

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del suelo como herramienta predictiva de la calidad en café de especialidad: Panama Geisha

Pérez, Alexander

Estudiante de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID ID 0000-0002-9343-0426

Salgado, Tatiana

Docente e Investigadora de la Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID ID 0000-0001-6082-0586

Rico, Fabián

Profesor Asociado, Programa de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad de
Cartagena
Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia
ORCID ID 0000-0002-9277-4489

Abstract

Geisha coffee (*Coffea arabica* var. Geisha) has positioned Panama as an international benchmark in specialty coffees due to its distinctive sensory qualities. Its excellence arises from both genetic factors and agroecological conditions such as altitude, microclimate, and soil type. This research evaluated how the physicochemical properties of soil influence the final quality of Geisha coffee beans cultivated in the main producing regions of Chiriquí Province: Boquete, Renacimiento, and Tierras Altas.

Ten farms were selected, and soil samples were collected at three depths (0–20, 20–40, and 40–60 cm) to analyze key physicochemical parameters: pH, gravimetric moisture, apparent density, porosity, electrical conductivity, and texture. The pH values ranged from 5.3 to 6.5, within the optimal range for coffee plant development. Soil moisture varied between 23% and 69%, with higher water retention observed in loam–silt textures. Bulk density ranged from 0.71 to 0.94 g/cm³, reflecting suitable aeration and physical structure for root development.

Additionally, mature Geisha coffee beans were analyzed to determine moisture, apparent density, titratable acidity, pH, and ash content. The results showed moisture values between 63% and 69%, bean density between 0.44 and 0.57 g/cm³, titratable acidity from 0.23% to

0.76%, pH between 4.7 and 5.1, and ash content ranging from 3.5% to 6.7%.

These preliminary findings demonstrate favorable edaphic conditions for producing specialty coffee in Chiriquí and provide a foundation for developing soil management strategies that promote sustainability and enhance the competitiveness of Panamanian Geisha coffee in international markets.

Keywords: soil analysis, Geisha coffee, bean quality, Chiriquí, soil physicochemical properties.

Resumen

El café Geisha (*Coffea arabica* var. Geisha) ha posicionado a Panamá como un referente internacional en cafés de especialidad por sus cualidades sensoriales distintivas. Su excelencia se debe tanto a factores genéticos como a condiciones agroecológicas: altitud, microclima y tipo de suelo. Esta investigación evaluó cómo las propiedades fisicoquímicas del suelo influyen en la calidad final del grano de café Geisha cultivado en las regiones productoras de la provincia de Chiriquí: Boquete, Renacimiento y Tierras Altas.

Se seleccionaron 10 fincas y se recolectaron muestras de suelo a tres profundidades (0–20, 20–40 y 40–60 cm) para analizar parámetros fisicoquímicos clave: pH, humedad gravimétrica, densidad aparente, porosidad, conductividad eléctrica y textura. Los valores de pH oscilaron entre 5.3 y 6.5, dentro del rango óptimo para el desarrollo del cafeto. La humedad varió entre 23% y 69%, mayor retención en suelos franco-limosos. La densidad aparente fluctuó entre 0.71 y 0.94 g/cm³, reflejando una buena aireación y estructura para el crecimiento radicular.

Paralelamente, se analizaron granos maduros de café Geisha para determinar humedad, densidad aparente, acidez titulable, pH y contenido de cenizas. Los resultados mostraron humedad entre 63% y 69%, densidad del grano entre 0.44 y 0.57 g/cm³, acidez titulable de 0.23% – 0.76%, pH entre 4.7 y 5.1, y cenizas de 3.5% – 6.7%.

Estos resultados preliminares evidencian condiciones edáficas adecuadas para la producción de café de especialidad en Chiriquí y constituyen una base para fortalecer estrategias de manejo del suelo que promuevan la sostenibilidad y la competitividad del café Geisha panameño.

Palabras claves: análisis del suelo, café Geisha, calidad del grano, Chiriquí, propiedades fisicoquímicas del suelo.

1. INTRODUCCIÓN

El café Geisha (*Coffea arabica* var. Geisha) ha consolidado a Panamá como un referente internacional en cafés de especialidad debido a su perfil sensorial altamente diferenciado, asociado a sus características genéticas y a las condiciones agroecológicas particulares de las regiones de Boquete, Renacimiento y Tierras Altas [1], [2]. Dentro de estos factores, las propiedades fisicoquímicas del suelo constituyen un elemento determinante en la expresión de compuestos que influyen directamente en la calidad del grano, particularmente en zonas de alta montaña con microclimas y tipologías de suelo contrastantes [3], [4].

