

Evaluación agronómica de híbridos de café robusta (*Coffea canephora*) en monocultivo y asociado con fréjol de palo (*Cajanus cajan*) en las condiciones subtropicales del Ecuador

Agronomic evaluation of robusta coffee hybrids (Coffea canephora) in monoculture and associated with pigeon pea (Cajanus cajan) under subtropical conditions in Ecuador

Jhael Elian Moreira-Chavarria¹, Angelo Agustin Zambrano-Ormaza¹, Ricardo Augusto Luna-Murillo¹, Verónica Cristina Andrade-Yucailla², María Julieta Cedeño-Aristegui¹

¹Universidad Técnica de Cotopaxi. La Maná, Ecuador

jhael.moreira8957@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-6520-0330>

angelo.zambrano3327@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-3490-7068>

ricardo.luna@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9078-9302>

maria.cedeno0322@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0007-1978-8757>

²Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad, Ecuador

vandrade@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7909-2128>

Correspondencia: ricardo.luna@utc.edu.ec

Recibido: 20/11/2025

■ Aceptado: 22/01/2026

■ Publicado: 23/02/2026

Resumen

Objetivo: Se evaluó el comportamiento agronómico de dos híbridos de café robusta (*Coffea canephora*) peninsular y amazónico, en monocultivo y asociado con fréjol de palo (*Cajanus cajan*). El fin fue determinar la compatibilidad entre especies y el potencial productivo de la leguminosa bajo las condiciones subtropicales del cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, Ecuador. **Metodología:** Se estableció un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos, cuatro repeticiones y 16 unidades

experimentales. El café peninsular (180 días de edad), el café amazónico (360 días) y el fréjol de palo (150 días) se evaluaron durante 120 días. Se midieron variables morfométricas (altura de planta, diámetro de tallo, número de ramas, hojas y más), análisis foliar de macro y micronutrientes, análisis de suelo al inicio y al final del período y producción de fréjol de palo en kg/ha. **Resultados:** Las variables morfométricas del café no presentaron diferencias significativas entre sistemas de cultivo. El monocultivo de café peninsular alcanzó 64,28 cm de altura y 16,30 mm de diámetro de tallo a los 300 días; el amazónico registró 98,78 cm y 27,28 mm a los 480 días. La asociación con café amazónico obtuvo la mayor altura de fréjol de palo (263,90 cm) y diámetro de tallo (38,58 mm). La producción de fréjol fue superior en asociación con el café peninsular (174,69 kg/ha). El sistema asociado evidenció un incremento en nitrógeno edáfico al final del período experimental. **Conclusiones:** La asociación de café robusta con fréjol de palo resultó compatible bajo las condiciones edafoclimáticas estudiadas, sin afectar el crecimiento vegetativo del café. El impacto positivo en la dinámica del nitrógeno indica que esta práctica puede ayudar a la sostenibilidad del sistema productivo. Se sugiere realizar estudios por al menos dos años para verificar sus beneficios agroecológicos.

Palabras clave: *Coffea canephora*; *Cajanus cajan*; fabácea; producción; morfométrico.

Abstract

Objective: The agronomic behavior of two robusta coffee hybrids (*Coffea canephora*) from the peninsula and the Amazon was evaluated, both in monoculture and associated with pigeon pea (*Cajanus cajan*). The aim was to determine the compatibility between species and the productive potential of the legume under the subtropical conditions of the La Maná canton, Cotopaxi province, Ecuador. **Methodology:** A completely randomized block design was established with four treatments, four repetitions, and 16 experimental units. Peninsular coffee (180 days old), Amazonian coffee (360 days), and palo bean (150 days) were evaluated over a period of 120 days. Morphometric variables (plant height, stem diameter, number of branches, leaves, and more), leaf analysis of macro and micronutrients, soil analysis at the beginning and end of the period, and palo bean production in kg/ha were measured. **Results:** The morphometric variables of coffee did not show significant differences between cultivation systems. The monoculture of peninsular coffee reached a height of 64.28 cm and a stem diameter of 16.30 mm at 300

days; the Amazonian variety recorded 98.78 cm and 27.28 mm at 480 days. The association with Amazonian coffee achieved the greatest height of pole beans (263.90 cm) and stem diameter (38.58 mm). The production of pole beans was higher in association with peninsular coffee (174.69 kg/ha). The associated system showed an increase in soil nitrogen at the end of the experimental period. **Conclusions:** The association of robusta coffee with pole bean proved to be compatible under the studied edaphoclimatic conditions, without affecting the vegetative growth of the coffee. The positive impact on nitrogen dynamics indicates that this practice can help the sustainability of the production system. It is suggested to conduct studies for at least two years to verify its agroecological benefits.

Keywords: *Coffea canephora*; *Cajanus cajan*; legume; production; morphometric.

