Volume 25, enero-diciembre 2026, ISSN: 1680-7685

Artículo Original

Café Cacao

URL: https://cafecacao.edicionescervantes.com Cu-ID: https://cu-id.com/0356/v25e01

Contenido de micronutrientes en frutos de variedades de *Coffea arabica* en Tercer Frente, Santiago de Cuba

Micronutrient content in fruits of *Coffea arabica* varieties in Tercer Frente, Santiago de Cuba

Carlos Alberto Bustamante González[1]

[1]*Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Cuba.*

[*]*Autor para correspondencia: marlonalejandro2012@gmail.com*

RESUMEN

El estudio de los micronutrientes en los frutos de *Coffea arabica* es crucial para optimizar la nutrición del cultivo y garantizar su productividad. Este trabajo tuvo como objetivo diagnosticar los contenidos de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn y Mo) en la pulpa y semillas de seis variedades de café (Catuai amarillo, Caturra rojo, Isla 5-15, Isla 6-14, Laferno y San Ramón) cultivadas en suelo Pardo en Tercer Frente, Santiago de Cuba. Se recolectaron frutos maduros entre octubre y diciembre de 2023 y se procesaron muestras compuestas por variedad. Los análisis se realizaron mediante espectrometría de absorción atómica y se compararon los resultados con rangos críticos de referencia. Se encontraron diferencias significativas entre variedades solo para Fe y Mn, con mayores concentraciones en la pulpa que en las semillas (Fe: 204,36 vs. 53,16 mg kg^{-1}; Mn: 34,21 vs. 17,04 mg kg^{-1}). Todos los micronutrientes se ubicaron dentro de los rangos críticos, lo que indica suficiencia nutricional por lo que se descarta su aplicación adicional. La pulpa mostró el orden Fe > Mo > Mn > Cu > Zn, mientras que en semillas fue Mo > Fe > Cu > Mn > Zn. Se concluye que las variedades difieren en la acumulación de Fe y Mn, donde destaca Laferno por su alto contenido de Fe, y que la pulpa puede ser una fuente valiosa de micronutrientes para el manejo sostenible del cafetal.

Palabras clave: Absorción, fertilidad, genotipos, sostenibilidad, rizosfera

ABSTRACT

The study of micronutrients in *Coffea arabica* fruits is crucial to optimize crop nutrition and ensure its productivity. This study aimed to diagnose the micronutrient contents (Cu, Zn, Fe, Mn, and Mo) in the pulp and seeds of six coffee varieties (Catuai yellow, Caturra red, Isla 5-15, Isla 6-14, Laferno, and San Ramón) grown in Pardo soil in Tercer Frente, Santiago de Cuba. Ripe fruits were collected between October and December 2023, processing composite samples by variety. Analyses were performed using atomic absorption spectrometry, comparing the results with critical reference ranges. Significant differences between varieties were found only for Fe and Mn, with higher concentrations in the pulp than in the seeds (Fe: 204.36 vs. 53.16 mg kg^{-1}; Mn: 34.21 vs. 17.04 mg kg^{-1}). All micronutrients were within critical ranges, indicating nutritional sufficiency and ruling out additional application. The pulp showed the order Fe > Mo > Mn > Cu > Zn, while the seeds showed Mo > Fe > Cu > Mn > Zn. It is concluded that the varieties differ in Fe and Mn accumulation, with Laferno standing out for its high Fe content, and that the pulp can be a valuable source of micronutrients for sustainable coffee plantation management.

Keywords: Absorption, fertility, genotypes, sustainability, rhizosphere

INTRODUCCIÓN

En Cuba, las investigaciones sobre microelementos se resumen en la obra de Muñiz (2008), donde se presentan sus contenidos principalmente en áreas cultivadas con caña o en suelos de la región occidental del país. Sin embargo, no se abordan los suelos de las regiones montañosas dedicadas al cultivo de café o cacao. Esta omisión ha provocado que no exista información disponible sobre estos suelos.

Recibido: 08/1/2026
Aceptado: 24/2/2026
Conflicto de intereses: El autor declara no existir conflictos de interés.
Contribución del autor: Adquisición de fondos, administración del proyecto, conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, validación, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición: Carlos Alberto Bustamante González.

