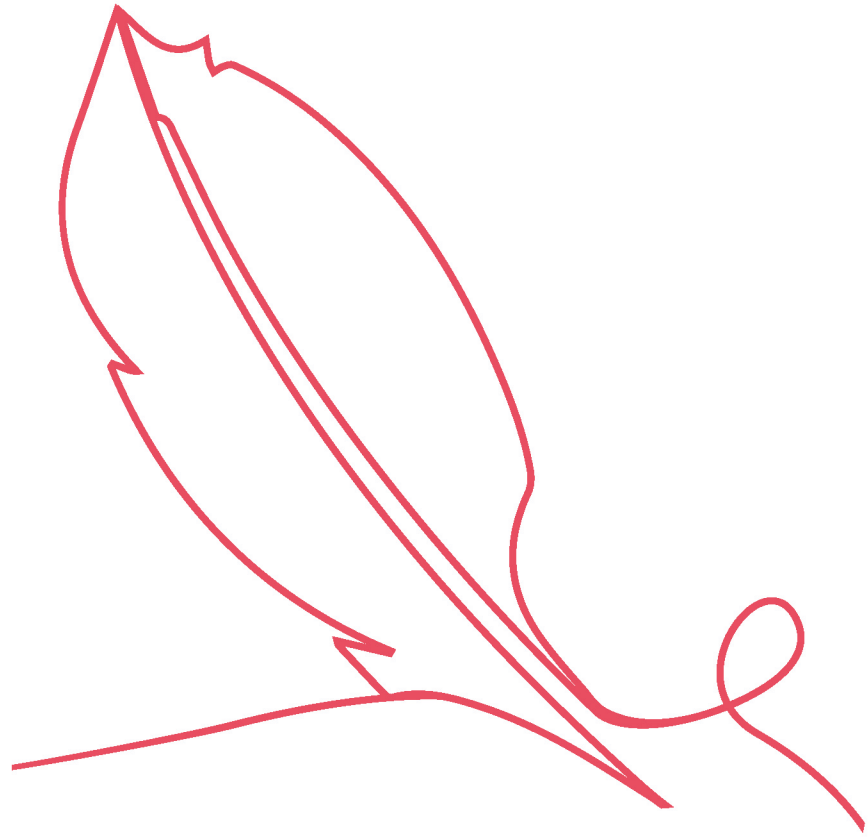
Sombrío y clima en el café: impactos sobre el suelo, la broca, la productividad y la calidad

Clara Inés Melo Cerón
Teresita del Rocio Canchala Nastar
Marianela Solarte Meneses
David Alejandro Alvarado Cuaran
Cleiver Efrén Cuastuza Cuastuza
Over Duban Sevillano Pai
Guillermo Castaño Muñoz
Wendy Pamela Urbina Carrasco

Universidad Mariana
Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983

Editorial
Unimar

Colección Manuales,
Guías y Cartillas



Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Melo Cerón, Clara Inés, autora

Sombrío y clima en el café : impactos sobre el suelo, la broca, la productividad y la calidad / Clara Inés Melo Cerón [y otros siete]. -- San Juan de Pasto, Nariño : Editorial Unimar, 2025.

páginas. -- (Colección manuales, guías y cartillas)

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-628-7548-96-1

1. Café - Cultivo - Factores climáticos - Buesaco (Nar.) - Siglo XXI 2. Café - Cultivo - Suelos - Buesaco (Nar.) - Siglo XXI 3. Café - Enfermedades y plagas - Buesaco (Nar.) - Siglo XXI 4. Café - Producción - Buesaco (Nar.) - Siglo XXI 5. Café - Calidad - Buesaco (Nar.) - Siglo XXI I. Canchala Nastar, Teresita del Rocio, autora II. Solarte Meneses, Marianela, autora III. Alvarado Cuaran, David Alejandro, autor IV. Cuastuza Cuastuza, Cleiver Efrén, autor V. Sevillano Pai, Over Duban, autor VI. Castaño Muñoz, Guillermo, autor VII. Urbina Carrasco, Wendy Pamela, autora

CDD: 633.73015516 ed. 23 CO-BoBN– a1166320

Universidad Mariana
Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983

Ciencias

Título: *Sombrío y clima en el café: impactos sobre el suelo, la broca, la productividad y la calidad*
ISBN: 978-628-7548-96-1
DOI: https://doi.org/10.31948/editorialunimar.319
Formato: 23 x 19,5 cm
Páginas: 111
Año: 2025

© Editorial Unimar, Universidad Mariana
© Clara Inés Melo Cerón
© Teresita del Rocio Canchala Nastar
© Marianela Solarte Meneses
© David Alejandro Alvarado Cuaran
© Cleiver Efrén Cuastuza Cuastuza
© Over Duban Sevillano Pai
© Guillermo Castaño Muñoz
© Wendy Pamela Urbina Carrasco

Proyecto: Evaluación de los efectos de la variabilidad climática en cultivos de café en el nororiente del departamento de Nariño.

Editorial Unimar

Luz Elida Vera Hernández
Coordinadora editorial

Leidy Stella Rivera Buesaquillo
Corrección de estilo

Francisco Andrés Luna Martínez
Johan Esteban Botina Portillo
Diseño y diagramación

Correspondencia:

Editorial Unimar, Universidad Mariana
San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 No. 34 – 104
Tel: 6027244460 - Ext. 185
E-mail: editorialunimar@umariana.edu.co

Depósito legal

Biblioteca Nacional de Colombia, Grupo Procesos Técnicos, Calle 24, No. 5 - 60 Bogotá D.C., Colombia.

Hemeroteca Nacional Universitaria - Carlos Lleras Restrepo, Avenida el Dorado, No 44 A - 40, piso 2. Bogotá D.C., Colombia.

Centro Cultural Leopoldo López Álvarez - Área Cultural del Banco de la República en Pasto, Calle 19 No. 21-27, Pasto, Colombia.

Biblioteca Hna. Elisabeth Guerrero N. f. m. i. Calle 18 No. 34 - 104 Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia.

Disponible en: http://editorial.umariana.edu.co/libros

Cítese como: Melo Cerón, C. I., Canchala Nastar, T. R., Solarte Meneses, M., Alvarado Cuaran, D. A., Cuastuza Cuastuza, C. E., Sevillano Pai, O. D., Castaño Muñoz, G. y Urbina Carrasco, W. P. (2025). *Sombrío y clima en el café: impactos sobre el suelo, la broca, la productividad y la calidad.* Editorial Unimar. https://doi.org/10.31948/editorialunimar.319



Las opiniones contenidas en este documento no comprometen a la Editorial Unimar ni a la Universidad Mariana, puesto que son responsabilidad única y exclusiva de los autores; de igual manera, ellos han declarado que, en su totalidad, es producción intelectual propia, en donde aquella información tomada de otras publicaciones o fuentes, propiedad de otros autores, está debidamente citada y referenciada, tanto en el desarrollo del documento como en las secciones respectivas a la bibliografía.

El material de este documento puede ser reproducido sin autorización para uso personal o en el aula de clase, siempre y cuando se mencione como fuente su título, autores y editorial. Para la reproducción con cualquier otro fin, es necesaria la autorización de la Editorial Unimar de la Universidad Mariana.



Este libro está bajo licencia internacional:CC BY-NC-ND
CC BY-NC-ND Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada





Agradecimientos

Al proyecto *Evaluación de los efectos de la variabilidad climática en cultivos de café en el nororiente del departamento de Nariño*, Convocatoria Estancias Posdoctorales Orientadas por Misiones 934-2023, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias).

A los caficultores de Buesaco, Nariño.

Al programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana.

A la Dirección de Investigación e Innovación, Unidad Académica de Investigación e Innovación.

Al grupo de investigación GIA.

Al semillero TARIPAHUASI.

Al Programa Delfín, en el marco del Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico.



Contenido

Introducción 15

Capítulo 1. El sombrío en el cultivo de café 17

1.1 ¿Qué es el sombrío? 17

1.2 Tipos de sombrío en cafetales 18

1.3 El sombrío con árboles de la familia Fabaceae 20

1.4 Sombrío diversificado: Musaceae, Rutaceae y Fabaceae 21

1.5 Cultivos de café a libre exposición solar 22

1.6 Beneficios del sombrío 23

Capítulo 2. El clima en el cultivo de café 24

2.1 La precipitación (lluvia) 24

2.2 La temperatura 24

2.3 Brillo solar y disponibilidad de energía 24

2.4 La humedad relativa (humedad en el aire) 24

2.5 El viento 25

2.6 Interacción entre el clima y el sombrío en el cafetal 25
2.7 Condiciones de clima de Buesaco 25
Capítulo 3. El suelo en el cultivo de café 28
3.1 Propiedades físicas del suelo 28
3.1.1 Efectos de una buena gestión de las propiedades físicas del suelo 33
3.1.2 Consecuencias de una mala gestión de las propiedades físicas del suelo 33
3.1.3 Prácticas que mejoran las propiedades físicas del suelo 33
3.1.4 Prácticas que causan efectos negativos en propiedades físicas 34
3.1.5 Propiedades físicas del suelo en el municipio de Buesaco, Nariño 34
3.2 Propiedades químicas del suelo 36
3.2.1 Manejo adecuado de las propiedades químicas del suelo 39
3.2.2 Manejo inadecuado de las propiedades químicas del suelo 39
3.2.3 Prácticas que mejoran las propiedades químicas del suelo 40
3.2.4 Prácticas que deterioran las propiedades químicas del suelo 40
3.2.5 Propiedades químicas del suelo en el municipio de Buesaco, Nariño 40
3.3 Biología del suelo 46
3.3.1 Macrofauna 47
3.3.2 Prácticas que benefician a los organismos del suelo 49

3.3.3 Prácticas que afectan a los organismos del suelo 50

3.3.4 Efectos de una buena y una mala gestión del suelo en sus organismos vivos 50

3.3.5 Macrofauna del suelo en el municipio de Buesaco, Nariño 51

Capítulo 4. La broca del café 62

4.1 ¿Qué es la broca y por qué es un problema? 62

4.2 Ciclo biológico y dinámica reproductiva de la broca del café 63

4.3 Efectos del sombrío y del clima en la incidencia de la broca 65

4.4 Manejo de la broca del café 65

4.5 Efecto del sombrío y de las variables meteorológicas sobre la incidencia de broca en agroecosistemas de café en el municipio de Buesaco, Nariño 70

Capítulo 5. Rendimiento del café 74

5.1 Factores que influyen en el rendimiento del café 74

5.1.1 Condiciones del suelo 74

5.1.2 La edad de los cultivos 76

5.1.3 El clima 76

5.1.4 Arvenses 77

5.1.5 La bienalidad de la producción 78

5.1.6 Densidad de plantación y variedad del café 78

5.1.7 Plagas y enfermedades....78

5.1.8 La cobertura de sombra....80

5.2 Producción de café en cultivos con sombra y a plena exposición solar....80

5.3 Efecto del sombrío en el rendimiento del café (gramos de CPS por planta) en el municipio de Buesaco, Nariño, desde mayo de 2024 - abril de 2025....81

Capítulo 6. Calidad del café....83

6.1 Factores que influyen en la calidad del café....84

6.1.1 Producción agrícola (siembra y cultivo)....84

6.1.2 Cosecha....84

6.1.3 Secado....85

6.1.4 Almacenamiento....85

6.2 Calidad física del café....85

6.3 Calidad sensorial del café....87

6.4 Influencia del sombrío en la calidad del café....90

6.5 Efecto del sombrío en la calidad física y sensorial del café en el municipio de Buesaco, Nariño....91

Consideraciones finales....98

Conclusiones....99

Referencias....100

Lista de Figuras

Figura 1. Cultivo de café con sombrío 17

Figura 2. Cultivos de café con sombrío transitorio 18

Figura 3. Cultivos de café con sombrío permanente 19

Figura 4. Cultivo de café con sombrío de *Leucaena* 20

Figura 5. Cultivo de café con sombra de banano y árboles de naranjo, guamo y *Leucaena* 21

Figura 6. Cultivo de café a plena exposición solar 22

Figura 7. Lluvias anuales registradas en la zona de estudio durante 40 años 26

Figura 8. Meses de tiempo de lluvia y tiempo seco en Buesaco, Nariño, entre marzo de 2024 y febrero de 2025 27

Figura 9. Composición ideal de un suelo 28

Figura 10. Tamaño de las partículas de los componentes minerales del suelo 29

Figura 11. Agregados del suelo 30

Figura 12. Porosidad del suelo 31

Figura 13. Estados de humedad del suelo 32

Figura 14. Análisis de variables físicas del suelo en tres agroecosistemas de café de Buesaco, Nariño, durante distintos periodos climáticos 35

Figura 15. Escala de pH para los suelos 36
Figura 16. Capacidad de intercambio catiónico 37
Figura 17. Composición de la materia orgánica en el suelo 38
Figura 18. Resultados de análisis químico del suelo y rangos de referencia para café 42
Figura 19. Organismos del suelo.....46
Figura 20. Ingenieros del suelo 47
Figura 21. Consumidores de materia orgánica (detritívoros).....48
Figura 22. Depredadores de otros organismos del suelo 48
Figura 23. Consumidores de raíces de algunas plantas (herbívoros).....49
Figura 24. Promedio de la cantidad de lombrices y hormigas por metro cuadrado en cada periodo evaluado 60
Figura 25. Diversidad de macrofauna en tres tipos de agroecosistemas de café durante el periodo seco.....61
Figura 26. Daño ocasionado al grano por la broca 62
Figura 27. Ciclo de vida de la broca 63
Figura 28. Tiempo de perforación de los frutos de café por la broca 64
Figura 29. Floración 66
Figura 30. Evaluación de la broca de café en el lote.....67
Figura 31. Recolección permanente de frutos maduros, sobremaduros y secos 68
Figura 32. Aplicación del hongo *Beauveria bassiana*.....69
Figura 33. Efecto de los sistemas de sombrío sobre el porcentaje promedio anual de infestación de broca a partir de muestreo realizado cada 30 días.....71

Figura 34. Porcentaje mensual promedio de infestación de broca durante un año de evaluación 72

Figura 35. Interacciones entre propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo 75

Figura 36. Plantas de café afectadas por falta de lluvias 76

Figura 37. Efecto del sombrío sobre el crecimiento de arvenses.....77

Figura 38. Plantas de café bajo cobertura de árboles de sombra 79

Figura 39. Cosecha y peso de café cereza por planta 81

Figura 40. Rendimiento de café pergamino seco por planta entre mayo de 2024 y abril de 2025 en agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío 82

Figura 41. Proceso de secado al sol para obtener café pergamino seco (CPS) y evaluación de su calidad física en la comercialización 83

Figura 42. Clasificación de la calidad sensorial del café según la Specialty Coffee Association (SCA).....90

Figura 43. Porcentaje de almendra y cisco en las muestras de café de agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío 92

Figura 44. Distribución porcentual de almendra sana, dañada por broca y con otros defectos en muestras de café bajo diferentes sistemas de sombrío.....93

Figura 45. Factor de rendimiento y precio ($/kg) de las muestras de café de los agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío.....94

Figura 46. Puntuación Specialty Coffee Association (SCA) de las muestras de café de los agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío.....95

Lista de Tablas

Tabla 1. Impacto en los organismos del suelo.....50

Tabla 2. Macrofauna presente en los suelos cafeteros del municipio de Buesaco, Nariño.....52

Tabla 3. Atributos sensoriales de las muestras de café de los agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío.....96





Introducción

El café es un cultivo muy importante en Colombia, gracias a que aporta a la economía del país y forma parte de las costumbres e identidad cultural de muchas regiones [1]; además de ser reconocido mundialmente por su excelente sabor, aroma y calidad [2]. Desde el punto de vista económico, el café se constituye como el sustento de aproximadamente 660.000 familias en el territorio nacional [3].

En el departamento de Nariño, el café también es un cultivo relevante, ya que se cultiva en 41 de los 64 municipios que lo conforman; abarca una superficie de 35.734 hectáreas que se distribuyen entre 39.171 caficultores y 53.725 fincas [4]. El café producido en esta región es reconocido por su calidad especial, lo que aumenta su valor tanto en el mercado nacional como internacional [5].

Sin embargo, el cultivo de café enfrenta varios desafíos importantes. En los últimos años, las variaciones climáticas se han acentuado, por ejemplo, se registran temporadas de mayor calor y sequía, agravadas por el fenómeno de El Niño, y otras de lluvias intensas y suelos excesivamente húmedos, asociadas al fenómeno de La Niña [6]. Estas condiciones afectan el crecimiento de las plantas y también la calidad del grano [7]. Además, estas condiciones climáticas favorecen la aparición de plagas como la broca del café (*Hypothenemus hampei*) (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), sobre todo en temporadas con altas temperaturas [8], [9]. Por otra parte, ciertas prácticas agrícolas, como cultivar sin sombra o el uso excesivo de productos químicos de síntesis pueden dañar la calidad del suelo y afectar la salud del agroecosistema [10].

Los sistemas agroforestales de café, que combinan múltiples especies de árboles de sombra con los cafetos, representan una práctica agrícola sostenible que aporta beneficios ecológicos, económicos y sociales [11]. Por esta razón, muchas familias cafeteras han adoptado o iniciado la implementación de sistemas agroforestales (SAF), en los cuales el café se cultiva en asociación con diversas especies de árboles [11].

Estos sistemas ofrecen múltiples ventajas: ayudan a proteger el suelo contra la erosión, conservan la humedad, regulan la temperatura del cafetal, atraen fauna benéfica y permiten reducir el uso de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas; de esta manera, el cultivo se vuelve más saludable y sostenible

[12], [13]. Además, se ha demostrado que cultivar café bajo un sombrío bien manejado puede proveer un café de calidad [14] y también contribuye a disminuir la presencia de la broca del café *H. hampei* [15].

No obstante, es importante tener cuidado con el exceso de sombra, ya que puede reducir el rendimiento del grano y favorecer la aparición de enfermedades [16]. Por ende, es fundamental lograr un equilibrio adecuado en el manejo del sombrío para lograr un sistema productivo más eficiente y sostenible.

Así, esta cartilla presenta información práctica derivada del proyecto de investigación titulado *Evaluación de los efectos de la variabilidad climática en cultivos de café en el nororiente del departamento de Nariño.* En ella se incluyen datos útiles sobre la influencia del clima y la sombra en la productividad, las propiedades del suelo, la presencia de la broca del café *(H. hampei*) y la calidad del grano. El objetivo es ofrecer herramientas concretas que orienten a las familias cafeteras en la toma de decisiones informadas, con miras a mejorar la gestión de sus fincas y promover un cultivo más sostenible.







Capítulo 1. El sombrío en el cultivo de café

1.1 ¿Qué es el sombrío?

Es la técnica que consiste en cultivar el café bajo la protección de árboles o plantas altas que le proporcionan sombra (ver Figura 1). El porcentaje de sombra aplicado depende del estado fenológico del cultivo [17] y busca adaptar las plantas de cafeto a condiciones ambientales adversas, en las que factores como la altitud, la luminosidad, la disponibilidad de agua, el contenido de materia orgánica y la temperatura, entre otros aspectos climáticos y geográficos, pueden dificultar o limitar su desarrollo y producción [18].

Figura 1

Cultivo de café con sombrío



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

1.2 Tipos de sombrío en cafetales

Existen dos tipos de sombrío: el transitorio (ver Figura 2), que se utiliza durante los primeros años del cafeto y, generalmente, se establece con plantas de plátano, banano, entre otras [18], y el permanente (ver Figura 3), que acompaña al cafetal durante todo su ciclo de vida y suele estar conformado por especies como el guamo, la *Leucaena*, entre otras [18].

Figura 2

Cultivos de café con sombrío transitorio



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

Figura 3

Cultivos de café con sombrío permanente



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

Es fundamental manejar adecuadamente el sombrío, ya que un exceso de sombra —superior al 45 % [19]— puede afectar negativamente la fotosíntesis y disminuir la producción del café [16]. Por ello, el porcentaje óptimo de sombrío debe ajustarse a las condiciones específicas de cada región y considerar factores como la ubicación geográfica (altitud y latitud), el brillo solar, la nubosidad natural y la disponibilidad de agua en el suelo [19].

1.3 El sombrío con árboles de la familia Fabaceae

A esta familia pertenecen árboles como el guamo, el carbonero, el cámbulo, el chachafruto (poroto) y la *Leucaena* (ver Figura 4), entre otros [17]. Estos árboles contribuyen a fijar nitrógeno en el suelo, lo que mejora su fertilidad y facilita otros aportes que benefician el desarrollo del cafetal sin disminuir su producción, siempre que se manejen correctamente [20].

Figura 4

Cultivo de café con sombrío de Leucaena



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

1.4 Sombrío diversificado: Musaceae, Rutaceae y Fabaceae

Las plantas del grupo de las Musáceas incluyen especies como el plátano, el banano, entre otras; mientras que los cítricos, como el naranjo, el limón y el mandarino, pertenecen a la familia Rutaceae. Por otro lado, especies de árboles como los guamos y la *Leucaena* forman parte de la familia Fabaceae (ver Figura 5). La integración de estas plantas al cultivo del café da lugar a un sistema agroforestal complejo y dinámico, caracterizado por el intercambio de nutrientes [21].

Este ciclo equilibrado favorece la salud del suelo y el desarrollo de las plantas [21]. Además, es una alternativa viable para los caficultores, ya que contribuye a reducir los riesgos económicos y climáticos, optimiza el uso del terreno disponible y permite que los productos cultivados —como las frutas— formen parte del autoconsumo familiar, lo que no es posible en el monocultivo [21], [22].

De esta manera, se minimizan los impactos negativos sobre el medioambiente y se fortalecen la sostenibilidad y la productividad de la finca a largo plazo, que beneficia tanto al agroecosistema como a la economía familiar [22].

Figura 5

Cultivo de café con sombra de banano y árboles de naranjo, guamo y Leucaena



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

1.5 Cultivos de café a libre exposición solar

Son aquellos en los que la regulación de la luz proviene principalmente de especies arbóreas permanentes, en densidades no mayores a 20 individuos por hectárea, o de especies arbustivas semipermanentes, con densidades que no superan los 300 individuos por hectárea [23]. Se utiliza en zonas con temperaturas bajas entre 19 y 20 °C, con buena disponibilidad de agua, es decir, con precipitaciones adecuadas para el cultivo; con brillo solar que no supere las 1.800 horas anuales, alta nubosidad, relieves ondulados con buen drenaje y retención de humedad, suelos no susceptibles a erosión y de alta fertilidad natural [24].

