

Suelos aptos para la producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Diana Lucía Correa Moreno
Luis Carlos Grajales Guzmán
Lina Vanessa Garavito Morales



DESARROLLO Y VALIDACIÓN
DE TECNOLOGÍAS
PARA INCREMENTAR
LA PRODUCTIVIDAD DEL
CULTIVO DE AGUACATE HASS
EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA



Suelos aptos para la producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Diana Lucía Correa Moreno

Luis Carlos Grajales Guzmán

Lina Vanessa Garavito Morales



DESARROLLO Y VALIDACIÓN
DE TECNOLOGÍAS
PARA INCREMENTAR
LA PRODUCTIVIDAD DEL
CULTIVO DE AGUACATE HASS
EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA



Correa Moreno, Diana Lucía

Suelos aptos para producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca. / Diana Lucía Correa Moreno; Luis Carlos Grajales Guzmán y Lina Vanessa Garavito Morales. -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2023.

160 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, fotografías y gráficos.

ISBN: 978-958-740-677-1

ISBN e-Book: 978-958-740-678-8

1. *Persea americana* 2. Factores edáficos 3. Análisis del suelo 4. Mejora de suelos 5. Relaciones planta suelo 6. Cultivo 7. Cauca (Colombia) I. Grajales Guzmán, Luis Carlos II. Garavito Morales, Lina Vanessa.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA

Centro de Investigación Tibaitatá,

Mosquera – Cundinamarca. Código postal 250047 Colombia.

Esta publicación forma parte de los resultados del proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, el cual fue financiado con recursos públicos del Sistema General de Regalías del departamento del Cauca, convenio 1929. La Gobernación del Cauca, a través de la Secretaría de Desarrollo Económico y Competitividad respaldó la ejecución de este proyecto, al igual que las asociaciones de productores conformadas en los municipios de Piendamó, Cajibío, Morales, Caldono, Sotará, Timbío, El Tambo, Popayán, Caloto, Corinto y Toribío.

Colección: Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Manual

Primera edición, noviembre de 2023

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Líder editorial: Astrid Verónica Bermúdez

Edición: Felipe Solano Fitzgerald

Corrección de estilo: Amalia Tapiero

Realización gráfica: María Cristina Rueda Traslaviña y Wilson Martínez Montoya

Ilustraciones: Juan Felipe Martínez Tirado

Impresión: DGP Editores S. A. S.

Impreso en Bogotá, Colombia, noviembre de 2023

Printed in Bogotá

Citación sugerida: Correa-Moreno, D. L., Grajales-Guzmán, L. C., & Garavito-Morales, L. V. (2023). *Suelos aptos para producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406788>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

Agradecimientos	13
Introducción	14
 Capítulo I	
Conozca las propiedades de los suelos aptos para producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca	18
¿Qué es la aptitud, calidad y salud del suelo?	19
Aptitud.	19
Calidad	22
Salud	23
¿Cómo identificar los suelos aptos para el cultivo de aguacate Hass?	24
¿Cuáles son los requerimientos edafoclimáticos del cultivo de aguacate Hass?	25
¿Cuáles son los criterios para reconocer los suelos aptos para el cultivo?	35



Capítulo II

Evalúe la calidad del suelo	58
¿Cómo evaluar la calidad del suelo?	60
Evaluación cualitativa	63
¿Cómo realizar la observación directa del suelo?	63
¿Cómo hacer la evaluación cualitativa de las características del suelo?	67
Evaluación cuantitativa	84
Muestreo para análisis de propiedades físicas	85
Muestreo para análisis de propiedades químicas	92
Muestreo para análisis de propiedades biológicas	95

Capítulo III

Clasifique la calidad de su suelo: fichas de aptitud

edáfica para aguacate Hass en el departamento del Cauca	98
¿Cómo leer las fichas de aptitud edáfica?	101
¿Qué información contiene?	101
¿Cómo utilizar la ficha de aptitud edáfica?	102
Fichas de suelos aptos para el cultivo de aguacate Hass	106
Fichas de suelos no aptos para el cultivo de aguacate Hass	116

Capítulo IV

Prácticas para conservación y mejoramiento

de la calidad del suelo en cultivos de aguacate Hass	120
Incrementar la cobertura y materia orgánica del suelo	125
Mejore la infiltración y el almacenamiento del agua en el suelo	128



Reduzca la escorrentía	131
Mejore las condiciones de enraizamiento	135
Mejore la fertilidad química y la productividad del cultivo	137
Proteja las parcelas	141
Reduzca la contaminación del suelo y del ambiente	145
Consideraciones finales	146
Referencias	147
Autores	156

Lista de figuras

Figura 1. Principales funciones de suelos aptos para la producción agrícola sostenible	21
Figura 2. Requerimientos edafoclimáticos para el desarrollo del aguacate Hass en zonas de producción en el departamento del Cauca	27
Figura 3. Observación de profundidad efectiva en perfil de suelo.	29
Figura 4. El rango óptimo de altitud para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca es entre 1.800 y 2.000 m s. n. m...	31
Figura 5. Ejemplo de cultivo de aguacate Hass en pendiente.	33
Figura 6. Cultivo de aguacate Hass en pendiente moderada.	37
Figura 7. Ejemplo de textura del suelo en una zona productora de aguacate Hass en Cauca.	38



Figura 8. Suelo pedregoso en los primeros horizontes.	39
Figura 9. Determinación de textura al tacto	41
Figura 10. Influencia del pH o reacción del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes.	46
Figura 11. Efectos de la toxicidad por sales y sodio en suelos y cultivo de aguacate Hass.	50
Figura 12. Cultivo de aguacate Hass en terrazas para evitar la erosión por la pendiente.	53
Figura 13. Cultivo de aguacate Hass en pendiente pronunciada susceptible a erosión	55
Figura 14. Factores que propician y aceleran procesos de remoción masal.	56
Figura 15. Pasos para la toma de muestras y observación directa del suelo.	65
Figura 16. Clasificación de la profundidad efectiva en suelos para el desarrollo de raíces en el cultivo.	69
Figura 17. Pedregosidad en los horizontes del suelo.	71
Figura 18. Clave para estimar la cobertura de fragmentos gruesos en superficie y en horizontes del suelo.	72
Figura 19. Guía para determinar el nivel de pedregosidad en superficie y en horizontes de perfil del suelo.	73
Figura 21. Identificación de los niveles de drenaje del cultivo	75
Figura 22. Método para determinar la textura del suelo al tacto.	77
Figura 23. Método para determinar la textura del suelo por su consistencia.	78
Figura 24. Determinación de textura del suelo al tacto mediante elaboración de figuras.	79



Figura 25. Pasos para determinar el pH en el suelo... 82

Figura 26. Determinación de materia orgánica del suelo mediante método de peróxido de hidrógeno. 84

Figura 27. Muestreo para análisis de propiedades físicas y procesamiento en laboratorio... 86

Figura 28. Herramientas y elementos utilizados para tomar muestras de suelos 87

Figura 29. Procedimiento para tomar muestras sin disturbar... 91

Figura 30. Guía para la toma de muestras disturbadas en el cultivo. 94

Figura 31. Metodología para cuantificar la macrofauna TSBF.. 97

Figura 32. Componentes y pasos para utilizar la ficha de aptitud edáfica para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca. 104

