo real, entre las 7 y las 9 de la mañana, en hojas aún adheridas a las plantas, con cuatro lecturas por

hoja. Se evaluaron las mediciones indirectas de clorofila *a*, clorofila *b* y clorofila total. Las evaluaciones se realizaron dos días después del riego o de la lluvia, para asegurar una concentración de turgencia estandarizada de las hojas.

Análisis estadístico

Los datos se procesaron mediante análisis de varianza, los datos cuantitativos significativos se sometieron a análisis de regresión y los modelos se eligieron en función de: la significación de los coeficientes de regresión (prueba *t* al 5 % de probabilidad); el coeficiente de determinación; y la lógica biológica. Se correlacionaron las variables.

RESULTADOS

La interacción entre las dosis de nitrógeno y los tiempos de evaluación fue significativa ($p \leq 0,05$) para las concentraciones y contenidos de macro y micronutrientes contenidos en la materia seca de la hoja de conilon de diagnóstico (Tablas 2 y 3).

Las tasas de nitrógeno influyeron positivamente en la concentración y contenido de N. En la primera cosecha, en febrero de 2013, los Niveles Críticos estimados de las concentraciones y contenidos de macro y micronutrientes para el café conilon resultaron en un rendimiento del 95 % de la productividad máxima del café conilon cuando se asociaron a una tasa de N de 420,7 kg N ha⁻¹. En la 2^a cosecha de los otros periodos (junio y octubre de 2013 y

Tabla 2. Ecuaciones ajustadas y coeficientes de determinación de los contenidos de macro y micronutrientes de la hoja de diagnóstico de un cafeto conilon, según la dosis de N aplicada, en cada período de evaluación

Nutriente	Periodo	Ecuaciones ajustadas	R ² /r ²
N	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 24,0249 + 0,0158372*N - 0,00000783704*N^2$	0,97
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 24,7884 + 0,0241999*N - 0,0000108996*N^2$	0,94
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 26,9985 + 0,0243265*N - 0,0000133965*N^2$	0,76
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 24,218 + 0,0177224*N - 0,00000828908*N^2$	0,97
P	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,3429$	-
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,4308$	-
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 1,53244 - 0,000110994N$	0,91
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 1,55632 + 0,000286741N - 0,000000307506N^2$	0,71
K	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 9,39579 + 0,00212856N - 0,00000129889N^2$	0,84
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 8,58356 + 0,00217435N - 0,0000007684N^2$	0,98
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 13,5958$	-
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 11,9923 - 0,00158737N + 0,000000551408N^2$	0,99
Ca	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 30,3144 - 0,00461332N$	0,78
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 22,721 + 0,00342559N - 0,0000017233N^2$	0,93
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 18,1636 + 0,00160476N$	0,94
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 2,05438 + 0,00350517N - 0,00000158901N^2$	0,96
Mg	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 5,9250$	-
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 4,6142$	-
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,5917$	-
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 4,4629$	-
S	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 2,89078 - 0,000544503N$	0,76
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,8596$	-
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,9300$	-
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 2,51551 - 0,000383616N + 0,000000302709N^2$	0,74
Fe	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 81,5275 + 0,0243552N$	0,83
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 89,7419 + 0,0399154N$	0,92
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 95,4434 + 0,0246934N$	0,97
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 82,8821 - 0,0647851N + 0,0000338768N^2$	0,86
Zn	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 10,9887 + 0,00249673N - 0,00000129839N^2$	0,98
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 6,93372 + 0,00164905N$	0,69
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 6,79272 + 0,00492761N - 0,00000221636N^2$	0,94
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 11,0623 + 0,00111418N - 0,000000607361N^2$	0,90
Cu	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 8,70736 + 0,00184989N$	0,72
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 11,7812 - 0,00942239N + 0,00000461842N^2$	0,96
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 10,4291 - 0,000866808N$	0,97
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 8,2083$	-
Mn	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 59,0562 + 0,0277484N$	0,81
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 85,1703 + 0,0730749N - 0,0000262746N^2$	0,96
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 52,8204 + 0,0797114N - 0,0000311867N^2$	0,99
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 52,5986 + 0,0790351N - 0,00003341N^2$	0,97
B	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 91,5678 - 0,00914376N$	0,86
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 91,0826 - 0,0269345N$	0,83
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 67,8333$	-
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 101,9167$	-

febrero de 2014), estos niveles resultaron en el mismo porcentaje de rendimiento cuando se asociaron con la aplicación de 543,1 kg N ha⁻¹ (Figura 1A; Tablas 2 y 3). Las concentraciones de N variaron entre 30,7 g kg⁻¹ y 35,9 g kg⁻¹ en febrero (verano) y junio de 2013 (invierno), respectivamente, seguidas de descensos en febrero de 2014, en comparación con octubre de 2013 (Tabla 4).

También, hubo un efecto positivo en la concentración y el contenido de fósforo y potasio, ya que las tasas crecientes

de N elevaron estos índices en febrero de 2013 y 2014. Hubo una reducción de las concentraciones de P y K en octubre de 2013 y febrero de 2014, bajo tasas crecientes de N. En los demás periodos, no se observó ningún efecto de las tasas de N sobre la concentración y el contenido de P en la hoja de diagnóstico (Tablas 2 y 3).