Consecuentemente, en los cultivos sin sombra (ver Figura 6), el aporte de hojarasca proviene únicamente de la planta de cafeto, lo que disminuye su aporte al suelo, en contraste con un cultivo con sombrío [22]. Esto deja a los suelos desnudos, lo que provoca la pérdida de nutrientes y, en consecuencia, incrementa la dependencia de fertilizantes químicos de síntesis [10].

Figura 6

Cultivo de café a plena exposición solar



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

1.6 Beneficios del sombrío

Teniendo en cuenta el tema del sombrío, se pueden destacar los siguientes beneficios:

1. Mejora la salud y las propiedades del suelo, aportando materia orgánica a través de la hojarasca, lo que contribuye a la conservación de la humedad, reducción de la erosión y la pérdida de suelo; además, aporta nutrientes como nitrógeno, calcio y magnesio.

2. Controla algunas plagas, como la broca del cafeto *Hypothenemus hampei*, al crear condiciones menos favorables para ellas y fomentar la presencia de enemigos naturales.

3. Incrementa la productividad y la calidad del grano de café al favorecer un llenado más lento y equilibrado del fruto, y una maduración más uniforme, lo que puede mejorar los atributos sensoriales de la bebida.

4. Genera ingresos adicionales para los caficultores, ya que se aprovecha los árboles de sombra con un doble propósito: fuente de leña-madera o sus frutos para consumo o venta.

5. Fomenta la biodiversidad, ya que sirve de hábitat para fauna silvestre y migratoria, incluidas aves e insectos benéficos.

6. Ayuda a regular el microclima dentro del cafetal, gracias a que disminuye la temperatura ambiente y del suelo, incrementa la humedad relativa y reduce el estrés hídrico en las plantas al mermar la radiación que evapora el agua y la transpiración de las plantas [18].

Capítulo 2. El clima en el cultivo de café

2.1 La precipitación (lluvia)

Un elemento importante en el cultivo del café es la disponibilidad de agua. En las zonas cafeteras de Colombia, el agua proviene principalmente de la lluvia [25]; cabe anotar que la distribución de la lluvia es clave para su producción [25]. Tanto los déficits como el exceso de agua pueden afectar el crecimiento, desarrollo de la planta y así como su producción [26]. En la zona cafetera de Colombia, las lluvias se consideran una amenaza cuando, durante el año, sus niveles se ubican por debajo de 1.500 mm/año y por encima de 3.500 mm/año, y adecuadas cuando se aproximan a 2.500 mm/año [27].

2.2 La temperatura

El cultivo de café puede desarrollarse bien en un rango de temperatura entre 18 y 22,5 °C; sin embargo, se consideran marginales las temperaturas por debajo de los 18 °C, ya que en esas condiciones los cultivos tardan más tiempo en alcanzar su producción potencial [28], [29]. De igual forma, cuando las temperaturas superan los 22,5 °C, el llenado de los frutos se ve afectado de manera negativa [29].

2.3 Brillo solar y disponibilidad de energía

La disponibilidad de energía en el cultivo de café depende de la radiación solar, las horas de brillo solar y la temperatura recibida. En este cultivo, las condiciones óptimas del brillo solar para su producción superan las 1.700 horas al año (4,6 horas / día) [30].

2.4 La humedad relativa (humedad en el aire)

El cultivo de café requiere una humedad relativa que oscile entre 70 y 95 %. Este factor es importante porque influye en el crecimiento de los tejidos, la transpiración de la planta, la fecundación de las flores, entre otros [31].

2.5 El viento

En general, las velocidades del viento registradas en la zona cafetera son bajas, con valores por debajo de 1,39 m/s y ráfagas (impulsos cortos) de aproximadamente 19,44 m/s. Aunque estos últimos valores son esporádicos, pueden ocasionar daños en los cultivos [23].

2.6 Interacción entre el clima y el sombrío en el cafetal

La incorporación del sombrío depende de factores como el suelo y el clima. Este tiene un efecto positivo en la conservación del agua, especialmente en condiciones deficientes de lluvia. Es decir, un cafetal requiere sombrío bajo las siguientes condiciones [29]:

1. Lluvias escasas o mal distribuidas en la zona.
2. Zonas por debajo de 1.000 m de altitud, con clima muy cálido.
3. Suelos susceptibles a la erosión, arenosos y pedregosos.
4. Terrenos con pendientes fuertemente inclinadas (entre 25 y 50 %) y muy escarpados (>75 %).

2.7 Condiciones de clima de Buesaco

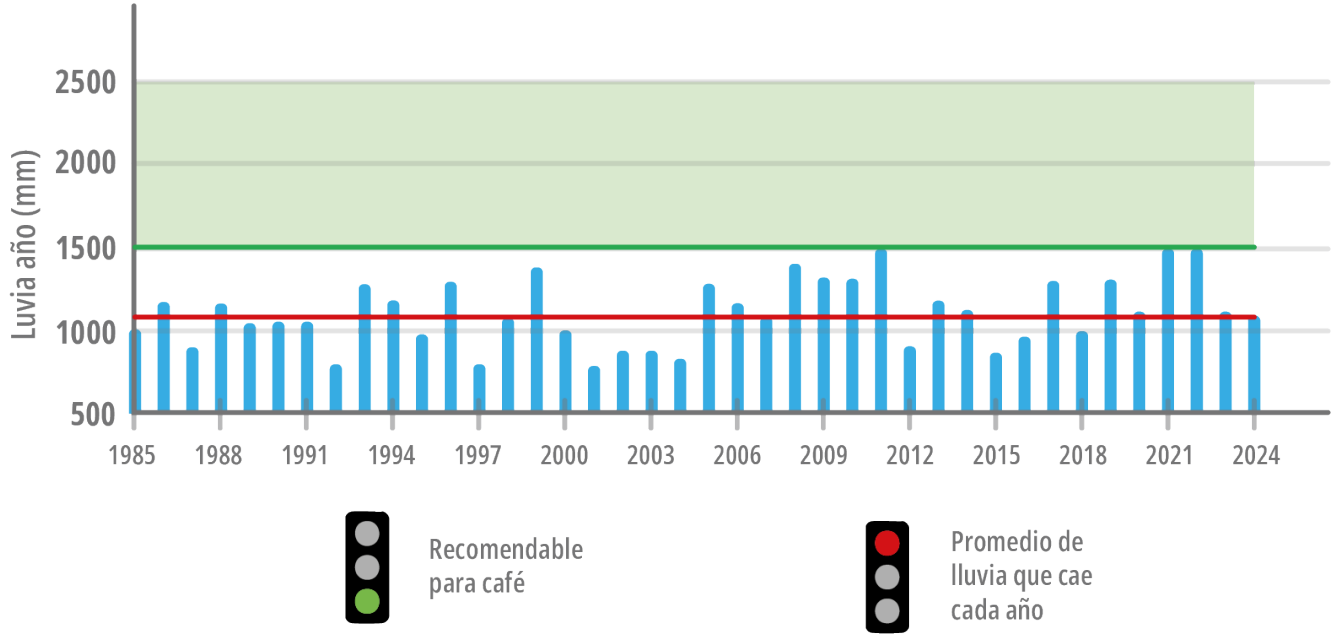
Durante el estudio realizado entre mayo de 2024 y abril de 2025 en las veredas Franco Villa, Sumapaz e Ijaguí, del municipio de Buesaco, ubicado en el nororiente del departamento de Nariño, suroccidente de Colombia, se registraron los siguientes valores anuales de las condiciones climáticas en un rango altitudinal comprendido entre 1.543 y 1.854 m s. n. m.:

1. Temperatura: promedio= 21,3 °C, máxima= 42,6 °C, mínima= 11,1 °C.
2. Humedad relativa: promedio= 74,2 %, máxima= 100 %, mínima= 10,4 %
3. Viento: promedio=1,6 m/s, máximo=3,85 m/s, mínimo= 0,13 m/s
4. Precipitación acumulada: 1.231 mm/año.

En el año 2024, se registró una precipitación anual acumulada de 1.132 mm/año [32]. El promedio histórico anual de precipitación en la zona de estudio, entre 1985 y 2024, fue de 1.088 mm/año (ver Figura 7) [32]. Además, en 2024, se reportaron 1.754 horas de brillo solar [33] por parte de la estación meteorológica del aeropuerto Antonio Nariño de Chachagüí, municipio limítrofe con Buesaco.

Figura 7

Lluvias anuales registradas en la zona de estudio durante 40 años



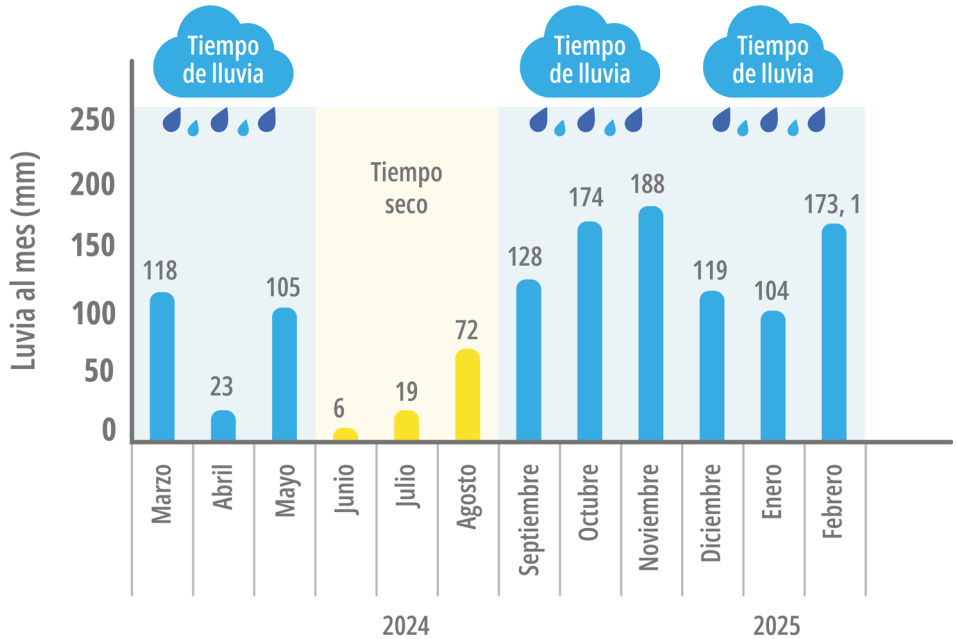
Nota. Tomada de Sevillano [32].

Cabe señalar que Buesaco forma parte de la región Andina colombiana, la cual presenta un régimen de lluvias bimodal, con dos periodos secos (diciembre-febrero y junio-agosto) y dos periodos lluviosos

(marzo-mayo y septiembre-noviembre) [34]. Sin embargo, durante el estudio, se presentaron tres periodos lluviosos, un comportamiento extraño frente al régimen bimodal (dos temporadas de lluvia al año) habitual (ver Figura 8).

Figura 8

Meses de tiempo de lluvia y tiempo seco en Buesaco, Nariño, entre marzo de 2024 y febrero de 2025



Nota. Elaboración a partir del estudio.

Según los datos climáticos mencionados, esta zona presenta valores óptimos en temperatura, humedad relativa (humedad del aire) y brillo solar para cultivar café. No obstante, las velocidades del viento son más altas que las reportadas en otras zonas cafeteras de Colombia. Asimismo, las lluvias históricas y las presentadas en el estudio son inferiores a las requeridas como óptimas para el cultivo de café.

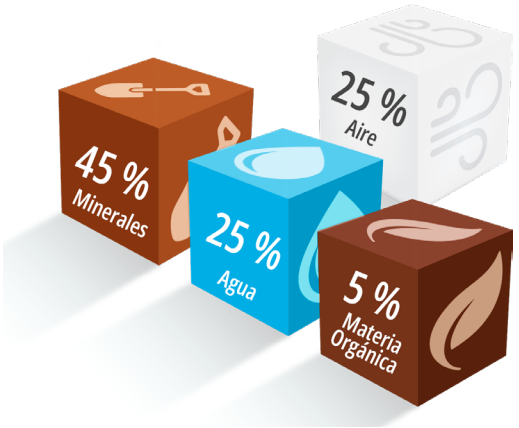
Capítulo 3. El suelo en el cultivo de café

3.1 Propiedades físicas del suelo

El suelo está formado por tres componentes: una parte sólida (minerales y materia orgánica), una parte líquida (agua) y una parte gaseosa (aire) [35]. Cuando el suelo tiene una proporción ideal de estas tres partes (ver Figura 9), se considera que tiene buenas condiciones para los cultivos, ya que esto permite que las raíces crezcan con facilidad, que el agua y el aire circulen correctamente dentro del suelo y que las plantas crezcan y se desarrollen.

Figura 9

Composición ideal de un suelo

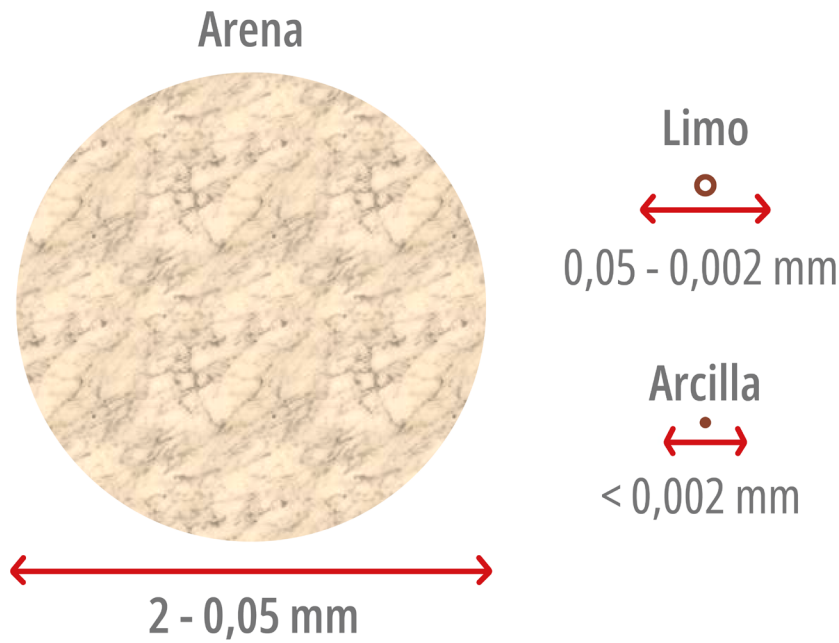


Nota. Adaptado de Jaramillo [35].

Existen dos características fundamentales del suelo que influyen en su comportamiento físico: la textura y la estructura, las cuales dependen de la fase sólida del suelo. La textura del suelo se refiere a «la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla» [36]. Estas fracciones se definen de acuerdo con el diámetro de las partículas, que se expresa en milímetros [37] (ver Figura 10).

Figura 10

Tamaño de las partículas de los componentes minerales del suelo



Nota. Adaptado de Jaramillo [35].

Existen 12 clases de textura, que se determinan según la proporción relativa de arena, limo y arcilla, así: (1) arenosa, (2) arenosa franca, (3) franco arenosa, (4) franca, (5) franco limosa, (6) limosa, (7) franco arcillo arenosa, (8) franco arcillosa, (9) franco arcillo limosa, (10) arcillo arenosa, (11) arcillo limosa y (12) arcillosa [35]. En la textura franca los componentes inorgánicos se encuentran en equilibrio [35].

Por el contrario, la estructura del suelo se define como la forma en que las partículas minerales y la materia orgánica se agrupan para formar terrones o agregados, los cuales pueden dividirse en fragmentos menores (ver Figura 11), sin intervención humana; es decir, es la forma en que los componentes del suelo tienden a unirse entre sí [38]. La estructura resulta determinante para conservar la humedad y regular la dinámica de los nutrientes [38].

Figura 11

Agregados del suelo

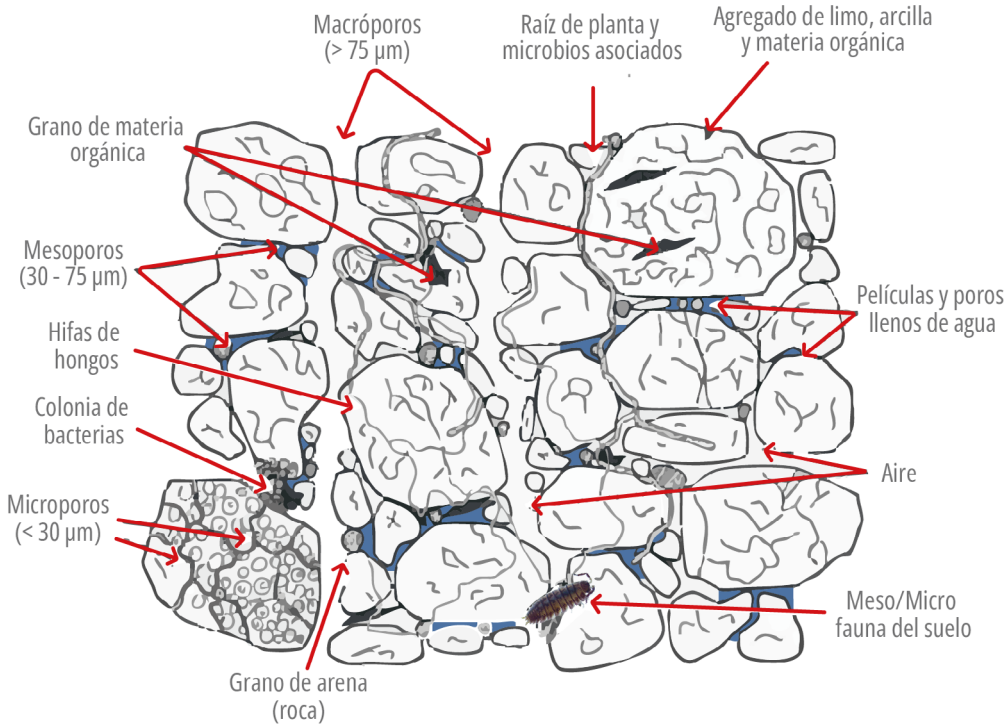


En el suelo existen poros (espacio de aire y agua) de distintos tamaños que cumplen funciones clave para el desarrollo de los cultivos. Los macroporos son espacios grandes que no retienen agua por mucho tiempo cuando llueve o se riega, por lo que permiten el drenaje del exceso de agua, la entrada de aire y el crecimiento de las raíces (ver Figura 12) [36]. Por otro lado, los microporos son más pequeños y sí retienen agua, de la cual un parte está disponible para las plantas [36].

Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

Figura 12

Porosidad del suelo



Nota. Tomado de Learning Geology [39].

También es importante conocer que el suelo tiene dos tipos de densidad. En primer lugar, la densidad real, que se refiere a la masa de las partículas sólidas por unidad de volumen, sin tener en cuenta los poros o espacios vacíos, y depende del tipo de minerales que lo componen. En segundo lugar, la densidad aparente, que considera el volumen total del suelo (sólidos + poros), y además muestra que tan compactado se encuentra el suelo [40]. Esta es una de las propiedades físicas de mayor relevancia, ya que está estrechamente relacionada con el movimiento del agua y los nutrientes del suelo [41].

Respecto a la humedad del suelo, se distinguen tres estados principales: la saturación, la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) [42]. La saturación corresponde al estado en el que todos los poros del suelo están llenos de agua, líquido que se pierde rápidamente por drenaje y, por ende, no está disponible para las plantas [42]. La CC es el contenido de agua que permanece en el suelo después de que se ha drenado libremente, y representa el máximo de agua disponible para las plantas sin causar saturación excesiva [43]. El PMP, en cambio, es el contenido de humedad a partir del cual las plantas ya no pueden extraer agua y se marchitan de manera irreversible [43]. El rango entre CC y PMP se denomina capacidad de almacenamiento de agua aprovechable (agua disponible para la planta) [27]. Los tres estados de humedad del suelo se pueden observar en la Figura 13.

Figura 13

Estados de humedad del suelo



Nota. Adaptado de Cassel y Nielsen [43].

3.1.1 Efectos de una buena gestión de las propiedades físicas del suelo

- Favorece el desarrollo profundo de las raíces, que le permite a las plantas absorber mayor cantidad de agua y de nutrientes.
- Mejora la retención y disponibilidad de agua, lo que evita encharcamientos y asegura humedad en épocas secas.
- Incrementa la fertilidad del suelo, ya que se estimula la actividad microbiana y la descomposición de materia orgánica.
- Reduce la incidencia de enfermedades radiculares.

3.1.2 Consecuencias de una mala gestión de las propiedades físicas del suelo

- Compactación del suelo, que limita el crecimiento de raíces.
- Baja aireación y drenaje, que puede provocar asfixia radicular.
- Riesgos de erosión del suelo.
- Pérdida de la fertilidad del suelo.
- Reducción drástica de la producción y de la salud del cultivo.

3.1.3 Prácticas que mejoran las propiedades físicas del suelo

- Adición de materia orgánica como compost, abonos verdes, rastrojos o pulpa de café, porque mejoran la estructura, la retención de agua y la porosidad en el suelo.
- Labranza de conservación (labranza mínima), ya que evita la alteración de la estructura del suelo.
- Cobertura del suelo y aérea (sombrío), ya que contribuyen con la fijación de nitrógeno y el aporte de biomasa.

- Siembra de plantas de cultivo bajo curvas a nivel y manejo adecuado de pendientes con siembra en contorno.
- Asociación de cultivos, ya que mejora la diversidad microbiana y la estructura del suelo.
- Uso eficiente del riego para evitar la compactación y el lavado de nutrientes, que asegura un mejor aprovechamiento del agua y una mayor sostenibilidad del sistema productivo.

3.1.4 Prácticas que causan efectos negativos en propiedades físicas

- Remoción o preparación excesiva del suelo.
- Tala indiscriminada de árboles.
- Quemas agrícolas.
- Falta de tecnificación en el riego.

3.1.5 Propiedades físicas del suelo en el municipio de Buesaco, Nariño

En la Figura 14 se presentan los resultados de los análisis físicos del suelo en tres agroecosistemas de café en Buesaco (Nariño), considerando periodos de lluvia y periodos secos. Los valores, las letras y el ícono de la mano con el pulgar hacia arriba en color verde señalan propiedades físicas adecuadas para el cultivo de café. Las flechas rojas hacia arriba indican densidades aparentes superiores a las recomendadas, lo que sugiere compactación del suelo. Por el contrario, las flechas rojas hacia abajo indican una menor disponibilidad de espacio para el agua y el aire, lo que reduce la cantidad de agua accesible para las plantas de café.