Figura 33. Actividades para el aumento de la cobertura y materia orgánica del suelo. 126

Figura 34. Arreglo en asociación de cultivos que permite aumentar la biomasa vegetal y las coberturas durante el desarrollo del cultivo de aguacate. 127

Figura 35. Prácticas para mejorar la infiltración y la capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo... 129

Figura 36. Reconocimiento de zonas de acumulación de humedad en lote de aguacate e implementación de acequias para drenaje.. 132

Figura 37. Obras de reducción y corte de la pendiente para disminuir la escorrentía. 134

Figura 38. Factores para mejorar el enraizamiento del cultivo. 136



Figura 39. Factores que intervienen en el mejoramiento de la fertilidad química y la productividad del cultivo.....	138
Figura 40. Actividades para mejorar la fertilidad química y la productividad del cultivo.	140
Figura 41. Actividades clave para la protección y mantenimiento de las propiedades del suelo.	142
Figura 42. Tipos de terrazas..	143
Figura 43. Construcción de terrazas para el manejo de la humedad.	144

Lista de tablas

Tabla 1. Atributos e indicadores claves para evaluar la calidad y procesos desarrollados en el suelo	61
Tabla 2. Guía para toma de muestra con pala y barrenador holandés	93
Tabla 3. Descripción de las unidades de caracterización de suelos del grupo de suelos aptos y no aptos para el cultivo de aguacate Hass	100
Tabla 4. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico (perfil SP-01) de unidad cartográfica de suelos LCCi-m. Suelo apto. Ubicación: Timbío (Cauca).....	106
Tabla 5. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico (perfil SP-06) de unidad cartográfica de suelos MFLi-f. Suelo apto. Ubicación: Sotará (Cauca)	108

Tabla 6. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico
(perfil SP-09) de unidad cartográfica de suelos LLEs-m.
Suelo apto. Ubicación: El Tambo (Cauca) 110

Tabla 7. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico
(perfil FN-11) de unidad cartográfica de suelos ACCi-m.
Suelo apto. Ubicación: Popayán (Cauca)..... 112

Tabla 8. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico
(perfil FN-16) de unidad cartográfica de suelos ACCi-m. Suelo apto.
Ubicación: Caldono (Cauca) 114

Tabla 9. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico
(Perfil FN-04) de unidad cartográfica de suelos AVVd-m.
Suelo no apto. Ubicación: El Tambo (Cauca)..... 116

Tabla 10. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico
(perfil SP-07) de unidad cartográfica de suelos ACBd-m.
Suelo no apto. Ubicación: Timbío (Cauca)..... 118

Tabla 11. Principios y beneficios para la conservación
y el mejoramiento de la calidad del suelo 122

Tabla 12. Balance hídrico
en suelos con diferentes coberturas 130





Agradecimientos

Los autores y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA expresan su agradecimiento al Sistema General de Regalías (SGR), a la Gobernación del Cauca y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por financiar esta obra a través del proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca. Convenio 1929 SGR Cauca”.

Agradecen también a los agricultores de los municipios donde se ejecutó la investigación y al equipo técnico de los centros de investigación Palmira y La Selva de AGROSAVIA que apoyaron actividades de investigación, vinculación y validación de prácticas de manejo en parcelas experimentales de cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca.

Finalmente, extienden un agradecimiento especial a los investigadores, profesionales de apoyo a la investigación y asistentes de investigación Harold Rodríguez, Daniel Ángel García y Aydelber Herrera, quienes participaron en el proyecto y realizaron una valiosa contribución conceptual y técnica para el desarrollo de actividades que hicieron posible la creación de este documento.





Introducción

La constante presión a la que son sometidos los suelos debido a la intensificación de actividades agrícolas, pecuarias y urbanas por el incremento de la población mundial está marcando una tendencia de degradación que llegará al 60 % en 2050 (Food and Agriculture Organization [FAO], 2015). Esta tendencia creciente está asociada con una gestión ineficiente del recurso basada en prácticas que no son sostenibles y en fenómenos climáticos extremos.

Teniendo en cuenta que las condiciones del suelo afectan directa e indirectamente a los seres vivos, es fundamental asegurar su buen estado o, dicho de otro modo, la capacidad continua para que el suelo pueda cumplir sus funciones como un ecosistema vivo y dinámico para sustentar a las plantas, los animales y los seres humanos (United States Department of Agriculture [USDA], 2021). Ciertamente, los suelos inciden de forma directa en la salud humana, por ejemplo, a través de la nutrición, la seguridad y la infraestructura. Sucede lo mismo con el bienestar de las plantas, los animales y, por ende, los ecosistemas, así como con diversas variables ambientales, como la cantidad y calidad del agua, el uso de la tierra, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la calidad del aire, etc. (Montiel et al., 2021).

Es fundamental asegurar la capacidad continua del suelo para que pueda cumplir sus funciones como un ecosistema vivo y dinámico para sustentar a las plantas, los animales y los seres humanos.



Además de soportar físicamente la planta, un suelo apto para un cultivo específico favorece su libre crecimiento y desarrollo, y no restringe el crecimiento de raíces ni la absorción de nutrientes, lo cual se refleja en rendimientos óptimos dependiendo del clima, el **potencial genético** de la especie y las prácticas de manejo (FAO, 2015). Asimismo, la aptitud del suelo permite mantener un agroecosistema productivo y sostenible, factores que dependen de la conservación de sus características a través del tiempo.

Específicamente, el departamento del Cauca dispone de un amplio territorio con gran potencial para el establecimiento de aguacate Hass. Cuenta con aproximadamente 469.628 hectáreas (ha) distribuidas en los municipios de Popayán (28.138 ha), El Tambo (20.795 ha) y Caldono (15.241 ha) (Fonseca et al., 2018). Hasta el año 2020, se habían establecido 1.124 ha de cultivo con una producción total de 9.891 toneladas al año (t/año), las cuales representan el 1 % de la contribución a la producción nacional y un rendimiento promedio de 8,8 toneladas por hectárea (t/ha) –por debajo del promedio nacional– (Agronet, 2021). A pesar de su potencial y crecimiento reciente, existen limitaciones, como la necesidad de identificar los suelos adecuados para el cultivo, lo que posibilitaría a los pequeños productores de la región gestionar de manera apropiada esta especie y administrar eficazmente el recurso del suelo.

Este manual recopila resultados de investigación e información de referencia sobre los requerimientos del cultivo, las condiciones de suelos aptos para aguacate Hass y las prácticas de manejo que se deben



Glosario

Potencial genético: se refiere al nivel biológico máximo de expresión de los genes de una especie cuando se encuentra en condiciones ambientales y de manejo óptimas.

implementar para conservarlos. Su finalidad es fomentar acciones dirigidas a proteger el suelo y reducir la presión que la producción intensiva de aguacate Hass puede ejercer sobre los recursos naturales en el territorio.

Este documento es el resultado de la investigación titulada “Identificación de zonas aptas para aguacate Hass (escala semidetallada 1:25.000) en once municipios del departamento del Cauca (Colombia)”, la cual forma parte del proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca”. Este último fue financiado por el Sistema General de Regalías y la Gobernación del Cauca y ejecutado por AGROSAVIA.

