



DIAGNÓSTICO DE MICRONUTRIENTES EN PLANTACIONES CAFETALERAS DE LA PROVINCIA SANTIAGO DE CUBA

MICRONUTRIENT DIAGNOSIS IN COFFEE PLANTATIONS IN THE PROVINCE OF SANTIAGO DE CUBA

© CARLOS ALBERTO BUSTAMANTE GONZÁLEZ¹, © JUAN ANTONIO LUSSÓN PUNZET²

¹Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Santiago de Cuba, Cuba

²Proyecto PRODECAFE. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: prodecapelusson@gmail.com

*Autor para correspondencia: marlonejandros2012@gmail.com

RESUMEN

El diagnóstico de micronutrientes en cafetales es fundamental para optimizar la fertilización y garantizar la productividad y calidad del café. Este estudio evaluó los contenidos de micronutrientes en suelos y hojas de cafetos en dos bancos de semillas del municipio Tercer Frente, Santiago de Cuba, mediante espectrofotometría de absorción atómica. Se analizaron suelos Pardos y hojas de variedades como Caturra rojo, Laferno y *Coffea canephora*, cuantificando Zn, Cu, Mn y Fe. Los resultados mostraron que los niveles de Zn, Cu y Mn superaron los informados en Colombia y México, mientras que el Fe fue inferior. En el suelo, la materia orgánica, Ca y Mg correlacionaron positivamente con Cu y Mn foliares. Las variedades exhibieron diferencias significativas: *Coffea canephora* acumuló más Zn, y Caturra rojo presentó mayor contenido de Cu. Los bajos niveles foliares en la CPA VI Cumbre indicaron deficiencias edáficas, lo que resalta la necesidad de ajustar el manejo nutricional según genotipo y condiciones locales. Se concluye que la espectrofotometría es precisa para diagnosticar micronutrientes y que las prácticas agronómicas deben adaptarse a las demandas específicas de cada variedad.

Palabras clave: espectrofotometría, fertilidad, genotipo, absorción, correlación

ABSTRACT

Micronutrient diagnosis in coffee plantations is essential to optimize fertilization and ensure coffee productivity and quality. This study evaluated micronutrient contents in soils and leaves of coffee trees in two seed banks in the Tercer Frente municipality, Santiago de Cuba, using atomic absorption spectrophotometry. Brown soils and leaves of varieties such as Caturra rojo, Laferno, and *Coffea canephora* were analyzed, measuring Zn, Cu, Mn, and Fe. The results showed that Zn, Cu, and Mn levels exceeded those reported in Colombia and Mexico, while Fe was lower. In the soil, organic matter, Ca, and Mg positively correlated with foliar Cu and Mn. The varieties exhibited significant differences: *Coffea canephora* accumulated more Zn, and Caturra rojo had higher Cu contents. The low foliar levels at the VI Summit indicated soil deficiencies, highlighting the need to adjust nutritional management according to genotype and local conditions. It is concluded that spectrophotometry is accurate for diagnosing micronutrients and that agronomic practices must be adapted to the specific demands of each variety.

Keywords: spectrophotometry, fertility, genotype, absorption, correlation

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico de suelo y foliar es esencial para evaluar el estado nutricional de los cultivos. Este proceso permite detectar deficiencias y excesos de nutrientes, lo que facilita el ajuste de los programas de fertilización (Sadeghian, 2020). En ese contexto, el conocimiento de los requerimientos de micronutrientes por parte de las plantas resulta fundamental.

Para el café, Inthasan et al. (2021) recomiendan la aplicación foliar de Ca-B, boro y ZnSO₄ en lugar de la aplicación tradicional de Nitrofosca, ya que esta estrategia incrementa el rendimiento y la calidad del café. Además, se ha demostrado el efecto positivo del boro, el zinc y el manganeso en la reducción de las afectaciones causadas por la roya (Plaza Pérez et al., 2020).