Cabe destacar que el agroecosistema donde se siembran árboles de guamo, *Leucaena*, naranjo y plantas de banano presentó mejores condiciones físicas del suelo para el cultivo de café.

Figura 14

Análisis de variables físicas del suelo en tres agroecosistemas de café de Buesaco, Nariño, durante distintos periodos climáticos

Periodos	Variable física				Valor necesario para cultivar café
Marzo, abril y mayo	Textura	Arcilloso Franco arcilloso	Franco arcillo arenoso Franco arcilloso	Franco arcillo arenoso Franco arcilloso	Suelos francos*
	Grado de compactación (g/cm³)	↑	↑	↑	0,8 - 1,0*
	Espacio de aire y agua (%)	↓	👍	↓	50**
	Agua disponible para la planta (%)	↓	↓	↓	Mayor de 20*
Junio, julio y agosto	Textura	Franco arcillo arenoso Franco arcilloso	Franco arcillo arenoso	Franco arcilloso	Suelos francos
	Grado de compactación (g/cm³)	↑	↑	↑	0,8 y 1,0
	Espacio de aire y agua (%)	↓	↓	↓	50
	Agua disponible para la planta (%)	↓	↓	↓	Mayor de 20
Septiembre, octubre y noviembre	Textura	Franco arcillo arenoso Franco arcilloso	Franco arcillo arenoso	Franco arcilloso	Suelos francos
	Grado de compactación (g/cm³)	↑	↑	↑	0,8 y 1,0
	Espacio de aire y agua (%)	👍	👍	👍	50
	Agua disponible para la planta (%)	↓	↓	↓	Mayor de 20
Diciembre, enero y febrero	Textura	Arcilloso Franco arcilloso	Franco Franco arcilloso arenoso	Franco arcilloso	Suelos francos
	Grado de compactación (g/cm³)	↑	↑	↑	0,8 y 1,0
	Espacio de aire y agua (%)	👍	👍	👍	50
	Agua disponible para la planta (%)	↓	↓	↓	Mayor de 20

Nota. *Sadeghian Khalajabadi et al. [27].

**Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA) [44].

Café con guamo y *Leucaena* (38-45 % de sombra).

Café con guamo, *Leucaena*, cítricos (naranjo) y banano (30-35 % de sombra).

Café sin sombra.

3.2 Propiedades químicas del suelo

El pH del suelo, también llamado *reacción del suelo*, es una medida que indica la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo (ver Figura 15). Este valor determina si un suelo es ácido, neutro o alcalino, y tiene una influencia directa en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y en la actividad microbiana [45].

Figura 15

Escala de pH para los suelos

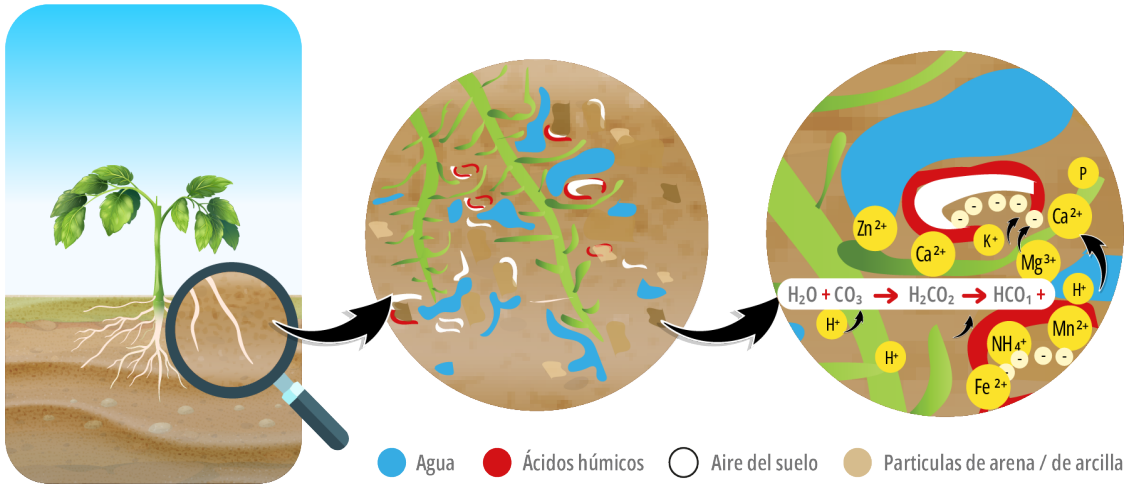


Nota. Tomado de HANNA Instruments S.A.S. [46].

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es un proceso reversible mediante el cual un catión retenido en la fase sólida del suelo es intercambiado por otro catión de la fase líquida; en términos sencillos, la CIC es la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes con carga positiva, lo cual influye directamente en la fertilidad (ver Figura 16). Los cationes son iones con carga positiva, por ejemplo: calcio, magnesio, potasio, amonio, hidrogeno [45].

Figura 16

Capacidad de intercambio catiónico



Nota. Tomado de Agrología [47].

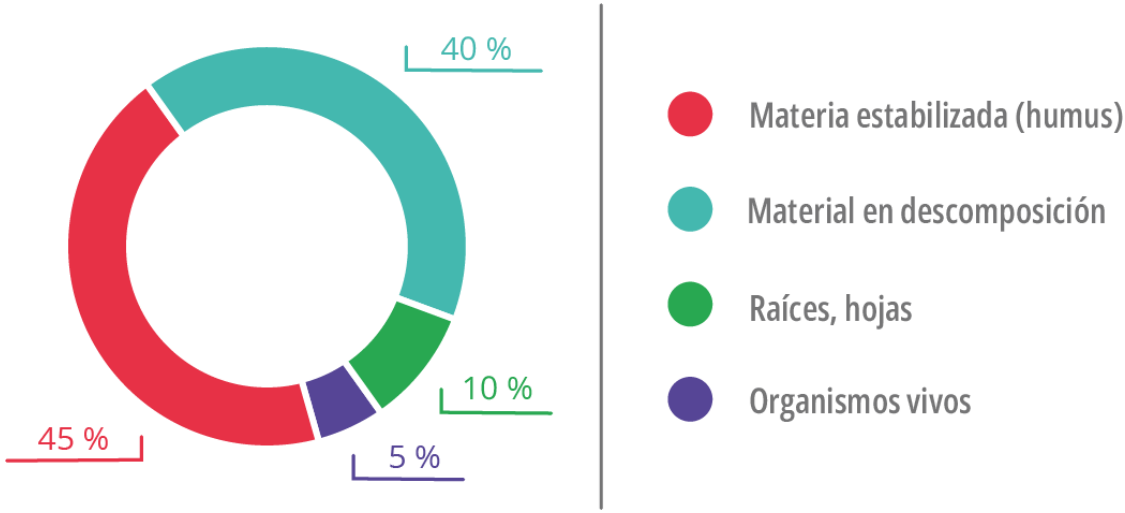
Entre las propiedades más importantes de los suelos se encuentra el grado de saturación de bases, que refleja la extensión de la lixiviación (proceso mediante el cual el agua arrastra sustancias solubles desde las capas superficiales hacia capas más profundas, fuera del alcance de las raíces) y la intemperización (transformación de rocas y minerales expuestos en la superficie terrestre por acción de factores físicos, químicos y biológicos) [45].

La saturación de bases se define como el porcentaje total de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) ocupado por cationes básicos como calcio, magnesio, potasio y, en menor medida, sodio. Indica qué parte de los sitios de intercambio del suelo está ocupada por estos cationes no ácidos, los cuales influyen en la acidez y la fertilidad del suelo. Esta propiedad está relacionada con el pH y el nivel de fertilidad del suelo, ya que ambos aumentan conforme se incrementa la saturación de bases [45].

La materia orgánica (MO) es un componente fundamental de las propiedades químicas del suelo, que influye en la capacidad de intercambio catiónico, la regulación del pH y la disponibilidad de nutrientes [48]. Se define como un recurso natural en constante transformación que comienza con la biomasa que ingresa al suelo en forma de partes muertas de plantas, residuos de cosecha, rastrojos, hierbas, tejidos y estiércol de animales y otros organismos, y culmina en la compleja estructura del humus. La MO se forma tras siglos de transformación [49]. Durante este proceso, la MO desarrolla funciones específicas que contribuyen significativamente a la fertilidad y estructura del suelo [50] (ver Figura 17).

Figura 17

Composición de la materia orgánica en el suelo



Nota. Adaptado de MUNDOAGRO [51].

3.2.1 Manejo adecuado de las propiedades químicas del suelo

- Un pH adecuado y una buena capacidad de intercambio catiónico (CIC) permiten la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas.
- Suelos con alta CIC son más fértiles y retienen mejor los nutrientes.
- Alta saturación de bases, lo que indica suelos menos ácidos y más fértiles.
- Incremento de la materia orgánica, que aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes.
- Crecimiento de raíces sanas y profundas.
- Mayor actividad biológica en el suelo.
- Uso eficiente de fertilizantes, que reducen la pérdida de nutrientes por lixiviación o fijación y optimizan la inversión en insumos.

3.2.2 Manejo inadecuado de las propiedades químicas del suelo

- Toxicidad causada por algunos elementos debido al uso indiscriminado de fertilizantes. Esto puede provocar un problema de saturación; en consecuencia, la planta no logra absorber los nutrientes necesarios, lo que afecta su crecimiento y producción.
- Creación de suelos desequilibrados por exceso o deficiencias de nutrientes, lo cual debilita las plantas y las hace más susceptibles a plagas y patógenos.
- Un pH bajo o ácido puede bloquear nutrientes como el fósforo o provocar toxicidad por aluminio.

3.2.3 Prácticas que mejoran las propiedades químicas del suelo

- Caracterizar el suelo y planificar la fertilización. Esto permite diseñar estrategias eficientes, evitar deficiencias o excesos de nutrientes y optimizar el uso de insumos agrícolas.
- Encalar el suelo corrige la acidez, neutraliza el aluminio y el hidrógeno intercambiable, y aporta calcio, elemento esencial en suelos ácidos.
- Aplicar cal acelera la descomposición de la materia orgánica y mejora la disponibilidad del fósforo al evitar su fijación con hierro y aluminio. Igualmente, reduce la toxicidad del aluminio y el hierro, aumenta la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre, y mejora la estructura del suelo al favorecer la agregación de partículas.

3.2.4 Prácticas que deterioran las propiedades químicas del suelo

- Usar de manera prolongada e indiscriminada fertilizantes.
- Aplicar excesivamente plaguicidas, ya que esto reduce los organismos benéficos y afecta la descomposición de materia orgánica.
- Gestionar inadecuadamente el riego.
- Omitir la rotación y diversificación de cultivos, ya que esto agota los nutrientes del suelo.

3.2.5 Propiedades químicas del suelo en el municipio de Buesaco, Nariño

El análisis químico de suelos en tres agroecosistemas de café en Buesaco (Nariño), durante temporadas de lluvia y la temporada seca (periodos 1, 2, 3 y 4), permitió señalar que, con el paso tiempo, la fertilidad del suelo disminuyó: se registró una reducción en los valores adecuados, hubo más nutrientes con valores bajos y una disminución en los valores altos. Este comportamiento probablemente se deba a la erosión del viento ocurrida durante la temporada seca, la cual arrastró la capa superficial del suelo y parte de la materia orgánica.

Por su parte, el café cultivado bajo árboles de guamo y *Leucaena* presentó una mejor fertilidad general, seguido del café a plena exposición solar, que recibe aporte de pulpa de café, aunque evidenció una pérdida de fertilidad en los últimos períodos. En una posición intermedia y con una buena estabilidad, se ubicó el agroecosistema conformado por guamo, *Leucaena*, naranjo y plantas de banano. El agroecosistema con guamo y *Leucaena* registró un mayor número de nutrientes por debajo del óptimo, mientras que el café a sol pleno mostró valores superiores al rango ideal.

Esto demostró que, para un desarrollo adecuado del café, el suelo debe conservar un equilibrado nutricional, ya que tanto la deficiencia como el exceso de nutrientes inciden negativamente en su fertilidad. En general, el cultivo con guamo y *Leucaena* mostró mayor estabilidad, aunque aún requiere ajustes para alcanzar niveles óptimos en todos los nutrientes.

En la Figura 18 se presentan los resultados del análisis químico de suelos de los tres agroecosistemas de Buesaco. Los valores y el ícono de una mano con el pulgar hacia arriba en color verde indica que el suelo presenta una fertilidad adecuada para el cultivo de café. Las flechas rojas hacia arriba señalan un exceso del nutriente, mientras que las flechas rojas hacia abajo muestran una baja disponibilidad.



Archivo fotográfico de Clara Melo.

Figura 18

Resultados de análisis químico del suelo y rangos de referencia para café

Periodo	Variable química				Valor de referencia para cultivar café
1 Marzo, abril y mayo	pH	👍	👍	↑	5,0 - 5,5*
	CIC - Capacidad de intercambio catiónico (cmol / Kg)	↓	↓	↓	20 - 30**
	CICE - Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol / Kg)	↑	↑	NA	3 - 6**
	MO - Materia orgánica (%)	↓	↓	👍	Mayor de 8*
	P - Fósforo (mg / Kg)	👍	↑	↑	10 - 30*
	K - Potasio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 0,40*
	Ca - Calcio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 3,0*
	Mg - Magnesio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 0,9*
	Al - Aluminio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Menor de 1*
	B - Boro (mg / Kg)	↑	↑	↑	0,2 - 0,4**
	Zn - Zinc (mg / Kg)	↑	↑	↑	1,5 - 3,0**
	Mn - Manganeso (mg / Kg)	↑	↑	↑	5 - 10**
	Fe - Hierro (mg / Kg)	↓	↓	↓	25 - 50**
	Cu - Cobre (mg / Kg)	↓	↓	👍	1,0 - 3,0**
	S - Azufre (mg / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 12**

Periodo	Variable química				Valor de referencia para cultivar café
2 Junio, julio y agosto	pH	👍	👍	↑	5,0 - 5,5*
	CIC - Capacidad de intercambio catiónico (cmol / Kg)	↓	↓	NA	20 - 30**
	CICE - Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol / Kg)	↑	↑	↑	3 - 6**
	MO - Materia orgánica (%)	↓	↓	↓	Mayor de 8*
	P - Fósforo (mg / Kg)	↓	↑	↑	10 - 30*
	K - Potasio (cmol / Kg)	↓	↓	👍	Mayor de 0,40*
	Ca - Calcio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 3,0*
	Mg - Magnesio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 0,9*
	Al - Aluminio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Menor de 1*
	B - Boro (mg / Kg)	↑	↑	↑	0,2 - 0,4**
	Zn - Zinc (mg / Kg)	👍	↑	↑	1,5 - 3,0**
	Mn - Manganeso (mg / Kg)	↑	↑	↑	5 - 10**
	Fe - Hierro (mg / Kg)	↓	↓	👍	25 - 50**
	Cu - Cobre (mg / Kg)	👍	↓	👍	1,0 - 3,0**
	S - Azufre (mg / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 12**

Periodo	Variable química				Valor de referencia para cultivar café
3  Septiembre, octubre y noviembre	pH	↑	↑	↑	5,0 - 5,5*
	CIC - Capacidad de intercambio catiónico (cmol / Kg)	↓	↓	↓	20 - 30**
	CICE - Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol / Kg)	👍	NA	NA	3 - 6**
	MO - Materia orgánica (%)	↓	↓	↓	Mayor de 8*
	P - Fósforo (mg / Kg)	↓	👍	↑	10 - 30*
	K - Potasio (cmol / Kg)	↓	👍	👍	Mayor de 0,40*
	Ca - Calcio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 3,0*
	Mg - Magnesio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 0,9*
	Al - Aluminio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Menor de 1*
	B - Boro (mg / Kg)	↑	↑	↑	0,2 - 0,4**
	Zn - Zinc (mg / Kg)	👍	↑	↑	1,5 - 3,0**
	Mn - Manganeso (mg / Kg)	↑	↑	↑	5 - 10**
	Fe - Hierro (mg / Kg)	↓	↓	↓	25 - 50**
	Cu - Cobre (mg / Kg)	👍	↓	↓	1,0 - 3,0**
	S - Azufre (mg / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 12**

Periodo	Variable química				Valor de referencia para cultivar café
4 Diciembre, enero y febrero	pH	👍	↑	↑	5,0 - 5,5*
	CIC - Capacidad de intercambio catiónico (cmol / Kg)	↓	↓	↓	20 - 30**
	CICE - Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol / Kg)	↓	↑	NA	3 - 6**
	MO - Materia orgánica (%)	↓	↓	↓	Mayor de 8*
	P - Fósforo (mg / Kg)	↓	👍	↑	10 - 30*
	K - Potasio (cmol / Kg)	↓	↓	👍	Mayor de 0,40*
	Ca - Calcio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 3,0*
	Mg - Magnesio (cmol / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 0,9*
	Al - Aluminio (cmol / Kg)	👍	↑	👍	Menor de 1*
	B - Boro (mg / Kg)	↑	↑	↑	0,2 - 0,4**
	Zn - Zinc (mg / Kg)	👍	↑	↑	1,5 - 3,0**
	Mn - Manganeso (mg / Kg)	↑	↑	↑	5 - 10**
	Fe - Hierro (mg / Kg)	↓	↓	↓	25 - 50**
	Cu - Cobre (mg / Kg)	↑	↑	↑	1,0 - 3,0**
	S - Azufre (mg / Kg)	👍	👍	👍	Mayor de 12**

Nota. NA = no aplica.

*Sadeghian Khalajabadi et al. [27].

**Sadeghian Khalajabadi [52].

Café con guamo y *Leucaena* (38-45 % de sombra).

Café con guamo, *Leucaena*, cítricos y banano (30-35 % de sombra).

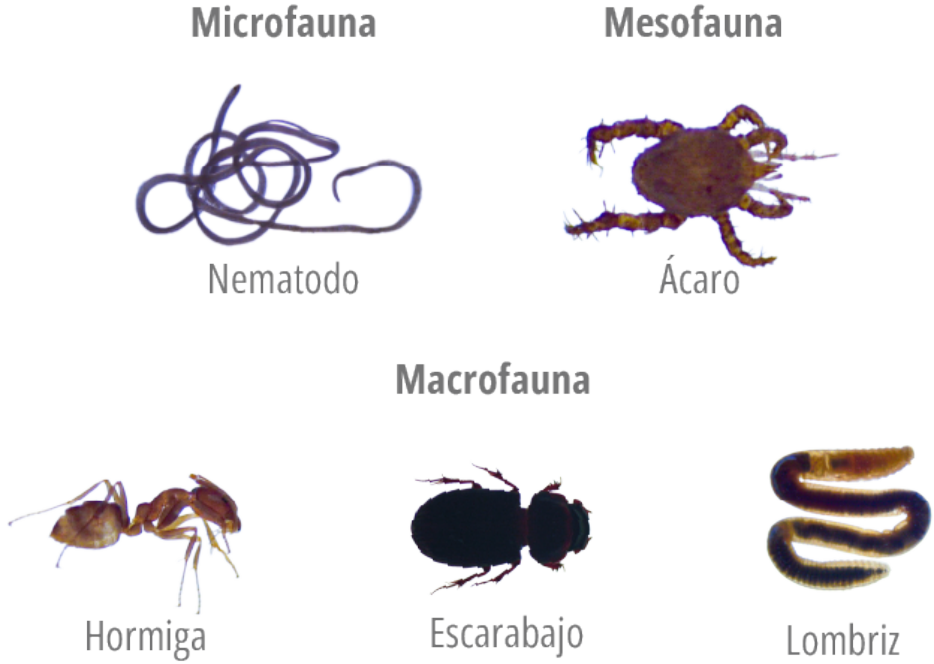
Café sin sombra.

3.3 Biología del suelo

El suelo es el componente básico de los ecosistemas terrestres; no solo actúa como soporte para los seres vivos, sino que también constituye un sistema complejo de procesos ecológicos que involucran nutrientes, materia orgánica, aire, agua y energía [53]. Estos procesos están mediados por la acción organizada de una asociación diversa de organismos que incluyen la microfauna (nemátodos), mesofauna (ácaros, colémbolos, enchytreidos e insectos pequeños) y macrofauna (insectos, arañas, lombrices, milpiés, escarabajos, caracoles y babosas) [54] (ver Figura 19).

Figura 19

Organismos del suelo



Nota. Tomadas por Clara Melo en laboratorio de Alvernia, Universidad Mariana.

3.3.1 Macrofauna

La macrofauna está compuesta por invertebrados del suelo mayores de 2 mm, los cuales desempeñan un papel fundamental en la transformación de las propiedades del suelo [55]. Entre estos organismos se encuentran cuatro grupos funcionales: (1) los ingenieros del suelo (ver Figura 20), que contribuyen a la formación de poros, la infiltración de agua y los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica; (2) los detritívoros, que son consumidores de materia orgánica (ver Figura 21); (3) los depredadores (ver Figura 22), y (4) los herbívoros (ver Figura 23) [56].

Figura 20

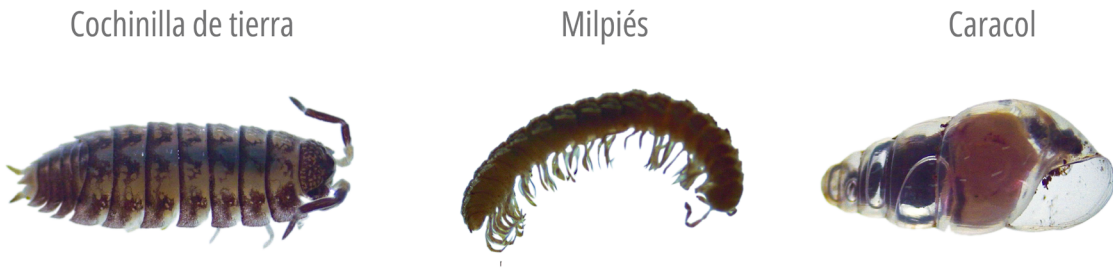
Ingenieros del suelo



Nota. Tomadas por Clara Melo en laboratorio de Alvernia, Universidad Mariana.