Los efectos de la tasa de N sobre la concentración y contenido de Ca, Mg y S en cafetos dependieron del nutriente evaluado y del periodo (Tablas 2 y 3). El magnesio

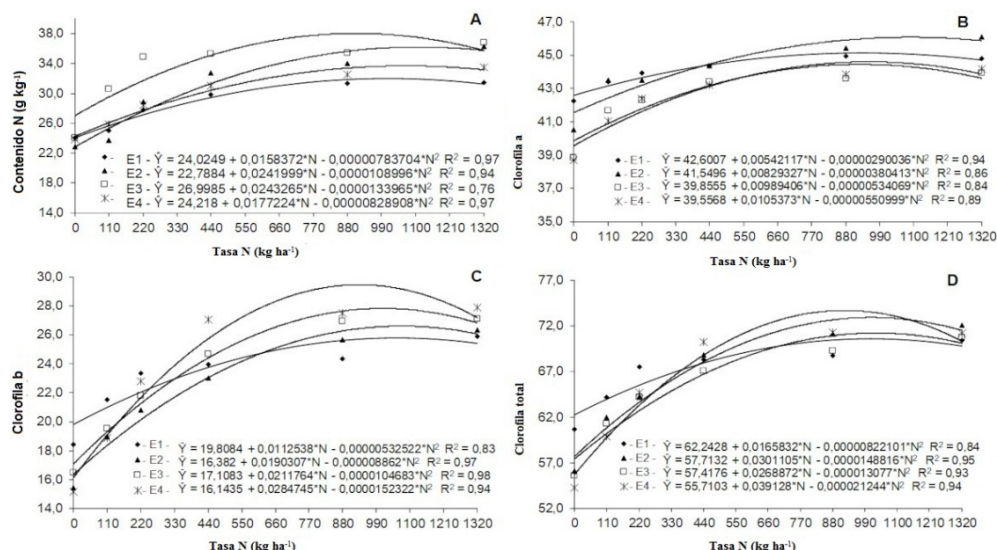
Tabla 3. Ecuaciones ajustadas y coeficientes de determinación de los contenidos de macro y micronutrientes de la hoja de diagnóstico de un cafeto conilon, según la dosis de N aplicada, en cada período de evaluación

Nutriente	Periodo	Ecuaciones ajustadas	R ² /r ²
N	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 0.0212127 + 0.0000222322N - 0.0000000102547N^2$	0.98
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.0244509 + 0.0000352892N - 0.000000015838N^2$	0.96
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 0.0324641 + 0.0000370041N - 0.0000000205528N^2$	0.75
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 0.02496 + 0.0000391369N - 0.0000000183058N^2$	0.98
P	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 0.00122571 + 0.00000014159N$	0.83
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0017$	-
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0018$	-
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 0.0016101 + 0.00000143459N - 0.000000000934123N^2$	0.87
K	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 0.00832068 + 0.00000463286N - 0.00000000232778N^2$	0.97
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.0092498 + 0.00000503294N - 0.00000000207551N^2$	0.98
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0170$	-
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 0.0125048 + 0.00000574836N - 0.00000000316915N^2$	0.92
Ca	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0270$	-
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.0244892 + 0.0000105321N - 0.00000000515495N^2$	0.96
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 0.0215291 + 0.00000796001N - 0.00000000375198N^2$	0.91
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 0.0213259 + 0.0000181354N - 0.00000000870365N^2$	0.97
Mg	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 0.00496761 + 0.00000237496N - 0.000000000951751N^2$	0.96
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.00494049 + 0.00000230831N - 0.00000000113203N^2$	0.96
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 0.00424912 + 0.000000915804N$	0.88
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 0.00456647 + 0.00000318946N - 0.00000000152246N^2$	0.98
S	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0025$	-
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.00207763 + 0.000000138545N$	0.75
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 0.00243616 - 0.00000023792N + 0.00000000020267N^2$	0.81
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 0.00261839 + 0.00000115689N - 0.000000000424804N^2$	0.98
Fe	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 0.0738356 + 0.0000351365N$	0.88
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.098415 + 0.000058237N$	0.96
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 0.112097 + 0.0000691429N - 0.0000000245548N^2$	0.99
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0794$	-
Zn	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 0.00970812 + 0.00000558445N - 0.00000000259421N^2$	0.98
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.00766165 + 0.00000268206N$	0.77
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 0.00813159 + 0.00000793309N - 0.00000000379969N^2$	0.93
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 0.0115029 + 0.00000868292N - 0.00000000432721N^2$	0.97
Cu	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0075$	-
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.0127613 - 0.00000792476N + 0.00000000380412N^2$	0.95
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0125$	-
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0099$	-
Mn	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = 0.0534517 + 0.0000359153N$	0.87
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.0910996 + 0.000113022N - 0.0000000431636N^2$	0.97
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 0.0630539 + 0.000114762N - 0.0000000475014N^2$	0.99
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = 0.0532892 + 0.000139376N - 0.0000000597158N^2$	0.99
B	E1 (02/2013)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.0839$	-
	E2 (06/2013)	$\hat{Y} = 0.100618 - 0.0000231475N$	0.84
	E3 (10/2013)	$\hat{Y} = 0.0870766 - 0.0000110444N + 0.00000000655806N^2$	
	E4 (02/2014)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0.1239$	-

fue constante en todos los periodos, sin efecto de las tasas crecientes de N sobre la concentración de Mg (Tabla 3). Las concentraciones y contenidos medios de Mg indicaron una respuesta similar a la encontrada para el Ca (Tabla 4). En febrero de 2013, independientemente de la tasa de N, el valor medio de Mg fue de 5,92 g kg⁻¹.