Recibido: 10/1/2026

Aceptado: 24/2/2026

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores: Adquisición de fondos, administración del proyecto, conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, validación, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición: Carlos Alberto Bustamante González. Curación de datos, análisis formal, investigación, redacción - borrador original: Juan Antonio Lussón Punzet.



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/>



En Brasil, Malavolta et al. (1963) determinaron que 60 kg de café de tres variedades de arábica exportaban 0.96 g de B, 0.80 g de Cu, 3.60 g de Fe, 1.20 g de Mn, 0.003 g de Mo y 0.72 g de Zn. Según Bragança et al. (2007), la cosecha puede representar hasta el 30% del B, el 46% del Cu, el 26% del Fe, el 14% del Mn y el 25% del Zn del contenido total presente en la planta. Estos datos destacan la importancia de reponer los nutrientes extraídos para mantener la fertilidad del suelo.

Quintão-Lana et al. (2010) informaron que Martínez et al. (2000) evaluaron el estado nutricional de plantaciones de café en Patrocínio, Minas Gerais, y encontraron deficiencias de Zn en el 28% de las plantaciones de baja productividad. En el mismo estudio, el Cu fue limitante en el 35% de los casos, mientras que el Mn lo fue en el 21%. Incluso en plantaciones de alta productividad, el Mn y el Cu mostraron limitaciones en el 13% y el 20% de los casos, respectivamente.

El zinc cumple un papel crucial en la fotosíntesis y en el transporte de carbono. Además, es un componente estructural de varias enzimas (Alloway, 2008) y actúa como activador de otras (Sadeghian, 2022). Su presencia es indispensable para la síntesis de proteínas y de hormonas relacionadas con el crecimiento de las plantas.

El cobre forma parte de diversas enzimas y actúa como cofactor en procesos metabólicos. Participa en la fotosíntesis, la respiración, la regulación hormonal y la fijación simbiótica de nitrógeno en leguminosas, además de incrementar la resistencia de las plantas a enfermedades (Sadeghian, 2022). Según Carvalho et al. (2012), en dependencia de la dosis aplicada, el cobre puede funcionar como fungicida y bacteriostático.

El molibdeno es un componente clave de la nitrogenasa, enzima involucrada en la fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico. También forma parte de la nitrato reductasa, que cataliza la reducción de nitratos a nitritos.

El hierro desempeña una función esencial en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de clorofila. Además, participa en la asimilación de azufre, la fijación biológica de nitrógeno y la formación de proteínas, enzimas y metabolitos (Schmidt et al., 2022; K. S. Sadeghian, 2022).

El origen geográfico influye en la composición del grano de café y, por tanto, en la calidad de la bebida (Trejo-Téllez et al., 2018). De igual manera, los niveles de macro y micronutrientes afectan ciertos atributos de calidad (Morales-Ramos et al., 2020), por lo que su monitoreo es fundamental para preservar las cualidades organolépticas del café cubano.

En Cuba, las investigaciones sobre micronutrientes se resumen en el trabajo de Muñiz (2008), el cual aborda principalmente su presencia en suelos de cultivos distintos al café o en regiones occidentales del país. Sin embargo, este estudio no incluye análisis de suelos en zonas montañosas dedicadas al cultivo de café o cacao.

El objetivo de este trabajo fue diagnosticar los contenidos de micronutrientes en hojas y suelos Pardo de variedades de

cafetos cultivados en dos jardines de variedades del municipio de Tercer Frente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron en dos sitios del municipio Tercer Frente, provincia Santiago de Cuba. El primer sitio correspondió al banco de semillas de la Unidad de Ciencia y Tecnología de Base (UCTB) Tercer Frente, perteneciente al Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. El segundo sitio fue el Banco de semillas de la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) VI Cumbre, adscrita a la Empresa Agro-Forestal Carlos Manuel de Céspedes.

