



## CONTENIDOS DE MICRONUTRIENTES EN VARIEDADES DE *COFFEA ARABICA* L. EN LA LOCALIDAD CAFETALERA DE JIBACOA

### MICRONUTRIENT CONTENT OF *COFFEA ARABICA* L. VARIETIES IN THE COFFEE-GROWING TOWN OF JIBACOA

YUSDEL FERRÁS NEGRÍN<sup>1</sup>, CARLOS ALBERTO BUSTAMANTE GONZÁLEZ<sup>2</sup>, VIDALINA PÉREZ SALINA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Ciencia y Técnica de Base, Estación Experimental Agro-Forestal Jibacoa, Cuba. E-mail: [yusdel.ferras@gmail.com](mailto:yusdel.ferras@gmail.com)

<sup>2</sup>Unidad de Ciencia y Técnica de Base, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Cuba. E-mail: [marlonalejandro2012@gmail.com](mailto:marlonalejandro2012@gmail.com)

<sup>3</sup>Unidad de Ciencia y Técnica de Base, Estación Experimental Agro-Forestal Jibacoa, Cuba. E-mail: [vidalinaperezsalina@gmail.com](mailto:vidalinaperezsalina@gmail.com)

\*Autor para correspondencia: [yusdel.ferras@gmail.com](mailto:yusdel.ferras@gmail.com)

#### RESUMEN

El estudio de los micronutrientes en café es clave para optimizar la fertilización y mejorar la productividad del cultivo. Este trabajo evaluó los contenidos foliares de Zn, Fe, Mn, Mo y Cu en tres variedades de *Coffea arabica* (Isla 5-3, Villalobos y Bourbon Rojo) cultivadas en suelos Fersialíticos pardos rojizos de Jibacoa, Cuba. Se recolectaron hojas en 2020 y 2023, se lavaron, secaron y analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los datos se procesaron con ANOVA y prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Los resultados mostraron diferencias significativas entre variedades: Villalobos presentó mayores contenidos de Zn y Mn en 2020, pero menores de Fe y Cu en 2023. El orden de abundancia fue  $Mn > Fe > Cu > Mo > Zn$ , con variabilidad interanual vinculada a factores genéticos y ambientales. Se concluye que los micronutrientes foliares dependen de la variedad, el manejo agronómico y las condiciones edafoclimáticas, lo que resalta la necesidad de ajustar las recomendaciones de fertilización según estos factores.

**Palabras clave:** absorción, fertilización, genotipo, espectrofotometría, sostenibilidad

#### ABSTRACT

The study of micronutrients in coffee is key to optimizing fertilization and improving crop productivity. This study evaluated foliar contents of Zn, Fe, Mn, Mo, and Cu in three varieties of *Coffea arabica* (Isla 5-3, Villalobos, and Bourbon Rojo) grown in reddish-brown Fersialitic soils in Jibacoa, Cuba. Leaves were collected in 2020 and 2023, washed, dried, and analyzed by atomic absorption spectrophotometry. Data were processed with ANOVA and Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ). The results showed significant differences between varieties: Villalobos presented higher contents of Zn and Mn in 2020, but lower contents of Fe and Cu in 2023. The order of abundance was  $Mn > Fe > Cu > Mo > Zn$ , with interannual variability linked to genetic and environmental factors. It is concluded that foliar micronutrients depend on variety, agronomic management, and soil and climate conditions, highlighting the need to adjust fertilization recommendations accordingly.

**Keywords:** uptake, fertilization, genotype, spectrophotometry, sustainability

#### INTRODUCCIÓN

Un aspecto de importancia en el estudio de la nutrición vegetal se relaciona con la absorción y acumulación de los elementos requeridos por los distintos órganos de las plantas en todas las fases fenológicas del cultivo.

Este conocimiento permite determinar la demanda de nutrientes y sirve como guía para ajustar los planes de fertilización (Sadeghian & Salamanca, 2015). Además, comprender estos procesos contribuye a optimizar el manejo agronómico y mejorar la productividad de los cultivos.

