

PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA DE CAFÉ EN LOS ALTOS DE PIPE, ESTADO MIRANDA: INTERACCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS INTRODUCIDAS Y NATIVAS

Saúl Flores^{1,2*}, Alexander Mejías¹, Enderson Clavijo¹, Ricardo Bracho¹, Rangel Maiella¹, Marjory Meléndez¹, Alejandro López¹, Honorio Belizario¹, Anaysa Rojas¹ y Enrique Egaña¹

¹Laboratorio de Ecología de Suelos, Ambiente y Agricultura, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). ²Laboratorio de Biofertilizantes y Biocontroladores, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).
*jassanflore@gmail.com

RESUMEN

Este estudio evaluó el desempeño de la producción agroecológica de café (*Coffea arabica* L. variedad INIA 01) en tres microlotes en Los Altos de Pipe, Estado Miranda, a 1747 metros sobre el nivel del mar. La investigación se enfocó en la interacción con especies arbóreas introducidas (pino y eucalipto) y nativas (*Croton gossypifolius*). Se realizaron análisis fisicoquímicos del suelo y se evaluaron variables de crecimiento y producción del cultivo en los microlotes. La metodología incluyó prácticas de control biológico y un manejo post-cosecha detallado. Los resultados demuestran la viabilidad de la producción bajo condiciones subóptimas, con rendimientos notables en los microlotes 1 y 2. La incorporación del *Croton gossypifolius* en el microlote 1 fue clave para mejorar la calidad del suelo y mitigar los efectos negativos de las especies exóticas. Se concluye que es posible obtener un café de especialidad en entornos urbanos y con la renovación del antiguo cafetal se promueve la conservación de la biodiversidad local y la sostenibilidad de la producción.

Palabras clave: agroecología, lotes, cultivo, café, cosecha.

Agroecological coffee production in the highlands of Miranda State: the interaction between introduced and native tree species

ABSTRACT

This study evaluated the performance of agroecological coffee production (*Coffea arabica* L. variety INIA 01) across five microlots in Los Altos de Pipe, Estado Miranda, at 1,747 meters above sea level. The research focused on the interaction with introduced tree species (pine and eucalyptus) and native ones (*Croton gossypifolius*). Physicochemical soil analyses were conducted, and crop growth and production variables were evaluated in the microlots with the highest potential. The methodology included biological control practices and a detailed post-harvest management plan. The results demonstrate the viability of production under suboptimal conditions, with notable yields in microlots 1 and 2. The incorporation of *Croton gossypifolius* in microlot 1 was key to improving soil quality and mitigating the negative effects of the exotic species. We conclude that it's possible to produce specialty coffee in urban environments, and that the restoration of the old coffee plantation promotes local biodiversity conservation and production sustainability.

Keywords: agroecology, plots, cultivation, coffee, harvest.

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica*), originario de las tierras altas de Etiopía y Sudán, ha recorrido un extenso camino geográfico desde su expansión inicial en Arabia Saudita y Yemen en los siglos VI y IX, hasta su introducción en América en el siglo XVIII (Herrera *y col.*, 1985; Alvarado *y col.*, 2007). Su cultivo se ha consolidado como un pilar socioeconómico a nivel mundial, siendo uno de los productos agrícolas más comercializados. Para el período 2024-2025, la producción global se estima en 174,86 millones de sacos de 60 kg, con Brasil como principal productor (USDA Foreign Agricultural Service, 2025); mientras que Venezuela ocupa el puesto 21, con una producción de 500.000 sacos.

Desde el punto de vista botánico, el género *Coffea* se divide en dos grupos principales: especies tetraploides y diploides. Las tetraploides están representadas por *Coffea arabica* L., que constituye aproximadamente el 70% de la producción mundial. Esta especie es la base de las variedades de café suave, cultivadas predominantemente en América Latina (Orozco, 1986). Por su parte, las especies diploides como *C. canephora* Pierre (conocida como Robusta), se cultivan principalmente en África y aportan el 25% de la producción global, destacándose por su resistencia a plagas y enfermedades (Orozco, 1986; Pozo, 2014).