Los cafetos de los bancos de semillas se encontraban plantados a una distancia de 2 m x 1 m en suelo Pardo. En la UCTB, los cultivos estaban bajo sombra de *Leucaena leucocephala* (Lam) De Witt. En la VI Cumbre, la sombra estaba compuesta por algarrobo (*Samanea saman* (Jacq) F. Muell) y piñón (*Gliricidia sepium* (Jacq) Kunth).

Muestreos de suelos y foliares

En octubre de 2019, se recolectaron muestras de suelo en ambos sitios. Se tomaron tres muestras compuestas en zigzag a 30 cm de profundidad y a 30 cm del tronco de los cafetos. Este procedimiento se aplicó de manera uniforme en las dos localidades.

En el banco de semillas de la UCTB, se obtuvieron muestras foliares de las variedades Catuai amarillo, Caturra rojo, Isla 5-15, Isla 6-14, Laferno, San Ramón enano y la especie *Coffea canephora*. En la VI Cumbre, las muestras foliares se limitaron a las variedades Laferno y Caturra rojo. Para la recolección, se seleccionaron al azar 20 plantas, y de cada una se tomaron cuatro ramas de la zona de producción, en la parte central y en los cuatro puntos cardinales. Las hojas se extrajeron del segundo y tercer nudo a partir de las puntas de las ramas, conformando tres muestras compuestas.

En el laboratorio, las muestras se lavaron con agua destilada y se secaron en estufa a 70 °C durante 72 horas. Los análisis de suelo y foliar se llevaron a cabo según los procedimientos del Centro de Investigaciones del Níquel de Moa, provincia de Holguín.

Los métodos utilizados incluyeron:

- UPL-PT-EX-01 Suelos: Determinación de cationes cambiables con acetato de amonio.
- UPL-PT-EX-03 Suelos: Determinación de Cu, Mn, Fe, Zn asimilable, mediante solución extractiva de HCl 1N.
- UPL-PT-EX-05 Suelos: Determinación de fósforo asimilable por el método de Oniani.
- UPL-PT-V-23: Determinación de materia orgánica en carbonato.
- UPL-PT-E-02: Determinación de pH en suelos.
- UPL-PT-EX-06 Suelos: Determinación de boro por el método de agua caliente (relación 1:2).

Para interpretar los contenidos de micronutrientes en las hojas, se emplearon valores de referencia basados en estudios brasileños (Prieto Martínez et al., 2003). Estos autores establecieron niveles críticos para cafetales según su productividad, se utilizó como referencia el nivel bajo (menos de 900 kg ha⁻¹). Los rangos críticos adoptados (mg kg⁻¹) fueron: cobre (13-70), hierro (56-153), zinc (8-18) y manganeso (76-241). Adicionalmente, se consideraron los valores propuestos para Colombia (S. Sadeghian, 2020), que definió rangos más estrechos: cobre (8-17), hierro (54-121), zinc (6-12) y manganeso (106-278).

Los datos obtenidos se procesaron con el programa estadístico STATISTICA en ambiente Windows. Para evaluar diferencias significativas, se aplicó un análisis de varianza de clasificación doble y, en algunos casos, la prueba t de Student. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos disponibles en la literatura sobre los contenidos de micronutrientes presentan una limitación importante debido a la diversidad de métodos de extracción utilizados, lo que dificulta la comparación de resultados. En este estudio, se empleó la espectrofotometría de absorción atómica, un método reconocido por su mayor productividad, precisión y exactitud, además de estar libre de interferencias (Muñiz, 2008). Para establecer una comparación válida, se tomaron como referencia los resultados de análisis de suelo y foliares informados en Cuba por Muñiz (2008), así como los rangos críticos documentados para suelos de Colombia, México y Brasil, a pesar de las diferencias en el origen geológico de estos últimos.