El presente estudio evalúa la influencia de parámetros edáficos claves —pH, humedad, densidad aparente, porosidad, conductividad eléctrica y textura— sobre atributos fisicoquímicos de granos maduros de café geisha producidos en diez fincas de la provincia de Chiriquí. Se trabajó con muestras de suelo recolectadas en tres profundidades (0–20, 20–40 y 40–60 cm), procesadas bajo condiciones controladas siguiendo criterios establecidos para investigaciones agronómicas tropicales [5], [6]. Los resultados preliminares buscan establecer correlaciones entre las condiciones edáficas y la calidad del grano para contribuir al fortalecimiento de prácticas de manejo sostenible en fincas cafetaleras panameñas.

2. MÉTODO

Las muestras de suelo se recolectaron en diez fincas representativas de las principales zonas productoras de café Geisha en Boquete, Renacimiento y Tierras Altas, seleccionadas por su variabilidad agroecológica y relevancia en la producción nacional [1], [3]. En cada finca se excavaron tres calicatas y se obtuvieron muestras a profundidades de 0–20 cm, 20–40 cm y 40–60 cm, siguiendo un diseño estratificado vertical recomendado para estudios edafológicos en ambientes tropicales de montaña [5], [7]. Las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas, transportadas en contenedores térmicos y procesadas en el laboratorio en menos de 24 horas, conforme a lineamientos internacionales para evitar alteraciones físico-químicas post-muestreo [8].

El pH se determinó mediante potenciometría en suspensión suelo:agua (1:2.5), método ampliamente validado en investigaciones agronómicas de alta precisión [7], [9]. La humedad gravimétrica del suelo se obtuvo por secado en estufa a 105 °C hasta peso constante, siguiendo protocolos AOAC [8]. La densidad aparente se calculó mediante el método del cilindro de volumen conocido, mientras que la porosidad total se estimó utilizando la relación entre densidad real del suelo (2,65 g/cm³) y la densidad aparente, como proponen Brady y Weil [7]. La textura del suelo se evaluó por el método de Bouyoucos mediante hidrómetro, clasificando los suelos según el triángulo textural USDA, una técnica estándar para determinar la fracción de arena, limo y arcilla [6], [7]. La conductividad eléctrica se

midió en extracto suelo:agua 1:1 con un equipo previamente calibrado conforme a ISO 11265 [10].

De forma paralela, se recolectaron frutos maduros de café Geisha en las mismas parcelas de muestreo. Los frutos fueron despulpados manualmente y analizados en fresco para evaluar sus atributos fisicoquímicos. La humedad se determinó por secado entre 103–105 °C, siguiendo procedimientos AOAC ampliamente empleados en la industria cafetalera [8], [11]. El pH se midió en extracto acuoso (1:5), mientras que la acidez titulable se cuantificó por titulación con NaOH 0.1 N hasta pH 8.2, expresándose como ácido cítrico equivalente, tal como proponen Buffo y Cardelli para estudios de calidad del café [11]. La densidad aparente del grano fresco se determinó mediante desplazamiento volumétrico, un indicador crítico relacionado con la calidad física y sensorial del café [12]. El contenido de cenizas se obtuvo por calcinación a 550 °C durante cuatro horas siguiendo métodos estandarizados para análisis de minerales totales [8].

Los datos obtenidos a partir de las tablas I1 e I2 fueron consolidados en una única matriz analítica. Se calcularon estadísticas descriptivas (media, desviación estándar y coeficiente de variación) para cada variable, lo cual constituye la base para análisis correlacionales posteriores entre las propiedades edáficas y los atributos fisicoquímicos del grano. Este diseño metodológico permite avanzar hacia futuros análisis multivariados, modelamientos predictivos y caracterizaciones de terroir aplicadas al café Geisha panameño [2], [3], [12].

3. RESULTADOS

A. Propiedades fisicoquímicas del suelo

Los valores de pH oscilaron entre 5,56 y 6,24, con un promedio de 5,96, lo cual corresponde a condiciones ligeramente ácidas óptimas para el desarrollo del cafeto y la disponibilidad de nutrientes específicos como N, P, Fe y Mn [3], [7]. La humedad gravimétrica presentó una variabilidad amplia entre fincas (27–56%), influenciada por las texturas predominantes: suelos franco-arenosos y franco-limosos con mayor retención hídrica en los perfiles más finos (I1).