Figura 21

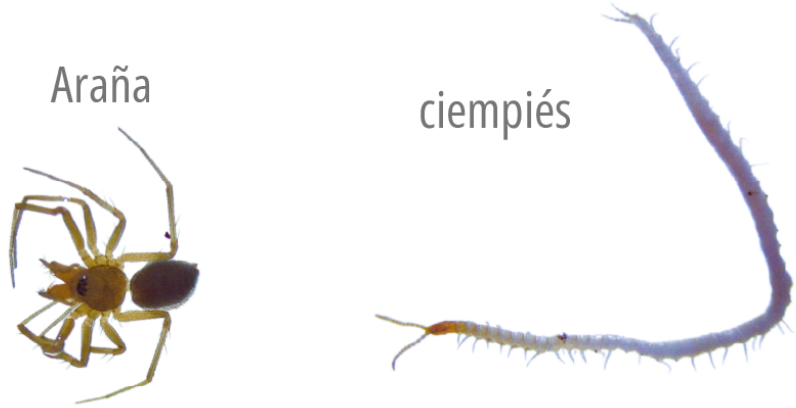
Consumidores de materia orgánica (detritívoros)



Nota. Tomadas por Clara Melo en laboratorio de Alvernia, Universidad Mariana.

Figura 22

Depredadores de otros organismos del suelo



Nota. Tomadas por Clara Melo en laboratorio de Alvernia, Universidad Mariana.

Figura 23

Consumidores de raíces de algunas plantas (herbívoros)

Larva de escarabajo



Ninfa de cigarra



Nota. Tomadas por Clara Melo en laboratorio de Alvernia, Universidad Mariana.

3.3.2 Prácticas que benefician a los organismos del suelo

- Incorporar residuos orgánicos como compost, pulpa de café y rastrojos al suelo para alimentar a los organismos.
- Mantener cobertura vegetal en el suelo y sombra con árboles para proteger y dar alimento a los organismos.
- Reducir la labranza, evitar herramientas que remuevan mucho el suelo, como el azadón.
- Usar fertilizantes de manera adecuada, sin exagerar.
- Evitar o minimizar el uso de herbicidas y otros productos químicos sintéticos.

3.3.3 Prácticas que afectan a los organismos del suelo

- Usar herramientas agrícolas que destruyan la estructura del suelo, como el uso de pala o azadón.
- Aplicar herbicidas, insecticidas y fungicidas químicos de síntesis en exceso.
- Cultivar solo una especie de planta en el mismo lugar (monocultivo), ya que esto agota el suelo y la fauna.
- Cortar árboles sin control, porque los árboles protegen el suelo y su vida.
- Dejar el suelo sin cobertura vegetal, ya que lo expone al sol, al viento y a la erosión.

3.3.4 Efectos de una buena y una mala gestión del suelo en sus organismos vivos

Para entender cómo las acciones aplicadas en los agroecosistemas pueden beneficiar o afectar el suelo y los organismos que lo habitan, en la Tabla 1 se describen los efectos positivos y negativos asociados a un manejo adecuado e inadecuado del suelo.

Tabla 1

Impacto en los organismos del suelo

Aspecto	Buena gestión del suelo	Mala gestión del suelo
Biodiversidad del suelo	Aumenta la actividad de lombrices, hongos y bacterias	Disminuye la diversidad biológica
Fertilidad natural	Mejora por reciclaje eficiente de nutrientes	Se reduce, obliga al uso de fertilizantes químicos de síntesis
Estructura del suelo	Se vuelve porosa y estable	Se compacta, dificulta el crecimiento de las raíces

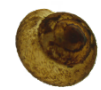
Aspecto	Buena gestión del suelo	Mala gestión del suelo
Retención de agua y nutrientes	Aumenta, favorece el desarrollo de cultivos	Disminuye, reduce la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo
Salud de los cultivos	Plantas más fuertes y resistentes a plagas y enfermedades	Plantas débiles y más vulnerables
Uso de insumos externos	Se reduce la necesidad de fertilizantes y plaguicidas	Aumenta la dependencia de productos químicos de síntesis
Impacto ambiental	Menor contaminación y erosión	Mayor degradación del suelo y contaminación del agua
Resiliencia climática	Mejor adaptabilidad a lluvias y sequías	Menor capacidad para enfrentar eventos climáticos extremos
Seguridad alimentaria	Suelos productivos y sostenibles a largo plazo	Pérdida de productividad y sostenibilidad

3.3.5 Macrofauna del suelo en el municipio de Buesaco, Nariño

Los resultados del análisis de macrofauna en tres agroecosistemas de café en Buesaco (Nariño), durante periodos de lluvia y la temporada seca, señalaron la presencia de 26 órdenes de macrofauna del suelo distribuidos en 8 clases taxonómicas, tanto en hojarasca como en los primeros 30 centímetros de profundidad del suelo. En la Tabla 2 se describen estos órdenes con sus respectivas funciones.

Tabla 2

Macrofauna presente en los suelos cafeteros del municipio de Buesaco, Nariño

Clase	Orden	Función	Nombre común	Individuos
Clitellata	Haplotaxida	Ingenieras del suelo; transforman los residuos orgánicos y contribuyen a que el suelo mantenga sus nutrientes	Lombrices	
	Enchytraeida	Descomponen restos finos de plantas, principalmente en suelos húmedos	Gusanos pequeños del suelo	
Gastropoda	Pulmonata	Se alimentan de restos de tejido vegetal; algunos consumen plantas y otros cazan animales pequeños	Caracoles y babosas	  

Clase	Orden	Función	Nombre común	Individuos
Malacostraca	Isopoda	Fragmentan restos vegetales	Cochinillas de tierra	
Diplopoda	Diplopoda	Fragmentan y descomponen restos de plantas	Milpiés	
Chilopoda	Chilopoda	Cazan organismos pequeños, como colémbolos y larvas	Ciempiés	
Arachnida	Araneae	Son depredadoras; cazan y se alimentan de insectos	Arañas	

Clase	Orden	Función	Nombre común	Individuos
Arachnida	Pseudoscorpionida	Se alimentan de insectos pequeños y, en algunos casos, de ácaros	Falsos escorpiones	
	Acarina	Se alimentan de materia orgánica, plantas o de otros insectos	Ácaros	  
Entognatha	Collembola	Regulan poblaciones de hongos y descomponen restos orgánicos	Colémbolos	 
	Diplura	Comen restos orgánicos y organismos pequeños	Colémbolos de dos puntas	

Clase	Orden	Función	Nombre común	Individuos
Insecta	Hymenoptera	Ingenieras del suelo; ayudan a descomponer materia orgánica y se alimentan de otros organismos vivos	Hormigas y avispas	
	Lepidoptera	Se alimentan de plantas. Algunas larvas excavan en raíces o tallos subterráneos	Polillas y orugas	

Clase	Orden	Función	Nombre común	Individuos
Insecta	Coleoptera	Fragmentan restos vegetales; algunos consumen plantas y otros se alimentan de distintos organismos	Escarabajos	   
	Diptera	Se alimentan de residuos orgánicos y también de otros organismos	Moscas y mosquitos	 
	Orthoptera	Cavan y mejoran la aireación del suelo; se alimentan de plantas	Grillos y saltamontes	

Clase	Orden	Función	Nombre común	Individuos
Insecta	Hemiptera	Se alimentan de plantas	Chinches y cigarras	
	Blattodea	Participan en la fragmentación de residuos; se alimentan de restos de materia orgánica	Cucarachas	
	Siphonaptera	En estado larval se alimentan de sustancias orgánicas	Pulgas	
	Neuroptera	En estado larval se alimentan de otros organismos	Crisopas	

Clase	Orden	Función	Nombre común	Individuos
Insecta	Thysanoptera	Se alimentan de plantas; pasan parte de su vida en el suelo	Trips	
	Mantodea	Comen otros organismos	Mántidos	
	Dermaptera	Ayudan a fragmentar los restos vegetales; se alimentan de otros organismos	Tijereteas	
	Isoptera	Ingenieras del suelo; descomponen la materia orgánica y mantienen el suelo fértil	Termitas o comejenes	

Clase	Orden	Función	Nombre común	Individuos
Nematoda	Nematoda	Ayudan a reciclar nutrientes; se alimentan de bacterias, hongos, plantas u otros organismos	Nematodos o gusanos redondos	

Nota. Adaptada de Solarte et al. [57]. En algunos organismos faltan partes de su cuerpo por el proceso de muestreo. Imágenes tomadas por Clara Melo en laboratorio de Alvernia, Universidad Mariana

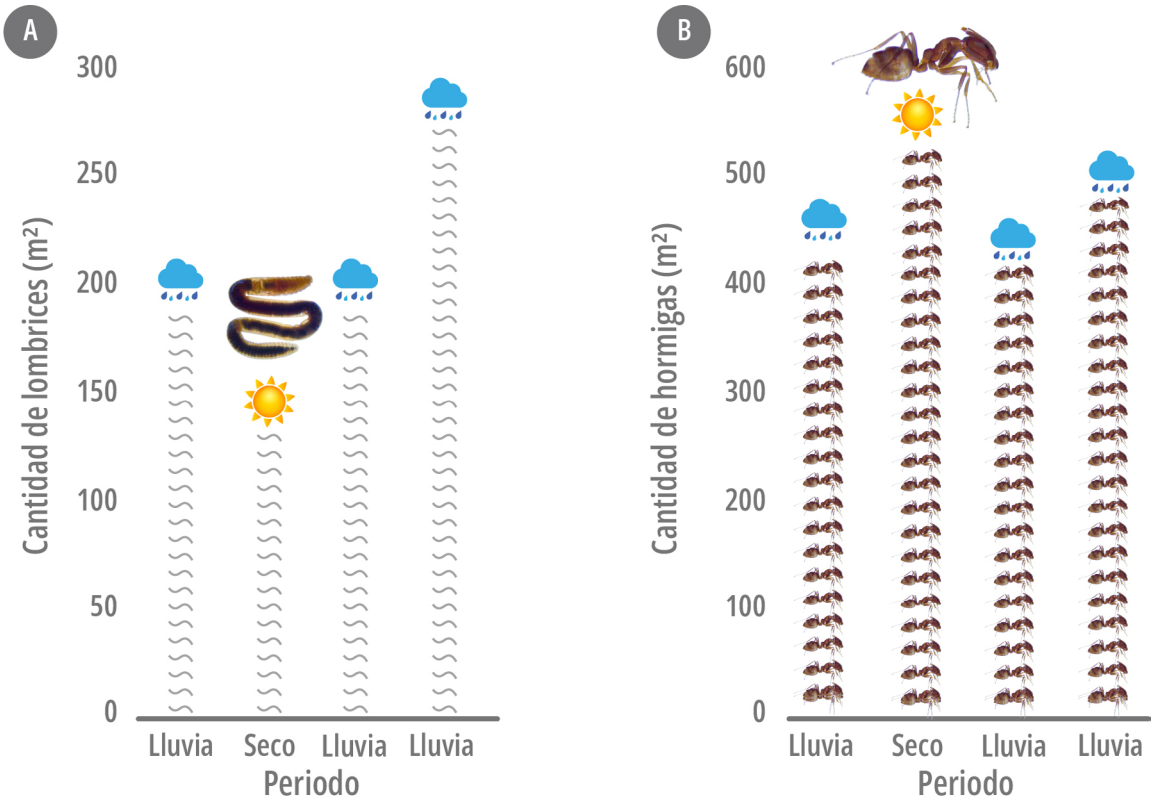
La cantidad de macrofauna no varió notablemente en ninguno de los tres agroecosistemas evaluados ni a lo largo del tiempo; sin embargo, hubo una tendencia a la disminución en la cantidad de individuos durante el periodo seco. Tanto las hormigas, como las lombrices fueron los grupos más abundantes durante todo el año, aunque su cantidad varió según el periodo evaluado.

En la época seca, las lombrices disminuyeron (ver Figura 24A), ya que la sequía limita su respiración a través de la piel y también su movimiento. En ese mismo período, las hormigas aumentaron, ya que son resistentes al estrés por falta de agua, gracias a su exoesqueleto ceroso y a sus nidos profundos que conservan humedad (ver Figura 24B).

En comparación con los otros periodos, las lluvias favorecieron la presencia de lombrices, pero no de hormigas. Cabe señalar que la mayoría de los órdenes de macrofauna encontrados en Buesaco estuvieron presentes en todos los periodos, aunque en diferentes cantidades. Todos estos organismos cumplen funciones ecológicas esenciales para mantener una buena calidad del suelo.

Figura 24

Promedio de la cantidad de lombrices y hormigas por metro cuadrado en cada periodo evaluado



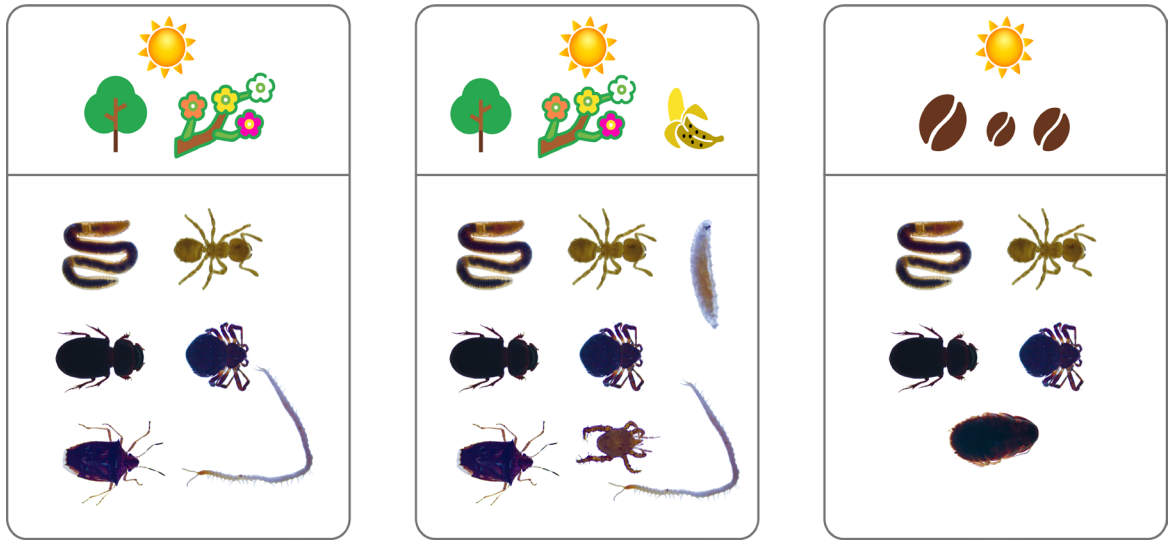
Nota. A partir del presente estudio.

En cuanto a la diversidad de macrofauna, esta disminuyó con el transcurso del tiempo, probablemente debido a la erosión causada por el viento durante la temporada seca, que arrastró parte de la capa superficial del suelo y su materia orgánica, que dejó poco alimento de calidad para estos organismos.

En el periodo seco, el agroecosistema con árboles de guamo, *Leucaena* y naranjo, junto con plantas de banano, resultó ser más favorable para la diversidad de macrofauna; es decir, tuvo más órdenes con cantidades similares de individuos (ver Figura 25). El agroecosistema de café cultivado con guamo y *Leucaena* presentó un nivel intermedio de diversidad. Por último, el agroecosistema a plena exposición solar mostró menor diversidad, lo que indica que la macrofauna es más desequilibrada en este agroecosistema durante el periodo de seco (ver Figura 25).

Figura 25

Diversidad de macrofauna en tres tipos de agroecosistemas de café durante el periodo seco



Nota.

Café con guamo y *Leucaena* (38-45 % de sombra).

Café con guamo, *Leucaena*, cítricos y banano (30-35 % de sombra).

Café sin sombra.

Capítulo 4. La broca del café

4.1 ¿Qué es la broca y por qué es un problema?

La broca del fruto del café —*Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytidae)—, introducida a Colombia en 1988, es una de las plagas más perjudiciales que afecta el café en el país. Esta plaga ataca directamente el fruto del cafeto, perfora la cereza para depositar sus huevos en su interior y se reproduce internamente en el endospermo. Las larvas se alimentan del grano, lo que produce su pérdida parcial o total (ver Figura 26) y, en muchos casos, la caída prematura de los frutos.

Este daño reduce significativamente la calidad, el peso y el valor comercial del producto final, que impide que los granos afectados sean clasificados como café comercial; en consecuencia, se disminuyen los ingresos de los productores [58].

Figura 26

Daño ocasionado al grano por la broca

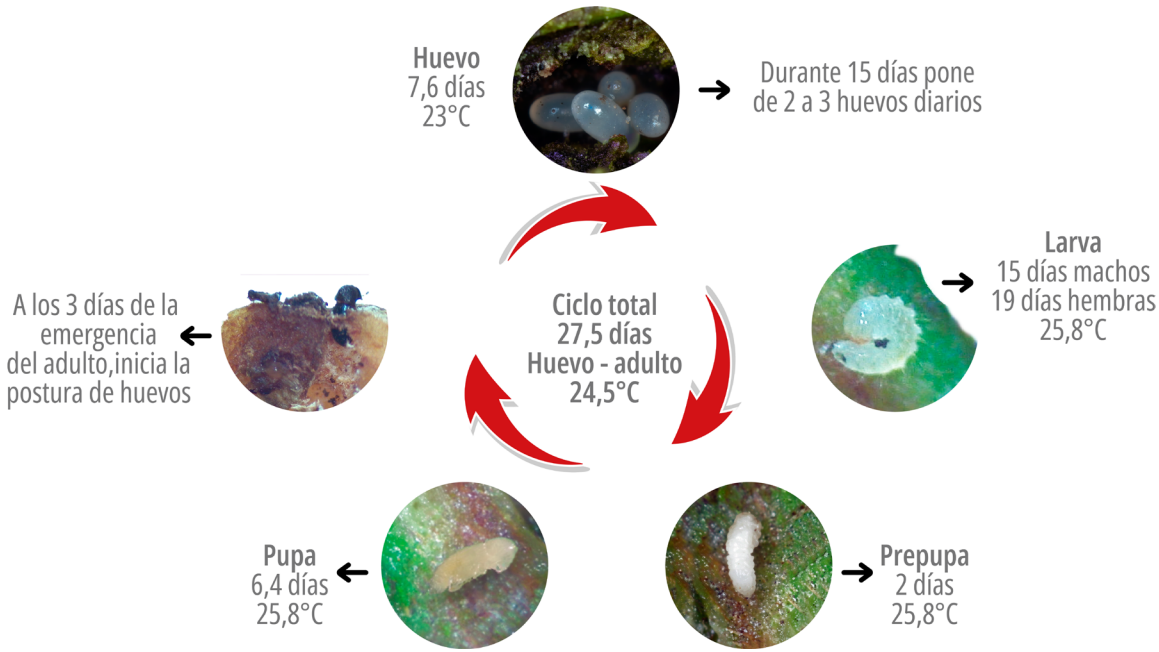


4.2 Ciclo biológico y dinámica reproductiva de la broca del café

El ciclo de vida de la broca del café, desde el huevo hasta el estado adulto, es de aproximadamente 27,5 días a una temperatura de 24,5 °C (ver Figura 27). Su longevidad puede alcanzar cerca de 130 días, tiempo durante el cual el adulto puede sobrevivir. Sin embargo, estos valores pueden variar según las condiciones climáticas de la zona, principalmente por el efecto de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, el ciclo de vida se acorta; mientras que, conforme disminuye la temperatura, el ciclo se alarga; por ejemplo, a 18 °C, el ciclo de vida puede durar 59,83 días [59].

Figura 27

Ciclo de vida de la broca



Nota. A partir de Bustillo [58], Fernández y Cordero [60], Molina [61].

La descendencia de la broca presenta generalmente una relación sexual sesgada hacia las hembras, con una proporción aproximada de 10:1, es decir, por cada 10 hembras nacidas hay un macho [61]. El macho cumple únicamente una función reproductora y permanece siempre en el interior del fruto del café; no posee la capacidad de perforar el grano, ya que carece de las estructuras corporales necesarias para hacerlo y para volar. Por ende, es la hembra la que vuela en busca de nuevos frutos de café y los perfora [58].

La broca del café tiene una mayor tendencia a perforar con más rapidez los frutos maduros y secos, en comparación con los frutos verdes o pintones [58] (ver Figura 28). Desde el momento que el fruto del café puede ser atacado por la broca hasta la cosecha, se pueden desarrollar dos generaciones del insecto. Si los frutos no se recogen y se secan en la planta, pueden albergar hasta cuatro generaciones [58].

Figura 28

Tiempo de perforación de los frutos de café por la broca



4.3 Efectos del sombrío y del clima en la incidencia de la broca

Existe el debate sobre cómo la sombra afecta a la broca del café. Algunos estudios indican que la sombra puede aumentar la plaga, mientras que otros señalan que la reduce. No obstante, esto depende de factores como la cantidad de sombra, la temperatura y las condiciones del lugar [62].

La sombra favorece la presencia de organismos que actúan como enemigos naturales de la broca, como hormigas, hongos y parasitoides [63]; además, promueve la presencia del hongo *Beauveria bassiana,* reconocido por su capacidad para controlar la broca [64]. Los árboles de sombra albergan muchas hormigas que también se alimentan de la broca [65].

Por otro lado, los cafetales a pleno sol suelen generar condiciones ambientales que favorecen a la broca, con temperaturas altas que incrementan su presencia [66]. Asimismo, las lluvias combinadas con el calor en cafetales sin sombra facilitan que las hembras de la broca vuelen y se instalen en los frutos [66].

4.4 Manejo de la broca del café

Para que la broca no cause pérdidas en el cultivo, se deben realizar varias labores de manejo. A continuación, se muestran las principales:



1. **Registro de la floración del café:** se debe tomar nota de la fecha de floración [67] (ver Figura 29).