Los contenidos medios de todos los micronutrientes (Tabla 1) se situaron, en ambos sitios de estudio, dentro del rango informado por Muñiz (2008) para este tipo de suelos. Estos valores pueden servir como una referencia confiable para futuras investigaciones sobre suelos Pardos. Además, la consistencia de los datos respalda su utilidad como base para evaluaciones comparativas en contextos similares.

Los valores de zinc, cobre y manganeso fueron superiores a los documentados por Sadeghian (2020) en cuatro localidades de Colombia y por López-Báez et al. (2019) en una región de México. Por el contrario, los contenidos de hierro resultaron inferiores a los registrados en ambos países. Cabe destacar que los coeficientes de variación en este estudio fueron notablemente más bajos que los informados en esas investigaciones, lo que refleja una menor heterogeneidad en los datos. Por ejemplo, López-Báez et al. (2019) obtuvieron coeficientes del 55 % para el Fe, 66 % para el Cu, 217 % para el Zn y 93 % para el Mn.

Finalmente, los valores mínimos y máximos proporcionan un panorama claro de la variabilidad observada en las áreas muestreadas. Esta información es relevante para entender la distribución espacial de los micronutrientes y establecer rangos representativos.

Los contenidos de materia orgánica, calcio, magnesio y cobre del banco de semillas de la UCTB (1,78; 131,8; 23,2 y 26,9, respectivamente) resultaron estadísticamente superiores a los del banco de semillas de la CPA (1,48; 71,3; 8,0 y 19,3, respectivamente). Estas diferencias podrían estar relacionadas con el manejo más intensivo realizado en el área de la UCTB. Específicamente, la fertilización mineral podría explicar estos contrastes.

Tabla 1. Estadísticas básicas del contenido de micronutrientes en el suelo de los bancos de semilla, mg kg⁻¹

	Media	Mínimo	Máximo	D. E	C.V.	Rango y valor medio
UCTB Tercer Frente						
Zn	20.44	18.40	22.88	2.26	11.08	9-362*, Medio 60* 0.1-20.3**,***
Mn	98.81	92.15	102.38	5.77	5.84	45-9200* Medio 525* 42.7-208***
Cu	26.92	26.30	27.83	0.80	2.99	4-100* Medio 23* 0.07-3.63**,***
Fe	22.17	19.60	25.20	2.836	12.76	25-50** 10.7-230.5***
CPA VI Cumbre						
Zn	19.43	18.15	20.08	1.11	5.73	
Mn	103.42	101.40	104.78	1.78	1.72	
Cu	19.42	18.45	20.13	0.87	4.49	
Fe	17.93	17.30	18.30	0.55	3.07	

D.E.-Desviación estándar. C.V.-coeficiente de variación.

* Suelos bajo caña de azúcar (Muñiz, 2008);

** (Salamanca & González, 2020);

*** (López-Báez et al., 2019)

Al analizar la relación entre los elementos, se encontraron valores significativos y negativos entre el pH y el Mg (-0,82), los contenidos de materia orgánica y los de Mn (-0,84), y el K frente al Zn (-0,93). Los coeficientes de correlación positivos se hallaron entre la materia orgánica y el boro (0,82), el Fe y el Cu (0,83), el Ca y el Mg (1,0), el Mg y el Cu (0,95), y el Cu con el Fe (0,80). Estas relaciones reflejan interacciones clave entre los nutrientes en el suelo.

Contenido de micronutrientes en dependencia de las variedades de los cafetos

Elucidar las diferencias en las exigencias nutricionales entre las variedades es una forma de obtener mayor productividad y optimizar el uso de fertilizantes, lo que reduce costos y disminuye la contaminación ambiental. El análisis químico del tejido vegetal se ha perfeccionado para determinar las necesidades de fertilización. Se utilizan principalmente las hojas, ya que en ellas ocurre la mayor producción de fotosintatos y hacia allí se dirige la mayor cantidad de nutrientes absorbidos por las plantas (Quintão-Lana et al., 2010).