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/

Una fertilización equilibrada garantizaría la mayor eficiencia productiva de las plantas, pero la bibliografía sobre micronutrientes es escasa. Rivera (1990) determinó que *Coffea arabica* cultivado al sol extrajo, en los primeros 26 meses de plantación, 6,8 kg ha^{-1} de Fe, 1,02 kg ha^{-1} de Mn, 385 g ha^{-1} de Zn y 264 g ha^{-1} de Cu. Bustamante & Lussón (2023) aportaron datos sobre los contenidos de micronutrientes en suelos Pardos cultivados con cafetos y concluyeron que, al compararlos con los niveles críticos de otros países, el cobre se encontraba dentro del rango adecuado, mientras que el manganeso fue inferior y el hierro y zinc superiores.

Los micronutrientes presentan una dinámica estacional, con mayores valores de Cu, Mn, Zn y B durante la fase reproductiva, ya que son cruciales para la productividad y calidad del cafeto (Dubberstein et al., 2019). Por ello, se sugiere aplicarlos lo más rápido posible después de la floración, debido a la lenta liberación de las fuentes de micronutrientes (Laviola et al., 2007). Esta estrategia busca maximizar su disponibilidad en etapas críticas del desarrollo del cultivo.

Trejo-Téllez et al. (2018) estudiaron los contenidos de micronutrientes en cafetos arábica de diferentes orígenes geográficos y demostraron que sus concentraciones variaban entre los granos de distintos países. Cruz et al. (2015), citados por estos autores, encontraron que el Mn fue el mejor discriminador entre las áreas productoras de café de Colombia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, México, Nicaragua, Panamá y Papúa Nueva Guinea. Para las regiones de Indonesia, África Oriental y América Central y del Sur, consideraron que el Cu, Na, Mn y Fe eran los elementos más relevantes.

La eficiencia en la absorción de nutrientes está definida genéticamente, pero factores como el manejo agronómico, la altitud, el nivel de maduración y las condiciones medioambientales de las plantaciones también influyen (Alberto et al., 2023; Busato et al., 2023). Gomes et al. (2016) y Marraccini et al. (2012) hallaron diferencias en la concentración de nutrientes entre genotipos de *Coffea arabica* bajo las mismas condiciones de manejo. Además, se ha establecido que clones de *Coffea canephora* de maduración temprana presentan mayores contenidos de micronutrientes (Oliosi et al., 2020), lo que coincide con la divergencia genética informada por Da Silva et al. (2021).

Varias investigaciones han demostrado diferencias en las concentraciones de micronutrientes entre cultivares de cafetos y en sus distintos órganos (Alberto et al., 2023). Estos hallazgos son esenciales para suplir adecuadamente las necesidades del cultivo, reducir pérdidas de insumos, mejorar el balance nutricional e incrementar la productividad. Sin embargo, en Cuba no se dispone de esta información, lo que motivó la realización de esta investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en octubre de 2023 en el banco de semillas de la Unidad de Ciencia y Tecnología de Base (UCTB) Tercer Frente, ubicada a 20° 9' 15.8394" de latitud Norte y -76° 16' 16.3554" de longitud Oeste, a 135 metros sobre el nivel del mar, en la provincia de Santiago de Cuba. En este estudio se analizaron frutos maduros de las variedades Catuai amarillo, Caturra rojo, Isla 5-15, Isla 6-14, Laferno y San Ramón, cultivados en un suelo Pardo con un marco de plantación de 2 m x 1 m bajo sombra de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Witt. Se seleccionaron al azar 20 plantas, y en cada una se marcaron cuatro ramas productivas en la parte central para garantizar la representatividad de las muestras.

La recolección de frutos se realizó entre octubre y diciembre de 2023, se tomaron muestras de cada variedad para conformar tres muestras compuestas por cada una. Los frutos se lavaron con agua destilada y se despulparon manualmente para separar la pulpa y las semillas sin mucílago. Además, se fermentaron los granos de café a temperatura ambiente antes de proceder al secado inicial en zarandas bajo techo. Posteriormente, las muestras se trasladaron al laboratorio, donde se secaron en una estufa a 65 °C durante 72 horas y se molieron con un molino de acero inoxidable.