Finalmente, el objetivo de este manual es poner a disposición de los actores de la cadena productiva del aguacate Hass elementos y documentos de fácil acceso y lectura. Con estos recursos se pretende contribuir a la planificación del cultivo y la implementación de prácticas que fomenten la sostenibilidad integral del sistema de producción en Cauca. 🌱

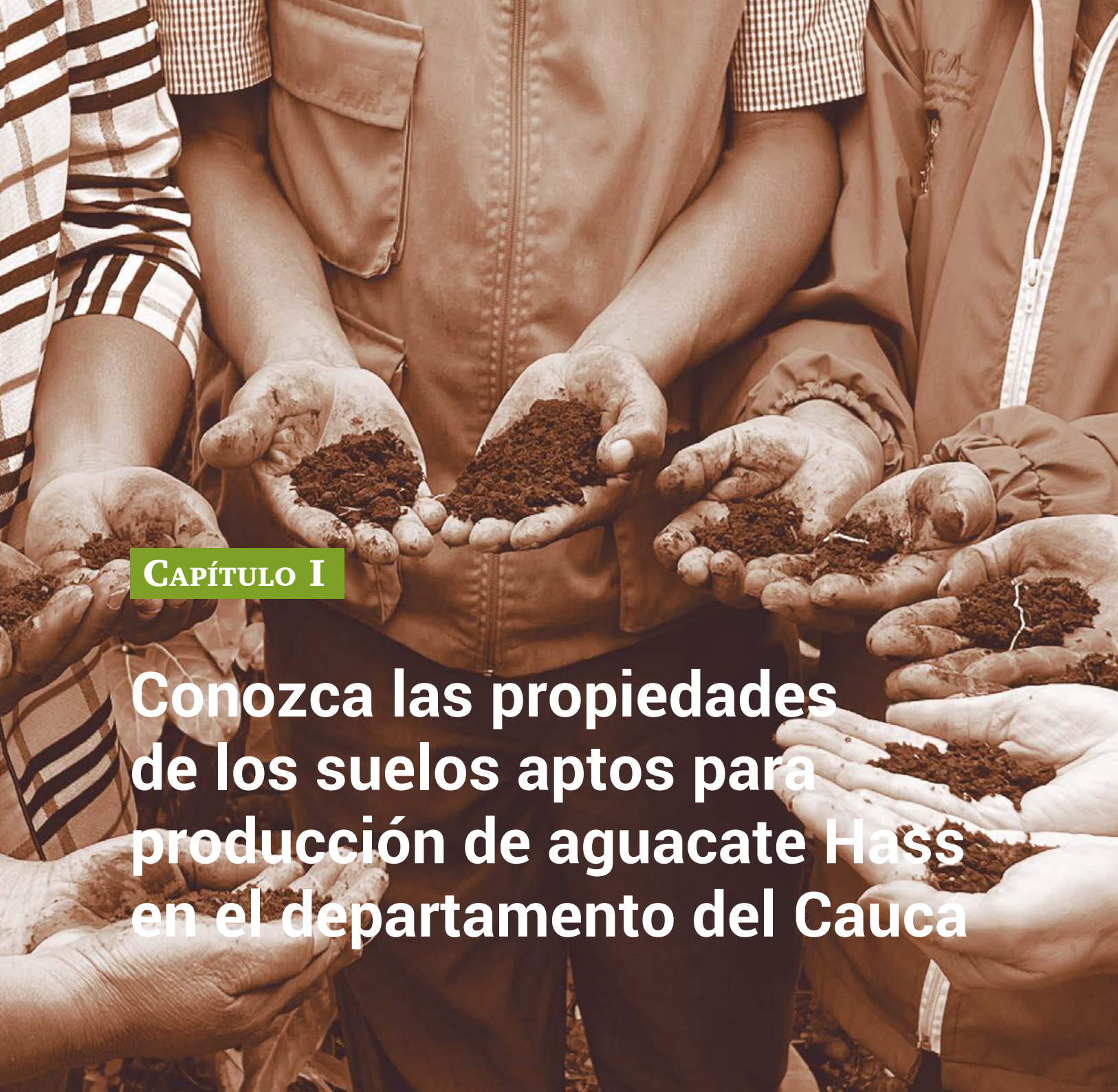
Información complementaria



Para mayor información sobre el proyecto, consulte el video “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass”.



<https://www.youtube.com/watch?v=ZKQGoRWbliM>

A close-up photograph of several people's hands, some wearing brown work gloves, holding dark brown soil. The hands are arranged in a cluster, with some holding more soil than others. The background is a warm, brownish-orange color, suggesting an outdoor setting. The overall tone is educational and practical.

CAPÍTULO I

Conozca las propiedades de los suelos aptos para producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca

En este capítulo se presentan los conceptos fundamentales para conocer cuáles son las propiedades que definen la aptitud de un suelo para la producción agrícola y, específicamente, de aguacate Hass en el departamento del Cauca. A manera de guía, tiene el objetivo de explicar las variables que definen la aptitud, calidad y salud del suelo, de modo que pueda identificar fácilmente las condiciones óptimas y compararlas con las características que observa en el suelo de su predio.

¿Qué es la aptitud, calidad y salud del suelo?

Aptitud

El concepto de *suelo apto* hace referencia a la combinación de propiedades y componentes que permiten la expresión del potencial productivo de un cultivo en el tiempo, lo cual está asociado a la calidad y salud del suelo. Estas condiciones se ven afectadas por factores como el **relieve** (topografía) y el clima (Pilatti & De Orellana, 2008).

Glosario

Relieve: es el conjunto de formas que puede tomar la superficie terrestre. Estas formas pueden ser elevadas, como las montañas, o planas, como las llanuras y los valles.



Un suelo apto para el cultivo debe desempeñar las siguientes funciones:

- Ser proveedor.
- Proporcionar soporte al hábitat de los cultivos.
- Actuar como intermediario en la relación planta-atmósfera.
- Mantener la estabilidad en sus características principales.
- Conservar su capacidad productiva. Esta capacidad productiva se reflejará en rendimientos óptimos, los cuales dependerán del clima, el potencial genético de la especie y las prácticas de manejo (FAO, 2015; Pilatti & De Orellana, 2008).

Estas funciones hacen del suelo un elemento fundamental en procesos globales como la dinámica de nutrientes y carbono, la regulación del ciclo hidrológico y la adaptación de los ecosistemas a eventos climáticos extremos y cambio climático (figura 1).

Estas funciones hacen del suelo un elemento fundamental en procesos globales como la dinámica de nutrientes y carbono, la regulación del ciclo hidrológico y la adaptación de los ecosistemas a eventos climáticos extremos y cambio climático

Figura 1. Principales funciones de suelos aptos para la producción agrícola sostenible.



Fuente: Elaboración propia con base en Pilatti y De Orellana (2008).

Calidad

La provisión de nutrientes y agua para el desarrollo de un cultivo depende de la calidad y salud del suelo. Específicamente, la calidad del suelo se refiere a la capacidad de funcionamiento de un suelo de acuerdo con el tipo de uso asociado a un ecosistema o agroecosistema destinado a una actividad productiva sostenible (Burbano, 2017). Por lo tanto, un suelo de calidad:

- Fomenta la productividad del sistema conservando las características físicas, químicas y biológicas (producción sostenible).
- Amortigua la acción de los contaminantes y patógenos (calidad ambiental) y promueve la salud de plantas, animales y seres humanos (Doran & Parkin, 1994).