Recibido: 18/1/2025

Aceptado: 05/3/2025

**Conflictos de intereses:** Los autores de esta investigación no tienen ningún potencial de conflicto de interés.

**Contribución de autores:** **Conceptualización:** Carlos Alberto Bustamante González. **Curación de datos:** Yusdel Ferrás Negrín. **Análisis formal:** Yusdel Ferrás Negrín, Carlos Alberto Bustamante González. **Adquisición de fondos:** Carlos Alberto Bustamante González. **Investigación:** Yusdel Ferrás Negrín, Vidalina Pérez Salina. **Metodología:** Yusdel Ferrás Negrín, Carlos Alberto Bustamante González, Vidalina Pérez Salina. **Administración del proyecto:** Carlos Alberto Bustamante González, Yusdel Ferrás Negrín. **Software:** Yusdel Ferrás Negrín. **Recursos:** Carlos Alberto Bustamante González. **Supervisión:** Carlos Alberto Bustamante González. **Validación:** Yusdel Ferrás Negrín, Carlos Alberto Bustamante González. **Visualización:** Yusdel Ferrás Negrín, Vidalina Pérez Salina. **Redacción, borrador original:** Yusdel Ferrás Negrín, Carlos Alberto Bustamante González, Vidalina Pérez Salina. **Redacción, revisión y edición:** Yusdel Ferrás Negrín, 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/>



Los nutrientes desempeñan funciones esenciales en el metabolismo, ya que actúan como activadores de reacciones enzimáticas, constituyentes de estructuras orgánicas y osmorreguladores. Su concentración varía según el crecimiento de la planta y su disponibilidad en el suelo, lo que puede generar una mayor acumulación o una dilución en los tejidos vegetales. Las cantidades requeridas de micronutrientes son relativamente pequeñas, pues estos elementos participan en la activación enzimática o forman parte de las enzimas, en lugar de integrar estructuras vegetativas (Marín-Garza et al., 2020a).

Los análisis foliares reflejan el estado nutricional de las plantas, el cual puede verse afectado por diversos factores, entre ellos la variedad cultivada. En el café, las concentraciones de micronutrientes varían según las condiciones de cultivo, las regiones, los genotipos, las etapas fenológicas y la estacionalidad (Busato et al., 2023). Estos factores deben considerarse al interpretar los resultados de los diagnósticos nutricionales.

En la zona cafetalera de Jibacoa no existe información detallada sobre los micronutrientes en las plantaciones de café. Ferrás et al. (2024) informaron que el 93,5% de los productores en esta área no emplean análisis de suelo, según encuestas realizadas. Esta falta de diagnóstico limita el manejo eficiente de la fertilización y puede afectar la sostenibilidad del cultivo.

Dado que el éxito del manejo de la fertilidad del suelo depende de la oportunidad y precisión del diagnóstico nutricional (Gómez, 2016), esta investigación tuvo como objetivo evaluar los contenidos de micronutrientes en hojas de distintas variedades de *C. arabica* cultivadas en suelos Fersialíticos pardos rojizos de Jibacoa. Los resultados obtenidos podrían servir como base para mejorar las recomendaciones de fertilización en la región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó entre los años 2020 y 2023 en la Estación Experimental Agro-Forestal Jibacoa, ubicada en las coordenadas 22° 00' 00.0" N y 79° 50' 00.0" O, a una altitud de 340 msnm. Esta estación se localiza en el municipio Manicaragua, perteneciente a la provincia de Villa Clara,

Cuba. Las condiciones geográficas y climáticas del sitio fueron favorables para el desarrollo del estudio.

El trabajo se llevó a cabo en plantaciones de *Coffea arabica* de las variedades Isla 5-3, Villalobos y Bourbon Rojo, con una edad de cuatro años. Estas áreas se establecieron con posturas injertadas sobre patrones de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, variedad Robusta. La densidad de plantación fue de 3 334 plantas por hectárea, con un marco de siembra de 2 m x 1,5 m. Además, el guamo (*Inga vera* Wild.) predominó como especie de sombra en el sistema.

Para el establecimiento del cultivo en el año 2016, se prepararon hoyos de 30 cm de profundidad y 40 cm de ancho. Cada hoyo recibió una aplicación de 4,5 kg de abono orgánico y 58 gramos de superfosfato triple, los cuales se mezclaron con el suelo durante la plantación. En mayo de 2018, se aplicó fertilizante con fórmula 7-14-7 en la misma dosis que el superfosfato triple. Posteriormente, en mayo de 2019, se realizó una fertilización con 5-5-24-3 a una dosis de 767 kg ha<sup>-1</sup>.

Las labores culturales, como el control de arvenses, el manejo de la sombra, el deshije, la poda y las atenciones fitosanitarias, se ejecutaron según las recomendaciones del instructivo técnico de café arábica (Díaz et al., 2013). Estas prácticas aseguraron el adecuado desarrollo de las plantas y minimizaron los factores de estrés. El seguimiento de estos protocolos garantizó la uniformidad en el manejo agronómico.