Los análisis químicos para determinar las concentraciones de cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn) y molibdeno (Mo) se efectuaron según los protocolos del Centro de Investigaciones del Níquel de Moa, en la provincia de Holguín, mediante espectrometría de absorción atómica. Para interpretar los resultados de micronutrientes en las hojas, se utilizaron como referencia valores críticos establecidos en estudios previos de Brasil (Prieto Martinez et al., 2003; Duarte, 2016) y Colombia (Sadeghian, 2020). Los rangos de referencia fueron: cobre (8-70 mg kg^{-1}), zinc (6-18 mg kg^{-1}), hierro (54-153 mg kg^{-1}) y manganeso (76-200 mg kg^{-1}). En el caso del molibdeno, solo se consideraron los valores de Duarte (2016), que fueron significativamente más bajos (0.15-0.20 mg kg^{-1}) que los obtenidos en este estudio.

El nivel crítico se define como la concentración de nutrientes en la materia seca de la planta por encima de la cual es improbable que esta responda a la aplicación de fertilizantes en el suelo. Además, superar este umbral implica que la fertilización no resulta económicamente viable (Fontes, 2001; Prieto Martinez et al., 2003). Este concepto es fundamental para evaluar la eficiencia de los programas de nutrición en los cultivos.

Los datos obtenidos en los análisis de laboratorio se procesaron mediante el programa estadístico STATISTICA en entorno Windows. Para determinar la existencia de diferencias significativas, se aplicó un análisis de varianza de clasificación doble. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico mostró que los micronutrientes Cu, Mo y Zn presentaron un coeficiente de variación menor o cercano al 20%. Estos valores se consideran aceptables para cultivos perennes como el cafeto, según lo informado por Ferrão et al. (2008). Resultados similares fueron obtenidos por da Silva et al. (2021) en estudios con genotipos de *Coffea canephora* en Brasil.

En el caso del Fe, el coeficiente de variación mostró un valor elevado. Esta variabilidad se debió principalmente a los altos contenidos del nutriente en la pulpa de café en todas las variedades analizadas. Los datos detallados se presentan en la Tabla 1.

Se encontraron diferencias entre la concentración de los nutrientes en la pulpa y los granos de café (Tabla 1). En la pulpa, como media general, los contenidos de nutrientes siguieron el orden Fe > Mo > Mn > Cu > Zn, lo cual coincide con lo informado por Sadeghian (2013) -Fe > Mn > Cu > Zn- y Fierro-Cabrales et al. (2018) para la variedad Costa Rica. En las semillas, la concentración de nutrientes varió en el orden Mo > Fe > Cu > Mn > Zn, a diferencia de lo informado por Sadeghian (2013) en Colombia, donde el orden fue Mn > Fe > Cu > B > Zn. Covre et al. (2018) observaron que, en el fruto, el Fe presentó los niveles más altos, seguido por Mn, Cu, Zn y B.

Tabla 1. Contenidos de micronutrientes (mg kg-1) en la pulpa y granos de variedades de cafetos.

		Cu	Zn	Fe	Mn	Mo
San Ramón	Pulpa	28,13	13,53	193,93 bc	37,97 b	90,30
San Ramón	Semilla	32,20	11,70	56,90 de	19,13 g	90,03
Laferno	Pulpa	32,00	11,20	418,90 a	34,97 c	88,83
Laferno	Semilla	34,77	15,60	6,43 e	16,00 h	92,60
Isla 6-1	Pulpa	29,83	11,40	113,87 cd	31,67 d	91,03
Isla 6-1	Semilla	27,97	11,07	54,87 de	16,90 h	87,43
Isla 5-1	Pulpa	29,23	11,43	199,53 bc	28,90 e	86,13
Isla 5-1	Semilla	38,40	10,17	62,37 de	16,07 h	93,10
Caturra rojo	Pulpa	30,55	11,73	88,10 de	24,79 f	88,20
Caturra rojo	Semilla	33,84	10,43	64,20 de	16,87 h	87,53
Catuai amarillo	Pulpa	30,77	13,07	211,83 b	46,97 a	88,20
Catuai amarillo	Semilla	25,10	9,65	74,20 de	17,27 b	89,05
	E.E. x	*2,83 ns*	*1,27 ns*	*28,78**	*0,57**	*3,38 ns*
	San Ramón	30,17	12,62	125,42 bc	28,55 b	90,17
	Laferno	33,38	13,40	212,67 a	25,48 c	90,72
	Isla 6-14	28,90	11,23	84,37 bc	24,28 d	89,23
	Isla 5-15	33,82	10,80	130,95 bc	22,48 e	89,62
	Caturra rojo	32,19	11,08	76,15 c	20,83 f	87,87
	Catuai amarillo	27,93	11,36	143,02 b	32,12 a	88,63
	E.E. x	*2,00 ns*	*0,89 ns*	*20,34**	*0,40**	*2,39 ns*
	Pulpa	30,09	12,06	204,36 a	34,21 a	88,78
	Semilla	32,05	11,44	53,16 b	17,04 b	89,96
	E.E. x	*1,15 ns*	*0,52 ns*	*11,74**	*0,23**	*1,38 ns*
C.V., %		17.11	20.57	90.73	39.57	6.89