Introducción

Los sistemas agrícolas más rentables suelen implicar la mayor perturbación de los ecosistemas naturales, lo que dificulta conciliar la productividad con la conservación de la biodiversidad local. En este contexto, el café representa un cultivo estratégico a nivel global, ya que su creciente demanda impulsa cambios significativos en el uso del suelo en regiones tropicales y subtropicales, involucrando aproximadamente a 25 millones de familias en 80 países productores. Tradicionalmente, el cultivo de café se ha establecido bajo sombra de árboles nativos, práctica que favorece un microclima adecuado, reduce la dependencia de insumos externos y promueve la fijación biológica de nitrógeno mediante asociaciones con leguminosas (Wynter et al., 2025).

El café es un cultivo de gran importancia a nivel mundial; América del Sur y Central concentran alrededor del 63% de la producción mundial, donde Brasil y Colombia ocupan el primer y tercer lugar entre los países productores. En Brasil, el café “Robusta” (*Coffea canephora*), también conocido como “Conilón”, se cultiva frecuentemente en sistemas asociados que benefician la agricultura familiar (Teixeira et al., 2020).

El café robusta (*Coffea canephora*) es una planta nativa de los bosques ecuatoriales de África occidental, desde la costa oeste en Uganda y la parte sur de Sudán, en alturas que van desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 1 000 metros; esta especie es más

resistente que el arábica, con granos más pequeños, de menor aroma, carente de acidez y con un alto contenido de cafeína. Desde el año 1998, la Estación Experimental Central de la Amazonía del INIAP dispone de siete materiales seleccionados por sus buenas características productivas, adaptados a las condiciones agroclimáticas de la región (Franco-Álvarez, 2018).

Los sistemas de monocultivo de café suelen requerir elevadas dosis de fertilizantes para maximizar la producción, lo que conlleva degradación edáfica y contaminación ambiental; en contraste, los sistemas asociados con leguminosas permiten regular la disponibilidad hídrica, atenuar los efectos de sequías prolongadas, reciclar nutrientes y mantener la fertilidad del suelo mediante el aporte continuo de materia orgánica (Felicito-Alberca, 2016).

En México, los cafetales asociados con leguminosas han reportado rendimientos de hasta 3,43 t/ha, superiores a los 1,48 t/ha obtenidos en sistemas a pleno sol (Garza-Lau et al., 2020). La práctica de cultivos intercalados es muy común entre los agricultores familiares; permite hacer un uso más eficiente de la tierra y de las actividades propias de la explotación agrícola, y además facilita disponer de variedad de alimentos y aumentar la rentabilidad por unidad de área (Christo et al., 2021).

El uso de leguminosas como abono verde entre hileras representa un paso hacia la sostenibilidad cafetalera (Martínez et al., 2024), ya que especies como *Cajanus cajan* (fréjol de palo) destacan por su alta producción de biomasa, tolerancia a sequía (250–375 mm de precipitación anual), capacidad de fijar hasta 230 kg/ha/año de nitrógeno atmosférico y su contribución a la recuperación de la materia orgánica del suelo. La introducción de leguminosas asociadas con diferentes cultivos tropicales ha cambiado las prácticas convencionales, convirtiéndose en una tecnología que promueve la conservación del suelo y aumenta los rendimientos de los cultivos (Matías-Ramos et al., 2023).

Las leguminosas anuales como *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, *C. ochroleuca* y *Cajanus cajan* se caracterizan por su alta producción de biomasa y capacidad de fijación biológica de nitrógeno (FBN). Debido a estas características, se utilizan comúnmente como cultivos de cobertura (CC) en rotaciones agrícolas de cultivos en zonas tropicales

y templadas. Los cultivos de cobertura pueden proteger la superficie del suelo temporal o permanentemente entre dos cultivos comerciales, y su uso es una estrategia para mejorar la calidad del suelo y reducir las pérdidas de nutrientes, incluida la escasez de agua (Berriel et al., 2022).

El guandul (*Cajanus cajan*), conocido también como guandú, frijol de palo, guisante de paloma, gandul o quinchoncho, es una leguminosa multipropósito de alto valor nutritivo, cultivada en países de Asia, África, las Islas del Caribe y Suramérica; se siembra de manera intensiva y en forma asociada con otros cultivos (Navarro et al., 2014). Es una de las leguminosas más importantes en el mundo, debido a sus elevados porcentajes de proteína de alta calidad: de 20 a 25% en seco y de 8 a 10% en verde; esto proporcionaría una fuente de proteína que también contribuiría a la seguridad alimentaria (Mendoza-Petrosa et al., 2024). Además, es la leguminosa de grano comestible más tolerante a la sequía, ya que puede producir con pluviometría de 250 mm a 375 mm (Mateo-Suero et al., 2023). Su potencial como forraje verde es moderado, y puede llegar a fijar nitrógeno en cantidades de 230 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Matías-Ramos et al., 2023). La fitomasa de guandul, con su alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, permite recuperar la materia orgánica del suelo y, por ende, restaurar su fertilidad, siendo una alternativa rápida y económica para su mejora y manejo (Castillo-Gómez et al., 2016).