En general, el incremento de N redujo las concentraciones foliares y los contenidos de azufre (Tablas 2 y 3). Por otro lado, los efectos de la dosis de N

sobre la concentración y contenido de Fe, Zn, Mn, Cu y B en los cafetos dependieron del micronutriente y del periodo evaluado (Tablas 2 y 3). Las concentraciones de hierro fueron más altas en junio y octubre de 2013 (109,50 y 107,67 mg kg⁻¹, respectivamente), con concentraciones inversamente menores en enero de 2014 (66,46 mg kg⁻¹). Las concentraciones foliares de Mn fueron más altas en junio de 2013 (109,21 mg kg⁻¹), a diferencia del Zn, para el que las concentraciones foliares fueron más bajas en junio



E1: febrero de 2013; E2: junio de 2013; E3: octubre de 2013 y E4: febrero de 2014

Figura 1. Contenido estimado de nitrógeno (A), clorofila a (B), clorofila b (C) y clorofila total (D) de la hoja de diagnóstico de un café conilon, en respuesta a dosis de N (kg ha^{-1}), en diferentes periodos de evaluación

del mismo año ($7,75 \text{ mg kg}^{-1}$). El manganeso alcanzó las concentraciones más altas en junio ($109,21 \text{ mg kg}^{-1}$) y el B en febrero de 2014 ($101,92 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabla 4).

Hubo un efecto significativo de las tasas de nitrógeno sobre las concentraciones de clorofila a, clorofila b y clorofila total en la hoja de café, en todos los periodos de evaluación (Figura 1B, C y D; Tabla 5). Los Niveles Críticos estimados de estas variables para los periodos de diciembre de 2012 (E1) y febrero de 2013 (E2) se asociaron a la tasa de N que indujo una producción del 95 % del rendimiento máximo de café conilon ($420,7 \text{ kg N ha}^{-1}$) en la 1ª cosecha, mientras que estos niveles resultaron en el mismo porcentaje de rendimiento cuando se asociaron a la aplicación de $543,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ para la 2ª cosecha de junio de 2013 (E3) y febrero de 2014 (E4), (Tabla 6).

Las dosis de N indujeron un aumento significativo de las concentraciones de clorofila a, b y total, tanto en las hojas de diagnóstico como en las más viejas. Independientemente de la hoja analizada, el aumento de la clorofila b fue superior al de la clorofila a, especialmente en las últimas evaluaciones (Tabla 6).

DISCUSIÓN

Las concentraciones de nitrógeno variaron entre febrero (verano) y junio de 2013 (invierno) pero, independientemente del periodo, estuvieron por encima de los valores de N encontrados en estudios que propusieron el establecimiento de nuevos patrones foliares para café conilon en cultivos con rendimiento promedio superior a $100 \text{ sacos ha}^{-1}$ (11,13,16). Este hecho se relacionó con la mayor demanda de N con el crecimiento del fruto, y las

Tabla 4. Medias de los contenidos de macro y micronutrientes de la hoja de diagnóstico de un café conilon, en cada periodo de evaluación

Nutriente	Periodo de evaluación			
	E1 (02/2013)	E2 (06/2013)	E3 (10/2013)	E4 (02/2014)
Macronutrientes	g kg^{-1}			
Nitrógeno	30.69	35.93	40.20	33.84
Fósforo	1.34	1.43	1.47	1.55
Potasio	9.85	9.30	13.59	11.46
Calcio	28.03	23.62	18.95	21.54
Magnesio	5.92	4.61	3.59	4.46
Azufre	2.62	1.86	1.93	2.46
Micronutrientes	mg kg^{-1}			
Hierro	93.58	109.50	107.67	66.46
Zinc	11.62	7.75	8.21	11.33
Cobre	7.79	9.25	10.00	8.21
Manganeso	72.79	109.21	77.87	76.29
Boro	87.04	77.75	67.83	101.92

Tabla 5. Ecuaciones ajustadas y coeficientes de determinación de la clorofila a, b o total de la hoja vieja de un cafeto conilon, según la dosis de N aplicada, en cada periodo de evaluación