La producción convencional de café ha generado impactos negativos en el ambiente y la salud humana debido al uso excesivo de agroquímicos. En este contexto, la agroforestería emerge como una alternativa sostenible. Un sistema agroforestal de café combina especies arbóreas con el cultivo, mejorando la conservación del suelo y el agua, y manteniendo la productividad (Farfán, 2020). El café, al ser una especie originaria del sotobosque, está naturalmente adaptado a condiciones de sombra. Sin embargo, el efecto de los árboles sobre la producción y la calidad del café depende de factores como las condiciones del sitio (suelo y clima), el genotipo de la planta y las prácticas de manejo (Beer *y col.*, 1988; Montagnini *y col.*, 2015).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño de la producción agroecológica del cultivo de café en un contexto urbano, dentro del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) en Los Altos de Pipe, considerando la interacción con especies arbóreas introducidas como el pino y el eucalipto, y nativas como el *Croton gossypifolius*. La investigación se centra en la variedad INIA 01 y su adaptación a estos sistemas, así como en la implementación de técnicas de manejo agroecológico y post-cosecha para obtener un café de especialidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo es el tercero de una serie de inventarios de crustáceos decápodos de la isla de Coche. La descripción del área de estudio, así como del estudio se realizó en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), ubicado en los Altos de Pipe, a 1747 metros sobre el nivel del mar (10.397-66.985). La zona presenta una precipitación media anual de 1200 mm y una temperatura promedio de 19°C. Se seleccionaron tres microlotes con características florísticas y de manejo diferenciadas para la evaluación.

Descripción de los microlotes:

Microlote 1 (área de la redoma): combinación de especies exóticas de aproximadamente 60 años, como pinos (*Pinus caribaea*) y eucaliptos (*Eucalyptus grandis*). Se sembró la variedad INIA 01 en asociación con *Croton gossypifolius* (sangregado), *Inga edulis* (guama) y *Morus alba* (morera blanca). Se evaluó el aporte de hojarasca del croton durante 7 meses en 10 parcelas de 1x1 m.

Microlote 2 (área de física): caracterizado por la presencia de eucaliptos de 60 años y algunas leguminosas como *I. edulis*. Se sembró la variedad INIA 01.

Microlote 3 (área del bosque natural dimec): bosque nublado con un denso dosel. Las especies dominantes incluyen *Aspidosperma fendleri*, *Podocarpus salicifolius* y *Richeria grandis*. Se sembró la variedad INIA 01. Solo se aplicó cal al momento de la siembra.

Metodología de muestreo y análisis. Se tomaron 5 muestras de suelo al azar (0-10 cm de profundidad) en cada microlote. Estas muestras fueron secadas al aire y tamizadas (<2mm). Las determinaciones físico-químicas incluyeron:

- 1) pH: en agua y KCl (1M) en relación 1:5.
- 2) elementos: K y Mg extraídos con acetato de amonio (1N) y analizados por espectroscopia de absorción atómica (Thomas, 1982).
- 3) acidez intercambiable (Al + H): extraída con KCl (1M) y determinada por titulación (McLean, 1965).
- 4) materia orgánica (MO): método de Walkley and Black (Jackson, 1964).
- 5) nitrógeno total: método Micro-Kjeldahl (AOAC, 1984).
- 6) actividad biológica: liberación de CO₂ (Stotzky, 1964). Se seleccionaron 10 plantas al azar en los microlotes 1 y 2 para evaluar variables de crecimiento:
- 7) altura de las plantas: medida con una cinta métrica.

- 8) número de ramas por planta.
- 9) número de frutos por rama.
- 10) peso de la semilla: se recolectaron 10 granos maduros, se despulpó y se pesó la semilla en una balanza analítica.
- 11) medición de azúcares: se utilizó un refractómetro (brixómetro) para medir los grados brix de la pulpa en frutos maduros.

Manejo agroecológico y post-cosecha. El monitoreo y manejo de las plantaciones de café se realizó en los microlotes 1, 2 y 3. la metodología de registro y trazabilidad se llevó a cabo desde la fase de pre-cosecha hasta la post-cosecha, como se ilustra en la Figura 1.

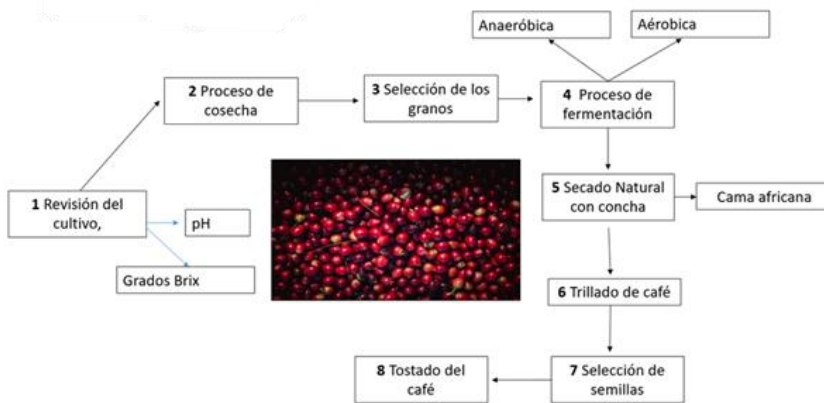


Figura 1. Metodología de registro trazabilidad y manejo cosecha y post cosecha de plantaciones de Café.