Cajanus cajan es una leguminosa común en los países tropicales que sirve como fuente muy importante de proteínas en las dietas humanas. Tiene un sistema de raíces largo que soporta diferentes condiciones y propiedades del suelo, y resiste pH en un amplio rango y temperaturas de 10 a 35 °C. El gandul se utiliza como especie multipropósito en sistemas agroforestales, donde sus numerosos usos incluyen alimento, forraje y leña; además, mejora la fertilidad del suelo mediante el ciclo de nutrientes y la fijación biológica del nitrógeno (Allamin et al., 2021).

El cantón La Maná posee vocación agropecuaria y un clima subtropical que permite cultivar cacao, palma aceitera, banano y café. Con este último se planteó realizar una investigación con la finalidad de impulsar la caficultura dentro del cantón y la provincia; por ello se estudió la respuesta agronómica de dos híbridos de café robusta (*Coffea canephora*) en monocultivo y asociado con fréjol de palo (*Cajanus cajan*). Entre los

objetivos se planteó evaluar los híbridos peninsular y amazónico en monocultivo y asociados con fréjol de palo, así como determinar la producción del fréjol.

Metodología

Ubicación. El estudio se realizó durante los meses de julio a octubre del año 2025 (120 días) en el Centro Experimental Sacha Wiwa, en la parroquia Guasaganda del cantón La Maná, Cotopaxi, cuyas coordenadas geográficas son WGS 84, latitud 0° 48' 10,0" S y longitud 79° 10' 01,2" W, a una altura de 500 msnm. Las condiciones climáticas del período experimental se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Condiciones climáticas registradas en el Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) durante el período experimental

Mes	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm/mes)
Julio	28,57	57,00	30,20
Agosto	27,36	62,60	19,40
Septiembre	28,68	62,00	73,50
Octubre	29,35	61,00	40,00
Promedio	28,49	60,65	40,77

Características físicas y químicas del suelo. El suelo del Centro Experimental Sacha Wiwa presentó un pH ácido y una materia orgánica media. Los macronutrientes primarios nitrógeno y fósforo estuvieron bajos en ambos híbridos; calcio y azufre se encontraron en nivel medio; potasio se presentó bajo y medio; y los microelementos hierro y cobre mostraron valores altos; la textura del suelo es franco-arenoso, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2

Características físicas y químicas del suelo bajo sistemas de cultivo asociado (café + fréjol de palo) y monocultivo de café robusta en el Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) al inicio del período experimental

Descripción	Asociado	Monocultivo
	Valores iniciales	
pH	5,44 Ác	5,27 Ác
C.E ds/m	0,04 N.S.	0,06 N.S.
Materia orgánica (%)	3,05 M	4,15 M
NH ₄ mg/kg	25,15 B	27,72 B
N total (%)	0,15 B	0,22 B

P mg/kg	3,18 B	2,97 B
K meq/100 mL	0,16 B	0,27 M
Ca meq/100 mL	8,00 M	7,00 M
Mg meq/100 mL	1,25 B	1,62 M
S mg/kg	6,18 M	8,53 M
Zn mg/kg	2,80 B	3,30 M
Cu mg/kg	5,00 A	5,10 A
Fe mg/kg	144,70 A	139,00 A
Mn mg/kg	12,30 M	8,00 M
B mg/kg	0,42 M	0,37 M
Ca/Mg	6,40	4,32
Mg/K	7,81	6,00
Ca+Mg/K	57,81	31,93
Textura	Franco-arenoso	Franco-arenoso

Ac = ácido; B = Bajo; M = Medio; A = Alto; N.S. = No salino. Asociado = café amazónico + fréjol de palo; café peninsular + fréjol de palo. Monocultivo = café amazónico / café peninsular.