Periodo de evaluación	Ecuaciones ajustadas	R ²
	Clorofila a	
E1 (Diciembre/2012)	$\hat{Y} = 41.8647 + 0.00296553N - 0.00000103622N^2$	0.84
E2 (Febrero/2013)	$\hat{Y} = 40.5182 + 0.0100976N - 0.00000503183N^2$	0.94
E3 (Junio/2013)	$\hat{Y} = 39.4604 + 0.0101218N - 0.0000054157N^2$	0.87
	Clorofila b	
E1 (Diciembre /2012)	$\hat{Y} = 19.0713 + 0.00943109N - 0.00000465222N^2$	0.92
E2 (Febrero /2013)	$\hat{Y} = 16.0898 + 0.0161776N - 0.0000070561N^2$	0.95
E3 (Junio /2013)	$\hat{Y} = 17.9658 + 0.0179274N - 0.00000894919N^2$	0.92
	Clorofila Total	
E1 (Diciembre /2012)	$\hat{Y} = 59.0668 + 0.0183556N - 0.00000995696N^2$	0.98
E2 (Febrero /2013)	$\hat{Y} = 56.541 + 0.0265501N - 0.0000127586N^2$	0.95
E3 (Junio /2013)	$\hat{Y} = 57.3799 + 0.0284133N - 0.0000147979N^2$	0.92

Tabla 6. Estimaciones de las concentraciones críticas (CL) asociadas a la tasa de N que alcanzó el 95 % del rendimiento máximo de café para la clorofila a, b o total de la hoja de diagnóstico y la hoja vieja, en cada período de evaluación

Periodo de evaluación	Características					
	Hoja de diagnóstico			Old leaf		
	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
E1 (Diciembre /2012)	44.88	24.54	69.22	43.11	23.04	66.79
E2 (Febrero /2013)	45.04	24.39	70.38	44.77	22.90	67.71
E3 (Junio/2013)	45.23	28.61	72.02	44.96	27.70	72.81
E4 (Febrero /2014)	45.28	31.61	76.96	-	-	-

diferencias detectadas confirmaron que la concentración de N del café conilon depende de las condiciones de crecimiento (11), región (12), ciclo reproductivo (24), genotipos (13-15,25), estado fenológico (7,9,16) y de la estacionalidad (17).

El periodo de mayor demanda de N comienza en la fase de floración y se intensifica durante el llenado de grano, cuando el crecimiento vegetativo también es elevado (7-9). Las menores concentraciones de N en hojas recogidas en febrero de 2014 que en octubre de 2013 (Tabla 4) pueden explicarse por la mayor movilización de N y asimilados hacia los frutos, en lugar de hacia las hojas (26). Además, en este periodo se produjeron fuertes precipitaciones en la región, lo que también contribuyó a la lixiviación de N al suelo. El nitrógeno es un elemento que se pierde fácilmente en el sistema suelo-planta por lixiviación, volatilización y desnitrificación, lo que dificulta una adecuada gestión de la fertilización con N (27).

Independientemente de las dosis de N, el contenido de P estuvo dentro del rango de suficiencia determinado para la región (11,13), a pesar de las reducciones en las concentraciones de P y K en octubre de 2013 y febrero de 2014 en respuesta al aumento de las dosis de N. Sin embargo, considerando la alta movilidad del P en la planta, la fuerza de hundimiento del fruto es uno de los principales factores que pueden influir en la concentración de P en las hojas de café; en este estudio, el incremento en el rendimiento de café conilon en respuesta al aumento de las dosis de N resultó en menores concentraciones y contenido de P en la hoja de diagnóstico. En otras palabras, cuanto

mayor es la carga de frutos en respuesta a mayores tasas de N, mayor es la fuerza de sumidero de los frutos y la partición de nutrientes, independientemente de las mayores concentraciones de N en el suelo.

Por otro lado, las concentraciones de K (Tabla 4) se situaron por debajo o en el límite inferior de los rangos de suficiencia propuestos por (13), excepto en el muestreo realizado en octubre de 2013, en el que el valor medio (13,59 g kg⁻¹) se situó dentro del rango propuesto para el muestreo de invierno y alcanzó los 11,46 g kg⁻¹ en febrero de 2014. Al igual que se ha mencionado para el nitrógeno, el potasio puede perderse por lixiviación, debido a las elevadas precipitaciones, y a una menor adsorción a las partículas del suelo. La disponibilidad de potasio está determinada por las condiciones de humedad del suelo, donde la lixiviación se produce en respuesta al contenido de K en la solución del suelo y la cantidad de agua que se filtra a través del perfil, lo que puede haber contribuido a la menor disponibilidad de K cerca de la zona de absorción del cultivo y, en consecuencia, en las hojas.

La menor absorción de K en este estudio puede explicarse por la aparición de competencia con otros macronutrientes (Ca y Mg), por inhibición competitiva (10). Este aumento en la absorción de Ca y Mg podría explicar la menor absorción de K por los cafetos, observada en este estudio, debido al antagonismo entre estos elementos.

Los efectos de la tasa de N sobre la concentración y contenido de Ca, Mg y S en los cafetos dependieron del nutriente y del período evaluado (Tablas 2 y 3) (28), sugiriendo un efecto sinérgico de mayores tasas de N

sobre la absorción de nutrientes, en particular de Ca (6). Mayores concentraciones de Ca en diferentes periodos también fueron observadas por (13,16) y al igual que en este estudio, indicaron que una mayor acumulación de Ca en las hojas de las plantas de café confirma la característica baja movilidad de este nutriente en la planta, el cual no es eficientemente reubicado desde las hojas hacia los frutos (26).