En este sentido, mientras que la *aptitud* del suelo permite evaluar sus características y su capacidad de uso en términos de la productividad agrícola, la *calidad* del suelo evalúa cómo realiza sus funciones en un momento dado y cómo mantiene estas condiciones en una escala amplia de tiempo, dependiendo de su salud o dinámica de procesos. La calidad del suelo está relacionada con su productividad efectiva y con la salud de otros recursos, como el agua, el aire y la biodiversidad (Jiménez & Gonzales, 2006; Montiel et al., 2021).



La calidad del suelo se determina según su calidad inherente y su calidad dinámica (Lal, 1994). Por un lado, la *calidad inherente* del suelo refleja su evolución natural, producto de la interacción de los factores de formación del suelo como el clima, el material parental, la topografía, la vegetación, los organismos y el tiempo. Estos factores le confieren rasgos diferenciales, como colores, texturas y la acumulación de ciertos elementos que permiten su clasificación y definen su utilidad o aptitud para un propósito específico (Rubiano, 2005). Por otro lado, la *calidad dinámica* se refiere a cambios en las propiedades del suelo resultantes de decisiones sobre manejo y uso conferido por el ser humano.

Salud

La calidad y la salud del suelo son conceptos que se utilizan indistintamente, pero no son sinónimos. La *salud del suelo* está relacionada con su capacidad para funcionar como un sistema vivo, teniendo en cuenta la actividad biológica del suelo, la cual está vinculada al ciclo de carbono del suelo y a funciones de sostenibilidad más amplias (Carter et al., 1997; FAO, 2015; Maikhuri & Rao, 2012; Pla Sentís, 2013).

La dinámica de las propiedades del suelo, como el contenido de materia orgánica y la actividad biológica producto de microorganismos, en un momento específico define la salud del suelo y debería emplearse para evaluar la condición de un suelo como resultado de su manejo (Burbaño, 2017; Pla Sentís, 2013).

Los suelos saludables mantienen una comunidad biodiversa que desempeña un papel fundamental en el control de enfermedades de las

plantas, el manejo de insectos y malezas, la formación de simbiosis rizosféricas con las plantas, el reciclaje de nutrientes y la formación de estructura del suelo fundamental en la **retención** de agua y nutrientes, y en conjunto contribuye a mejorar la producción agrícola. Además, un suelo saludable también contribuye a la mitigación del cambio climático, pues ayuda a mantener o aumentar su contenido de carbono y a regular el ciclo del agua (FAO, 2015; Montiel et al., 2021).

Glosario

Retención de humedad del suelo: es la capacidad del suelo de retener o almacenar agua en su espacio poroso y guardarla para las plantas.



¿Cómo identificar los suelos aptos para el cultivo de aguacate Hass?

Los suelos aptos para el cultivo de aguacate Hass son aquellos que tienen las características y calidad necesarias para satisfacer las demandas o requerimientos de la planta y permitir su máxima productividad. Para identificar y gestionar adecuadamente estos suelos, es necesario que tenga en cuenta los siguientes aspectos:

1. Identifique los requerimientos del clima y el suelo del cultivo para determinar las condiciones óptimas y el entorno ambiental de una zona específica que se adapte a las necesidades reales de las plantas y promueva una producción efectiva de la especie.
2. Reconozca las principales características del suelo y su calidad. Evalúe si estas se ajustan a los requerimientos de la planta, en este caso del aguacate Hass.

En este contexto, los factores edáficos de mayor importancia para determinar la aptitud deben estar relacionados con los siguientes aspectos (AGBAR, 2022):

- La salud del sistema radicular.
- La humedad.
- La aireación.
- La disponibilidad de nutrientes.
- La fertilidad del suelo.

Estas propiedades son el resultado de la interacción de variables físicas, químicas y biológicas del suelo, en el marco de condiciones climáticas y topográficas que varían entre sitios e influyen en el desarrollo de la planta potenciando o limitando su productividad.

Los suelos aptos para el cultivo de aguacate Hass son aquellos que tienen las características y calidad necesarias para satisfacer las demandas o requerimientos de la planta y permitir su máxima productividad.

¿Cuáles son los requerimientos edafoclimáticos del cultivo de aguacate Hass?

Los requerimientos edáficos y climáticos del cultivo de aguacate Hass están relacionados con las condiciones agroecológicas de los centros de origen y distribución de la especie. El aguacate se considera nativo de las regiones altas del centro y oriente de México y Guatemala, desde donde se propagó a otras partes del mundo ubicadas en zonas subtropicales. Su rango de adaptación abarca altitudes que oscilan entre 0 y 2.400 m s. n. m., las cuales dependen de la raza y la variedad (Fonseca et al., 2018).

En las zonas de producción de aguacate en Colombia se observan gradientes significativos en **altitud**, radiación solar, humedad relativa, temperatura y precipitación, entre otros factores. Estas variaciones generan una amplia diversidad en la respuesta de los cultivares en lo que respecta a su comportamiento fisiológico, productivo, rendimiento y calidad de la fruta (Bernal & Díaz, 2020). En este sentido, es necesario que tenga claro cuáles son los requerimientos reales de los cultivos con respecto a la oferta ambiental de los diferentes sitios de producción de aguacate. Esto le permitirá establecer prácticas de manejo adecuadas para cada zona y garantizar la productividad del cultivo.

En la figura 2 se relacionan los principales factores biofísicos para establecer los requerimientos de aguacate Hass, los cuales sirvieron para identificar suelos y zonas aptas para el cultivo en áreas productoras de Cauca (AGROSAVIA, 2022). Conocer estos factores constituye una herramienta para que productores y asistentes técnicos analicen las condiciones propicias para el establecimiento y manejo del cultivo.

Glosario

Altitud: es una variable que mide la distancia vertical entre un punto de la superficie terrestre y el nivel del mar. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.).