*Medias con letras diferentes difieren para $p \leq 0,05$

Se ha establecido que el Fe en cafetos de cuatro años representó el 55 % de todos los micronutrientes en cinco clones de *Coffea canephora* en Espíritu Santo, Brasil (Duarte, 2016). Ferrão et al. (2019) informaron que este nutriente alcanzó el 74 % del total de micronutrientes, de los cuales el 8 % se encontró en los frutos. Fierro-Cabrales et al. (2018) caracterizaron la pulpa de café y determinaron que el hierro predominó entre los micronutrientes, seguido del manganeso, el cobre y el zinc, un resultado similar al obtenido en este estudio.

El análisis de varianza reflejó diferencias significativas en los contenidos de Fe y Mn en los granos de las variedades, los componentes del fruto y su interacción (Tabla 1). La concentración de Cu, Zn y Mo fue similar en todas las variedades, sin diferencias significativas. Sin embargo, cabe destacar que la variedad Laferno presentó los mayores valores absolutos de Zn, Fe y Mo.

Como promedio de las variedades, los contenidos de micronutrientes se ubicaron en el orden Fe > Mo > Cu > Mn > Zn. Duarte (2016) estudió siete clones de *Coffea canephora* en Brasil y encontró un orden similar: Fe > Mn > B > Cu > Zn. Ramírez et al. (2002) informaron para la variedad Caturra el orden B > Mn > Fe > Cu > Zn, mientras que Sadeghian et al. (2006) informaron para la variedad Colombia la secuencia Mn > Fe > B > Zn > Cu, y para la variedad Castillo, Mn > Fe > B > Cu > Zn (Sadeghian & Salamanca, 2015).

Cobre

Los valores de cobre en los granos y la pulpa de todas las variedades se ubicaron dentro del rango de niveles críticos, lo que indica que este elemento no es un factor limitante para los niveles productivos del cultivo en estas condiciones (Tabla 1). No se detectaron diferencias significativas en los contenidos de este nutriente entre la pulpa y los granos. Alberto et al. (2023) obtuvo resultados similares al estudiar el contenido de cobre en nueve variedades de cafetos.

Los contenidos de cobre en los granos de todas las variedades superaron los valores informados por Trejo-Téllez et al. (2018) en los tres países incluidos en su investigación.

Zinc

Los valores de zinc en los granos y la pulpa de todas las variedades se encontraron dentro del rango de niveles críticos, sin diferencias entre variedades (Tabla 1). No hubo diferencias significativas en los contenidos de este nutriente entre la pulpa y las semillas. Alberto et al. (2023) tampoco encontró diferencias al analizar el zinc en semillas de nueve variedades de cafetos. Los valores de zinc obtenidos en este experimento fueron inferiores a los informados por Trejo-Téllez et al. (2018) para México, pero superiores a los de Brasil y Vietnam.

Hierro

Se encontraron diferencias significativas en los contenidos de hierro entre los órganos analizados, las variedades y su interacción (Tabla 1). Los valores de hierro en la pulpa de café fueron 3,8 veces superiores a los registrados en los granos. Krohling et al. (2016) informaron una concentración de hierro 2,22 veces mayor en la cáscara de *Coffea canephora* en comparación con sus granos. Esta diferencia podría deberse a que el hierro forma parte de proteínas (hemoproteínas y proteínas hierro-azufre), enzimas y metabolitos presentes principalmente en la pulpa (Covre et al., 2018).