Las tasas de N no modificaron el contenido del macronutriente Mg, sino que se mantuvieron constantes en todo momento (Tabla 3). Altas concentraciones de Ca pueden inhibir la absorción de Mg, disminuir su translocación de raíz a brote y, por lo tanto, causar deficiencia de Ca. La razón es que el Ca y el Mg compiten por los mismos sitios de absorción en la raíz, causando una absorción preferencial del catión con mayor concentración en la solución del suelo, a expensas de los otros.

Cuando el calcio y el potasio se aplican al suelo, compiten eficazmente con el Mg, dando lugar a una deficiencia inducida. La deficiencia de magnesio inducida por cationes competitivos es un fenómeno relativamente frecuente. La mayor cantidad de P en el tejido es también un indicador de que el Mg actúa como transportador de fósforo. Las tasas crecientes de N en este estudio fueron favorables a la acumulación de nutrientes para aumentar la producción de biomasa y estimular el crecimiento vegetativo y radicular, lo que resultó en una mayor absorción de Mg. Además, la literatura sugiere un efecto sinérgico de mayores tasas de N sobre la absorción de Mg (6).

A pesar de las reducciones en la concentración y contenido de S en hoja en respuesta al incremento de las dosis de N, las concentraciones de S estuvieron dentro o por encima de los rangos considerados apropiados para la región (13) (Tablas 6). En otros cultivos, la reducción en las concentraciones tisulares de este macronutriente es común, debido a la menor captación de sulfato bajo mayores concentraciones de nitrato y fosfato, debido a la competencia por los mismos mecanismos de captación en la membrana plasmática. El resultado combinado de estos factores es una disminución de las concentraciones de S en la planta, a medida que aumentan las tasas de N y P en el suelo y sus concentraciones en los tejidos foliares, principalmente, bajo la influencia de la fuerza de sumidero del fruto y la mayor distribución de nutrientes. Además, la reducción del contenido de S en las hojas puede deberse a la lixiviación más allá de las puntas de las raíces.

Se produjo un aumento en la concentración y contenido de Fe, Zn, Mn y una reducción en Cu y B bajo tasas crecientes de N, con fluctuaciones en relación con los periodos de evaluación. Sin embargo, a pesar de estas respuestas, todos los micronutrientes estuvieron dentro del rango apropiado propuesto para la región (13).

Los cambios registrados en este estudio resultan de un período fisiológico peculiar del café, caracterizado por una intensa división celular y altas tasas respiratorias, cuando los micronutrientes se concentran más debido a la menor biomasa de frutos altos (7,19,29). Las concentraciones y

contenidos foliares también variaron durante el período de evaluación (Tabla 6). Las concentraciones de Fe, Cu y Mn alcanzaron niveles mínimos en el periodo fisiológico que precede a la fase de maduración del fruto (19).

El incremento en la concentración y el contenido de Fe bajo tasas crecientes de N, en este estudio, puede atribuirse a las mayores concentraciones de Ca que favorecen la absorción de micronutrientes, entre ellos el Fe, y al mayor crecimiento de la planta inducido por el N, intensificando también una mayor absorción de Fe. Además, Fe y Mn se correlacionaron positivamente, indicando que la acumulación de uno favorece la acumulación del otro por la planta, es decir, tienen una interacción sinérgica.

La relación directamente proporcional entre el Zn y el aumento de las tasas de N también puede estar relacionada con el aumento del contenido de Ca, ya que la relevancia para la estabilidad funcional de la membrana del Ca conduce a un aumento de los contenidos de micronutrientes, entre ellos el Zn. Además, el periodo de mayor demanda de Zn para el café conilon coincide con el periodo de mayor crecimiento vegetativo (7,30). Este solapamiento puede llevar a una competencia por nutrientes entre la reproducción y el crecimiento vegetativo en otras partes de la planta (24).

El aumento de las concentraciones de Mn en respuesta al incremento de las tasas de N mostró una correlación positiva entre Fe y Mn, indicando que la acumulación de uno favorece la acumulación del otro por la planta, es decir, reflejan una interacción sinérgica. Los iones de manganeso, junto con el Fe, son responsables de la activación de una serie de enzimas en las células vegetales, así como de los procesos fotosintéticos y de la hidrólisis (31).

La reducción de las concentraciones de B en la hoja de diagnóstico bajo tasas crecientes de N, en este estudio, puede estar relacionada con el aumento del rendimiento, con una mayor producción de flores y frutos, asignando una mayor cantidad de B a estos órganos. No obstante, e independientemente de la tasa de N, las concentraciones de B en el muestreo de febrero de 2014 fueron superiores a las de octubre de 2013 (Tabla 4), probablemente debido a la baja movilidad del B. La demanda de este nutriente es especialmente elevada en la fase de prefloración, lo que explica las respuestas a la aplicación de B en esta fase. Según (7,32), en la fase de crecimiento inicial del fruto ("chumbinho"), la proporción de acumulación de B en los frutos fue mayor que la de otros micronutrientes. Esto se relaciona con la alta relevancia de este nutriente en los procesos de división celular y estabilización de la membrana de las células recién formadas.