Diseño experimental. En la investigación se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos (café robusta peninsular en monocultivo, café robusta peninsular asociado con fréjol de palo, café robusta amazónico en monocultivo, café robusta amazónico asociado con fréjol de palo), cuatro repeticiones y 16 unidades experimentales. Los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba post hoc de Tukey ($p < 0,05$), empleando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Manejo de la investigación y variables evaluadas. Para el desarrollo de la investigación se contó con 16 parcelas de 90 m² (10 m × 9 m) con 16 plantas de café distribuidas a 3 m × 3 m. En los tratamientos asociados, *Cajanus cajan* se sembró en los callejones de separación entre plantas de café a 1,00 m de distancia. Se comenzaron a evaluar con una edad promedio de 150 días. Se realizaron análisis de suelo al inicio y al final de la investigación para determinar el estado nutricional de los macro y micronutrientes. El café peninsular (procedente de plantas élites de Ecurobusta 01) tenía 180 días de edad al inicio del estudio; el café amazónico (clones seleccionados por INIAP) contaba con 360 días. El período de evaluación experimental fue de 120 días (julio–octubre 2025). Las variables evaluadas fueron: altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm), número de ramas totales, número de hojas, número de tallos (cada 30 días), análisis foliar al inicio, al intermedio y al final de la investigación, y producción de fréjol (kg/ha).

Resultados

En el análisis de suelo inicial (Tabla 2) se observaron condiciones edáficas subóptimas para el cultivo de café robusta en ambos sistemas (asociado y monocultivo). El pH ácido

(5,44 y 5,27), los niveles bajos de nitrógeno (0,15–0,22%) y fósforo (2,97–3,18 mg/kg), aunque con presencia de hierro y cobre en niveles altos y niveles de materia orgánica en rango medio (3,05–4,15%), caracterizan el perfil edáfico de la zona. Al final del período experimental, como se muestra en la Tabla 3, se observó que el pH permaneció ácido (5,20) en ambos sistemas. El sistema asociado (café + fréjol de palo) presentó una ligera mejora en materia orgánica (3,10%) en comparación con el monocultivo (2,90%) y un incremento significativo en nitrógeno total, lo que sugiere un efecto positivo del fréjol de palo en la dinámica del nitrógeno, posiblemente relacionado con la capacidad de fijación biológica de N que tienen las leguminosas.

Tabla 3

Características físicas y químicas del suelo bajo sistemas de cultivo asociado (café + fréjol de palo) y monocultivo de café robusta en el Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) al final del período experimental

Descripción	Asociado	Monocultivo
	Valores finales	
pH	5,20 Ac Rc	5,20 Ac Rc
C.E ds/m	0,05 N.S.	0,06 N.S.
Materia orgánica (%)	3,10 M	2,90 B
NH ₄ mg/kg	18,00 B	19,00 B
N total (%)	0,26 M	0,14 B
P mg/kg	8,00 B	6,00 B
K meq/100 mL	0,28 M	0,35 M
Ca meq/100 mL	5,00 M	5,00 M
Mg meq/100 mL	1,40 M	1,40 M
S mg/kg	20,00 M	15,00 M
Zn mg/kg	1,20 B	1,20 B
Cu mg/kg	2,10 M	2,30 M
Fe mg/kg	159,00 A	157,00 A
Mn mg/kg	2,50 B	3,30 B
B mg/kg	0,28 B	0,23 B
Ca/Mg	3,50	3,50
Mg/K	5,00	4,00
Ca+Mg/K	22,86	18,29
Textura	Franco-arenoso	Franco-arenoso

Ac = ácido; B = Bajo; M = Medio; A = Alto; N.S. = No salino; Rc = requiere corrección. Asociado = café amazónico + fréjol de palo; café peninsular + fréjol de palo. Monocultivo = café amazónico / café peninsular.

La altura de planta del café peninsular aumentó progresivamente desde 48,91 cm (180 días) hasta 64,28 cm (300 días) en monocultivo, y desde 49,42 cm hasta 63,48 cm en asociación con fréjol de palo; sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas entre sistemas de cultivo, como se aprecia en la Tabla 4.

Tabla 4

Altura de planta (cm) cada 30 días durante el cultivo de café peninsular en monocultivo y asociado con fréjol de palo. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025

Tratamientos	180 días	210 días	240 días	270 días	300 días
Café peninsular	48,91 a	52,77 a	58,69 a	61,39 a	64,28 a
Café peninsular + Fréjol de palo	49,42 a	52,67 a	58,58 a	61,29 a	63,48 a
CV (%)	22,42	23,15	22,13	22,54	21,50
p-valor	0,792	0,965	0,963	0,966	0,742

El café amazónico alcanzó una altura de planta de 98,78 cm en monocultivo y 97,17 cm en asociación a los 480 días, sin diferencias estadísticas significativas, tal como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5

Altura de planta (cm) cada 30 días durante el cultivo de café amazónico en monocultivo y asociado con fréjol de palo. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025

Tratamientos	360 días	390 días	420 días	450 días	480 días
Café amazónico	88,55 a	89,97 a	94,13 a	95,67 a	98,78 a
Café amazónico + Fréjol de palo	84,58 a	87,66 a	92,23 a	94,53 a	97,17 a
CV (%)	19,68	19,28	18,76	19,03	18,50
p-valor	0,193	0,449	0,542	0,722	0,618

El diámetro de tallo del café peninsular se incrementó de 10,45 mm (180 días) a 16,30 mm (300 días) en monocultivo y de 10,39 mm a 15,69 mm en asociación, sin diferencias estadísticas significativas (Tabla 6).