Pre-cosecha: se aplicaron prácticas agrícolas de control biológico como *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. También se utilizaron enmiendas orgánicas (humus de lombriz). Para el control de la broca, se colocaron trampas atrayentes (15-20 por hectárea) con una mezcla de mosto de café y etanol (2:1). Los grados Brix de los frutos se midieron para determinar el momento óptimo de la cosecha (16-24 grados Brix).

Cosecha: se realizó manualmente, seleccionando las cerezas maduras. Se registró la fecha, procedencia, peso y grados Brix.

Post-cosecha: en el manejo post-cosecha las siguientes prácticas fueron claves.

Selección por flotado: Los granos que flotaban se descartaron.

Fermentación cerrada: Se fermentó el café durante 48 a 150 horas. Se midió la temperatura, el pH y los grados Brix del mosto fermentado.

Secado: el café fermentado se pesó y se colocó en camas africanas durante un periodo de hasta 30 días, evaluando la humedad hasta alcanzar un 10-12%.

Almacenamiento: los granos se almacenaron en bolsas Ecotac durante 30 días, a una temperatura de 20-24°C y 65% de humedad.

Trillado y cata: se trilló una muestra para la cata y se trasladó el resto para su procesamiento final.

RESULTADOS

El área de estudio presenta suelos franco-arcillosos, ácidos, con baja capacidad de intercambio catiónico y alto contenido de aluminio, los cuales son factores inciden directamente en las condiciones de los cultivos.

Caracterización de los Microlotes. El Microlote 3 (bosque natural) fue establecido como punto de referencia debido a sus condiciones naturales. Las plantas de café en esta área tienen 5 años, pero no han producido granos. Su altura promedio es de 1.14 ± 0.48 m. La falta de producción se atribuye a la densa sombra del bosque y a la baja fertilidad del suelo, caracterizado por un pH ácido de 4.2 y buen contenido de materia orgánica y nitrógeno (Tabla 1).

Tabla 1. Características nutricionales en los suelos del cultivo de café.

Microlotes	pH	% M.O	% C	mg/N	% N	K (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Humedad (%)	DA (g/cm ³)
3	4.2	0.73	0.42	0.66	0.743	ND	ND	ND	ND
2	5.1	0.59	0.34	0.044	0.047	0.006 ±0.001	0.114 ±0.028	17.90 ±2.07	0.85 ±0.06
1	5.5	0.78	0.45	0.044	0.047	0.009 ±0.003	0.351 ±0.097	13.07 ±2.62	0.96 ±0.11

En el Microlote 1, la introducción de *Croton gossypifolius* ha generado una sombra de excelente calidad. Se registró una caída de hojarasca de 19.95 g/m² por mes y un contenido de nitrógeno en hojas senescentes de 10.5 mg N/g. La tasa de descomposición de la hojarasca fue del 98% en 5 meses. El análisis de suelo mostró una mejora significativa en las condiciones de la rizosfera de las plantas de café en comparación con las áreas fuera de ella, con valores de pH y conductividad eléctrica más favorables (Tabla 2).

Tabla 2. Comparativa nutricional dentro y fuera de las rizosferas.

Localidad	pH	µs/cm	H. %	P. ppm	mgN/g suelo	Acidez total	Al
Dentro de la rizósfera	5.5	79.76 ± 11.07	22.37 ± 2.97	0.423 ± 0.13	0.205 ± 0.06	0.034 ± 0.021	0.219 ± 0.323
Fuera de la rizósfera	4.8	86.3 ± 6.73	21.85 ± 4.93	0.354 ± 0.053	0.301 ± 0.102	0.017 ± 0.01	0.134 ± 0.037

VARIABLES DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN. Se obtuvo una altura promedio de 2.26 m y 1.79 m para los Microlotes 1 y 2, respectivamente. El número promedio de ramas por planta fue de 41 en el Microlote 1 y 47 en el Microlote 2. En cuanto a la fructificación, se contabilizaron 86 frutos por rama en el Microlote 1 y 89 en el Microlote 2. El peso promedio de las semillas fue de 1.90 g en el Microlote 1 y 2.28 g en el Microlote 2. El contenido de azúcares en la pulpa de café osciló entre 15% y 19% grados Brix en ambos Microlotes.