Las tasas de N influyeron en las concentraciones de clorofila *a*, *b* y total, tanto en el diagnóstico como en las hojas más viejas. Estos datos son relevantes para mostrar una relación directa con la fertilización N y confirmar el uso de un medidor de clorofila como una importante herramienta auxiliar para detectar posibles cambios en los niveles de N. Además, de esta manera, los datos del

diagnóstico nutricional de nitrógeno en *C. canephora* pueden ser registrados rápida y eficazmente (18, 20).

El uso de la hoja de diagnóstico para medidas indirectas del contenido de clorofila es más apropiado que el de la hoja más vieja, ya que la primera se considera fisiológicamente más activa. Además, el acceso físico a la hoja de diagnóstico en la planta es más fácil, lo que agiliza las mediciones de campo, mientras que las hojas más viejas tienen más probabilidades de haber sido afectadas por estrés biótico o abiótico.

En este estudio, los sitios de evaluación en la planta influyeron en las lecturas de clorofila en respuesta a las diferentes tasas de N. Las hojas más jóvenes (hoja de diagnóstico) tienen una mayor capacidad de síntesis de clorofila (31) y, por tanto, una mayor intensidad "verde", con los consiguientes valores más altos de lecturas indirectas (Tabla 6).

La concentración de nitrógeno aumentó gradualmente después de junio, alcanzando valores máximos en el periodo de octubre, seguido de un descenso en febrero (Figura 1A, Tabla 2). Resultados similares fueron encontrados por (17) para conilon y por (33) para café arábica. En ambos estudios, la concentración foliar de N disminuyó con la edad de la planta muestreada. Esta variación en la concentración de N puede ser explicada por mecanismos relacionados con la absorción, acumulación y distribución del N en la planta, así como con el desarrollo de la planta. En este contexto, se requiere una estandarización de la hoja a utilizar en el análisis diagnóstico, ya que el índice de clorofila mide indirectamente el contenido de clorofila en la planta, determinando el estado nutricional de nitrógeno en una etapa específica del ciclo del cultivo.

Por lo tanto, el uso de índices de N como medida indirecta del contenido de clorofila, que es sensible a las aplicaciones de N, fácilmente determinable y no destructivo, también puede ser utilizado como índice indirecto para el diagnóstico del estado nutricional de nitrógeno en café conilon.

CONCLUSIONES

- Las dosis de N influyeron en las concentraciones acumuladas de N, P, K, Ca y S, así como de Fe, Zn, Mn, Cu y B en la hoja del café y dependieron del nutriente y de la época evaluada. Las concentraciones de macronutrientes en las hojas del café fueron más altas en el periodo de evaluación de junio.
- El uso de mediciones indirectas del contenido de clorofila puede ser una herramienta importante para diagnosticar el estado del nitrógeno en el café conilon, y se recomienda la medición de la hoja de diagnóstico, debido al fácil acceso físico a ella en la planta, asegurando una medición de campo más rápida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) y

del Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Los autores agradecen a la empresa Caliman Agrícola S/A por permitir este estudio en su finca.

BIBLIOGRAFÍA

1. International Coffee Organization (ICO) *Trade Statistics* [en línea], junio de 2020, Disponible en: <http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics>.
2. *Conab - Safras* [en línea], 29 de junio de 2020, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>.
3. Liu, M. ; Adl, S. ; Cui, X. ; Tian, Y. ; Xu, X. y Kuzyakov, Y. "In situ methods of plant-microbial interactions for nitrogen in rhizosphere", *Rhizosphere*, vol. 13, 1 de marzo de 2020, p. 100186, ISSN 2452-2198, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452219819301545>>.
4. Yang, Y. ; Xiong, J. ; Tao, L. ; Cao, Z. ; Tang, W. ; Zhang, J. ; Yu, X. ; Fu, G. ; Zhang, X. y Lu, Y. "Regulatory mechanisms of nitrogen (N) on cadmium (Cd) uptake and accumulation in plants: A review", *Science of The Total Environment*, vol. 708, 15 de marzo de 2020, p. 135186, ISSN 0048-9697, DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.135186, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719351782>>.
5. Luo, B.F. ; Du, S.T. ; Lu, K.X. ; Liu, W.J. ; Lin, X.Y. y Jin, C.W. "Iron uptake system mediates nitrate-facilitated cadmium accumulation in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants", *Journal of Experimental Botany*, vol. 63, no. 8, 1 de mayo de 2012, pp. 3127-3136, ISSN 0022-0957, DOI 10.1093/jxb/ers036, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <<https://doi.org/10.1093/jxb/ers036>>.
6. *SciELO - Brazil - Effect of N and K doses in nutritive solution on growth, production and coffee bean size Effect of N and K doses in nutritive solution on growth, production and coffee bean size* [en línea], 18 de julio de 2023, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/ZvmkLLGBvd6DGMSzMH6m9Lr/?lang=en>>.
7. COVRE, A. M.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R.; BRAUN; y RONCHI, C.P. "SciELO - Brazil - Vegetative growth of Conilon coffee plants under two water conditions in the Atlantic region of Bahia State, Brazil Vegetative growth of Conilon coffee plants under two water conditions in the Atlantic region of Bahia State, Brazil", 2016, (ser. Agronomy), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <<https://www.scielo.br/j/asagr/a/VLn8fT6yGtTqYHdzfLZ5BXy/abstract/?lang=en>>.
8. Covre, A.M. ; Rodrigues, W.P. ; Vieira, H.D. ; Braun, H. ; Ramalho, J. y Partelli, F.L. "NUTRIENT ACCUMULATION IN BEAN AND FRUIT FROM IRRIGATED AND NON-IRRIGATED COFFEA CANEPHORA CV. CONILON", *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2016, pp. 402-409, ISSN 2079-0538, DOI 10.9755/ejfa.2016-04-341, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <<https://www.ejfa.me/index.php/journal/article/view/1066>>.