Figura 29

Floración

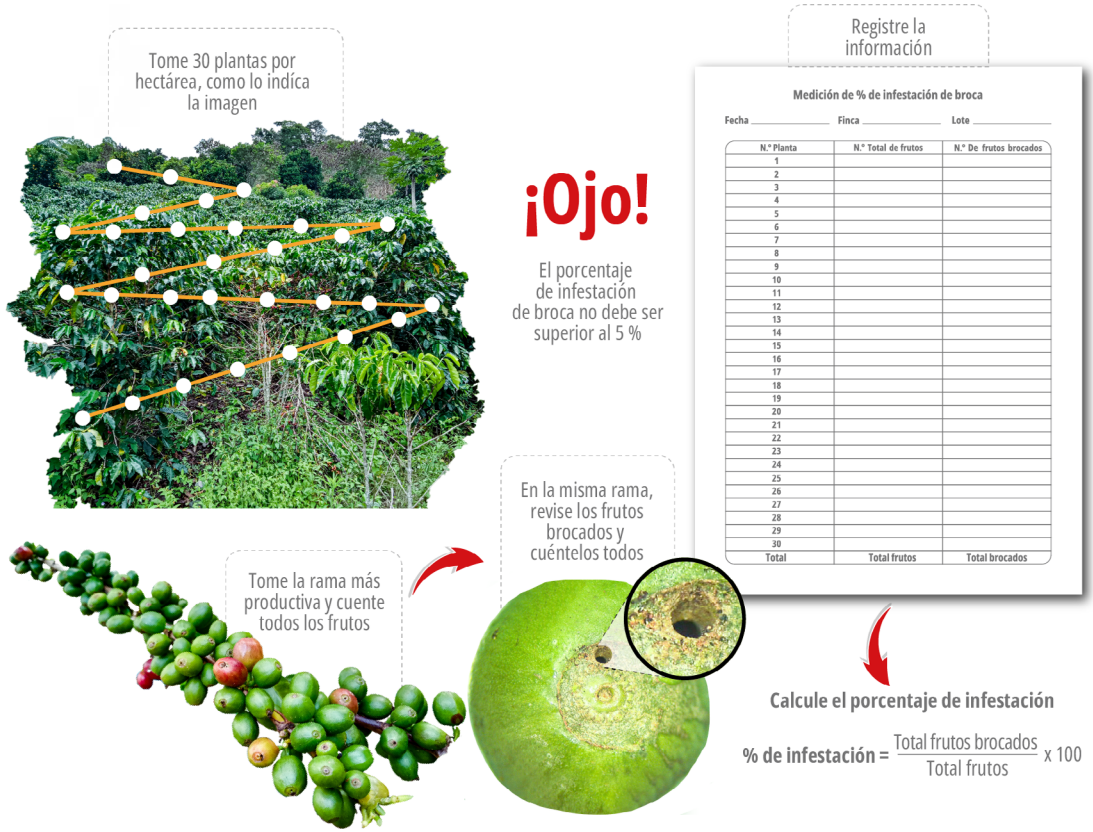


Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

2. **Muestreo de la broca:** se debe realizar cada 30 días [68] (ver Figura 30).

Figura 30

Evaluación de la broca de café en el lote



Nota. Elaborado a partir del presente estudio; las imágenes fueron tomadas del archivo fotográfico de Clara Melo.

3. **Control cultural de la broca del café:** es el «pilar fundamental del control de la broca» [67], [69]. Para este control, se deben seguir los siguientes pasos:

   - Recoger de forma permanente los frutos maduros, sobremaduros y secos, cada 3 o 5 semanas después de la cosecha principal y de la mitaca (ver Figura 31).
   - Recoger todos los frutos antes de la zoca del cafetal.
   - Evitar dejar frutos caídos en el suelo durante la cosecha, ya que se convierten en focos de reproducción de la broca.
   - Cubrir la tolva del café con un plástico untado con grasa para atrapar las brocas que intenten salir.
   - Despulpar sin agua y colocar una malla en los desagües para evitar que las brocas regresen al lote.
   - Tapar la fosa de la pulpa con un plástico impregnado de grasa.
   - Utilizar costales de material sintético para vaciar el café cereza durante la cosecha y mantenerlos cerrados.

Figura 31

Recolección permanente de frutos maduros, sobremaduros y secos



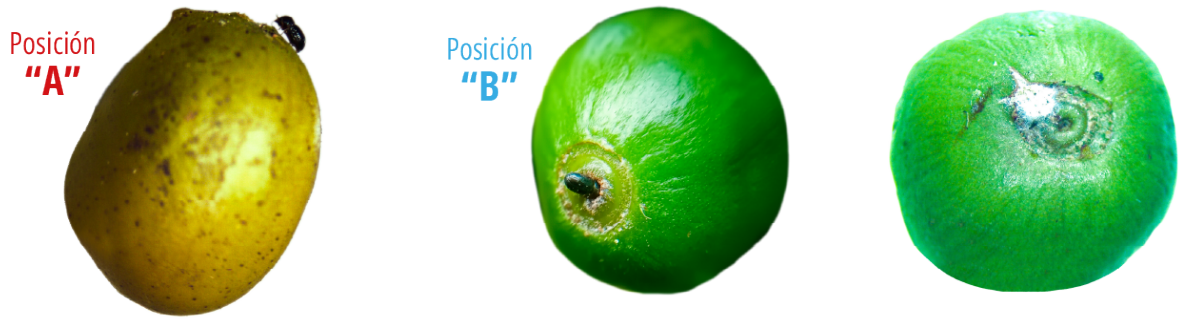
Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

4. **Control biológico:** corresponde a los organismos benéficos que matan a la broca [67], [69]. Para este control, se deben seguir los siguientes pasos:

   - Aplicar el hongo *Beauveria bassiana* cuando la broca esté ingresando al fruto (posiciones A y B Figura 32). Este hongo controla la broca y su acción se evidencia por la mota blanca sobre el insecto.
   - Aplicar el hongo en horas de la mañana o en la tarde; se debe evitar los momentos de mayor radiación solar.
   - Realizar aplicaciones en la base de las plantas de café, con el fin de que el hongo infecte las brocas que emergen de los frutos caídos.
   - Mantener condiciones adecuadas de sombrío que favorezcan la presencia de hormigas, parasitoides y del hongo *Beauveria bassiana*, organismos que se encargan del control natural de la broca.
   - Utilizar variedades de café resistentes a la roya (*Hemileia vastatrix*), con el fin de reducir el uso de fungicidas que puedan afectar el desarrollo del hongo benéfico que controla la broca.

Figura 32

Aplicación del hongo Beauveria bassiana



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

5. **Control químico:** Para este control, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos [67], [69]:

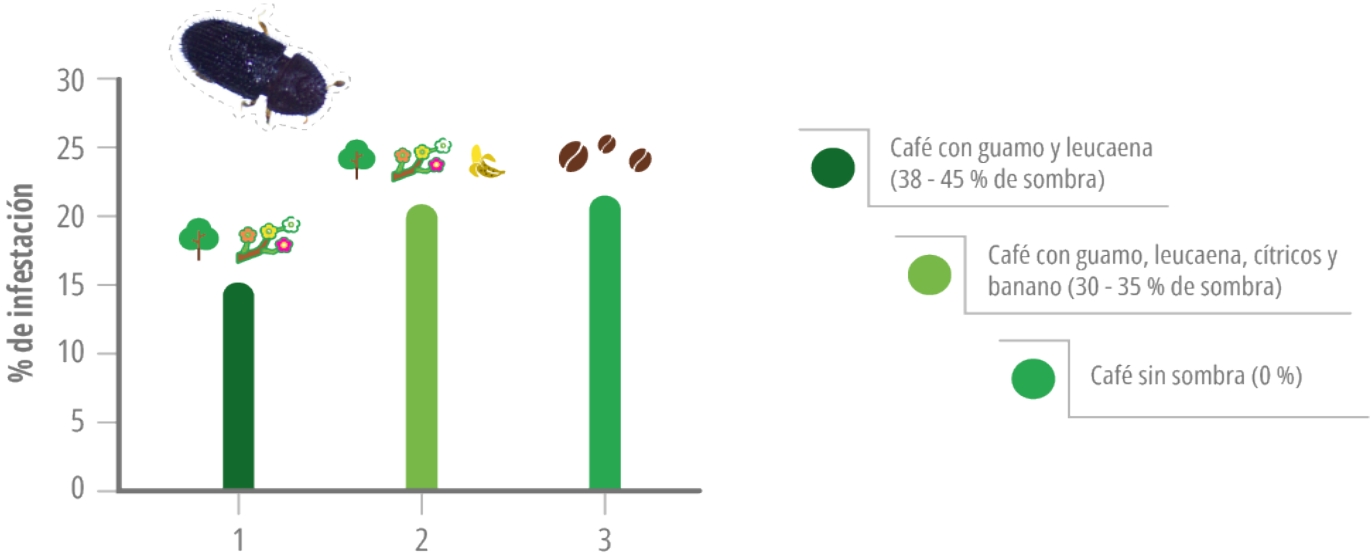
- El uso de insecticidas solo se recomienda cuando la infestación de broca supera el 5 %.
- El insecticida solo es efectivo cuando las hembras están perforando el fruto o se encuentran en el canal de penetración (posiciones A y B Figura 32).
- Antes de aplicar, recorra el lote e identifique los focos (sitios con mayor presencia de broca) para aplicar únicamente en esas zonas, y así evitar tratar todo el cultivo.
- Utilizar únicamente productos autorizados y bajo la recomendación de un profesional con experiencia en el manejo de la plaga. En caso de ser necesaria la aplicación, se debe realizar de manera segura y seguir las normas de protección personal y ambiental.
- El control químico debe ser la última alternativa, ya que su efectividad es limitada, debido a que la broca adulta se refugia dentro del fruto, donde se reproduce rápidamente.
- Se debe priorizar el control cultural y biológico, a fin de conservar las poblaciones de broca en porcentajes bajos y evitar el uso de productos químicos de síntesis.

4.5 Efecto del sombrío y de las variables meteorológicas sobre la incidencia de broca en agroecosistemas de café en el municipio de Buesaco, Nariño

Los resultados del estudio indicaron que el sombrío tuvo un efecto sobre el porcentaje de infestación de la broca durante el año de muestreo, el cual se realizó cada treinta días. El agroecosistema de café cultivado con guamo y *Leucaena* presentó el porcentaje promedio anual de infestación más bajo (15,2 %), seguido por el sistema con guamo, *Leucaena*, naranjo y acompañado de plantas de banano (20,7 %). En contraste, el agroecosistema a plena exposición solar registró el valor más alto (21,5 %) (ver Figura 33).

Figura 33

Efecto de los sistemas de sombrío sobre el porcentaje promedio anual de infestación de broca a partir de muestreo realizado cada 30 días

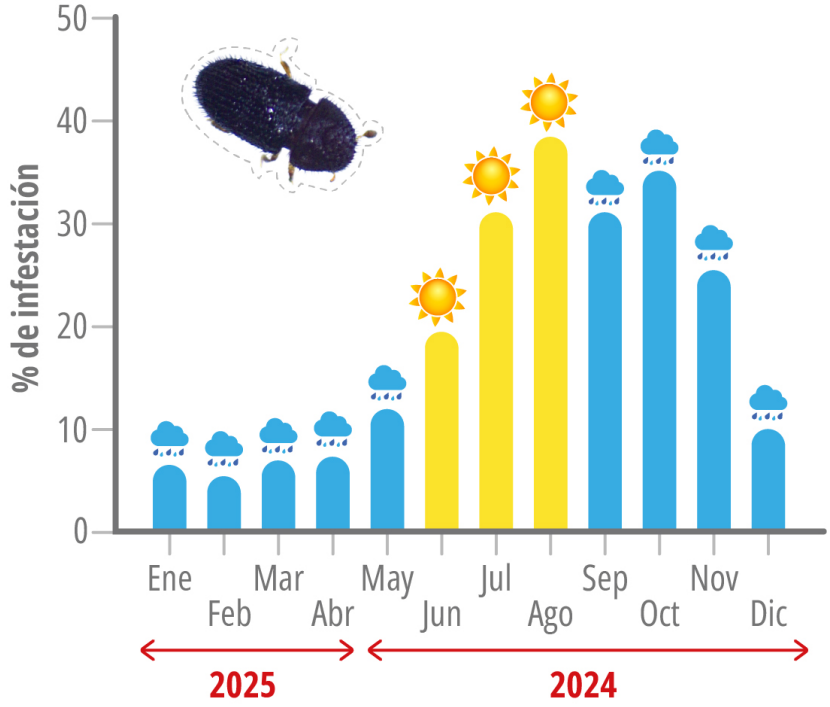


Nota. Elaborado a partir de los resultados del presente estudio.

El porcentaje de infestación de la broca aumentó entre los meses de julio y octubre, con valores que oscilaron entre 31,2 % y 38,6 %. Este incremento coincidió con la mayor disponibilidad de frutos asociada a la cosecha principal y al periodo posterior a esta. En junio y noviembre se observaron valores intermedios (19,5-25,5 %), mientras que, entre diciembre y mayo, la infestación se mantuvo en niveles bajos (5,6–10 %) (ver Figura 34).

Figura 34

Porcentaje mensual promedio de infestación de broca durante un año de evaluación



Nota. Elaborado a partir de los resultados del presente estudio.

En julio y agosto, meses de baja precipitación y humedad relativa, junto con temperaturas más altas y vientos más intensos, se observó un incremento poblacional de la broca del café. En los dos meses posteriores a esta época seca (septiembre y octubre), también se registró una mayor presencia de broca. Aunque la precipitación, la humedad relativa y la velocidad del viento no fueron óptimas para el desarrollo de la plaga, la temperatura se mantuvo dentro del rango favorable [70], [71].

Esto sugiere que la elevada infestación observada podría estar asociada a factores como el estrés hídrico del cafeto, que acelera la maduración de los frutos y los hace más susceptibles al ataque [35]. Asimismo, la sequía disminuye la eficacia del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana,* ampliamente utilizado en el control biológico de la broca [72]. Por otro lado, los vientos más fuertes facilitan la dispersión y el vuelo de las hembras adultas, lo que aumenta su capacidad de colonización [73]. En contraste, precipitaciones y humedades relativas más altas contribuyen a disminuir la temperatura, lo que tuvo un efecto negativo sobre la incidencia de la plaga entre los meses de diciembre a mayo, principalmente.

Finalmente, la menor infestación observada en los agroecosistemas de café cultivados con guamo y *Leucaena* podría atribuirse a un microclima más estable, que reduce el estrés del cultivo y favorece la acción de enemigos naturales [35]. Sin embargo, en todos los casos, el porcentaje de infestación superó el 5 %, lo que resalta la necesidad de fortalecer las prácticas de manejo integrado, especialmente las labores de control cultural.



Capítulo 5. Rendimiento del café

El rendimiento del café se puede expresar en kilogramos por planta o por unidad de superficie (kg/ha). Esta información es de gran importancia para el caficultor y para todos los actores involucrados en la caficultura, ya que, junto con el precio del producto, permite realizar proyecciones a lo largo del tiempo [74].

5.1 Factores que influyen en el rendimiento del café

El rendimiento del café está determinado por diversos factores edáficos, climáticos, biológicos y de manejo agronómico, entre los cuales destacan los siguientes [75]:

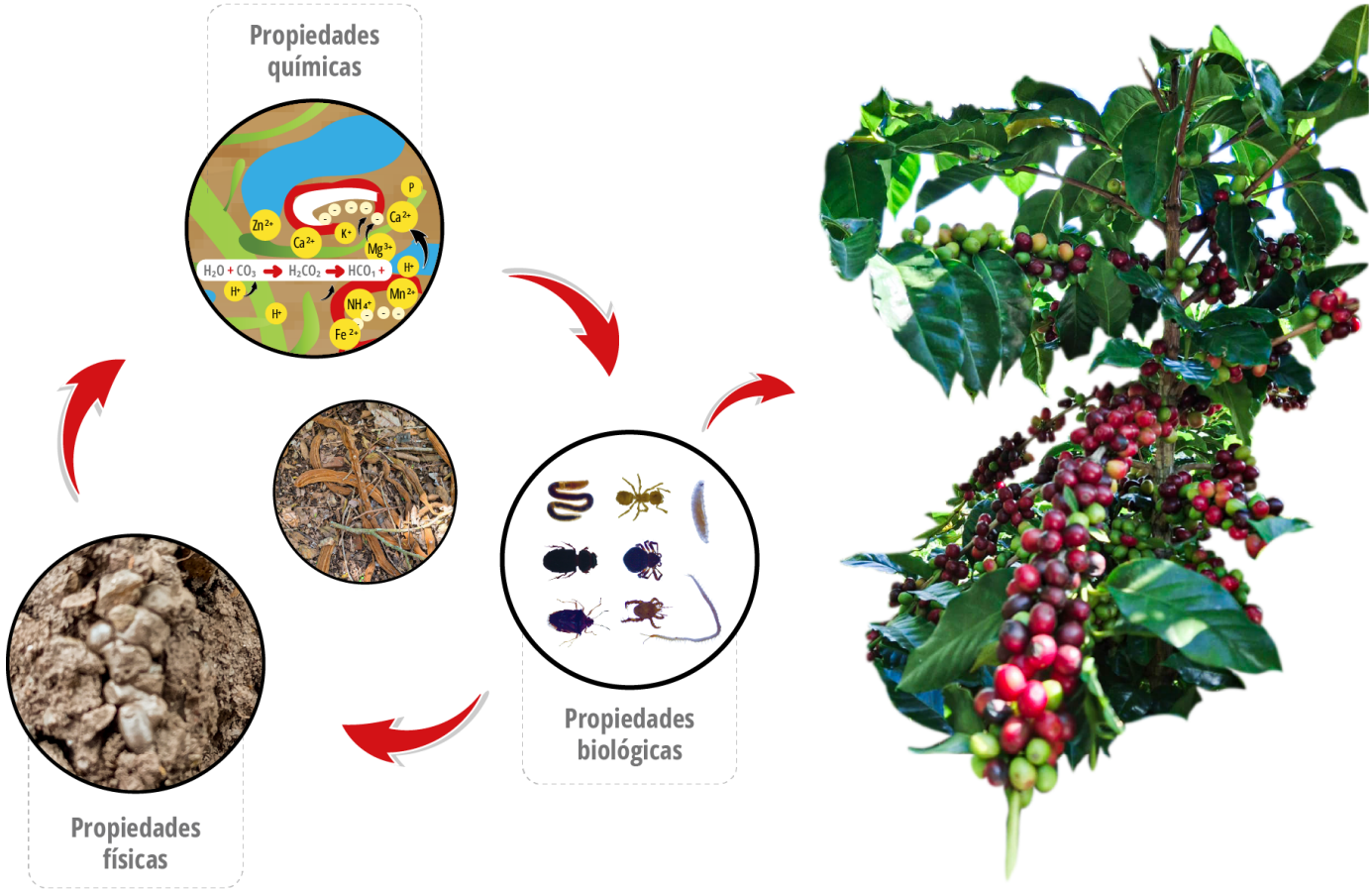
5.1.1 Condiciones del suelo

Un buen rendimiento del café requiere suelos con propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas (ver Figura 35). La fertilidad del suelo influye directamente en la producción; por el contrario, una fertilización deficiente puede reducir significativamente su rendimiento. Además, los cultivos de café con sombrío diversificado suelen conservar una mayor fertilidad y estabilidad del suelo.



Figura 35

Interacciones entre propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo



Nota. Imágenes tomadas del archivo fotográfico de Clara Melo. Imagen de propiedades químicas tomada de Agrología [47].

5.1.2 La edad de los cultivos

Es necesario renovar los cafetales, ya que después de aproximadamente ocho años las plantas tienden a deteriorarse y reducir su productividad.

5.1.3 El clima

Tormentas y lluvias fuertes pueden causar daños en las plantas y caída de frutos por maduración acelerada o impacto directo de la lluvia; por el contrario, las precipitaciones con periodos cortos de sequía, favorecen el cultivo, y la falta de lluvias puede reducir significativamente la producción (ver Figura 36).

Figura 36

Plantas de café afectadas por falta de lluvias



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

5.1.4 Arvenses

El crecimiento descontrolado de arvenses genera competencia por nutrientes, agua y espacio, que afecta el rendimiento del suelo. Se recomienda su manejo mediante prácticas de bajo impacto en el suelo. Además, la presencia de sombra o cobertura aérea reduce el desarrollo de dichas plantas en los cafetales (ver Figura 37).

Figura 37

Efecto del sombrío sobre el crecimiento de arvenses



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

5.1.5 La bienalidad de la producción

El cultivo intensivo del café puede forzar a la planta a producir grandes cantidades de frutos en un año, esto causa debilitamiento y una menor capacidad de crecimiento y producción en la cosecha siguiente. Este fenómeno es común en cultivos a plena exposición solar. No obstante, una sombra adecuada puede reducir casi por completo la bienalidad (ciclo productivo de dos años).

5.1.6 Densidad de plantación y variedad del café

Una mayor densidad de siembra puede aumentar la producción, siempre que el cultivo se maneje correctamente, ya que la competencia entre plantas puede reducir el rendimiento del suelo. La respuesta a la densidad depende de la variedad, el desarrollo foliar, el sistema de cultivo (a sol o a sombra), la localidad y la altitud. En sistemas bajo sombra, se recomienda una densidad aproximada de 5.000 plantas por hectárea para variedades de porte bajo.

5.1.7 Plagas y enfermedades

Son factores determinantes en la productividad, ya que su presencia es una de las principales causas de pérdida de rendimiento. La incidencia y severidad de plagas y enfermedades dependen de la altitud, el clima, el manejo, la sombra y las características de la planta.

Los sistemas con buen manejo de sombra suelen presentar menor incidencia de problemas como la roya y otras enfermedades, gracias a los servicios ecosistémicos que ofrece la sombra, como el control biológico. Los árboles también reducen la velocidad del viento, que evita daños físicos y limita la entrada de hongos. Asimismo, la regulación de la carga fructífera por efecto de la sombra disminuye la incidencia de antracnosis y favorece el desarrollo de organismos benéficos como *Beauveria bassiana,* hongo que mata la broca del café. Un sombrío diversificado y bien manejado contribuye a la regulación natural de plagas y enfermedades (ver Figura 38).

Figura 38

Plantas de café bajo cobertura de árboles de sombra



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

5.1.8 La cobertura de sombra

Mantener un porcentaje adecuado de sombra en los cafetales garantiza la luminosidad necesaria sin afectar la productividad. Un exceso de sombra puede reducir el rendimiento, mientras que la exposición plena al sol produce mayor floración, pero reduce el cuajado de los frutos.