Información complementaria

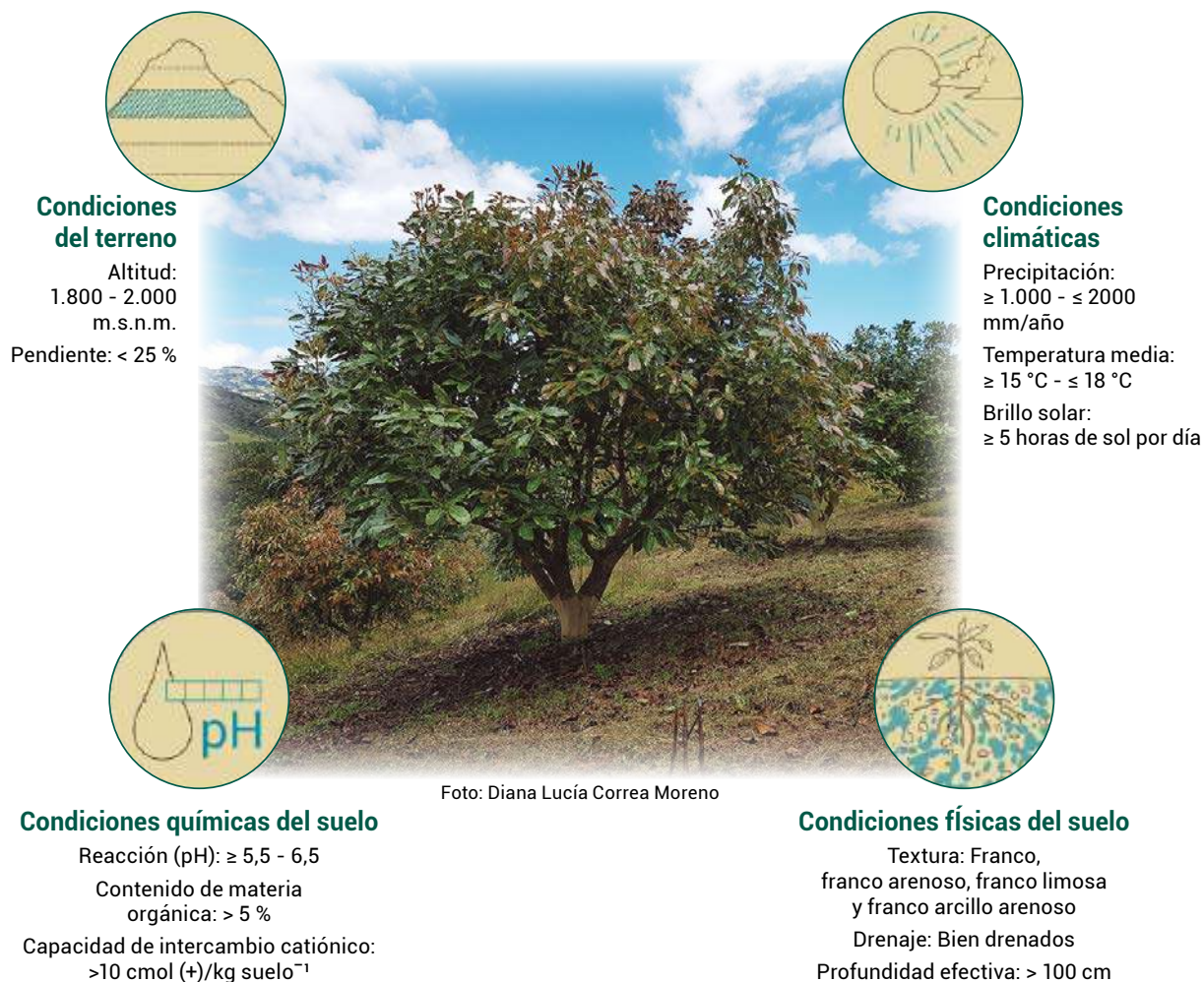
Para mayor información, puede consultar el video Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca.



<https://www.youtube.com/watch?v=WMvhaeqkROA>



Figura 2. Requerimientos edafoclimáticos para el desarrollo del aguacate Hass en zonas de producción en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

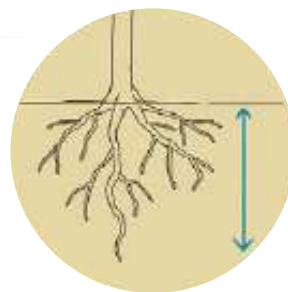
Factores edáficos

El aguacate posee una gran adaptabilidad a los diferentes tipos de suelos, desde los arenosos hasta los arcillosos. Sin embargo, los suelos con texturas francas, franco arenosas, franco limosas y franco arcillo arenosas que estén bien drenados se consideran más apropiados para el establecimiento y la producción comercial del cultivo de aguacate Hass. Esto se debe a que estos suelos presentan menos problemas de encharcamiento y exceso de humedad, factores que pueden afectar la productividad y la salud de las plantas de aguacate (Rengifo et al., 2020).

Profundidad efectiva

Rango óptimo: ≥ 1 m.

Efecto sobre el cultivo: en rangos de profundidad efectiva menores, y dependiendo del tipo de textura del suelo, es necesario estar pendiente de problemas como el bajo desarrollo radical, malformación, imposibilidad de anclaje y la disminución del crecimiento del árbol (Miranda, 2012; Saavedra et al., 2012) (figura 3).



pH

Rango óptimo: 5,5 a 6,5.

Efecto sobre el cultivo: el rango óptimo indica que se requieren suelos moderadamente a ligeramente ácidos. Esta condición afecta tanto la disponibilidad de elementos para la nutrición del cultivo, como la alta concentración de iones como el aluminio (Al) y el hierro (Fe), que pueden resultar limitantes para el desarrollo de las plantas.

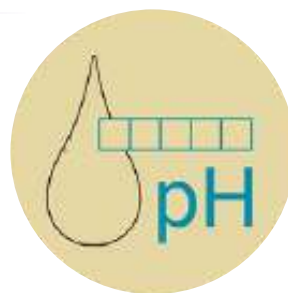


Figura 3. Observación de profundidad efectiva en perfil de suelo.

Glosario

Profundidad efectiva: la profundidad efectiva hace referencia al espacio en el cual no se identifican limitaciones de tipo físico, químico o biológico que afecten el crecimiento y desarrollo de las raíces del cultivo.



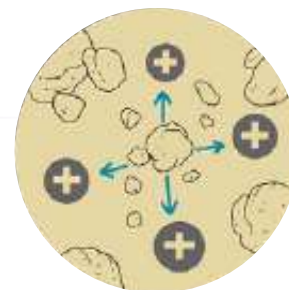
Foto: Sebastián Polo



Capacidad de intercambio catiónico

Rango óptimo: ≥ 10 cmol (+)/kg suelo.

Efecto sobre el cultivo: suelos con una **capacidad de intercambio catiónico (CIC)** más alta retienen una cantidad significativamente mayor de iones y, por lo tanto, son más fértiles.



Contenido de materia orgánica

Rango óptimo: $> 5\%$.

Efecto sobre el cultivo: un alto contenido de MO mejora las condiciones físicas, el movimiento y la retención del agua en el suelo, además favorece la disponibilidad de nutrientes para las plantas.



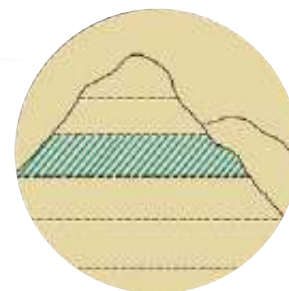
Factores de ubicación de los cultivos

Los factores ambientales relacionados con la ubicación de los sitios, como la altitud y la pendiente del terreno, están ligados a la aptitud de los suelos para el establecimiento y producción de aguacate Hass.

Altitud

La altitud, que se refiere a la elevación sobre el nivel del mar (figura 4), influye en el comportamiento de factores como las condiciones climáticas y el contenido de materia orgánica en el suelo, entre otros.

Rango óptimo: 1.800 – 2.000 m s. n. m.



Efecto sobre el cultivo: en el rango óptimo de altitud se tienen frutos con mayor calibre (> 190 g), mayor contenido de pulpa e incremento en el contenido de ácido oléico (insaturado) (Díaz et al., 2020; Rondón-Salas et al., 2000). Por debajo de los 1.500 m s. n. m. disminuye la calidad de la fruta, tanto interna como externa, y por encima de 2.500 m s. n. m. las bajas temperaturas provocan caída de flores y aumentan los tiempos de estados fenológicos (Bernal, 2006).