Las áreas de estudio presentaron suelos clasificados como Fersialíticos pardos rojizos (Hernández et al., 2015). Estos suelos se caracterizaron por una pendiente del 2% y mostraron variaciones en sus propiedades químicas (Tabla 1). Dos de las áreas, Isla 5-3 y Bourbon Rojo, registraron un pH dentro del rango óptimo para el cultivo de café (5-5,5), de acuerdo con lo establecido por Sadeghian (2018).

El contenido de materia orgánica fue medio en la parcela de Isla 5-3, mientras que en las otras dos variedades este indicador se clasificó como bajo, según los criterios de Martín (2012). Además, se detectaron niveles elevados de micronutrientes, en concordancia con lo informado por Sadeghian (2018) y López-Báez et al. (2019). Estas condiciones edáficas influyeron en el desarrollo y la productividad de las plantas.

**Tabla 1.** Características agroquímicas de las áreas que correspondieron a cada variedad (n=3).

Variedad	pH (KCl)	MO (%)	Co	Zn	Mn	Fe	Mo
			%				
Isla 5-3	5.50	3.90	N/D	0.01	0.17	4.7	N/D
Villalobos	6.50	3.00	N/D	0.01	0.26	5.7	N/D
Bourbon Rojo	5.20	2.30	N/D	0.01	0.24	4.5	N/D

Legenda: N/D no detectado. Determinación del pH por método potenciométrico en KCl relación suelo-solución 1:2,5; materia orgánica (%) por método de Wakley - Black, colorimetría, oxidación con dicromato de potasio 1N y ácido sulfúrico concentrado. Determinación de Zn, Mn, Fe método de solución extractiva de HCl 1N.

Las muestras de suelo se recolectaron de forma aleatoria en zigzag, específicamente en las zonas de goteo de las plantas de café. El muestreo se realizó a una profundidad de 30 cm, aproximadamente a 30 cm del tallo de la planta. Este proceso se llevó a cabo en el mes de octubre del año 2020.

Para el análisis foliar, se tomaron tres muestras de hojas en los meses de junio de 2020 y 2023. Las hojas seleccionadas correspondieron al tercer y cuarto par a partir del ápice de las ramas ubicadas en el tercio medio superior de la planta. Cada muestra estuvo conformada por 100 hojas recolectadas al azar.

Después de la recolección, las hojas se lavaron con agua destilada para eliminar impurezas. Posteriormente, se secaron en un horno a 70°C durante un período de 72 horas. Una vez secas, se determinó el contenido de los micronutrientes: zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y cobre (Cu).

El análisis de los micronutrientes se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica. Este método permitió cuantificar con precisión las concentraciones de los elementos estudiados. La elección de esta técnica se basó en su confiabilidad y amplio uso en estudios de nutrición vegetal.

En el procesamiento estadístico, primero se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors, 1967). Luego, se verificó la homogeneidad de la varianza mediante la prueba de Levene (Levene, 1960). Estos análisis preliminares garantizaron que los datos cumplieran con los supuestos requeridos para las pruebas paramétricas.

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias de los tratamientos. Las diferencias significativas entre las medias se identificaron mediante la prueba de comparación de rangos múltiples de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) (Tukey, 1953). Este enfoque permitió determinar con precisión las variaciones entre los grupos estudiados.

Para la prueba de homogeneidad de la varianza se empleó el programa STATISTICA (StatSoft, 2001). El resto de los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat

(Di Rienzo et al., 2014). La elección de estos programas se basó en su robustez y capacidad para manejar conjuntos de datos complejos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos de nutrientes en las hojas mostraron valores adecuados en general, ya que se ubicaron dentro de los rangos informados en diferentes países productores de café (Sadeghian & Salamanca, 2015; Marín-Garza et al., 2020a; Busato et al., 2023). Sin embargo, en el año 2020 se registraron medias inferiores para el Fe, lo cual constituyó una excepción (Tabla 2). Estos resultados reflejan la variabilidad que puede presentarse en los contenidos foliares según las condiciones específicas de cada año.

Sadeghian & Salamanca (2015) documentaron una amplia oscilación en los valores de micronutrientes en hojas de *C. arabica* variedad Castillo. Los rangos informados fueron de 82,13 a 732,25 mg kg<sup>-1</sup> para Mn, 60,25 a 105 mg kg<sup>-1</sup> para Fe, 8,63 a 12,63 mg kg<sup>-1</sup> para Cu y 7,75 a 9,25 mg kg<sup>-1</sup> para Zn. Estos datos provienen de cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé en Colombia, las cuales presentan características contrastantes en suelo y clima.