Duarte (2016) señaló que los frutos representaron el segundo órgano con mayor concentración de hierro (26 % del total en la planta) en siete clones de *Coffea canephora*. Sin embargo, en esos mismos materiales genéticos, los frutos acumularon en promedio el 71,7 % del hierro. De Melo (2021) observó que el hierro en los frutos alcanzó el 39 % de la masa seca de los cafetos y el 25 % de la absorción total, solo superado por las hojas, que representaron el 47,9 %. De manera similar, Sadeghian (2022) registró los valores más altos de hierro en los frutos del cafeto.

La variedad Laferno mostró concentraciones de hierro significativamente superiores a las demás variedades y muy por encima de los niveles críticos informados para Colombia y Brasil. Las variedades San Ramón, Islas y Catuai amarillo se ubicaron dentro del rango establecido para estos países y presentaron valores estadísticamente similares entre sí, aunque superiores a los de la variedad Caturra rojo (Tabla 1).

La interacción entre los factores reveló diferencias significativas en el contenido de hierro entre la pulpa y las semillas de las variedades evaluadas. Según la relación Fe en pulpa/hierro en semilla, el orden fue: Laferno (65,1) > San Ramón (3,4) > Isla 5-15 (3,20) > Catuai amarillo (2,9) > Isla 6-14 (2,1) > Caturra (1,4). No obstante, en las dos últimas variedades (Isla 6-14 y Caturra), no se detectaron diferencias significativas entre el hierro en la pulpa y las semillas (Tabla 1). Cabe destacar las variaciones notables en esta relación para las variedades Islas, a pesar de que sus contenidos no difirieron significativamente. Los niveles de hierro obtenidos en este estudio fueron inferiores a los informados por Trejo-Téllez et al. (2018) para México, pero superiores a los de Brasil y Vietnam.

Manganeso

Las concentraciones de manganeso en la pulpa y las semillas de café se situaron dentro de los rangos críticos de referencia y resultaron inferiores a los registrados por Trejo-Téllez et al. (2018) en México. Además, fueron similares a los valores documentados para Brasil y Vietnam.

Se detectaron diferencias significativas entre los factores evaluados y su interacción (Tabla 1). Los niveles de Mn en la pulpa fueron significativamente mayores que los de las semillas. Todas las variedades presentaron diferencias estadísticas entre sí. La variedad Catuai amarillo exhibió las mayores concentraciones de este micronutriente, mientras que la Isla 5-15 mostró los valores más bajos. La interacción de los factores confirmó el efecto diferenciado, ya que se observó una mayor acumulación de manganeso en la pulpa que en las semillas.

Molibdeno

Debido a los mínimos requerimientos de Mo, se conoce poco sobre las formas en que este elemento se absorbe y se transforma en la célula vegetal (Azcón Bieto & Talón, 2013, citado por Naranjo, 2018). Este micronutriente está asociado a los mecanismos de absorción y translocación del hierro Carvajal (1984) y participa en enzimas como la nitrato reductasa y la nitrogenasa, las cuales son esenciales para la fijación de nitrógeno. Además, su absorción puede inhibirse cuando existen altas concentraciones de cobre y manganeso en el medio (Intagri, 2023).

Los valores informados en la bibliografía Havlin et al. (2017) para las hojas son muy bajos, con un rango de 0.2 a 2 mg kg^{-1}, lo que se atribuye a su escasa disponibilidad en la solución del suelo. Estas concentraciones varían según las variedades y los tipos de suelos (Malavolta et al., 1981). Por otro lado, la diferencia entre los contenidos en granos (0.05 mg kg^{-1}) y la cáscara de los frutos (0.07 mg kg^{-1}) resulta mínima.

No se detectaron diferencias significativas en los contenidos de molibdeno entre los órganos analizados ni entre las variedades de cafetos, tampoco en su interacción (Tabla 1). Dado que no existen datos experimentales actualizados sobre este micronutriente en los frutos del cafeto, los resultados de este estudio pueden servir como referencia para futuras investigaciones.

En términos generales, los valores de micronutrientes en la pulpa y las semillas se ubicaron dentro de los rangos críticos informados en la literatura, lo que confirma su suficiencia en los cafetos y descarta la necesidad de aplicarlos en el manejo integrado de nutrientes en la caficultura cubana. Por otra parte, las diferencias en los contenidos de hierro y manganeso entre los cultivares pueden ser útiles para seleccionar genotipos con mayor eficiencia en el uso de nutrientes.