Glosario

Capacidad de intercambio catiónico [CIC]: indica la habilidad del suelo para retener y liberar iones cargados positivamente (cationes) esenciales para las plantas.



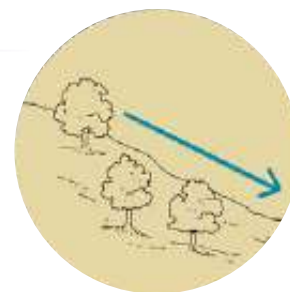
Figura 4. El rango óptimo de altitud para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca es entre 1.800 y 2.000 m s. n. m.

Foto: Luis Carlos Grajales Guzmán



Pendiente

La *pendiente* afecta el movimiento de las partículas del suelo y del agua, así como el grado de erosión. En las condiciones de Cauca, el aguacate Hass se cultiva en un rango de altitud que oscila entre 1.400 y 2.400 m s. n. m. con pendientes de 25 % a 50 %.



Rango óptimo: $\leq 25 \%$

Efecto en el cultivo: suelos con pendientes por debajo de 25 % de inclinación facilitan el establecimiento del cultivo, el desarrollo radical y anclaje de la planta (figura 5). Además, favorece las labores de manejo agronómico y cosecha, así como disminuye el riesgo de pérdida de capa arable del suelo.

Glosario



Pendiente: es el grado o porcentaje de inclinación del terreno y es un factor importante en la formación de suelos, ya que influye en el movimiento de las partículas del suelo, del agua y en el nivel de afectación de la erosión.

| Figura 5. Ejemplo de cultivo de aguacate Hass en pendiente.



Foto: Luis Carlos Grajales Guzmán

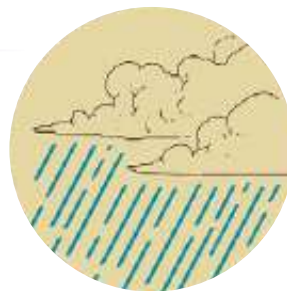
Factores climáticos

Las condiciones climáticas, que incluyen variables como precipitación, brillo solar y temperatura, están principalmente influidas por el gradiente altitudinal (Salazar et al., 2011). El comportamiento de estas variables puede favorecer o limitar la respuesta agronómica y la productividad del cultivar. Por ejemplo, altas precipitaciones y bajas temperaturas pueden ocasionar heladas que afectan la calidad de la fruta, mientras pocas lluvias y temperaturas elevadas pueden incrementar la caída de flores y reducir la eficiencia en el cuajado del fruto (Bernal & Díaz, 2020).

Precipitación

Rango óptimo: $\geq 1.000 \text{ mm} - \leq 2.000 \text{ mm}$.

Efecto sobre el cultivo: en el rango óptimo de precipitación, distribuido uniformemente durante el año, el suelo mantiene la humedad requerida por el cultivo, lo cual permite mayor amarre de flores y cuajado de frutos (Bernal & Díaz, 2008; Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012). El déficit hídrico ocasiona caída de flores y frutos, mientras que los excesos de lluvia aumentan el riesgo de asfixia radicular y la incidencia de patógenos (Gandolfo, 2008; Rondón-Salas et al., 2020).



Temperatura

Rango óptimo: $\geq 15 \text{ }^{\circ}\text{C} - \geq 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Efecto sobre el cultivo: el rango óptimo de temperatura favorece la fecundación de las flores y el desarrollo y sostenimiento de los frutos en el árbol. Zonas con temperaturas muy bajas ($< 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$) afectan los procesos de polinización y apertura floral, en tanto que temperaturas muy altas ($> 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$) alteran el cuajado del fruto (Bartoli, 2008).



Brillo solar

Rango óptimo: ≥ 5 horas al día.

Efecto sobre el cultivo: una exposición a la luz solar de al menos 5 horas al día permite que el aguacate Hass tenga una respuesta fisiológica adecuada, con un mayor desarrollo aéreo y radical, así como mayor producción (Bernal, 2016). En contraste, un brillo solar por



debajo de 3 horas de sol al día afecta el cuajado de frutos, aumenta el tiempo a cosecha y hay incidencia de heladas (Bernal & Díaz, 2008).

¿Cuáles son los criterios para reconocer los suelos aptos para el cultivo?

Los criterios para identificar las zonas aptas para un uso específico, en este caso aguacate Hass, se basan en cualidades del suelo que pueden limitar o potenciar la productividad de la especie y que condicionan la aptitud de una unidad de suelo de manera diferencial. Estas cualidades se determinan a partir de características edáficas que permiten clasificar o categorizar la aptitud productiva de una región en función de los requerimientos del cultivo (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2014).

Algunas variables pueden formar parte de uno o más criterios, pero la cualificación de su aptitud se evalúa en función de los requerimientos de la planta para cada condición en particular. Específicamente, para hacer el reconocimiento de suelos aptos para el cultivo se deben considerar siete criterios:

1. Capacidad de laboreo.
2. Condiciones de enraizamiento.
3. Disponibilidad de humedad.
4. Disponibilidad de oxígeno.
5. Disponibilidad de nutrientes.
6. Toxicidad por sales, sodio y aluminio.
7. Susceptibilidad a la pérdida de suelo.

A continuación, se define cada uno de los criterios, junto con las variables que los describen y su relación con los aspectos de desarrollo y comportamiento del cultivo.

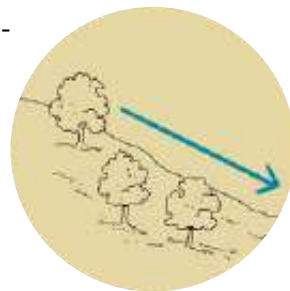
1. Capacidad de laboreo

Se refiere a la facilidad o dificultad de preparación de un terreno destinado al establecimiento de un cultivo, ya sea mediante el uso de maquinaria o herramientas manuales. Las características que componen esta cualidad o criterio son: *pendiente del terreno*, *textura* y *pedregosidad*. En el contexto de la producción de aguacate Hass en Cauca, se consideran principalmente la textura y la pendiente como aspectos relevantes, ya que la pedregosidad observada en los suelos no alcanza niveles que se consideren limitantes para las labores de labranza o preparación del terreno antes del cultivo.

Pendiente del terreno

Rango óptimo: 0 % - 25 %.

Efecto en el cultivo: como se mencionó, suelos con pendientes por debajo del 25 % de inclinación facilitan el establecimiento del cultivo, el desarrollo radical y el anclaje de la planta. Además, favorece las labores de manejo agronómico y cosecha, así como disminuye el riesgo de pérdida de capa arable del suelo (figura 6).



| Figura 6. Cultivo de aguacate Hass en pendiente moderada.



Foto: Luis Carlos Grajales Guzmán

Textura

Condición óptima: franco, franco arcillo arenoso y franco limoso (figura 7).

Efecto en el cultivo: suelos con texturas livianas facilitan las labores de preparación del suelo y tienden a tener una menor compactación, siempre y cuando haya un buen manejo del suelo. El laboreo en suelos



con altos contenidos de arcilla o arenas requiere de mayor esfuerzo económico y físico para mantener las obras agrícolas que se desarrollen en el huerto.