Tabla 6

Diámetro de tallo (mm) cada 30 días durante el cultivo de café peninsular en monocultivo y en asociación con fréjol de palo. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025

Tratamientos	180 días	210 días	240 días	270 días	300 días
Café peninsular	10,45 a	12,19 a	14,25 a	15,53 a	16,30 a
Café peninsular + Fréjol de palo	10,39 a	12,08 a	14,29 a	14,76 a	15,69 a
CV (%)	19,99	20,60	21,82	20,73	20,46
p-valor	0,865	0,805	0,941	0,170	0,297

El diámetro de tallo del café amazónico mostró valores de 27,28 mm en monocultivo y 26,29 mm en asociación al final del período (480 días), sin diferencias estadísticas significativas, como se aprecia en la Tabla 7.

Tabla 7

Diámetro de tallo (mm) cada 30 días durante el cultivo de café amazónico en monocultivo y en asociación con fréjol de palo. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025

Tratamientos	360 días	390 días	420 días	450 días	480 días
Café amazónico	21,78 a	23,45 a	25,53 a	27,02 a	27,28 a
Café amazónico + Fréjol de palo	20,57 a	22,20 a	25,27 a	25,91 a	26,29 a
CV (%)	18,68	18,66	16,83	18,24	18,64
p-valor	0,086	0,101	0,733	0,198	0,264

En el café peninsular, el número de ramas totales aumentó de 4 a 7 en monocultivo y de 4 a 6 en asociación. El número de hojas pasó de 20 a 35 en monocultivo y de 21 a 32 en asociación, sin diferencias estadísticas significativas entre sistemas (Tabla 8).

Tabla 8

Número de ramas totales, número de hojas y tallos durante el cultivo de café peninsular en monocultivo y en asociación con fréjol de palo. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025

Tratamiento	Variable	210 días	240 días	270 días	300 días
Café peninsular	Número de ramas totales	4,00 a	5,00 a	6,00 a	7,00 a
	Número de hojas	20,00 a	28,00 a	31,00 a	35,00 a
	Número de tallos	1,00 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a
Café peninsular + Fréjol de palo	Número de ramas totales	4,00 a	5,00 a	6,00 a	6,00 a
	Número de hojas	21,00 a	28,00 a	28,00 a	32,00 a
	Número de tallos	1,00 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a

En el café amazónico, el número de ramas aumentó de 15 a 20 en monocultivo y de 13 a 19 en asociación. Las hojas pasaron de 101 a 174 en monocultivo y de 90 a 149 en asociación, sin diferencias estadísticas entre sistemas (Tabla 9).

Tabla 9

Número total de ramas, hojas y tallos durante el cultivo de café amazónico en monocultivo y en asociación con fréjol de palo. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025

Tratamiento	Variable	360 días	390 días	420 días	450 días
Café amazónico	Número de ramas totales	15,00 a	16,00 a	19,00 a	20,00 a
	Número de hojas	101,00 a	124,00 a	152,00 a	174,00 a
	Número de tallos	2,00 a	2,00 a	2,00 a	2,00 a
Café amazónico + Fréjol de palo	Número de ramas totales	13,00 a	15,00 a	18,00 a	19,00 a
	Número de hojas	90,00 a	110,00 a	134,00 a	149,00 a
	Número de tallos	2,00 a	2,00 a	2,00 a	2,00 a

En el análisis foliar del café peninsular se observaron niveles máximos de nitrógeno (2,90%), fósforo (0,19%), magnesio (0,33%), azufre (0,21%) y los micronutrientes cobre, hierro, zinc y manganeso a los 240 días, mientras que potasio registró su valor más alto (1,84%) a los 300 días y calcio (1,04%) a los 180 días. En el café amazónico, los niveles más altos de nitrógeno (2,40%), fósforo (0,21%), magnesio (0,36%) y los micronutrientes ocurrieron a los 420 días; el potasio alcanzó 1,71% a los 480 días; el calcio mostró variación (0,83–0,98%); y el azufre se mantuvo constante en 0,17% desde los 360 hasta los 480 días. El boro presentó su máximo valor a los 480 días en ambos materiales de café. Estos valores se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10

Concentración foliar de macro y micronutrientes del café peninsular y amazónico. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025