En México, Marín-Garza et al. (2020b) evaluaron una plantación de injertos de *C. arabica* var. Caturra con cinco años de edad. Los contenidos máximos registrados fueron 205,2 mg kg<sup>-1</sup> para Mn, 123,05 mg kg<sup>-1</sup> para Fe, 10,90 mg kg<sup>-1</sup> para Zn y 7,75 mg kg<sup>-1</sup> para Cu. Estos valores demuestran diferencias notables en comparación con los informados en otros estudios, lo que podría atribuirse a factores locales.

En la misma región, (Castañeda-Castro, 2018) analizó hojas de *C. canephora* de las variedades Robmex y FRT-07. Los rangos obtenidos fueron de 2140 a 4220 mg kg<sup>-1</sup> para Mg, 158 a 471,63 mg kg<sup>-1</sup> para Mn, 111,43 a 283,85 mg kg<sup>-1</sup> para Fe, 7,50 a 47,87 mg kg<sup>-1</sup> para Cu y 5,89 a 22,32 mg kg<sup>-1</sup> para Zn. Estos resultados resaltan la variabilidad asociada a las diferencias genéticas entre variedades.

**Tabla 2.** Contenido de micronutrientes en las hojas de tres variedades de *C. arabica*. Años 2020 y 2023 (mg kg<sup>-1</sup>).

Variedad	Año 2020					
	Zn	Fe	Mn	Mo	Cu	
Isla 5-3	11.87 b	23.03	91.70 b	15.43	N/D	
Villalobos	16.67 a	20.00	143.90 a	16.00	N/D	
Bourbon Rojo	10.40 b	18.17	88.70 b	15.93	N/D	
E.E.	0.75**	2.04 ns	8.19**	0.21 ns		
C. V., %.	10.03	17.36	13.12	2.27		
Variedad	Año 2023					
	Zn	Fe	Mn	Mo	Cu	
Isla 5-3	15.73	168.43 ab	N/D	N/D	20.57 a	
Villalobos	13.90	144.53 b	N/D	N/D	13.03 b	
Bourbon Rojo	15.20	197.23 a	N/D	N/D	15.47 b	
E.E.	0.84 ns	8.29**			0.61**	
C. V., %.	9.77	8.44			6.51	

\*\*Letras desiguales en una misma columna las medias se diferencian significativamente según la prueba Tukey para  $p \leq 0,01$ . ns no hay diferencia entre las medias.

En el noroeste del estado de Espírito Santo, Brasil, (Busato et al., 2023) estudiaron *C. canephora* var. clonal Emcapa 8111 con tres años de edad. Los contenidos foliares oscilaron entre 3590 y 5920 mg kg<sup>-1</sup> para Mg, 72,79 y 109,21 mg kg<sup>-1</sup> para Mn, 66,46 y 109,50 mg kg<sup>-1</sup> para Fe, 7,75 y 11,62 mg kg<sup>-1</sup> para Zn, y 7,79 y 10 mg kg<sup>-1</sup> para Cu. Estas cifras confirman la influencia de las condiciones edafoclimáticas en la absorción de nutrientes.

Los contenidos de nutrientes evaluados en las hojas durante los dos años de estudio siguieron el orden Mn > Fe > Cu > Mo > Zn (Tabla 2). Este patrón coincide parcialmente con lo informado por Marín-Garza et al. (2020b), quienes encontraron la secuencia Mn > Fe > B > Zn > Cu en una plantación de *C. arabica* var. Caturra en México. Las discrepancias podrían deberse a diferencias en las prácticas de manejo o en las condiciones ambientales.

En el año 2021, se detectaron diferencias significativas entre variedades para Zn y Mn en las hojas. La variedad Villalobos presentó los mayores contenidos ( $p \leq 0,01$ ), mientras que Isla 5-3 y Bourbon Rojo mostraron valores medios similares. En contraste, en el año 2023, las diferencias significativas se observaron en Fe y Cu, con los valores más bajos registrados en Villalobos (Tabla 2). Estos hallazgos evidencian la variabilidad interanual y su relación con el genotipo.