En la cosecha 2023-2024, el Microlote 2 produjo 375 kg de cerezas maduras, mientras que el Microlote 1 produjo 197 kg (Figura 2). Para la segunda cosecha 2024-2025, se observó un incremento notable en ambos Microlotes, alcanzando 680 kg en el Microlote 2 y 500 kg en el Microlote 1 (Figura 3).

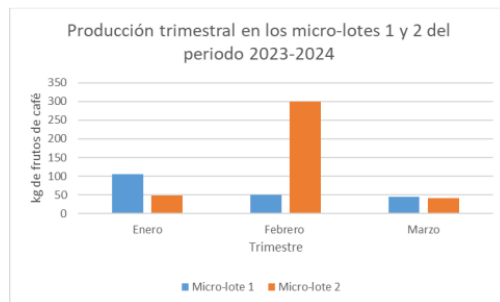


Figura 2. Producción de café en los microlotes 1 y 2 para el periodo (2023-2024).

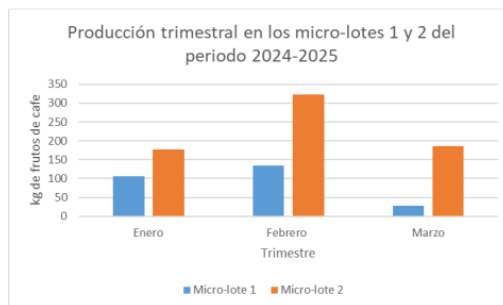


Figura 3. Producción de café en los microlotes 1 y 2 para el periodo (2024-2025).

En la Figura 4, se observa que para la segunda cosecha 2024-2025, hubo un incremento considerable en la producción en el microlote 2, donde se cosecharon 680 kg de cerezas maduras y en el microlote 1, la producción, alcanzó los 500 kg de frutos maduros.

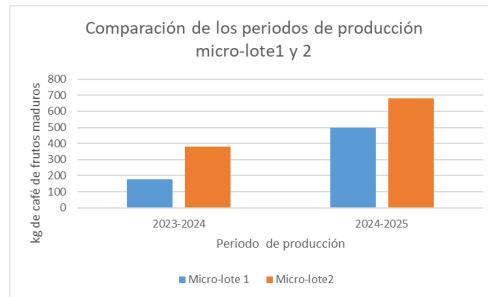


Figura 4. Comparación de la producción en los microlotes 1 y 2 (2023-2025).

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de los grados brix del grano de café a lo largo del primer trimestre de 2025. Se observó que los valores de grados brix en microlote 2 se conservaron durante todo el período de cosecha por encima de los valores obtenidos para el microlote 1.

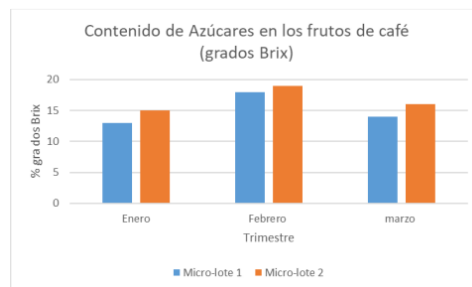


Figura 5. Porcentaje de azúcares en los frutos cosechados durante el primer trimestre de 2025.

El proceso de fermentación cerrada de 72 a 168 horas resultó en un mosto fermentado con un pH de 4.5 y 13 grados brix, el cual se utilizó como atrayente en las trampas para la broca del café.

DISCUSIÓN

La literatura científica a menudo sugiere que la guama (*Inga edulis*) es la mejor sombra para la producción de café debido a sus beneficios en la nutrición del suelo (Cardona y Sadeghian-Kh, 2005). Sin embargo, este estudio demuestra que es posible lograr resultados favorables incluso bajo especies arbóreas introducidas con efectos negativos conocidos, como el pino y el eucalipto, los cuales pueden acidificar el suelo y reducir la materia orgánica (Carimentrand, 2002).

La falta de producción en el Microlote 3 es un hallazgo clave; si bien no se puede atribuir una sola causa, la combinación de un pH extremadamente ácido (4.2), que está por debajo del rango ideal de 5.5 a 6.5 para el cultivo de café (Monge, 1999), y la densa sombra del bosque nublado son factores limitantes. La poca penetración de luz solar afecta directamente la fotosíntesis, un factor crucial para el desarrollo y la producción de frutos de café (Virginio Filho *y col.*, 2013).