En Cuba no se cuenta con información suficiente sobre las concentraciones de micronutrientes en las hojas del cafeto. Este vacío en el conocimiento limita la interpretación de los análisis foliares. Por ello, es necesario profundizar en estudios que permitan establecer rangos de referencia para estas variedades.

En las hojas de las variedades del jardín de la UCTB, los niveles críticos de cobre se encontraron dentro del rango adecuado, mientras que los de manganeso se catalogaron como bajos. Los de hierro y zinc se clasificaron como altos (Tabla 2). En el jardín de variedades de la VI Cumbre, el contenido de todos los micronutrientes se catalogó como bajo (Tabla 2). A pesar de esto, los contenidos de todos los micronutrientes resultaron superiores a los valores informados por Schmidt para 16 genotipos de *Coffea canephora* en Brasil.

De manera general, los valores de micronutrientes se ubicaron dentro del rango informado en la bibliografía, con mayor similitud a los informados por el colectivo de autores citados por Teixeira-Clemente (2005) para el Fe, Cu y Zn. En el caso del manganeso, los resultados se ajustaron más a los encontrados por Teixeira-Clemente (2005). El rango de micronutrientes en Colombia fue superior a los valores hallados en los suelos cubanos.

Se destaca que los valores de micronutrientes en el jardín de variedades de la CPA VI Cumbre se ubicaron todos por debajo del rango establecido. Esto sugiere la necesidad de un estudio más profundo sobre el manejo de la fertilidad del suelo en ese sitio.

En el jardín de la UCTB, solo se encontraron diferencias significativas entre las variedades para los contenidos de zinc. La especie *Coffea canephora* mostró valores superiores de Zn,

los cuales se diferenciaron significativamente de los de Isla, Laferno y San Ramón (Tabla 2).

Los contenidos de nutrientes en hojas para las variedades de la especie *Coffea arabica* (promedio de todas las variedades) se ubicaron en el orden Fe > Mn > Cu > Zn. En cambio, para la especie *Coffea canephora*, el orden fue Fe > Cu > Zn = Mn. En un Latosol rojo-amarillento arcilloso en Brasil, los micronutrientes más absorbidos por *Coffea canephora* fueron Fe > Mn > B > Zn > Cu (Martinez & Reis Jr, 2002). En Colombia, Sadeghian (2022) señaló que la tendencia suele ser Mn > Fe > B > Cu > Zn. Da Silva et al. (2021) encontró que los mayores tenores de Fe se localizaron en las raíces en comparación con otras partes de las plantas.

No se encontraron diferencias significativas para los contenidos de hierro, zinc y manganeso en las hojas de las variedades de cafetos plantadas en la CPA VI Cumbre (Tabla 2). Sin embargo, la variedad Caturra rojo mostró valores significativamente superiores de cobre en comparación con la variedad Laferno.

En el jardín de variedades de la CPA VI Cumbre solo se encontraron diferencias significativas para el contenido de cobre, con valores superiores en la variedad Caturra rojo (Tabla 2). Los valores de cobre para esta variedad fueron de magnitud similar en ambos sitios, mientras que los de la variedad Laferno, bajo las mismas condiciones de suelo, resultaron inferiores a los registrados en la UCTB. Esta diferencia refleja los menores contenidos de cobre en la variedad Laferno.

Los valores de todos los micronutrientes en las hojas de las variedades de la VI Cumbre fueron inferiores a los detectados en las hojas de las variedades de la UCTB. Esta discrepancia podría asociarse con los menores contenidos de nutrientes en el suelo de este sitio (Tabla 2). En el caso del manganeso, las diferencias podrían deberse a otros factores inherentes al tipo de suelo.