Oliosi et al. (2020) estudiaron la variación estacional de nutrientes en hojas de *Coffea canephora* y encontraron diferencias entre genotipos, las cuales relacionaron con factores como la afinidad de absorción, la compartimentación en raíces u otros órganos, la movilidad en el xilema y el floema, y los cambios en la rizosfera durante el crecimiento. Estos autores también señalaron que las tasas de acumulación de biomasa difirieron entre genotipos, lo que puede generar efectos de dilución o concentración de nutrientes según la velocidad de crecimiento. Estas variaciones genéticas explican las diferencias en el contenido foliar de nutrientes, lo que refleja distintos niveles de eficiencia en su absorción, translocación o utilización, lo que permite la selección de cultivares más eficientes.

Este estudio proporciona información sobre el aporte de micronutrientes de la pulpa de café y reafirma que su uso como abono orgánico puede reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos y contribuir a la conservación de la fertilidad en suelos cafetaleros.

CONCLUSIONES

Los contenidos de hierro (Fe) y manganeso (Mn) son significativamente mayores en la pulpa que en las semillas, según el orden Fe > Mo > Mn > Cu > Zn. Esta distribución coincide con estudios previos y sugiere que la pulpa puede ser una fuente importante de micronutrientes para su reutilización agrícola.

La variedad Laferno presenta concentraciones de Fe notablemente superiores a las demás, excediendo los niveles críticos de referencia. Esto indica diferencias genéticas en la eficiencia de absorción y acumulación de nutrientes, útiles para programas de selección varietal.

Los niveles de Cu, Zn, Mn y Mo en todas las variedades se encuentran dentro de los rangos críticos establecidos, lo que descarta deficiencias nutricionales y justifica la no aplicación adicional de fertilizantes para estos micronutrientes en las condiciones estudiadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberto, N. J., Ramalho, J. C., Ribeiro-Barros, A. I., Viana, A. P., Krohling, C. A., Moiane, S. S., Alberto, Z., Rodrigues, W. P., & Partelli, F. L. (2023). Diversity in Coffea arabica Cultivars in the Mountains of Gorongosa National Park, Mozambique, Regarding Bean and Leaf Nutrient Accumulation and Physical Fruit Traits. *Agronomy*, *13*, 1162. https://doi.org/10.3390/agronomy13041162

Busato, C., dos Reis, E. F., Oliveira, M. G., de Oliveira Garcia, G., Martins Busato, C. C., & Partelli, F. L. (2023). Acumulación de nutrientes e índices de clorofila en Coffea canephora como respuesta a las dosis de nitrógeno. *Cultivos Tropicales*, *44*(4). https://cu-id.com/2050/v44n4e11

Bustamante, C., & Lussón, J. A. (2023). Diagnostico de micronutrientes en plantaciones cafetaleras de la provincia Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 3.

Carvajal, J. F. (1984). *Cafeto. Cultivo y fertilización*. Instituto Internacional de la Potasa.

Covre, A. M., Partelli, F. L., Bonomo, R., & Gontijo, I. (2018). Micronutrients in the fruits and leaves of irrigated and non-irrigated coffee plants. *Journal of Plant Nutrition*, *41*(17), 2160-2173. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431665

Da Silva, C. A., Azevedo, E., Pio, A., Machado, J., & Partelli, F. (2021). Diversidad genética en genotipos de Coffea canephora para la concentración de nutrientes en la hoja. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, *23*(1), 22-34.

da Silva, C. A., Santos, E. A., Viana, A. P., Dias, J. R. M., & Partelli, F. L. (2021). Genetic diversity in Coffea canephora genotypes for leaf nutrient concentration. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, *53*(1), 22-34.

De Melo, R. (2021). *Mineral nutrition of tropical plants*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71262-4

Duarte, F. C. (2016). *Acúmulo de micronutrientes em materiais genéticos e cafeeiro Conilon* [PhD Thesis]. Universidade Federal do Espírito Santo.