Descripción	Peninsular 180 días	Peninsular 240 días	Peninsular 300 días	Amazónico 360 días	Amazónico 420 días	Amazónico 480 días
N (%)	2,58	2,90	2,00	2,27	2,40	2,20
P (%)	0,10	0,19	0,14	0,11	0,21	0,11
K (%)	1,27	0,84	1,84	1,19	1,11	1,71
Ca (%)	1,04	0,87	0,94	0,98	0,83	0,97
Mg (%)	0,28	0,33	0,26	0,20	0,36	0,24
S (%)	0,14	0,21	0,08	0,17	0,17	0,17
Cu (mg/kg)	11,22	24,00	11,00	8,57	26,00	9,00
B (mg/kg)	30,00	31,00	43,00	22,00	27,00	53,00
Fe (mg/kg)	380,48	577,00	414,00	221,69	505,00	252,00
Zn (mg/kg)	3,48	35,00	11,00	21,42	36,00	9,00
Mn (mg/kg)	40,25	149,00	79,00	38,91	105,00	81,00

La altura de planta de fréjol de palo (*Cajanus cajan*) fue analizada en la asociación con los híbridos peninsular y amazónico. Como se presenta en la Tabla 11, a los 150 días la mayor altura se registró en el híbrido peninsular con 187,28 cm; a los 180 y 210 días se reportaron los mayores valores en el híbrido amazónico, con 220,62 y 263,90 cm respectivamente.

Tabla 11

*Altura de planta (cm) de fréjol de palo (*Cajanus cajan*) asociado con los cafés peninsular y amazónico. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025*

Tratamiento	150 días	180 días	210 días
Fréjol de palo + Café peninsular	187,28 a	205,27 a	240,40 a
Fréjol de palo + Café amazónico	182,64 a	220,62 a	263,90 a
CV (%)	26,74	23,66	14,50
p-valor	0,9028	0,6955	0,4303

En cuanto al diámetro de tallo del fréjol de palo, fue de 34,93 mm en asociación con café peninsular y de 38,58 mm con café amazónico a los 210 días; no se observaron diferencias estadísticas significativas entre asociaciones (Tabla 12).

Tabla 12

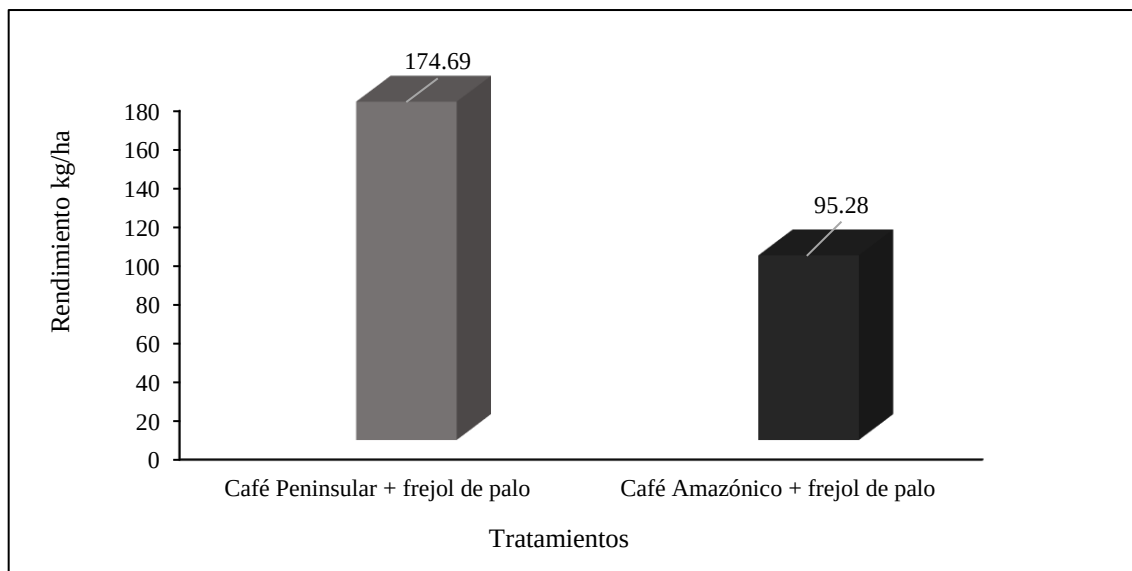
Diámetro de tallo (mm) de fréjol de palo (Cajanus cajan) asociado con los cafés peninsular y amazónico. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025

Tratamiento	150 días	180 días	210 días
Fréjol de palo + Café peninsular	21,39 a	26,93 a	34,93 a
Fréjol de palo + Café amazónico	21,95 a	29,28 a	38,58 a
CV (%)	28,87	25,17	23,09
p-valor	0,9077	0,6711	0,5862

La mayor producción de fréjol de palo se registró en la asociación con el café peninsular, con 174,69 kg/ha, mientras que en la asociación con el café amazónico se reportaron 95,28 kg/ha, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Producción (kg/ha) de fréjol de palo (Cajanus cajan) asociado con los cafés peninsular y amazónico. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio–octubre 2025



En el fréjol de palo, los contenidos foliares de macro y micronutrientes fueron similares entre asociaciones, excepto el hierro, que fue mayor en la asociación con café amazónico

(379,00 mg/kg) en comparación con el café peninsular (296,00 mg/kg), como se detalla en la Tabla 13.