Alberto et al. (2023) determinaron que la eficiencia en la absorción de nutrientes está definida genéticamente. Estos autores resumieron investigaciones sobre diversos factores que influyen en dicho proceso, como las prácticas de manejo, la altura, el nivel de maduración y las condiciones medioambientales. Su estudio destaca la complejidad de los mecanismos que regulan la absorción de nutrientes.

La relación entre los contenidos de micronutrientes en hoja y ciertas variables de fertilidad del suelo mostró correlaciones fuertes, positivas y significativas. Estas asociaciones se observaron entre los contenidos de cobre y manganeso en hojas y los niveles de calcio, magnesio y materia orgánica (Tabla 3). En el caso del cobre, dichas correlaciones reflejaron las diferencias significativas entre los sitios estudiados. Por otro lado, se detectaron correlaciones fuertes, negativas y significativas entre los contenidos de hierro en hoja y los valores de calcio y magnesio.

Tabla 2. Contenidos de micronutrientes en hojas de variedades de café (mg kg⁻¹).

		Cu	Zn	Mn	Fe
UCTB	<i>C. canephora</i>	19,60	7,47 a	7,27	66,98
	Catuai amarillo	13,00	5,18 ab	13,53	48,40
	Caturra rojo	11,23	4,58 ab	28,78	68,95
	Isla 5-15	16,72	2,65 b	14,43	32,72
	Isla 6-14	17,32	3,72 b	10,06	65,02
	Laferno	14,77	3,15 b	22,90	52,22
	San Ramón	15,43	2,20 b	15,72	42,32
	E. E. \bar{x}	2,72 ns	0,93*	4,55 ns	12,80 ns
Vi Cumbre	Caturra rojo	10,48 a	2,20	2,52	16,83
	Laferno	6,026 b	2,70	7,70	37,40
	E. E. \bar{x}	0,47*	0,67 ns	1,85 ns	8,62 ns
	Rango**	54-121	8-17	6-12	106-278
	Rango ***	424.89-457.31	12.40-18.54	11.5-11.92	127.17-178.67
	Rango ***	8-25	8-30	50-210	70-200

*medias con letras diferentes difieren para $p \leq 0.05$ según dócima de Duncan.

** Sadeghian Khalajabadi, 2020;

*** Teixeira-Clemente, 2005,

**** adaptado de autores citados por Teixeira-Clemente, 2005

Tabla 3. Correlación entre los contenidos de micronutrientes en hojas e indicadores de la fertilidad del suelo Pardo.

Correlations (SUELO VS MICRONUTRIENTES EN HOJAS)										
Marked correlations are significant at $p < .05000$										
N=6 (Casewise deletion of missing data)										
Variable	pH H2O	MO, %	P2O5	Ca+2	Mg+2	K+	Zn	Mn	Cu	Fe
Cu hojas	-0.80	0.71	-0.44	0.99	0.99	-0.42	0.34	-0.66	0.17	0.75
Zn hojas	-0.07	0.19	0.22	0.10	0.11	0.04	-0.03	-0.01	-0.11	0.15
Mn hojas	-0.58	0.84	-0.33	0.93	0.93	-0.44	0.24	-0.80	0.04	0.69
Fe hojas	0.64	-0.66	0.52	-0.92	-0.93	0.63	-0.43	0.76	-0.28	-0.72

CONCLUSIONES

1. La espectrofotometría de absorción atómica demuestra mayor precisión y reproducibilidad en la cuantificación de micronutrientes en suelos, lo que permite establecer rangos de referencia confiables para suelos Pardos. La heterogeneidad metodológica en la literatura limita la comparación directa de resultados entre estudios.
2. Los contenidos de Zn, Cu y Mn superan los informados en Colombia y México, mientras que el Fe es inferior. Las diferencias entre sitios (UCTB y CPA) sugieren que el manejo agronómico, como la fertilización, afecta la disponibilidad de nutrientes como materia orgánica, Ca, Mg y Cu.