La cobertura óptima depende de factores como la altitud y la radiación solar, entre otros analizados en el capítulo 1. Además, el uso de árboles de sombra diversos y bien manejados aporta múltiples servicios ecosistémicos, como el secuestro de carbono, el control biológico y la mejora de la fertilidad del suelo, sin disminuir la producción.

5.2 Producción de café en cultivos con sombra y a plena exposición solar

En sistemas de producción de café con sombra bien manejada, incorporar aproximadamente 70 árboles de sombrío por hectárea, sembrados a una distancia de 12 × 12 m y acompañados de una fertilización adecuada, permite alcanzar rendimientos de café pergamino seco (CPS) de hasta 2.525 kg ha^{-1} $año^{-1}$ en estaciones experimentales de Cenicafé. Bajo estas mismas condiciones, con sombrío de guamo, se pueden lograr producciones de 3.002 kg CPS ha^{-1} $año^{-1}$, y con *Leucaena*, de 2.626 kg CPS ha^{-1} $año^{-1}$ [76].

En contraste, aumentar la densidad de sombra a 555 árboles por hectárea, sembrados a una distancia de 9 × 9 m, la producción tiende a disminuir, alcanzando en promedio 1.630 kg CPS ha^{-1} $año^{-1}$, incluso con buena fertilización. En estas condiciones, los sistemas con sombrío de guamo pueden alcanzar rendimientos de 2.681 kg CPS ha^{-1} $año^{-1}$, y con *Leucaena*, de 2.630 kg CPS ha^{-1} $año^{-1}$[76].

Los cultivos de la variedad castillo, con una densidad de siembra de 5.000 plantas por hectárea en cultivos con sombra, pueden alcanzar una producción media anual de café pergamino seco (CPS) de 350 gramos CPS por planta y 2.500 kg CPS por hectárea. Sin embargo, a mayores densidades de siembra del café (hasta 10.000 plantas por hectárea) y en cultivos a plena exposición solar, la producción puede llegar a 600 gramos CPS por planta y 2.750 kg CPS por hectárea por año [76].

5.3 Efecto del sombrío en el rendimiento del café (gramos de CPS por planta) en el municipio de Buesaco, Nariño, desde mayo de 2024 - abril de 2025

En el municipio de Buesaco, Nariño, en nueve agroecosistemas de café se cosecharon y pesaron frutos maduros cada 21 días (ver Figura 39), desde mayo de 2024 hasta abril de 2025. El peso del café cereza (frutos maduros) se estimó a café pergamino seco, mediante una relación de conversión de 4,50 a 1; es decir, se requieren 4,5 kg de café cereza para obtener 1 kg de pergamino seco [77].

Todos los agroecosistemas tuvieron cultivos de *Coffea arabica,* variedad castillo®, con plantas en fase productiva de cinco años, que provenían de una zoca tradicional de dos tallos. El manejo agronómico de los cultivos fue convencional, con prácticas similares de fertilización química de síntesis en cuanto a dosis y tiempos de aplicación, así como control de arvenses de forma tradicional. El relieve de estos agroecosistemas tenía pendientes del terreno entre 30 % y 48 %.

Figura 39

Cosecha y peso de café cereza por planta



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

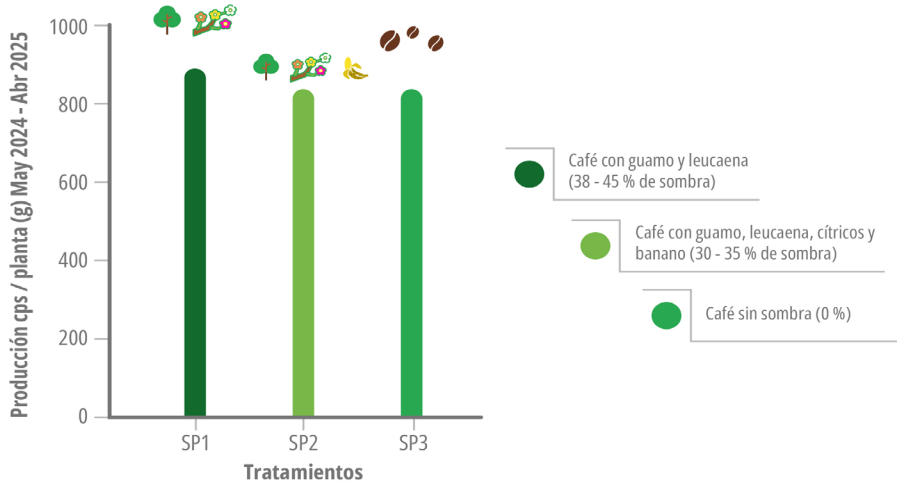
Los nueve agroecosistemas se agruparon en tres tipos de sombrío (tratamientos): tres con árboles de guamo y *Leucaena* (38-45 % de sombra); tres con árboles de guamo, *Leucaena*, naranjo y plantas de banano (30-35 % de sombra), y tres a plena exposición solar, sin sombra (0 %).

El peso total de las cosechas realizadas desde mayo de 2024 hasta abril de 2025 mostró un mayor rendimiento en el agroecosistema con sombra de árboles de guamo y *Leucaena*, con 890,7 gramos de café pergamino seco (CPS) por planta, calculado como el promedio de los tres agroecosistemas evaluados bajo este tipo de sombrío; seguido del agroecosistema con árboles de guamo, *Leucaena*, naranjo y plantas de banano, con 837,7 gramos de CPS por planta, y , por último, el agroecosistema a plena exposición solar con un rendimiento parecido al segundo, con 837,6 gramos de CPS por planta (ver Figura 40).

Para la zona de estudio, estos resultados señalan que el porcentaje y el tipo de sombrío seleccionado favorecieron un mayor rendimiento de café, en contraste con el cultivo a plena exposición solar. Cabe añadir que, este resultado es específico para las condiciones agroecológicas de la zona de estudio y zonas con características similares, y no debe considerarse una regla general para toda la caficultura colombiana.

Figura 40

Rendimiento de café pergamino seco por planta entre mayo de 2024 y abril de 2025 en agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío



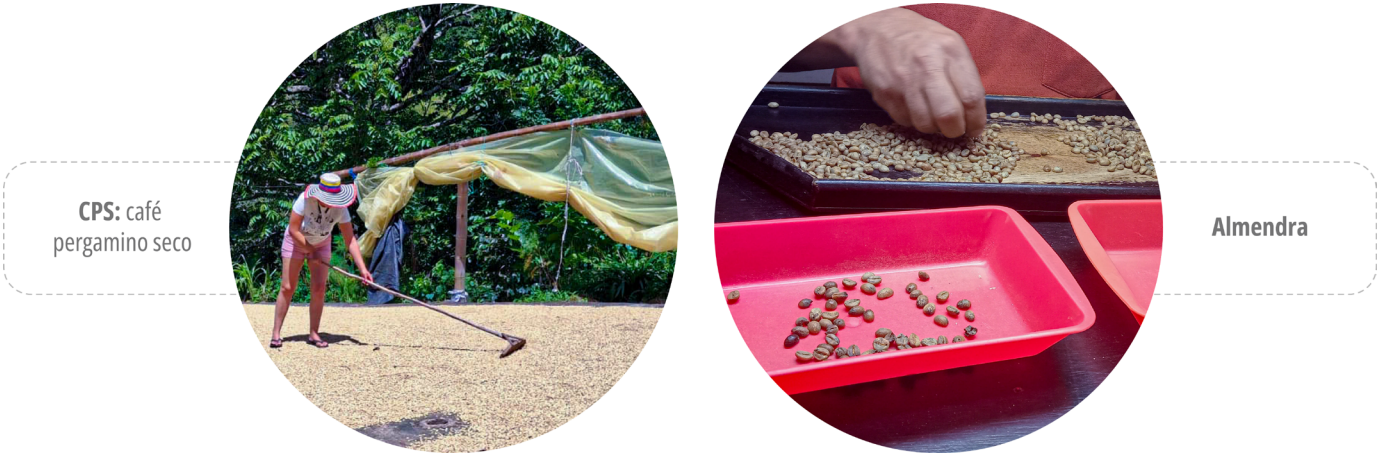
Nota. Elaborado a partir de los resultados del presente estudio.

Capítulo 6. Calidad del café

La calidad del café se determina por características químicas, físicas, sensoriales y microbiológicas que motivan al consumidor a pagar un mejor precio, lo que se traduce en mayores ingresos para el caficultor [78]. Esta calidad se obtiene mediante un manejo adecuado de los procesos en la cadena productiva del café y se evalúa en el momento de la comercialización del café (ver Figura 41).

Figura 41

Proceso de secado al sol para obtener café pergamino seco (CPS) y evaluación de su calidad física en la comercialización



Nota. Archivo fotográfico de Clara Melo.

6.1 Factores que influyen en la calidad del café [77]

6.1.1 Producción agrícola (siembra y cultivo)

- Variedad del café, que influye en sus características organolépticas; por ejemplo, la variedad castillo® tiene cualidades balanceadas y un sabor suave, mientras que la variedad colombia se caracteriza por una acidez alta y un amargor pronunciado, entre otras variedades.
- Clima
- Tipo de suelo
- Fertilización
- Sistema de producción (con sombra o a libre exposición solar)
- Manejo de plagas y enfermedades
- Control de arvenses.

6.1.2 Cosecha

- Recolección de frutos (se debe cosechar solo frutos maduros).
- Beneficiado o procesamiento húmedo
- Despulpar el café del día, sin mezclar café de diferentes días.
- Usar zaranda para clasificar el café, con el fin de retirar granos sin despulpar o con despulpado incompleto.
- Eliminación del mucílago oportunamente mediante fermentación natural (dejar fermentar entre 12 a 16 horas, dependiendo del clima) o de forma mecánica [2].
- Durante el lavado, extraer los frutos secos, brocados y vanos mediante clasificación por densidad; es decir, retirar los frutos que flotan.
- Hacer cuatro enjuagues con agua limpia durante el lavado.

- Verificar que los dientes de la camisa de la máquina despulpadora estén en buen estado y limpiarla después del despulpado para evitar contaminación o daño al grano.
- Calibrar la máquina despulpadora según el tamaño de los frutos.

6.1.3 Secado

- Secar hasta alcanzar humedad final entre el 10 y 12 %.
- Para secado solar: capa máxima de 2,5 cm, revolver al menos cuatro veces al día.
- Para secado mecánico: capas de 25 cm para secador de dos capas o 35 cm para secador de tres capas, con temperatura menor a 50 °C.

6.1.4 Almacenamiento

- Utilizar empaques limpios y exclusivos para café.
- Mantener el lugar de almacenamiento ventilado, libre de humedad y de luz solar directa.
- Colocar el café sobre estibas, evitar el contacto directo con el piso o las paredes.
- Buscar un lugar limpio y libre de sustancias que puedan contaminar el café.

6.2 Calidad física del café

La calidad física incluye características como el olor y el color del café pergamino seco, la proporción de almendra sana y el contenido de humedad. Este último no debe superar el rango óptimo del 10 al 12 %, ya que puede favorecer la proliferación de hongos e insectos [78].

Para la comercialización del café, se utiliza el método del factor de rendimiento, cuyo valor oficial es 94, establecido por la Federación Nacional de Cafeteros en 2024. Esto significa que, de 94 kg de café pergamino seco, se deben obtener 70 kg de café excelso, 18,7 kg de cisco y solo 5,5 kg de almendra defectuosa [78]. Cuando aumenta la cantidad de almendra defectuosa, disminuye la proporción de almendra sana; en consecuencia, el factor de rendimiento se eleva por encima de 94, lo cual afecta negativamente el precio final del café.

Por el contrario, una menor proporción de almendra defectuosa y mayor proporción de almendra sana reduce el factor de rendimiento por debajo de 94, que refleja un precio más alto en el punto de compra.

En Colombia, en los puntos de compra de las cooperativas, se incentiva al caficultor con un mejor precio por la calidad de su café cuando el porcentaje de almendra sana es superior al 75 % [79].

A continuación, se describen los defectos del café que se consideran en la evaluación de la calidad física y sus causas, de acuerdo con la Resolución n.º 2 del Comité Nacional de Cafeteros 25/IV/2016 [78]:

- **Granos negros y vinagre:** son granos de color negro, marrón o rojizo, sobrefermentados, que pueden originarse a partir de frutos secos cosechados, de una sobrefermentación del mucílago o de un mal lavado. Los granos negros también pueden aparecer por la deficiencia de agua en el cultivo [80].
- **Granos ámbar o mantequillo:** de color amarillo traslucido, causado por las deficiencias nutricionales del cultivo y por suelos con exceso de calcio (Ca) o con deficiencia de hierro (Fe) [80]
- **Grano decolorado reposado:** de color amarillo causado por largos periodos de almacenamiento (más de 6 meses) o por condiciones inadecuadas durante este, tales como altas humedades en el café almacenado (mayores al 12 %), humedad ambiental superior al 75 % y temperaturas elevadas (más de 20 °C) en el lugar de almacenamiento [80].
- **Grano cardenillo:** presenta manchas de color amarillo naranja causadas por hongos, debido a interrupciones en el proceso de secado y al almacenamiento de café húmedo.
- **Grano cristalizado, sobresecado:** de color gris claro y de aspecto frágil, ocasionado por temperaturas altas durante el proceso de secado.
- **Grano decolorado veteado:** muestra vetas blancas causadas por rehumedecimiento del café seco.
- **Grano mordido, cortado:** presenta manchas pardas o negras en los cortes. Estos cortes suelen ocurrir durante el despulpado debido al mal estado de los dientes de la camisa de la maquina despulpadora.
- **Grano picado por insectos:** con perforaciones causadas por insectos, principalmente por la broca (*Hypothenemus hampei*).

- **Grano averanado, arrugado:** con aspecto arrugado, causado por periodos secos prolongados o por deficiencias nutricionales.
- **Aplastado:** de aspecto plano y con fracturas, ocasionado por presiones excesivas durante el proceso de secado.
- **Grano flojo:** de color gris oscuro y textura blanda, ocasionado por falta de secado.
- **Grano inmaduro:** cubierto por una capa plateada ('tela'), ocasionada por cosecha de frutos inmaduros (pintones).

6.3 Calidad sensorial del café

Una forma complementaria de evaluar la calidad del café es mediante el análisis sensorial, el cual hace referencia a la evaluación de sus propiedades que afectan los órganos de los sentidos. Este análisis permite definir si el café tiene defectos o sabores desagradables, los atributos y sabores agradables, evaluar la intensidad, y clasificar si el café es especial o no [78].

Una taza de café de buena calidad presenta características como suavidad, limpieza, acidez agradable, amargor moderado y aromas intensos (tostados, dulces, herbales o frutales), entre otras [80]. El café producido en el departamento de Nariño se destaca por un perfil sensorial de alta acidez, cuerpo medio, notas dulces, limpio, suave y aroma muy pronunciado [81].

Los defectos del café que se consideran en la evaluación de la calidad sensorial más comunes se clasifican en cuatro grupos, de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 2758 [78], así:

Grupo 1. Sobrefermentados:

- Pulpa: da a la bebida un gusto a café sobremaduro que evoca el aroma a la pulpa fresca.
- Vinagre: sensación olfativa y gustativa generada por la descomposición del ácido acético, debido a una fermentación excesiva.
- Fermentado: sensación olfativa y gustativa a materia orgánica descompuesta, causada por la sobrefermentación durante el proceso de beneficio.

- Stinker: aroma y sabor fuertes y defectuosos, similares a materia orgánica putrefacta, ocasionados por la sobremaduración de los frutos y por condiciones inadecuadas en el proceso de beneficio.

Grupo 2. Acre, ásperos:

- Acre: sensación olfativa y gustativa áspera, amarga, astringente, picante y pesada, ocasionada por la presencia de granos negros.
- Áspero: sensación táctil rasposa y tosca, indeseable en la bebida, causada por granos defectuosos.
- Inmaduro: aroma y sabor característico de frutos verdes o pintones, que producen café astringente (sensación de sequedad y aspereza).

Grupo 3. Terrosos:

- Sucio: aroma y sabor asociado a polvo, ocasionado por deficiencias en la limpieza durante el beneficio y/o almacenamiento del café.
- Paja: aroma y sabor similares a hierba seca, causados por un secado deficiente
- Mohoso: aroma y sabor característicos a moho, causados por un manejo inadecuado de la humedad del café durante el secado o el almacenamiento.
- Terroso: aroma y sabor a suelo húmedo o recién movido, causados por el secado de café sobre superficies de suelo desnudo.
- Reposo: aroma y sabor característico de café almacenado por largos periodos o bajo condiciones inadecuadas.

Grupo 4. Contaminados:

- Humo: sensación olfativa asociada a la presencia de humo, ocasionada por la impregnación de humo durante cualquiera de las estepas del beneficio del café.
- Combustible: café con características de contaminación por gasolina o ACPM, causadas por la impregnación del contaminante durante el almacenamiento o el transporte del café.
- Fenol: aroma y sabor asociado a cloro o yodo, producidos por el lavado del café con agua que

contiene exceso de cloro, por residuos de desinfectantes o por el rehumedecimiento del café en el proceso de secado.

- Metálico: sensación gustativa similar al agua en contacto con superficies metálicas recién pulidas; puede originarse por el agua o por los recipientes utilizados en la preparación de la bebida.
- Químico: aroma y sabor a compuestos químicos; puede presentarse en cafés excesivamente tostados.
- Contaminado no identificado: características de sabor y aroma indeseables que no pueden definirse.

Por otra parte, en la calidad sensorial del café se evalúan los siguientes atributos [78]:

Fragancia-aroma: olor del café tostado y molido en seco, así como del café molido al entrar en contacto con el agua caliente. Entre las categorías de aromas del café se encuentran las siguientes: tostados, dulces, caramelo, chocolate, herbal, floral, leguminoso, cereal, especias, entre otras [80].

Sabor: es la principal característica; corresponde a una impresión combinada de todas las sensaciones gustativas y los aromas percibidos.

Sabor residual: duración de las cualidades buenas del sabor que permanecen en la boca después de ingerir o eliminar la bebida.

Acidez: sensación que estimula la salivación; es brillante y agradable cuando es favorable, mientras que se considera defectuosa cuando es agria, picante, acre, astringente o ausente [80].

Cuerpo: sensación de densidad o pesadez que presenta la bebida en la boca.

Balance (equilibrio): relación armónica o contraste entre el sabor residual, la acidez y el cuerpo.

Impresión global o puntaje del catador: es un resumen que abarca todas las características sensoriales evaluadas.

Por otro lado, se evalúa si existen o no los siguientes atributos [78]:

Dulzor: corresponde a la plenitud agradable del sabor.

Taza limpia: se refiere a la ausencia de defectos sensoriales.

Uniformidad: es la consistencia del sabor entre las tazas de la muestra.

El protocolo más utilizado para evaluar la calidad sensorial del café es el desarrollado por la Specialty Coffee Association (SCA). Este protocolo consta de un formato diseñado para calificar los diez atributos sensoriales mencionados [78]. Esta calificación permite ubicar el café dentro de diferentes rangos de especialidad en función del puntaje total obtenido [78] (ver Figura 42).

Figura 42

Clasificación de la calidad sensorial del café según la Specialty Coffee Association (SCA)



Nota. A partir de la información del Centro Nacional de Investigaciones de Café [78].

6.4 Influencia del sombrío en la calidad del café

Aunque algunos autores señalan que no han encontrado diferencias en ciertas características de la calidad de la bebida del café proveniente de cultivos con sombrío [80], se puede decir que la calidad

del café bajo sistemas de sombra adecuados puede reflejar una menor presencia de defectos físicos y organolépticos. Esto se debe a que la sombra contribuye a un suelo más equilibrado y con mejor fertilidad, permite un control biológico de plagas y enfermedades, lo que minimiza el uso de productos químicos de síntesis y mejora la disponibilidad de agua para las plantas y frutos ante eventos climáticos adversos como la sequía, entre otros factores [75]. Cabe aclarar que, un sombrío regulado ayuda, pero un sombrío denso puede considerarse contraproducente para el control de la broca.

En resumen, los factores que favorecen el desarrollo saludable de la planta y sus frutos permiten obtener un café de mayor calidad.

6.5 Efecto del sombrío en la calidad física y sensorial del café en el municipio de Buesaco, Nariño

En el municipio de Buesaco, Nariño, se cosecharon frutos maduros de café cada 21 días en nueve agroecosistemas, entre mayo y julio de 2024, con un total de cuatro cosechas durante la temporada más alta. El café se procesó mediante beneficio en húmedo y se secó al sol hasta alcanzar un 11 % de humedad en café pergamino seco (CPS).

Posteriormente, se tomó una muestra para realizar el análisis de la calidad física y sensorial. Cabe anotar que todos los agroecosistemas tuvieron cultivos de *Coffea arabica* variedad castillo®, con plantas en fase productiva de cinco años, que provenían de una zoca tradicional de dos tallos.

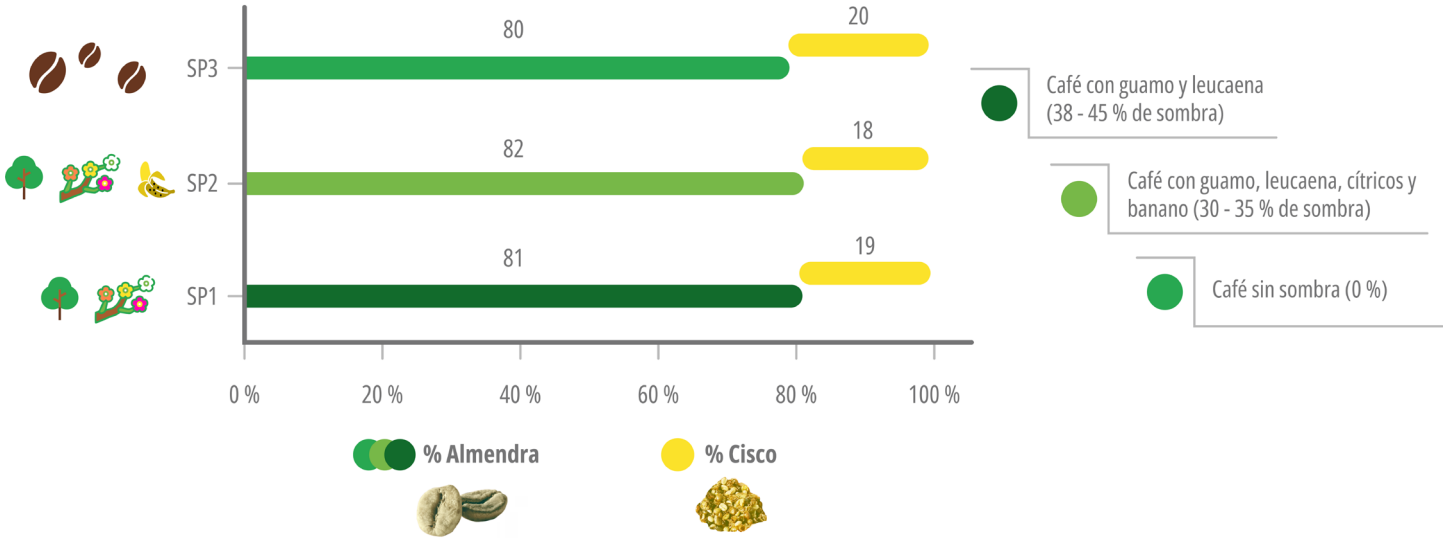
El manejo agronómico de los cultivos fue convencional, con prácticas similares de fertilización química de síntesis (en cuanto a dosis y tiempos de aplicación), así como control tradicional de arvenses. El relieve de estos agroecosistemas presentaba pendientes del terreno entre el 30 % y el 48 %.