Tabla 13

Análisis foliar del fréjol de palo (Cajanus cajan) asociado con los cafés peninsular y amazónico. Centro Experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador) julio-octubre 2025

Descripción	Fréjol de palo + Peninsular	Fréjol de palo + Amazónico
N (%)	4,00	4,10
P (%)	0,13	0,12
K (%)	1,17	1,05
Ca (%)	0,82	0,92
Mg (%)	0,33	0,35
S (%)	0,15	0,17
Cu (mg/kg)	16,00	17,00
B (mg/kg)	39,00	34,00
Fe (mg/kg)	296,00	379,00
Zn (mg/kg)	32,00	33,00
Mn (mg/kg)	101,00	125,00

Discusión

Al analizar las condiciones de suelo y climáticas, se observa que difieren de lo indicado por Duicela-Guambi et al. (2020), quienes señalan que el suelo óptimo para el café robusta debe tener una textura franca o franco-arcillosa, con pH entre 5,6 y 6,5 (medianamente ácido a ligeramente ácido). En relación con el clima, la precipitación requerida por el café robusta es de 1 900 a 2 500 mm/año (158,33 a 208,33 mm/mes), la temperatura óptima varía de 18,3 °C a 26,70 °C y la humedad relativa apropiada se estima entre 80 y 90%.

En cuanto a las variables agronómicas, los resultados obtenidos son inferiores a los reportados por Plaza-Avellán (2012), quien evaluó 16 accesiones de café canephora en la estación experimental tropical Pichilingue y obtuvo alturas de plantas de 239,94 hasta 314,05 cm y diámetros de 4,53 a 5,63 cm. Este menor desarrollo de las variables agronómicas pudo originarse por las condiciones meteorológicas de la zona bajo estudio.

El fréjol de palo alcanzó las mayores alturas en la asociación con café peninsular y amazónico, con valores superiores a los reportados por Cedeño-Diéñez & Gaviláñez-Travéz (2022), quienes obtuvieron de 109,66 a 132,63 cm al evaluar el fréjol de palo con

abonos orgánicos, al igual que García-Villón (2024), quien reportó de 52,27 a 65,71 cm en la asociación de fréjol de palo con *Erythrina* sp.

En cuanto a los resultados del análisis foliar, estos son inferiores a los reportados por Buthelezi et al. (2022), quienes evaluaron tres variedades de guandul y obtuvieron valores de P de 0,13 a 0,31%, potasio de 1,35 a 1,64%, calcio de 1,21 a 2,35%, siendo similares para magnesio (0,35 a 0,89%) y para los micronutrientes zinc, hierro, cobre y manganeso.

Conclusiones

La asociación de café robusta con fréjol de palo no generó efectos en el crecimiento vegetativo de los materiales de café peninsular y amazónico, evidenciado por la ausencia de diferencias significativas en altura, diámetro de tallo, número de ramas, hojas y tallos entre sistemas de cultivo. Esto sugiere compatibilidad entre ambas especies bajo las condiciones edafoclimáticas locales.

El sistema asociado mostró una dinámica positiva del nitrógeno edáfico, atribuible a la capacidad de fijación biológica de N de *Cajanus cajan*.

La producción de fréjol de palo resultó superior en asociación con el café peninsular en comparación con el café amazónico.

Se recomienda extender los estudios a períodos mínimos de dos años para evaluar si los efectos de la asociación, especialmente a nivel edáfico, son positivos en sistemas agroecológicos de zonas subtropicales del Ecuador.

Agradecimiento

Se deja constancia del agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, al Fondo de Investigación para la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA) con el proyecto “Sistemas agroproductivos de fabáceas en asociación con cacao y café en un contexto de economía circular para el desarrollo sostenible”.