En contraste, los Microlotes 1 y 2 demuestran la viabilidad de la producción agroecológica en condiciones subóptimas. La incorporación del *Croton gossypifolius* en el Microlote 1 fue un factor determinante. Su naturaleza caduca y rápida descomposición de su hojarasca permitieron una mejora significativa en la calidad del suelo, al aportar materia orgánica y nitrógeno, mitigando los efectos negativos de los eucaliptos y pinos.

El proceso de fermentación, el cual es crucial para la calidad del café, es un proceso complejo que involucra levaduras y bacterias (Puerta, 2012). Los valores obtenidos en el mosto fermentado (pH 4.5 y 13 grados Brix) son el resultado de la degradación de azúcares por los microorganismos. Un control estricto del tiempo y las condiciones de fermentación son esenciales para evitar la sobre fermentación, lo que podría desmejorar la calidad de la taza final.

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que, a pesar de las condiciones desfavorables generadas por la presencia de eucaliptos y pinos, es factible establecer y mantener una producción agroecológica de café en pequeños lotes en entornos urbanos. La incorporación estratégica de especies como el *C. gossypifolius* resultó fundamental para mejorar las condiciones nutricionales del suelo y mitigar el impacto negativo de los árboles exóticos.

El éxito de la producción de café con un enfoque de especialidad se logró gracias a la ubicación altitudinal favorable (>1600 m s. n. m.) y a la implementación de metodologías de manejo agroecológico y postcosecha como la fermentación controlada y el secado en camas africanas. La renovación del antiguo cafetal con la variedad INIA 01 no solo ha generado una producción significativa, sino que también ha promovido la conservación de la biodiversidad local y la transformación de estos espacios en unidades productivas sostenibles.

LITERATURA CITADA

- Alvarado S., M., Rojas C., G. 2007. El cultivo y beneficiado del café. Editorial Universidad estatal a Distancia. 1 edición, San José, Costa Rica, 184 pág.
- Beer, J.W., R.G. Muschler, D. Kass y E. Somarriba, E. 1998. Shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 38:139-164.

- Cardona, D. y S. Sadeghian-Kh. 2005. Beneficios del sombrero de guamo en suelo cafeteros. *Avances Técnicos CENICAFE*, 335.
- Farfán, F. 2020. Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales - SAF. En: Cenicafe, ed. Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café. Colombia: En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed), pp. 73-123.
- Flores S., M.L. Forister, H. Sulbarán, R. Díaz y L.A. Dyer. 2023. Extreme drought disrupts plant phenology: Insights from 35 years of cloud forest data in Venezuela. *Ecology* 104, Issue 5, e4012.
- Herrera, R., J. Aranguren, E. Escalante, G. Cuenca, A. Accardi, E. Navidad y M. Toro. 1985. Plantaciones de cacao y café bajo árboles de sombra de Venezuela. *Memorias del seminario Avances en la Investigación Agroforestal*. Editado por J.W.Beer.
- Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Bertrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona.
- Julien, C. 2002. Efectos Inducidos en los Suelos, por las Plantaciones de Eucalipto en el Estado Portuguesa, Venezuela. *Rev. For. Lat.* 17:101-120.
- Mclean, E.O. 1965. Aluminium in Methods of Soil Analysis. America Science Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 978-998.
- Monge, L.F. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización del cultivo del café orgánico en Costa Rica. 3 ed. Costa Rica: Grupo Café Britt - Tierra Madre, S.A.
- Montagnini, F., E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fasola y B. Eibl. 2015. Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454 p.
- Orozco, C. y F.J. 1986. Descripción de especies y variedades de café. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Subgerencia General Técnica. Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFE. Colombia. Pág. 1 y 2.
- Pozo, M. 2014. Análisis de los factores que inciden en la producción de café en el Ecuador 2000-2011. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Puerta Q., G.I., J. Marín M., J. y G.A. Osorio B. 2012. Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. *Revista Cenicafe* 63(2): 58-78.
- Stotzky, G. 1964. Determination of the microbial biomass of soil and a method for measuring soil respiration. *Plant and Soil* 21(3):329-340.
- Thomas, G. 1982. Exchangeable Cations. En: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.) Methods of soil analysis. Part. 2. Agron. Monog. 9. p.p. 159-165. Am. Soc. Agron. Madison, WI.
- USDA Foreign Agricultural Service. U.S. Department of Agriculture. 2025. fas.usda.gov/data/production/commodity/071110100.
- Virginio Filho, E. de M., C. Caicedo, S. Orozco, C. Villanueva y C. Astorga. 2013. Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. CATIE-INIAP. 7 p.