Sadeghian & Salamanca (2015) señalaron que las variaciones en micronutrientes pueden asociarse con factores como el material genético, las condiciones ambientales (clima y suelo) y el manejo del cultivo. Esta afirmación respalda los resultados obtenidos, donde se observaron cambios notables entre variedades y años. Además, Castañeda-Castro (2018) encontró diferencias en los contenidos de Mn, Fe, Zn, Cu y B en hojas de *C. canephora* según la variedad y la etapa fisiológica. Los autores concluyeron que ambos factores influyen significativamente en la acumulación de micronutrientes.

## CONCLUSIONES

1. Los contenidos foliares de micronutrientes en *C. arabica* varían según la variedad y el año de evaluación. Villalobos presenta mayores concentraciones de Zn y Mn en 2021, pero los menores valores de Fe y Cu en 2023, lo que evidencia la influencia del genotipo y las condiciones ambientales en la absorción de nutrientes.
2. El orden de abundancia de micronutrientes (Mn > Fe > Cu > Mo > Zn) coincide con informes internacionales, aunque con diferencias atribuibles al manejo agronómico y factores locales. La variabilidad en Fe (inferior en 2020) y las discrepancias entre estudios confirman que el clima, el suelo y la genética determinan la dinámica nutricional del cultivo.

## AGRADECIMIENTOS

El manuscrito se confeccionó con financiamiento del proyecto: “Evaluación de nuevos bioproductos y fertilizante en la nutrición del café y el cacao. Exploración de los contenidos de micronutrientes en áreas productivas de ambos cultivos”. Participó la Estación Experimental Agro-Forestal Jibacoa perteneciente al Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Se agradece al equipo del proyecto durante el desarrollo de las investigaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Busato, C., dos Reis, E. F., Oliveira, M. G., de Oliveira Garcia, G., Busato, C. C. M., & 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), 1-11.
- Castañeda-Castro, O. (2018). Variaciones en área foliar y concentraciones de clorofilas y nutrimentos esenciales en hojas de café robusta (*Coffea canephora* P.) durante un ciclo anual. *Agro Productividad*, 11(4), 36-41.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2014). InfoStat versión 2014. InfoStat Group, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz, W., Caro, P., Bustamante, C., Sánchez, C., Rodríguez, M., & Vázquez, E. (2013). *Instructivo Técnico Café Árabe (Coffea arabica Lin)*. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales: Ministerio de la Agricultura. Dirección de Café y Cacao del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales.
- Ferrás, Y., González, C. A. B., Salina, V. P., Esmoris, C. S., & Espinosa, R. R. (2024). Vulnerabilidad y capacidad adaptativa al cambio climático en fincas cafetaleras de Jibacoa, Cuba. *Agronomía & Ambiente*, 44(1), 92-101.
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., & Castro, N. (2015). *Clasificación de los Suelos de Cuba*. INCA.
- Levene, H. (1960). Robust Tests of Homogeneity of Variance. *Contributions to Probability and Statistics; Stanford University Press: Stanford, CA, USA*, 278-292.
- Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62(318), 399-402. <https://doi.org/10.1080/01621459.1967.10482916>
- López-Báez, W., Reynoso-Santos, R., Camas Gómez, R., & Santos-Clemente, E. (2019). *Caracterización de los suelos cultivados con café (Coffea L.) en la sierra madre de Chiapas*. México.
- Marín-Garza, T., Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Pastelín-Solano, M. C., & Castañeda-Castro, O. (2020a). POTENCIAL FUNCIONAL Y NUTRACÉUTICO DE HOJAS DE CAFÉ (*Coffea* spp.) INJERTADO DURANTE

- UN CICLO ANUAL. *Agrociencia*, 54(4), 459-469. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i4.2044>
- Marín-Garza, T., Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Pastelín-Solano, M. C., & Castañeda-Castro, O. (2020b). Potencial funcional y nutracéutico de hojas de café injertado (*coffea* spp.) durante un ciclo anual. *Agrociencia*, 54(4), 459-469.
- Martín, N. J. (2012). Tabla de interpretación de análisis de suelo. *Departamento de Riego, Drenaje y Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. UNAH*, 20.
- Sadeghian, S. (2018). Interpretación de los resultados de análisis de suelo Soporte para una adecuada nutrición de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1-8.
- Sadeghian, S., & Salamanca, A. (2015). Micronutrientes en frutos y hojas de café. *Cenicafé*, 66(2), 73-87.
- StatSoft, I. N. C. (2001). STATISTICA (data analysis software system), version 6. *Tulsa, USA*, 150, 91-94.
- Tukey, J. W. (1953). The problem of multiple comparisons. *Multiple comparisons*. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1572543024859553152>