Los nueve agroecosistemas se clasificaron en tres tipos de sombrío (tratamientos): tres con árboles de guamo y *Leucaena* (38-45 % de sombra); tres con árboles de guamo, *Leucaena*, naranjo y plantas de banano (30-35 % de sombra), y tres a plena exposición solar, sin sombra (0 %).

En el análisis de la calidad física del café se evaluaron varios factores. Inicialmente, se tomó una muestra de 250 gramos de café pergamino seco (CPS) de cada uno de los nueve agroecosistemas, la cual se trilló para determinar el porcentaje de almendra y de cisco o cáscara. Los resultados señalaron que las muestras provenientes de agroecosistemas con sombra presentaron un mayor porcentaje de almendra y un menor porcentaje de cáscara, en comparación con las muestras de cultivos a plena exposición solar (ver Figura 43).

Figura 43

Porcentaje de almendra y cisco en las muestras de café de agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío

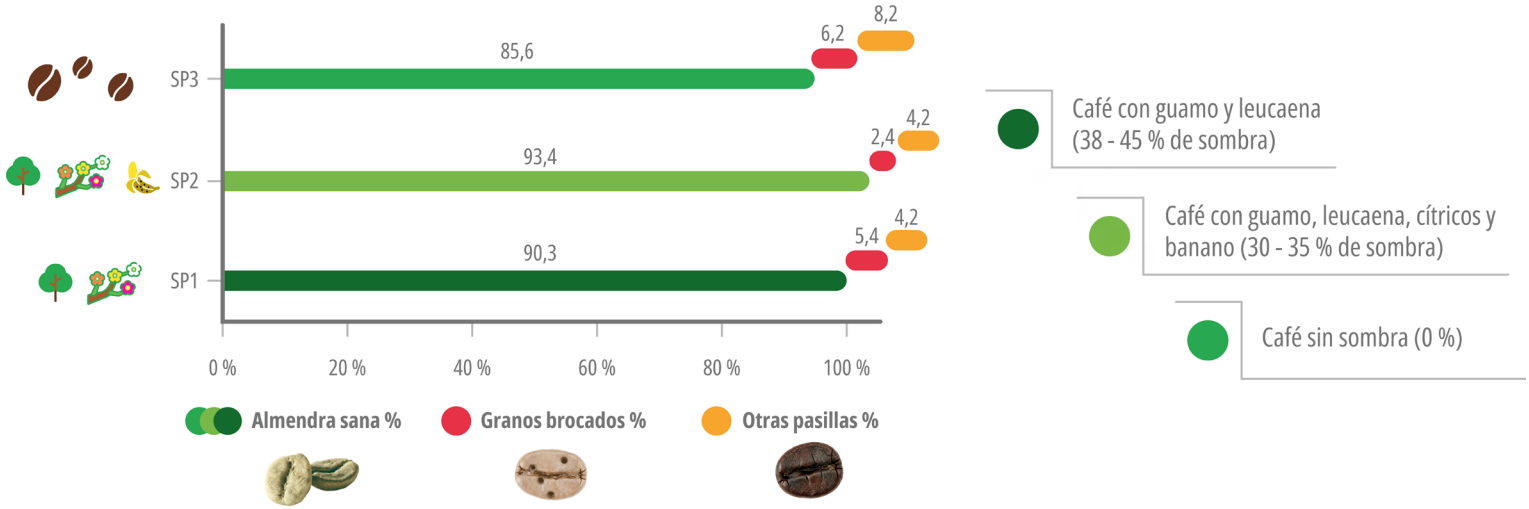


Nota. Elaborado a partir de los resultados del presente estudio.

La almendra obtenida de la trilla de la muestra de 250 gramos de café pergamino seco (CPS) se separó en tres categorías: cantidad de almendra sana, almendra con defectos por broca y almendra con otros defectos (otras pasillas). Con base en esta evaluación, las muestras provenientes de agroecosistemas con sombra presentaron más cantidad de almendras sanas, menos defectos por broca y menos pasillas por otros daños, en comparación con las muestras de cultivos a plena exposición solar (ver Figura 44).

Figura 44

Distribución porcentual de almendra sana, dañada por broca y con otros defectos en muestras de café bajo diferentes sistemas de sombrío



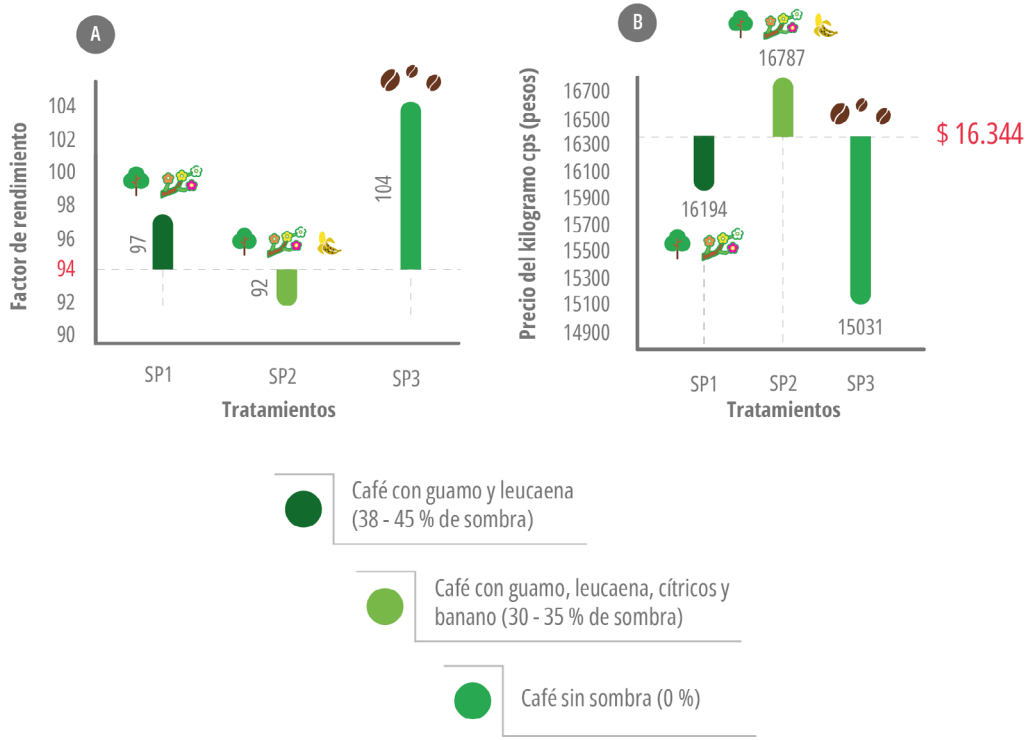
Nota. Elaborado a partir de los resultados del presente estudio.

Con base en la cantidad de almendra sana obtenida en cada muestra, se calculó el factor de rendimiento. El agroecosistema más diverso con sombrío de árboles de guamo, *Leucaena*, naranjo y plantas de banano (30 a 35 % de sombra) presentó una mayor cantidad de almendra sana, obtuvo el menor factor de rendimiento y, en consecuencia, un mejor precio por el café pergamino seco (ver Figura 45).

El agroecosistema con árboles de guamo y *Leucaena* (38-45 % de sombra) obtuvo el segundo lugar y el agroecosistema a plena exposición solar tuvo un mayor factor de rendimiento y un precio inferior por su café (ver Figura 45). El precio del café se calculó con base en el factor 94, con un valor de $16.344 por kilogramo de café pergamino seco (CPS), registrado el 28 de agosto de 2024.

Figura 45

Factor de rendimiento y precio ($/kg) de las muestras de café de los agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío



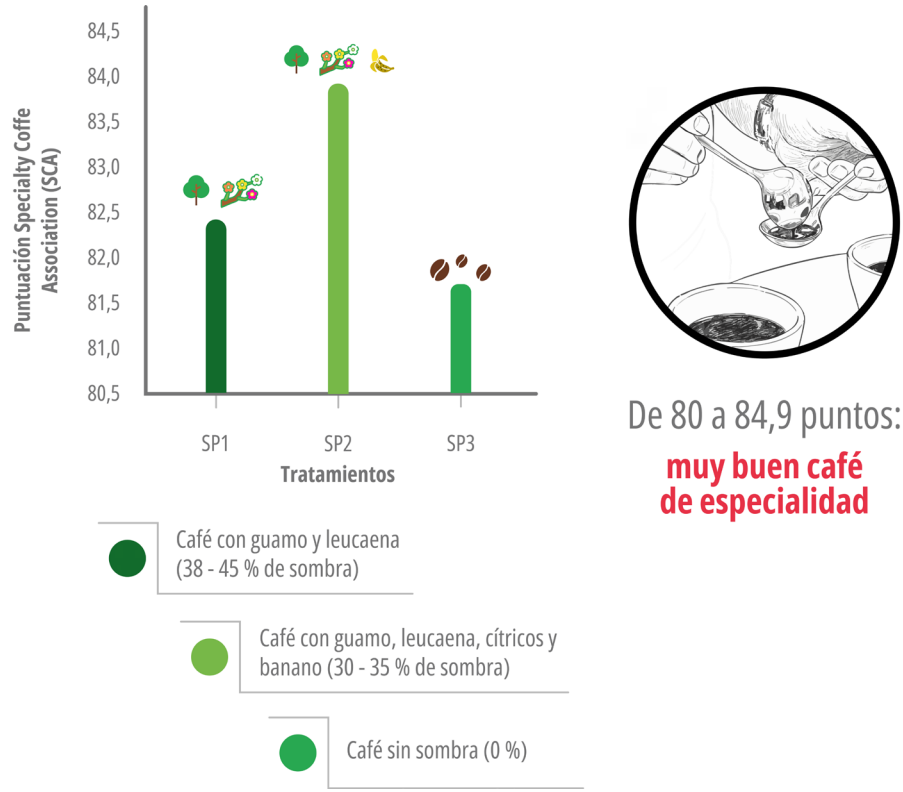
Nota. Elaborado a partir de los resultados del presente estudio.

Con respecto a la calidad sensorial del café en los nueve agroecosistemas con diferente tipo de sombrío, se encontró que todas las muestras analizadas clasifican como muy buen café de especialidad, según el protocolo de la Specialty Coffee Association (SCA). Sin embargo, el agroecosistema con árboles de guamo, *Leucaena*, naranjo y plantas de banano (30-35 % de sombra) obtuvo la mejor puntuación,

seguido del agroecosistema con árboles de guamo y *Leucaena* (38-45 % de sombra) y, finalmente, el agroecosistema a plena exposición solar, que obtuvo la puntuación más baja (ver Figura 46). Cabe aclarar que, este análisis se realizó con almendras sanas provenientes del análisis físico previo del café de cada agroecosistema y fecha de cosecha.

Figura 46

Puntuación Specialty Coffee Association (SCA) de las muestras de café de los agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío.



Nota. Elaborado a partir de los resultados del presente estudio.

Igualmente, se observó un conjunto amplio de atributos sensoriales en todas las muestras analizadas (ver Tabla 3).

Tabla 3

Atributos sensoriales de las muestras de café de los agroecosistemas con diferentes tipos de sombrío

Fragancia / Aroma / Sabor			
Panela			
Cereal			
Cítrico			
Frutos amarillos			
Caramelo			
Frutos secos			
Chocolate			
Floral			
Miel			
Frutos rojos			

Fragancia / Aroma / Sabor			
Frutos tropicales			
Caña			
Aromático			
Especiado			
Jazmin			
Frutal			
Frutas aromáticas			

Nota. Las casillas marcadas en color verde indican la presencia del atributo y las casillas en blanco señalan su ausencia.

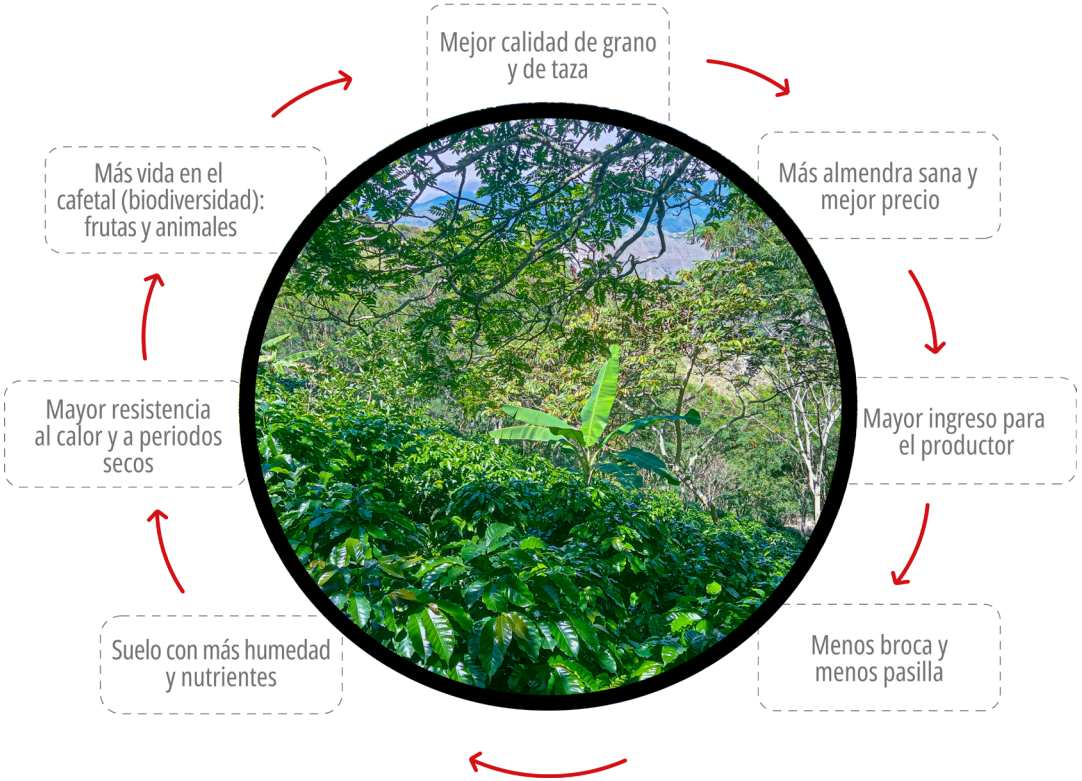
Consideraciones finales

Efectos del sombrío en el suelo y en el cultivo de café:

- Ayuda a regular la disponibilidad de agua en el suelo.
- Mantiene la fertilidad del suelo.
- Recicla nutrientes y aporta materia orgánica.
- Reduce la erosión causada por el viento y la lluvia.
- Disminuye la necesidad de fertilizantes.
- Protege al cultivo durante periodos secos prolongados.
- Favorece el crecimiento de plantas epífitas (plantas que crecen sobre otras).
- Incrementa la diversidad de fauna benéfica en el cafetal.
- Permite un microclima más estable: a menor temperatura extrema mayor humedad relativa.
- Permite una fotosíntesis más eficiente del café.
- Reduce la frecuencia y costo del control de malezas.
- Mejora la calidad del grano de café y la calidad organoléptica.
- Protege el suelo mediante la capa de hojas (hojarasca), que reduce la deshidratación y sirve de alimento a los organismos del suelo.
- Mantiene mejores propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo gracias a la cobertura de la sombra [83], [84], [85].

Conclusiones

¿Por qué sembrar café bajo sombra en las condiciones evaluadas?



Nota. Elaborado a partir de los resultados del presente estudio; imagen tomada del archivo fotográfico de Clara Melo.

Referencias

[1] G. Godínez Bazán, "Cambio climático, una realidad que amenaza el futuro de la producción de café," *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, vol. 5, no. 9, pp. 90–113, 2023, doi: 10.38186/difcie.59.07

[2] G. I. Puerta-Quintero, *Especificaciones de origen y buena calidad del café*, Chinchiná, Caldas, 2003.

[3] R. A. Oviedo-Celis y E. S. Castro-Escobar, "Un análisis comparativo de la sostenibilidad de sistemas para la producción de café en fincas de Santander y Caldas, Colombia," *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, vol. 22, no. 3, e2230, 2021, doi: 10.21930/rcta.vol22_num3_art:2230

[4] Cooperativa del Norte de Nariño Ltda., "XL Asamblea Ordinaria de Delegados, Informe de Gestión 2021," 2021.

[5] A. M. Villegas Hincapié, H. E. Posada Suárez, C. Pérez Henao, C. Tabares Arboleda, and L. F. Gartner Samper, "Regionalización de la calidad del café de Colombia. Denominaciones de origen como estrategia de valor agregado," *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*, vol. 3, pp. 181–208, 2013.

[6] H. F. Leonel, I. A. Delgado-Vargas, A. A. Molina-Moreno, y Á. M. Cadena-Pastrana, "Tipificación de fincas cafeteras para la implementación de tecnologías de adaptación al cambio climático, Municipio de Buesaco (Nariño, Colombia)," *Información Tecnológica*, vol. 34, no. 3, pp. 31–42, 2023, doi: 10.4067/s0718-07642023000300031

[7] J. Guerrero-Carrera, J. L. Jaramillo-Villanueva, J. Mora-Rivera, Á. Bustamante-González, S. Vargas-López, y N. Chulim-Estrella, "Impacto del cambio climático sobre la producción de café [Impact of climate change on coffee production]," *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 23, no. 71, pp. 1-19, 2020, [Online]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/345403145

[8] G. Mendoza-Cervantes, O. Guzmán-López, y A. Salinas-Castro, "Manejo de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), con atrayentes etanólicos en cultivos de café de Coatepec, Veracruz, México," *Revista Chilena de Entomología*, vol. 47, no. 2, pp. 265-273, 2021, doi: 10.35249/rche.47.2.21.14

[9] L. M. Constantino Chuaire, A. J. Peña Quiñones, C. Ramírez Carabalí, L. C. Imbachi Quinchua, y P. Benavides Machado, "El clima y su relación con la dinámica poblacional y dispersión de la broca del café Hypothenemus hampei en un gradiente altitudinal en la cuenca del río Risaralda, Caldas, Colombia", *Revista Colombiana de Entomología*, vol. 50, no. 1, 2024. Disponible en: https://revistacolombianaentomologia.univalle.edu.co/index.php/SOCOLEN/issue/view/983

[10] A. Rojas, K. Hartman, y R. Almonacid, "El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras," *Ambiente y Desarrollo*, vol. XVI, no. 30, pp. 93–104, 2012.

[11] Rudragouda *et al.*, "Shaded agroforestry systems: A review on enhancing coffee growth, yield and sustainability," *International Journal of Research in Agronomy*, vol. 8, no. 1, pp. 251–259, 2025, doi: 10.33545/2618060x.2025.v8.i1d.2398

[12] F. Farfán-Valencia, L. N. Bermúdez, y N. E. González, "Evaluación de herramientas para valorar el porcentaje de sombras en sistemas agroforestales con café", Avances Tecnológicos Cenicafé, vol. 472, pp. 1–8, 2016, doi: 10.38141/10779/0472

[13] L. C. Ruelas-Monjardín, M. E. Nava-Tablada, J. Cervantes, y V. L. Barradas, «Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México», MYB, vol. 20, no. 3, pp. 27–40, 2014.

[14] S. Sánchez-Hernández, E. Escamilla-Prado, M. A. Mendoza-Briseño, y N. Nazario-Lezama, "Calidad del café (*Coffea arabica* L.) en dos sistemas agroforestales en el centro de Veracruz, México," *Agroproductividad*, vol. 11, no. 4, pp. 80–86, 2018.

[15] J. Jaramillo *et al.*, "Climate Change or Urbanization? Impacts on a Traditional Coffee Production System in East Africa over the Last 80 Years," *PLoS One*, vol. 8, no. 1, p. e51815, 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0051815

[16] R. Villarreyna Acuña, "Efecto de los árboles de sombra sobre el rendimiento de los cafetos, basado en perfiles de daño," 2016.

[17] F. F. Farfán-Valencia, "Mantenimiento del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café", Avances Técnicos Cenicafé, vol. 440, pp. 1-8, 2014, doi: 10.38141/10779/0440

[18] G. E. Mancilla Díaz, "Aplicación del sombrío del cafeto (*Coffea arabica*) en Colombia," *Conexión Agropecuaria*, vol. 2, no. 1, pp. 38–48, 2012.

[19] F. Farfán Valencia y Á. Jaramillo Robledo, "Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región," *Avances Técnicos Cenicafé,* no. 379, pp. 1-8, 2009, doi: 10.38141/10779/0379

[20] R. A. Villarreyna Acuña, "Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos," 2016.

[21] R. Cruz Aguilar, J. A. Leos Rodríguez, M. Uribe Gómez, y R. Rendón Medel, "Evaluación financiera y socioeconómica del sistema agroforestal tradicional café-plátano-cítricos en Tlapacoyan, Veracruz," *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, no. 17, pp. 315–319, 2014.