9. Putra, B.T.W. ; Soni, P. ; Morimoto, E. y Pujiyanto, P. "Estimating biophysical properties of coffee (*Coffea canephora*) plants with above-canopy field measurements, using CropSpec®", *International Agrophysics*, vol. 32, 1 de abril de 2018, pp. 183-191, ISSN 0236-8722, DOI [10.1515/intag-2017-0009](https://doi.org/10.1515/intag-2017-0009), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018InAgr..32..183P>, [ADS Bibcode: 2018InAgr..32..183P].
10. Martinez, H.E.P. ; de Souza, B.P. ; Caixeta, E.T. ; de Carvalho, F.P. y Clemente, J.M. "Water deficit changes nitrate uptake and expression of some nitrogen related genes in coffee-plants (*Coffea arabica* L.)", *Scientia Horticulturae*, vol. 267, 1 de junio de 2020, p. 109254, ISSN 0304-4238, DOI [10.1016/j.scienta.2020.109254](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109254), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423820300820>.
11. PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D.; DETMANN, E.; y CAMPOSTRINI, E. "Estimative of leaf foliar area of *Coffea canephora* based on leaf length", vol. 53, 2006, pp. 204-210.
12. Wadt, P. y Dias, J. "Regional and inter-regional DRIS norms for nutritional evaluation of Conilon coffee", *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 47, 1 de junio de 2012, pp. 822-830, DOI [10.1590/S0100-204X2012000600013](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600013).
13. Gomes, W.R. ; Rodrigues, W.P. ; Vieira, H.D. ; Oliveira, M.G. ; Dias, J.R.M. y Partelli, F.L. "Genetic diversity of standard leaf nutrients in *Coffea canephora* genotypes during phenological phases", *Genetics and molecular research: GMR*, vol. 15, no. 4, 6 de octubre de 2016, ISSN 1676-5680, DOI [10.4238/gmr.15048839](https://doi.org/10.4238/gmr.15048839).
14. Giles, J. ; Rodrigues, W. ; Oliosi, G. ; Partelli, F. ; Duarte, H. y Santos, V. "Genetic diversity as tool to identify standard leaf nutrients in cassava genotypes", *Genetics and Molecular Research*, vol. 17, 1 de enero de 2018, DOI [10.4238/gmr16039862](https://doi.org/10.4238/gmr16039862).
15. Martins, M.Q. ; Partelli, F.L. ; Ferreira, A. ; Bernardes, C. de O. ; Golynski, A. ; Vieira, H.D. ; Freitas, M.S.M. y Ramalho, J.C. "GENETIC VARIABILITY ON NUTRIENT CONTENTS IN *Coffea canephora* GENOTYPES CULTIVATED AT 850 METERS OF ALTITUDE IN TWO CROP SEASONS", *Functional Plant Breeding Journal*, vol. 1, no. 1, 2019, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <http://www.fpbjournal.com/fpbj/index.php/fpbj/article/view/40>.
16. Partelli, F.L. ; Oliveira, M.G. ; Covre, A.M. ; Vieira, H.D. ; Machado Dias, J.R. y Braun, H. "Nutritional standards and nutritional diagnosis of the Conilon coffee plants in phenological growth stages", *Journal of Plant Nutrition*, vol. 41, no. 19, 26 de noviembre de 2018, pp. 2536-2546, ISSN 0190-4167, DOI [10.1080/01904167.2018.1510513](https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1510513), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1510513>.
17. Oliosi, G. ; Partelli, F.L. ; da Silva, C.A. ; Dubberstein, D. ; Gontijo, I. y Tomaz, M.A. "Seasonal variation in leaf nutrient concentration of conilon coffee genotypes", *Journal of Plant Nutrition*, vol. 44, no. 1, 2 de enero de 2021, pp. 74-85, ISSN 0190-4167, DOI [10.1080/01904167.2020.1792492](https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1792492), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1792492>.
18. REIS, P.R. y CUNHA, R.L. "Nutrição e adubação do cafeeiro. Café arábica: do plantio à colheita.", 2010, pp. 348-388, Disponible en: <https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00051160.pdf>.
19. DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; y DIAS, J. R. M. "SciELO - Brazil - Concentration and accumulation of micronutrients in robust coffee", vol. 41, 2019, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://www.scielo.br/j/asagra/yVF3MShVNcYmCw9cfhQN8wc/?lang=en>.
20. Busato, C. ; Fontes, P.C.R. ; Braun, H. y Cecon, P.R. "Seasonal Variation and Threshold Values for Chlorophyll Meter Readings on Leaves of Potato Cultivars", *Journal of Plant Nutrition*, vol. 33, no. 14, 21 de octubre de 2010, pp. 2148-2156, ISSN 0190-4167, DOI [10.1080/01904167.2010.519087](https://doi.org/10.1080/01904167.2010.519087), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01904167.2010.519087>.
21. Alvares, C.A. ; Stape, J.L. ; Sentelhas, P.C. ; de Moraes Gonçalves, J.L. y Sparovek, G. "Köppen's climate classification map for Brazil", *Meteorologische Zeitschrift*, 1 de diciembre de 2013, pp. 711-728, ISSN , DOI [10.1177/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1177/0941-2948/2013/0507), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil.
22. SANTOS, H.G; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L. H .C.; OLIVEIRA, V. A; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A; ARAUJO FILHO, J. C; OLIVEIRA, J. B.; y CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. - Portal Embrapa* [en línea], 5.ª ed., Brasília, Embrapa, 2018, ISBN 978-85-7035-800-4, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>.
23. Silva, F. "Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes", *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*, 1 de enero de 2009.
24. Marré, W. ; Partelli, F. ; Espindula, M. ; Dias, J. ; Gontijo, I. y Duarte, H. "Micronutrient Accumulation in Conilon Coffee Berries with Different Maturation Cycles", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 39, 1 de octubre de 2015, pp. 1456-1462, DOI [10.1590/01000683rbcS20140649](https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20140649).
25. D. Dubberstein; F.L. Partelli; J.H.S. Guilhen; W.P. Rodrigues; J.C. Ramalho; y A.I. Ribeiro-Barros *Biometric traits as a tool for the identification and breeding of *Coffea canephora* genotypes* [en línea], *GMR | Genetics and Molecular Research | The Original by FUNPEC-RP*, 30 de mayo de 2020, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://www.geneticsmr.com/articles/biometric-traits-tool-identification-and-breeding-coffee-canephora-genotypes>.