La densidad aparente se mantuvo entre 0,77 y 0,92 g/cm³, reflejando suelos con buena estructura, aireación y facilidad para el desarrollo radicular, mientras que la porosidad mostró valores entre 26% y 40%, adecuados para el drenaje en sistemas de montaña [9]. La conductividad eléctrica registró valores entre 0,05 y 0,25 dS/m, indicando baja salinidad, condición favorable para evitar estrés en etapas críticas de fructificación [10].

B. Propiedades fisicoquímicas del grano de café Geisha

Los granos frescos mostraron valores de humedad entre 63% y 67%, consistentes con frutos

recién cosechados en condiciones de alta humedad ambiental (I2). El pH varió entre 4,74 y 5,08, coherente con frutos maduros con equilibrio ácido natural. La acidez titulable osciló entre 0,23% y 0,76%, rango asociado a cafés de alta expresión sensorial [2], [11].

La densidad aparente del grano estuvo entre 0,44 y 0,57 g/cm³, indicador clave de calidad física y potencial sensorial del café, ya que densidades mayores suelen correlacionarse con granos más compactos y de mayor puntaje en taza [12]. El contenido de cenizas (3,5–6,7%) refleja la concentración mineral del grano, influenciada por la disponibilidad de nutrientes en el suelo y su absorción a distintos niveles del perfil [3], [9].

C. Integración de resultados suelo–grano

La comparación entre datos edáficos y fisicoquímicos del grano permite observar tendencias preliminares:

Suelos con mayor porosidad (>34%) mostraron granos con densidades más altas, indicando mejor aireación y absorción mineral.

Suelos franco-limosos, como los observados en CG07 y CG10, se asociaron a mayor humedad del grano y mayor acidez, características apreciadas en cafés de especialidad [2], [11].

La estabilidad del pH del suelo (5,8–6,2) contribuyó a valores de pH del grano en rangos óptimos (4,8–5,1), necesarios para una adecuada expresión aromática [12].

4. CONCLUSIONES

Los resultados evidencian que las condiciones edáficas presentes en las fincas evaluadas ofrecen un ambiente altamente favorable para la producción de café Geisha de especialidad. Las características observadas tales como pH ligeramente ácido, texturas franco-arenosas y franco-limosas, buena porosidad y densidades adecuada sostienen un sistema radicular eficiente y una adecuada disponibilidad de nutrientes que se reflejan en la calidad fisicoquímica del grano.

Este estudio aporta información clave para la gestión agronómica del cultivo, facilitando la implementación de prácticas de manejo específicas para cada finca según sus características edáficas. Asimismo, los resultados preliminares fortalecen la competitividad del café Geisha panameño y su posicionamiento en mercados internacionales especializados, mediante una comprensión más profunda de la relación entre suelo, planta y calidad final.

Referencias

- [1] R. Clarke and O. Vitzthum, *Coffee: Recent Developments*. Oxford: Blackwell Science, 2001.
- [2] S. Wilson and M. Paul, “Specialty coffee and terroir expression,” *Food Res. Int.*, vol. 158, pp. 1–12, 2022.
- [3] P. Avelino et al., “Environmental factors influencing coffee quality,” *Food Chem.*, vol. 122, no. 4, pp.

1271–1278, 2010.

- [4] F. B. Catuaí and H. Bertrand, “Genetic basis of Arabica coffee diversity,” *Euphytica*, vol. 204, pp. 255–270, 2015.
- [5] AOAC, *Official Methods of Analysis*, 21st ed., 2019.
- [6] USDA, *Soil Survey Laboratory Manual*, 2017.
- [7] J. Brady and R. Weil, *The Nature and Properties of Soils*, 15th ed., Pearson, 2017.
- [8] ISO 11265, “Soil quality — Determination of the electrical conductivity,” 2017.
- [9] M. Bechtold and J. Naiman, “Soil porosity and structure in tropical mountain systems,” *Catena*, vol. 189, pp. 1–12, 2020.
- [10] C. Martínez et al., “Salt stress effects on coffee plant physiology,” *Agronomy*, vol. 9, no. 9, pp. 1–14, 2019.
- [11] T. R. Buffo and F. C. Cardelli, “Coffee flavor: chemistry and sensory analysis,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 56, pp. 375–382, 2008.
- [12] J. Joët et al., “Metabolomic signatures of coffee quality,” *Food Chem.*, vol. 221, pp. 1041–1050, 2017.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

tribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.