Referencias

- Allamin, I. A., Yasid, N. A., Abdullah, S. R. S., Halmi, M. I. E., & Shukor, M. Y. (2021). Phyto-tolerance degradation of hydrocarbons and accumulation of heavy metals by *Cajanus cajan* (pigeon pea) in petroleum-oily-sludge-contaminated soil. *Agronomy*, 11(6), Article 1138. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061138>
- Berriel, V., Perdomo, C. H., Signorelli, S., & Monza, J. (2022). Índices de rendimiento de cultivos aplicados a leguminosas utilizadas como cultivo de cobertura de verano en condiciones de déficit hídrico. *Agronomy*, 12(2), Article 443. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020443>
- Buthlezi, L., Mupangwa, J., & Washaya, S. (2022). Fodder production and chemical composition of pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh] varieties grown in the subtropical region of South Africa. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(2), 1-15. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3816>
- Castillo-Gómez, C., Narváez-Solarte, W., & Hahn-von-Hessberg, C. (2016). Agromorfología y usos del *Cajanus cajan* L. Millsp. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 20(1), 52-62. <https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.1.5>
- Cedeño-Diéguez, J., & Gavilánez-Travéz, L. (2022). *Respuesta agronómica del fréjol de palo (Cajanus cajan L) con abonos orgánicos* [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Christo, B. F., Luis Olivas, D. B., De Oliveira Carvalho, A. H., Colodetti, T. V., De Souza Barros, V. M., Teixeira, A. d. G., & Da Silva, I. T. (2021). Ecophysiological responses of coffee cultivation under different shading conditions. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(1). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3373>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L. T., & Robledo, C. (2020). *InfoStat* (Versión 2020) [Software]. Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar/>
- Duicela-Guambi, L., Guamán, J., Farfán, D., & Chilán, W. (2020). *Poscosecha y calidad del café robusta* (1.ª ed.). Humus.
- Felicito-Alberca, L. (2016). *Comportamiento fisiológico y desarrollo vegetativo en plantas de café (Coffea arabica L.) en condiciones de campo, con cuatro niveles*

- de sombra en San Antonio de las Aradas del cantón Quilanga [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Loja].
- Franco-Álvarez, T. (2018). *Comportamiento agromorfológico de híbridos de Coffea canephora Pierre (café robusta) con cuatro densidades poblacionales* [Trabajo de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí].
- García-Villón, N. (2024). *Respuesta agronómica del fréjol de palo (Cajanus cajan) en asociación con poró (Erythrina sp.), en el Centro Experimental Sacha Wiwa parroquia Guasaganda* [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Garza-Lau, R., Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., & Buendía-Espinoza, J. (2020). Aporte nutrimental de especies arbóreas fijadoras de nitrógeno en sistemas agroforestales con café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 801-814.
<https://www.cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2465/3239>
- Martínez, H. E. P., López de Andrade, S. A., Silva Santos, R. H., Corte Baptistella, J. L., & Mazzafera, P. (2024). Agronomic practices toward coffee sustainability: A review. *Scientia Agricola*, 81, e20220277. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2022-0277>
- Mateo-Suero, B., Oviedo, F., & Cedano, J. (2023). Evaluación de cultivares de guandul [*Cajanus cajan* (L.)] sensibles al fotoperíodo en la provincia San Juan, República Dominicana. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(3), 21-28. <https://doi.org/10.53287/nnyk7822xd30p>
- Matías-Ramos, M., Hidalgo-Moreno, C., Fuentes-Ponce, M., Delgadillo-Martínez, J., & Etchevers, J. (2023). Potencial de especies de leguminosas mejoradas de la fertilidad del suelo en regiones tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(4), 531-541. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3152>
- Mendoza-Petrosa, S., Ortega-Jiménez, E., Méndez-Gaona, E., & Domínguez-Martínez, P. P. C. (2024). *Cajanus cajan* (L.) Millsp: una excelente fuente de proteína para alimentación humana y animal. *AgroDivulgación*, 4(5), 79-81. <https://doi.org/10.54767/ad.v4i5.378>
- Navarro, C., Restrepo, D., & Pérez, J. (2014). El guandul (*Cajanus cajan*): una alternativa en la industria de los alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y*

Agroindustrial, 12(2), 197-206.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=380878973015>

Plaza-Avellán, L. (2012). *Caracterización y selección fenotípica de genotipos superiores de Coffea canephora Pierre en el Banco de Germoplasma de la EET-Pichilingue del INIAP* [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López"].

Teixeira, A. d. G., Oliveira, F. L., Passos, O. R., Cabral, M. O., Parajara, M. d. C., & Luis Olivas, D. (2020). Cultivo de Yacón intercalado con *Coffea canéfora*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(1), Article 17. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2730>

Wynter, V., Milner-Gulland, E., & Poore, J. (2025). A global comparison of the biodiversity impacts of coffee agricultural systems: From monoculture to diverse agroforestry. *Agricultural Systems*, 229, Article 104449. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104449>

Los autores no tienen conflicto de interés que declarar. La investigación fue financiada por los autores.

Copyright (2026) © Jhael Elian Moreira-Chavarria, Angelo Agustin Zambrano-Ormaza, Ricardo Augusto Luna-Murillo, Verónica Cristina Andrade-Yucailla, María Julieta Cedeño-Aristega

Este texto está protegido bajo una licencia
[Creative Commons de Atribución Internacional 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