26. Covre, A. ; Partelli, F. ; Bonomo, R. ; Tomaz, M. y Ramalho, J. "Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of conilon coffee", *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 53, 1 de septiembre de 2018, pp. 1025-1037, DOI [10.1590/S0100-204X2018000900006](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000900006).
27. Alves, M. da S. ; Coelho, E.F. ; Paz, V.P. da S. y Andrade Neto, T.M. de. "Growth and yield of banana crop under different combinations of calcium nitrate and urea", *Revista Ceres*, vol. 57, febrero de 2010, pp. 125-131, ISSN 0034-737X, 2177-3491, DOI [10.1590/S0034-737X2010000100020](https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000100020), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/nK5W9VwftVtq5qjqVMtL4Xs/abstract/?lang=en>.
28. Dubberstein, D. ; Partelli, F. ; Dias, J. y Espindula, M. "Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil", *Australian Journal of Crop Science*, vol. 10, 20 de mayo de 2016, pp. 701-710, DOI [10.21475/ajcs.2016.10.05.p7424](https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.05.p7424).
29. Dubberstein, D. ; Partelli, F. ; Dias, J. y Espindula, M. "Influência da adubação no crescimento vegetativo de cafeeiros na Amazônia sul ocidental", *Coffee Science*, vol. 12, 4 de junio de 2017, p. 197, DOI [10.25186/cs.v12i2.1228](https://doi.org/10.25186/cs.v12i2.1228).
30. Covre, A.M. ; Partelli, F.L. ; Bonomo, R. y Gontijo, I. "Micronutrients in the fruits and leaves of irrigated and non-irrigated coffee plants", *Journal of Plant Nutrition*, vol. 41, no. 9, 28 de mayo de 2018, pp. 1119-1129, ISSN 0190-4167, DOI [10.1080/01904167.2018.1431665](https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431665), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431665>.
31. disse, E.A.C. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal (Taiz) - 6. ed. PDF | MeuLivro* [en línea], 8 de diciembre de 2019, [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://www.meulivro.biz/biologia/biologia-vegetal/1467/fisiologia-e-desenvolvimento-vegetal-taiz-6-ed-pdf/>.
32. Neto, A.P. ; Favarin, J.L. ; dos Reis, A.R. ; Tezotto, T. ; de Almeida, R.E.M. ; Lavres Junior, J. y Gallo, L.A. "Nitrogen metabolism in coffee plants in response to nitrogen supply by fertigation", *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, vol. 27, no. 1, 1 de marzo de 2015, pp. 41-50, ISSN 2197-0025, DOI [10.1007/s40626-014-0030-2](https://doi.org/10.1007/s40626-014-0030-2), [Consultado: 18 de julio de 2023], Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40626-014-0030-2>.
33. Partelli, F. ; Gomes, W.R. ; Oliveira, M. ; Dias, J. y Espindula, M. "Leaf norms and nutrition diagnosis of coffee conilon in flowering and graining in espírito santo", *Coffee Science*, vol. 11, no. 4, 2016, pp. 544-554, Disponible en: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/117>.