3. La especie *C. canephora* acumula más Zn que la *C. arabica*, mientras que la variedad Caturra rojo destaca en contenido de Cu. Los bajos niveles foliares en la CPA Vi Cumbre reflejan deficiencias edáficas, lo que resalta la necesidad de ajustar el manejo nutricional según genotipo y condiciones del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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>

- Alloway, B. J. (2008). *Zinc in Soils and Crop Nutrition* (2nd ed.). International Zinc Association and International Fertilizer Industry Association.
- Bragança, C. M., Prieto Martinez, H. E., Garcia Leite, H., Pereira Santos, L., Sediayama, C. S., Alvarez, V. H., & Lani, J. A. (2007). Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro Conilon. *Ceres*, 54(314), 398-404.
- Carvalho, V. L., Cunha, R. L., & Silva, N. R. N. (2012). Alternativas de controle de doenças do cafeeiro. *Coffee Science*, 7(1), 42-49.
- 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.
- Inthasan, J., Dechjirathanasiri, C., & Taksa-Udom, N. (2021). Influence of zinc and boron on nutrient concentration in coffee leaf and on coffee yield in northern Thailand. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 15(1), 73-80.
- López-Báez, W., Reynoso-Santos, R., Camas Gómez, R., & Santos-Clemente, E. C. (2019). Caracterización de los suelos cultivados con café (Coffea L.) en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Agroproductividad*, 12(1), 53-58.
- Malavolta, E., Graner, A., Sarruge, J. R., & Gomes, L. (1963). Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita, pelas variedades 'Bourbon Amarelo', 'Caturra Amarelo' e 'Mundo Novo'. *Turrialba*, 13(3), 88-189.
- Martinez, H. E., & Reis Jr, R. dos A. (2002). Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. *Scientia agrícola*, 59, 537-542.
- Morales-Ramos, V., Escamilla-Prado, E., Ruiz-Carbajal, R. A., Pérez-Sato, J. A., Velázquez-Morales, J. A., & Servín-Juárez, R. (2020). On the soil-bean-cup relationships in Coffea arabica L. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 5434-5441.
- Muñiz, O. (2008). *Los microelementos en la agricultura*. Agrinform.
- Plaza Pérez, C. D., Pozza, E. A., Pozza, A. Z. A., Elmer, W. H., Bastos Pereira, A., da Silva Gomes Guimarães, D., Andrade Monteiro, A. C., & de Rezende, M. L. V. (2020). Boron, zinc and manganese suppress rust on coffee plants grown in a nutrient solution. *European Journal of Plant Pathology*, 156, 727-738. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01922-9>
- 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>
- Quintão-Lana, R. M., de Oliveira, S. A., Quintão Lana, A. M., & de Faria, M. V. (2010). Levantamento do estado nutricional de plantas de Coffea arabica L pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba - Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 1147-1156.
- Sadeghian, K. S. (2022). *Nutrición del café. Consideraciones para el manejo de la fertilidad del suelo*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0017>
- 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>
- Salamanca, A., & González, H. (2020). Respuesta del café a la aplicación foliar de nutrientes. *Revista Cenicafé*, 71(2), 124-142. <https://doi.org/10.38141/10778/71210>
- Schmidt, R., Silva, C. A. d., Dubberstein, D., Dias, J. R. M., Vieira, H. D., & Partelli, F. L. (2022). Genetic Diversity Based on Nutrient Concentrations in Different Organs of Robusta Coffee. *Agronomy*, 12, 640. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030640>
- Teixeira-Clemente, F. M. V. (2005). *Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes no cafeeiro (Coffea arabica L) no primeiro ano de formação de lavoura* [Master's thesis]. Universidade Federal de Lavras.
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Morales-Ramos, V., Marín-Garza, T., Castañeda-Castro, O., & Pastelin-Solano, M. C. (2018). Concentración de macronutrientes y micronutrientes en granos de café (Coffea sp.) de diferentes orígenes. *Agroproductividad*, 11(4), 19-24.