Figura 7. Ejemplo de textura del suelo en una zona productora de aguacate Hass en Cauca.



Foto: Luis Carlos Grajales Guzmán

Pedregosidad

Condición óptima: sin fase de pedregosidad (figura 8).

Efecto en el cultivo: el laboreo en suelos sin pedregosidad permite un mejor funcionamiento de las herramientas y maquinarias utilizadas, una

preparación del terreno uniforme y menor tiempo de labor y costos. Cuando el suelo tiene afloramientos rocosos, los implementos utilizados pueden disminuir su eficiencia y afectar su funcionamiento.

| Figura 8. Suelo pedregoso en los primeros horizontes.



Foto: Diana Lucía Correa Moreno



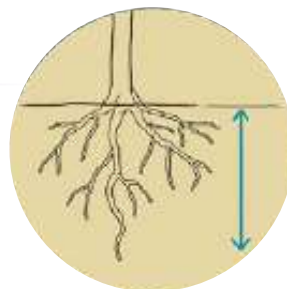
2. Condiciones de enraizamiento

Este criterio relaciona las propiedades físicas del suelo que influyen tanto en el desarrollo de las raíces de las plantas como en la toma de nutrientes y agua. Las características que componen este criterio son: profundidad efectiva, textura y pedregosidad.

Profundidad efectiva

Rango óptimo: 1 m – 1,5 m.

Efecto en el cultivo: suelos con una profundidad superior a 1 m permiten el desarrollo adecuado de raíces, incluso cuando se presenten condiciones de estrés hídrico o nutricional.



Textura

Rango óptimo: franco, franco limoso, franco arcilloso arenoso, limoso, franco arenoso (figura 9).

Efecto en el cultivo: suelos con texturas francas o “sueltas” permiten que haya una mejor aireación y que las raíces penetren en profundidad sin mayor dificultad. En contraste, suelos arcillosos limitan el desarrollo de raíces y afectan la aireación de suelo, mientras que en suelos arenosos las raíces presentan limitaciones para el anclaje y es baja la disponibilidad de agua y nutrientes.



| **Figura 9.** Determinación de textura al tacto.

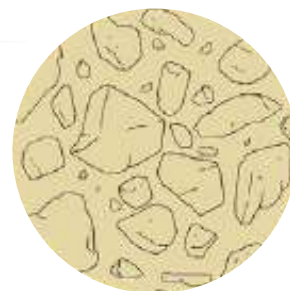


Foto: Lina Garavito Morales

Pedregosidad

Condición óptima: sin fase de pedregosidad.

Efecto en el cultivo: esta condición permite que las raíces se desarrollen adecuadamente a través del perfil del suelo. Por el contrario, suelos con alta pedregosidad limitan el libre desarrollo y anclaje de las raíces.



3. Disponibilidad de humedad

Es la capacidad del suelo para almacenar y aportar agua fácilmente aprovechable en la cantidad requerida por las plantas para realizar sus procesos fisiológicos.

El régimen de humedad del suelo es una de las variables para clasificar los suelos que permite diferenciarlos por el grado de acumulación y disponibilidad de agua para las plantas en una profundidad específica (sección control) y que depende de la precipitación, la temperatura, el **nivel freático** y los factores que condicionan el movimiento y la disponibilidad de humedad en el suelo.

Los regímenes de humedad del suelo se definen en función del nivel de agua subterránea y de la presencia o ausencia de agua retenida a una tensión inferior a 1.500 kPa (punto de marchitez permanente) en la sección de control durante un periodo específico (Soil Survey Staff, 2014). En Colombia, los principales regímenes de humedad corresponden a perúdic, údic, ústico y arídico, los cuales se asocian a zonas muy húmedas, húmedas, secas y muy secas, respectivamente (Malagón, 2003).

Los suelos aptos para el cultivo de aguacate Hass son los que tienen régimen de humedad údic, es decir, suelos que mantienen su humedad durante todo el año, poseen buen **drenaje**, buena retención de humedad y en los que el agua se mueve libremente a través de los poros del suelo. Este régimen de humedad se presenta en el 65 % del territorio nacional, incluyendo Cauca y sus zonas productoras de aguacate Hass.



Glosario

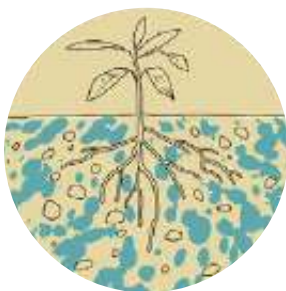
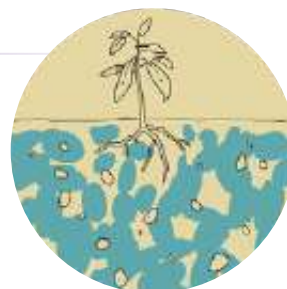
Nivel freático: es la acumulación de agua subterránea situada cerca de la superficie terrestre donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica.

Drenaje natural del suelo: hace referencia a la remoción natural del exceso de agua acumulada sobre la superficie y a lo largo del perfil de suelo. El drenaje natural combina el drenaje interno y externo del suelo y tiene en cuenta la relación entre pendiente, escorrentía e infiltración, así como la profundidad a la cual aparece el nivel freático (Fonseca et al., 2018).

Es fundamental identificar estas condiciones en los suelos donde se establecerá o ya se ha sembrado el aguacate Hass. Esto permitirá tomar decisiones de manejo de manera oportuna y evitar costos adicionales o pérdidas de material de siembra, así como garantizar una producción óptima al evitar problemas relacionados con el exceso de humedad o la falta de agua en las plantaciones. La información sobre los regímenes de humedad asociados a los suelos de cada región debe consultarse en estudios de suelos, que en nuestro país son realizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Régimen de humedad del suelo

Ácuico: suelo saturado de agua la mayor parte del año. Es pobre en drenaje y por lo tanto no es apto.



Údico: suelo con agua disponible la mayor parte del año, sin limitaciones para el suministro de agua al cultivo.

Arídico: suelos que están la mayor parte del año secos. Tienen poca disponibilidad de humedad para las plantas, de manera que no es apto.



Textura

Como se ha mencionado, los suelos pueden ser franco, franco arcilloso arenosos, franco liomosos, arenosos, arcillo arenosos. Tenga en cuenta que texturas francas permiten una buena retención de humedad, pero a su vez un buen drenaje, lo cual permite que haya disponibilidad de agua para el cultivo. En contraste, suelos con altos contenidos de arcilla generan excesos de humedad y baja disponibilidad de oxígeno. Finalmente, en suelos arenosos, el agua almacenada y aprovechable para las plantas es limitada.



4. Disponibilidad de oxígeno

Se refiere a la condición de aireación del suelo y la facilidad con la que se permite la circulación y el intercambio del dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2) a través de los poros del suelo, lo cual posibilita la respiración de las plantas. Esta cualidad está influida por la susceptibilidad del suelo a permanecer inundado y el tipo de drenaje natural de los suelos.

El aguacate requiere de suelos bien drenados para evitar encharcamientos y excesos de humedad que pueden afectar su productividad y sanidad. Para Cauca, los suelos presentan un drenaje que oscila entre excesivo y bien drenado debido, principalmente, a la alta **porosidad** y las texturas livianas de los suelos en los municipios productores.