[22] H. R. Ordóñez Jurado, J. F. Navia Estrada, y W. Ballesteros Possú, "Tipificación de sistemas de producción de café en La Unión Nariño, Colombia," *Temas Agrarios*, vol. 24, no. 1, pp. 53-65, 2018, doi: 10.21897/rta.v24i1.1779

[23] F. Farfán-Valencia, "Sistemas de producción: Conceptos y definiciones," En *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café,* Centro Nacional de Investigaciones de Café, Ed. Chinchiná, Caldas: Cenicafé, 2020, pp. 14–33, doi: 10.38141/10791/0002_1

[24] F. Farfán Valencia, "Sistemas de producción con café a libre exposición solar o en sistemas agroforestales Condiciones para su establecimiento," *Avances Técnicos Cenicafé*, 2017, doi: 10.38141/10779/0485

[25] Á. Jaramillo Robledo, V. H. Ramírez Builes, y J. Arcila Pulgarín, "Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera," *Avances Técnicos Cenicafé,* no. 410, 2011.

[26] A. J. Peña, V. H. Ramírez, J. A. Valencia, y Á. Jaramillo, "La lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia," *Avances Técnicos Cenicafé,* no. 410, 2012, doi: 10.38141/10779/0415

[27] S. Sadeghian Khalajabadi, V. F. Alarcón Trujillo, y V. C. Díaz Poveda, "Fertilidad del suelo y manejo de la nutrición," *Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila,* Cenicafé, 2019, pp. 80-105.

[28] E. C. Montoya Restrepo y Á. Jaramillo Robledo, "Efecto de la temperatura en la producción de café," *Cenicafé*, vol. 67, no. 2, pp. 58–65, 2016.

[29] Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, "Descripción del proceso productivo y del beneficio del café," *Guía ambiental para el sector cafetero,* pp. 51-80, 2007.

[30] V. H. Ramírez Builes, Á. Jaramillo Robledo, y J. Arcila Pulgarín, "Factores climáticos que intervienen en la producción del café en Colombia," *Manual del cafetero colombiano,* pp. 206-237. 2013.

[31] P. Y. Burbano R., A. L. Valencia A., y T. C. Lagos-Burbano, "Componentes de rendimiento en *Coffea arabica* L. en tres zonas altitudinales del sur de Colombia," *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 13, no. 1, pp. 51–62, 2021, doi: 10.22490/21456453.4350

[32] O. D. Sevillano Pai, "Evaluación de las variables meteorológicas y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de café del municipio de Buesaco, Nariño," Universidad Mariana, Pasto, 2025.

[33] IDEAM, "Brillo Solar," *Aeropuerto Antonio Nariño, Chachagüí* (Online]. Consultado: 22 de septiembre de 2025. Disponible en: https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/clima/brillo.html

[34] C. Ocampo-Marulanda, C. Fernández-Álvarez, W. L. Cerón, T. Canchala, Y. Carvajal-Escobar, and W. Alfonso-Morales, "A spatiotemporal assessment of the high-resolution CHIRPS rainfall dataset in southwestern Colombia using combined principal component analysis," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, no. 5, 2022, doi: 10.1016/j.asej.2022.101739

[35] D. F. Jaramillo Introducción a la ciencia del suelo [En línea]. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70085

[36] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), "Propiedades físicas del suelo," Portal de suelos de FAO [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/

[37] L. M. Thompson y F. R. Troeh, *Los suelos y su fertilidad*, 4.a ed., vol. 4. Barcelona, España, 2021.

[38] A. Hernández Jiménez *et al.*, *Fundamentos de la estructura de suelos tropicales*, 1a ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba; Universidad Autónoma De Nayarit, México, 2010.

[39] Learning Geology, "Soil profiles and soil properties," *Learning Geology: A Geology Outreach Website*. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: https://geologylearn.blogspot.com/2015/07/soil-profiles-and-soil-properties.html

[40] J. H. Dane and G. Clarke Topp, Eds., *Methods of Soil Analysis*, 5th ed. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, 2002.

[41] A. Salamanca-J, S. Sadeghian-Khalajabadi, y E. Amézquita-Collazos, "Densidad aparente de dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del cafeto," *Avances Técnicos Cenicafé*, no. 326, pp. 330-340, 2004.

[42] M. Gavrilescu, "Water, soil, and plants interactions in a threatened environment," *Water (Basel)*, vol. 13, no. 19, pp. 1–25, 2021, doi: 10.3390/w13192746

[43] D. K. Cassel and D. R. Nielsen, "Field capacity and available water capacity," in *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy Monograph no. 9, 2nd ed., vol. 1. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy–Soil Science Society of America, 1986, cap. 36.

[44] Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria-OIRSA, "Manual técnico de buenas prácticas de cultivo en café orgánico," Costa Rica, 2001.

[45] J. O. Blanco Sandoval, "Propiedades químicas del suelo," en *Los análisis de suelos y su aplicación en la fertilización de los cultivos*, Cúcuta, Colombia: Agrosavia, 1994, cap. 2. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12324/31547

[46] HANNA Instruments S.A.S., "pH-metro." HANNA Instruments. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: https://www.hannacolombia.com/blog/post/996/ph-metro

[47] Agrologia, "CIC: la Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos". Consultado el: 20 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://agrologia.wordpress.com/2020/11/17/cic-la-capacidad-de-intercambio-cationico-de-los-suelos

[48] E. G. Echeverría Pérez, E. Castañeda Hidalgo, C. Robles, V. Martínez Gallegos, G. M. Santiago Martínez, and G. Rodríguez-Ortiz, "Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo", *Revista Mexicana de Agrosistemas*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.60158/rma.v10i1.376

[49] Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos y Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero*. Manizales, Colombia: Cenicafé, 2009, doi: 10.38141/cenbook-0003

[50] A. Quiroga, J. A. Galantini, y G. A. Studdert, "La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo," en *Manejo y conservación de suelos: con especial énfasis en situaciones argentinas*, 1a ed., Buenos Aires, Argentina: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 2017, cap. 5, pp. 2–26.

[51] MUNDOAGRO, "Materia orgánica del suelo: sus fracciones como indicadores de calidad y funciones en el suelo". Consultado el: 20 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://mundoagro.io/cl/materia-organica-del-suelo-sus-fracciones-como-indicadores-de-calidad-y-funciones-en-el-suelo/

[52] S. Sadeghian Khalajabadi, *Nutrición del café. Consideraciones para el manejo de la fertilidad del suelo*. Cenicafé, 2022. Doi: 10.38141/cenbook-0017

[53] C. Chamorro Bello, "El suelo: maravilloso teatro de la vida", *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 25, no. 97, pp. 483–494, 2024. Doi: 10.18257/raccefyn.25(97).2001.2782

[54] A. Lombana Cortés, "Suelos colombianos - una mirada desde la academia," Bogotá, 2004.

[55] G. Cabrera, "La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba," *Pastos y Forrajes*, vol. 35, no. 4, pp. 349-364, 2012.

[56] G. Cabrera, N. Robaina, y D. Ponce De León, "Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba," *Pastos y Forrajes*, vol. 34, no. 3, pp. 331–346, 2011.

[57] M. Solarte Meneses, C. E. Cuastuza Cuastuza, y D. A. Alvarado Cuarán, "Evaluación del efecto del sombrío y las variables meteorológicas sobre la diversidad de la macrofauna del suelo en agroecosistemas de café - municipio de Buesaco, Nariño," Universidad Mariana, Pasto, 2025.

[58] A. E. Bustillo Pardey, "Una revisión sobre la broca del café, Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia," *Revista Colombiana de Entomología*, vol. 32, no. 2, pp. 101–116, 2006, doi: 10.25100/socolen.v32i2.9376

[59] S. H. Wei, L. J. Wang, and M. Y. Lin, "Temperature-Dependent Biology and Population Performances of the Coffee Berry Borer Hypothenemus hampei (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) on Artificial Diet," *Insects*, vol. 14, no. 6, p. 499, Jun. 2023, doi: 10.3390/insects14060499

[60] S. Fernández y J. Cordero, "Biología de la broca del café Hypothenemus hampei (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en condiciones de laboratorio," *Bioagro*, vol. 19, no. 1, pp. 35–40, 2007, 2025. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612007000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

[61] D. Molina, "Revisión sobre la broca del café, Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con énfasis en la resistencia mediante antibiosis y antixenosis," *Revista Colombiana de Entomología*, vol. 48, no. 2, p. e11172, 2022, doi: https://doi.org/10.25100/socolen.v48i2.11172.

[62] T. Bacca, W. L. Delgado Gualmatan, T. C. Lagos Burbano, y Y. Gutiérrez, "Efecto de la altitud y del sombrío del café sobre la infestación por Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Nariño, Colombia," *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, vol. 25, no. 2, pp. 43–58, 2021, doi: 10.17151/bccm.2021.25.2.3

[63] M. A. Johnson, C. P. Ruiz-Diaz, N. C. Manoukis, and J. C. Verle Rodrigues, "Coffee berry borer (Hypothenemus hampei), a global pest of coffee: Perspectives from historical and recent invasions, and future priorities," *Insects*, vol. 11, no. 12, pp. 1-35, 2020, doi: 10.3390/insects11120882

[64] L. L. Vázquez Moreno *et al.*, "Ocurrencia de epizootias causadas por *Beauveria bassiana* (bals.) Vuill. en poblaciones de la broca del café (*Hypothenemus hampei Ferrari*) en las zonas cafetaleras de Cuba," *Fitosanidad*, vol. 14, no. 2, pp. 111–116, 2010. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209115357006

[65] M. C. Gallego Ropero y I. Armbrecht, "Depredación por hormigas sobre la broca del café Hypothenemus hampei (Curculionidae: Scolytinae) en cafetales cultivados bajo dos niveles de sombra en Colombia," *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, vol. 76, pp. 32–40, 2005.

[66] J. Jaramillo *et al.*, "Climate Change or Urbanization? Impacts on a Traditional Coffee Production System in East Africa over the Last 80 Years," *PLoS One*, vol. 8, no. 1, p. e51815, 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0051815

[67] P. Benavides-M., Á. Bustillo-Pardey, R. Cárdenas-M., y E. C. Montoya-R., "Análisis biológico y económico del manejo integrado de la broca del café en Colombia," *Cenicafé,* vol. 54, no. 1, pp. 5–23, 2003.

[68] E. C. Montoya Restrepo y L. Orozco Gallego, "Evaluación de un método de muestreo para estimar la infestación de Hypothenemus hampei," *Cenicafé*, vol. 56, no. 3, pp. 237–249, 2005.

[69] Cenicafé, "Manejo Integrado de la broca," *Cartilla 14*. Consultado el: 16 de octubre de 2025 [Online]. Disponible en: https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_14_manejo_integrado_de_la_broca.pdf

[70] P. S. Baker, J. F. Barrera, and A. Rivas, "Life-history studies of the coffee berry borer (Hypothenemus hampei, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico," *Journal of Applied Ecology*, vol. 29, no. 3, pp. 656–662, 1992.

[71] J. Jaramillo, A. Chabi-Olaye, and C. Borgemeister, "Temperature-dependent development and emergence pattern of hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) from coffee berries," *J Econ Entomol*, vol. 103, no. 4, pp. 1159–1165, Aug. 2010, doi: 10.1603/EC09408.

[72] N. Moreno-Ramirez, F. J. J. A. Bianchi, M. R. Manzano, and M. Dicke, "Ecology and management of the coffee berry borer (Hypothenemus hampei): the potential of biological control," 2024, *Springer Nature*, doi: 10.1007/s10526-024-10253-6

[73] M. A. Johnson and N. C. Manoukis, "Influence of seasonal and climatic variables on coffee berry borer (Hypothenemus hampei Ferrari) flight activity in Hawaii," *PLoS One*, vol. 16, no. 12 December, 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0257861

[74] J. Aguilar Ávila y V. H. Santoyo Cortés, "Estimación de rendimientos en el sector agropecuario," 2013, *Universidad Autónoma de Chapingo*.

[75] R. Villarreyna Acuña, "Efecto de los árboles de sombra sobre el rendimiento de los cafetos, basado en perfiles de daño," 2016.

[76] J. Arcila P., F. Farfán V., A. Moreno B., Salazar G. Luis Fernando, y Hincapié G. Edgar, *Sistemas de producción de café en Colombia*, 1st ed. Cenicafé, 2007.

[77] J. Montilla-Pérez *et al.*, "Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio," *Avances Técnicos Cenicafé,* no. 370, 2008.

[78] Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad*, 3rd ed. Cenicafé, 2021. doi: 10.38141/cenbook-0014

[79] Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Resolución 02 de 2016 (25 de abril) por la cual se unifican y actualizan las normas de calidad del café verde en almendra para exportación. Disponible en: https://federaciondecafeteros.org/static/files/RESOL04.pdf

[80] G. I. Puerta Quintero, "Calidad del café," *en Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura,* Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*,* 2013.

[81] A. Villegas, E. Posada Suárez, C. Pérez Henao, C. Tabares, y L. Samper Gartner, "Regionalización de la calidad del café de Colombia, Denominaciones de origen como estrategia de valor agregado," en Manual *del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*,* 2013.

[82] I. Enrique Paz y M. Sánchez de P, "Relación entre dos sistemas de sombrío de café y algunas propiedades físicas del suelo en la meseta de Popayán," *Acta Agronómica*, vol. 5, no. 4, pp. 39–43, 2007.

[83] D. A. Cardona-Calle y S. Sadeghian-Kh., "Beneficios del sombrío de guamo en suelos cafeteros," *Avances Técnicos Cenicafé*, no. 335, 2005.

[84] F. Farfán-Valencia y A. Mestre-Mestre, "Manejo del sombrío y fertilización del café en la zona central colombiana," *Avances Técnicos Cenicafé,* no. 330, 2004.

Autores

Teresita del Rocio Canchala Nastar

Ph.D. en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental (2021), Magister en Ingeniería (2014) e Ingeniera Sanitaria (2008) de la Universidad del Valle. En el marco de la convocatoria fortalecimiento de vocaciones y formación en CTeI - 891 de 2020 de Minciencias realizó una estancia postdoctoral en el Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) con acompañamiento del grupo de investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos y Suelos (IREHISA) durante el periodo 2021-2022. Actualmente, es profesora e investigadora de la Universidad Mariana y líder del grupo de Investigación Ambiental (GIA) del programa de Ingeniería Ambiental. Su trabajo se ha centrado en temas relacionados con fenómenos de variabilidad climática y su influencia sobre la hidroclimatología. Además, ha realizado investigaciones que buscan articular el conocimiento científico con las necesidades de los territorios.

Clara Inés Melo Cerón

Ph. D. en Agroecología (2021) y Magíster en Ciencias Agrarias con línea de investigación en suelo (2014) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, e Ingeniera Agroforestal (2008) de la Universidad de Nariño. Actualmente, es Investigadora Principal del proyecto “Evaluación de los efectos de la variabilidad climática en cultivos de café en el nororiente del departamento de Nariño”, desarrollado en el marco de la convocatoria “Estancias posdoctorales orientadas por misiones 934-2023” del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, en convenio con la Universidad Mariana. Desde 2014, trabaja en investigación con el grupo de Interacciones Tritróficas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, y desde 2023 forma parte del grupo de Investigación Ambiental (GIA) de la Universidad Mariana. Su trabajo se ha centrado en temas relacionados con el suelo, incluyendo biofertilización, propiedades físicas y químicas, y macrofauna edáfica. Además, ha realizado investigaciones para sentar bases en el control biológico por conservación, y ha trabajado en el muestreo de insectos fitófagos y enemigos naturales, así como en el análisis de biodiversidad en agroecosistemas.

Marianela Solarte Meneses

Estudiante del programa de Ingeniería Ambiental en la Universidad Mariana e integrante del semillero de investigación Taripahuasi. Ha contribuido en el muestreo e identificación taxonómica de la macrofauna del suelo hasta el nivel de orden, así como en el procesamiento y análisis estadístico de datos. Además, ha participado en la medición de variables microclimáticas y en la evaluación de la funcionalidad ecológica del sombrío en cafetales con diferentes porcentajes de sombra, en su trabajo de grado titulado "Evaluación del efecto del sombrío y las variables meteorológicas sobre la diversidad de la macrofauna del suelo en agroecosistemas de café - Municipio de Buesaco, Nariño". Su investigación ha contribuido a fortalecer la comprensión de los servicios ecosistémicos del suelo en sistemas cafetaleros.

Wendy Pamela Urbina Carrasco

Estudiante de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Ingeniería (Managua, Nicaragua). Realizó su trabajo de grado enfocado en la evaluación de vulnerabilidad de los acuíferos ante el riesgo de contaminación. Participó en tres ocasiones en el Rally Latinoamericano de innovación, donde desarrolló alternativas ecológicas a problemáticas reales de carácter nacional. Fue parte del programa Verde Te quiero Verde donde participó en actividades de reforestación de áreas universitarias y actualmente apoya al área de extensión y formulación de proyectos de investigación de su institución. Participó en el Programa de Verano Delfín, colaborando en la elaboración de dos capítulos de esta cartilla bajo la tutoría de la Doctora Clara Inés Melo Cerón. Su contribución estuvo vinculada al proyecto de investigación "Evaluación de los efectos de la variabilidad climática en cultivos de café en el nororiente del departamento de Nariño".

Over Duban Sevillano Pai

Estudiante del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana. Su investigación de grado se enfocó en la Evaluación de las variables meteorológicas y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de café en el municipio de Buesaco, Nariño. Realizó su práctica universitaria en el área ambiental de la Universidad Mariana, donde desarrolló actividades de muestreo de variables físicas, químicas y biológicas del suelo, análisis en laboratorio, organización y procesamiento de bases de datos. Ha participado en espacios académicos y científicos como el I Congreso Internacional de Medio Ambiente, Sostenibilidad y Desarrollo Agrícola – SoPhIC y el Congreso Internacional de Ciencia e Ingeniería, contribuyendo como ponente y asistente a la difusión de conocimiento en el ámbito ambiental.

Cleiver Efrén Cuastuza Cuastuza

Estudiante del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana e integrante del semillero de investigación Taripahuasi. Ha desarrollado muestreos e identificación taxonómica hasta nivel de orden de macrofauna edáfica, análisis de biodiversidad y caracterización de cafetales bajo diferentes niveles de sombrío en el marco de su trabajo de grado “Evaluación del efecto del sombrío y las variables meteorológicas sobre la diversidad de la macrofauna del suelo en agroecosistemas de café - Municipio de Buesaco, Nariño”.

David Alejandro Alvarado Cuaran

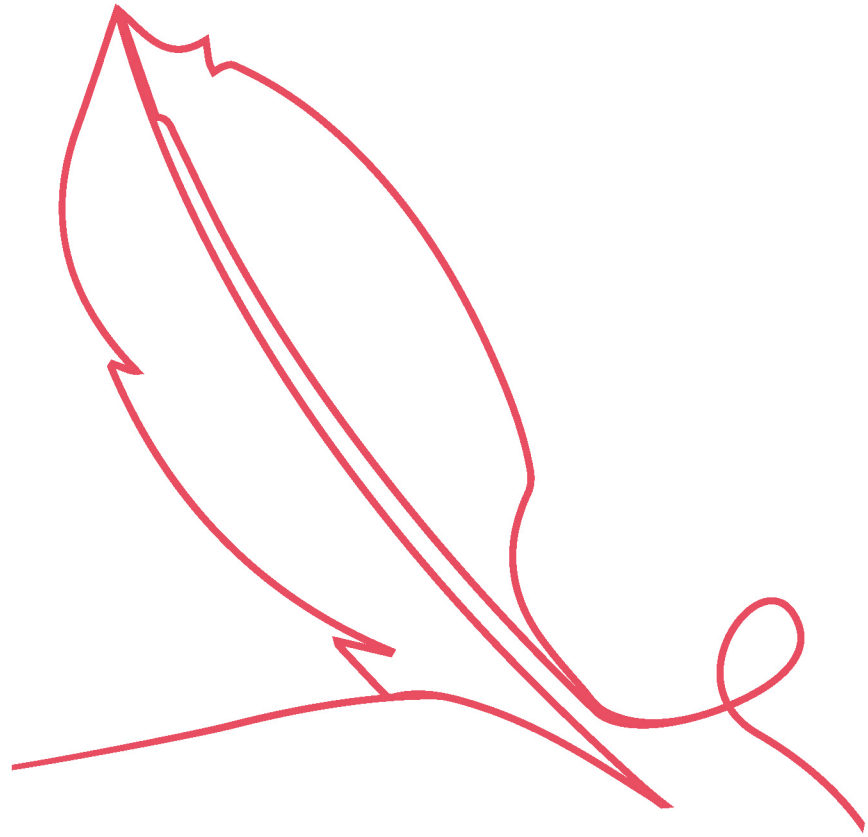
Estudiante del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana y forma parte del semillero de investigación Taripahuasi. Se ha encargado del diseño y ejecución del muestreo de campo, identificación taxonómica de macrofauna edáfica hasta el nivel de orden y análisis de la relación entre cobertura arbórea, parámetros meteorológicos y biodiversidad funcional del suelo en cafetales bajo diferentes niveles de sombrío, en su trabajo de grado “Evaluación del efecto del sombrío y las variables meteorológicas sobre la diversidad de la macrofauna del suelo en agroecosistemas de café - Municipio de Buesaco, Nariño”. Ha contribuido a generar conocimiento para el manejo sostenible del café bajo sombrío en Nariño, promoviendo la conservación de la biodiversidad edáfica.

Guillermo Castaño Muñoz

Agrónomo graduado en 2023, con el trabajo de investigación enfocado en la evaluación de diferentes técnicas de escarificación en semilla de Sacha inchi *Plukenetia volubilis L.*. Actualmente, estudiante de la Especialización en Biotecnología Agroambiental, en la Universidad Nacional Abierta y A Distancia desarrollando la tesis denominada: "Identificación molecular de microorganismos involucrados en la fermentación de café tipo Honey". Participó en el Programa de Verano Delfín, colaborando en la elaboración de un capítulo de esta cartilla bajo la tutoría de la Doctora Clara Inés Melo Cerón. Su contribución estuvo vinculada al proyecto de investigación "Evaluación de los efectos de la variabilidad climática en cultivos de café en el nororiente del departamento de Nariño". Gracias a su experiencia en el estudio de semillas y biotecnología, aportó una perspectiva valiosa para comprender y mitigar los desafíos que enfrenta la caficultura frente al cambio climático.

Editorial
Unimar

Colección Manuales,
Guías y Cartillas





Universidad Mariana
Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983

Editorial Unimar

Universidad Mariana
Calle 18 No. 34-104 San Juan de Pasto
https://libros.umariana.edu.co/index.php/editorialunimar

@unimareditorial