Dubberstein, D., Partelli, F. L., Curitiba, M., & Machado, J. R. (2019). Concentration and accumulation of micronutrients in robust coffee. *Acta Scientiarum. Agronomy*, *41*, e42685. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42685

Ferrão, F. G., da Fonseca, A. F. A., Ferrão, M. A. G., & de Muner, L. H. (2019). *Conilon Coffee* (3.ª ed.). Incaper.

Ferrão, R. G., Cruz, C. D., Ferreira, A., Cecon, P. R., Ferrão, M. A., Fonseca, A. F. A., Carneiro, P. C. S., & Silva, M. F. (2008). Parâmetros genéticos em café Conilon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *43*(1), 61-69.

Fierro-Cabrales, N., Contreras-Oliva, A., González-Ríos, O., Rosas-Mendoza, E. S., & Morales-Ramos, V. (2018). Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (Coffea arabica L.). *Agroproductividad*, *11*(4), 9-13.

Fontes, P. C. R. (2001). *Diagnóstico do estado nutricional das plantas*. Universidade Federal de Viçosa.

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*(3). https://doi.org/10.4238/gmr.15038696

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2017). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management* (8.ª ed.). Pearson.

Intagri. (2023). *Nutrición vegetal, la función de los nutrientes esenciales Parte II Micronutrientes*. https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funcion-nutrientes-esenciales-parte-2

Krohling, C. A., Eutrópio, F. J., Figueira, F. F., Campostrini, E., Dobbss, L. B., & Ramos, A. C. (2016). Níveis tóxicos de ferro em lavouras de café conilon (Coffea canephora) em solos de tabuleiros costeiros. *Coffee Science*, *11*(2), 255-266. https://doi.org/10.25186/cs.v11i2.1044

Laviola, B. G., Martinez, H. E. P., Salomão, L. C. C., Cruz, C. D., Mendonça, S. M., & Rosado, L. D. S. (2007). Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo: Micronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *31*(6), 1439-1449. https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600021

Malavolta, E., Yamada, T., & Guidolin, J. A. (1981). *Nutrição e adubação do cafeeiro*. Instituto Internacional da Potassa.

Marraccini, P., Vinecky, F., Alves, G. S. C., Ramos, H. J. O., Elbelt, S., Vieira, N. G., Carneiro, F. A., Sujii, P. S., Alekcevetch, J. C., Silva, V. A., & others. (2012). Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of Coffea canephora. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, *72*(4), 419-432.

Muñiz, O. (2008). *Los microelementos en la agricultura*. Agrinform.

Naranjo, D. F. (2018). *Efectos de los elementos menores sobre la productividad del café (Coffea arabica L) en la zona cafetera colombiana* [Master's Thesis]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Oliosi, G., Partelli, F. L., da Silva, C. A., Dubberstein, D., Gontijo, I., & Tomaz, M. A. (2020). Seasonal variation in leaf nutrient concentration of conilon coffee genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, *43*(15), 2302-2319. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1792492

Prieto Martinez, H. E., Scherrer Menezes, J. F., de Souza, R. B., Alvarez Venegas, V. H., & Gontijo Guimarães, P. T. (2003). Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *38*(6), 703-713. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000600005

Ramírez, F., Bertsch, F., & Mora, L. (2002). Consumo de nutrimentos por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, *26*(1), 33-42.

Rivera, R. (1990). Extracción y distribución de macro y micronutrientes en el cafeto var. Caturra durante los primeros dos años de plantados. *Logros XX Aniversario 1970-1990*, 69.

Sadeghian, S. (2013). Nutrición de cafetales. En *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 85-116). Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026

Sadeghian, S. (2020). Análisis foliar: Una guía para evaluar el estado nutricional del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, *515*, 4. https://doi.org/10.38141/10779/0515

Sadeghian, S. (2022). *Nutrición del café: Consideraciones para el manejo de la fertilidad del suelo*. Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0017

Sadeghian, S., Mejía, M. B., & Arcila, J. (2006). Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé*, *57*(4), 251-261.

Sadeghian, S., & Salamanca, J. A. (2015). Micronutrientes en frutos y hojas de café. *Cenicafé*, *66*(2), 73-87. https://doi.org/10.38141/10778/66-2

Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Morales-Ramos, V., Marín-Garza, T., Castañeda-Castro, O., & Pastelin-Solano, M. C. (2018). Concentración de macronutrimentos y micronutrimentos en granos de café (Coffea sp.). *Agroproductividad*, *11*(4), 19-24.