Glosario

Porosidad del suelo:

es el porcentaje, en un volumen de suelo, que no es ocupado por la fase sólida. Los poros del suelo son espacios que albergan agua, aire, gases y actividad de macro y microorganismos.

Susceptibilidad a inundaciones

Condición óptima: sin inundaciones.

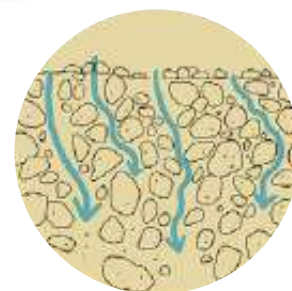
Efecto en el cultivo: el aguacate es susceptible a los excesos de humedad y encharcamientos, aun en periodos cortos, por lo cual suelos con estas condiciones no pueden ser considerados para establecer el cultivo.



Drenaje interno del suelo

Condición óptima: excesivo o bien drenado.

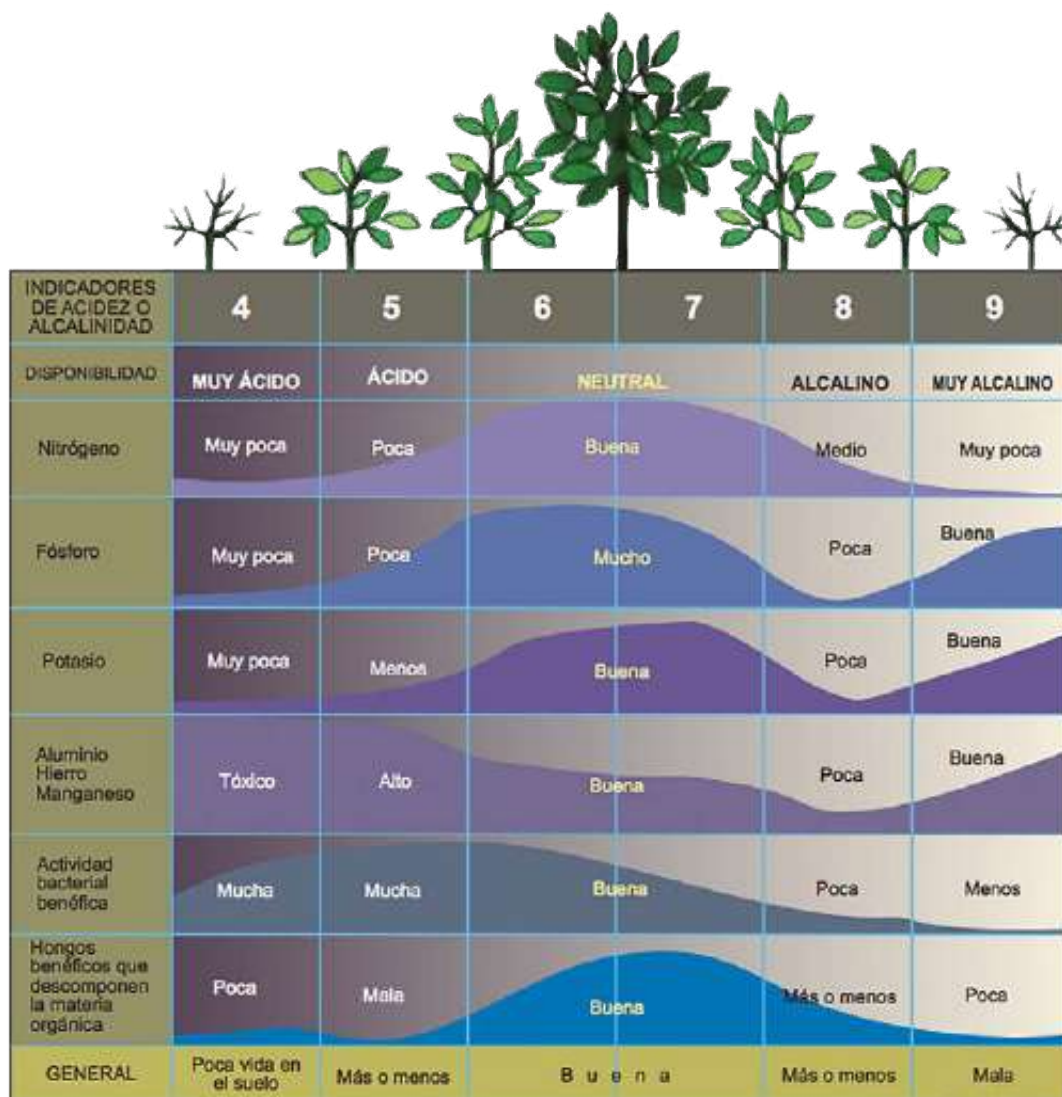
Efecto en el cultivo: el suelo debe tener un buen drenaje natural, ya que las condiciones de exceso de humedad influyen negativamente en la respuesta productiva del aguacate, como consecuencia de la falta de oxígeno en la rizósfera y la proliferación de patógenos que afectan la sanidad del cultivo.



5. Disponibilidad de nutrientes

Es la capacidad del suelo para aportar los nutrientes requeridos por las plantas para su desarrollo y crecimiento. Está determinada por las siguientes variables: reacción del suelo (pH) (figura 10), saturación de bases (%), capacidad de intercambio catiónico (CIC) (cmol (+)/kg suelo) y materia orgánica (%).

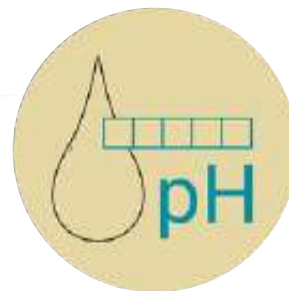
Figura 10. Influencia del pH o reacción del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes.



Fuente: Tomado de Raudes y Sagastume (2009, p. 31).

Reacción del suelo o pH

La acidez o pH determina la disponibilidad de nutrientes para las plantas (FAO, 2023a). En la zona estudiada, los suelos presentan un rango de pH entre fuertemente ácido (4,9) y moderadamente ácido (5,8), aspecto que condiciona los planes de fertilización para el cultivo.



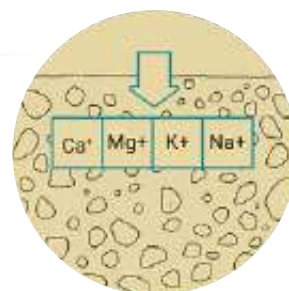
Rango óptimo: 5,5 a 6,5.

Efecto en el cultivo: en este rango de pH se encuentran en mayor disponibilidad todos los nutrientes requeridos por la planta. En suelos muy ácidos ($< 5,0$) se ve limitada la disponibilidad de nutrientes como Ca^+ , Mg^+ , K^+ y P , mientras que en suelos básicos o alcalinos (> 8) hay exceso de sales como Ca^+ , Mg^+ y Na^+ , las cuales pueden afectar el desarrollo radical y la toma de nutrientes esenciales (FAO, 2023a).

Saturación de bases

Rango óptimo: $> 35 \%$.

Efecto en el cultivo: está relacionado con la reacción del suelo. Cuanto mayor sea la saturación de bases, más cercano a la neutralidad será el pH, lo cual corresponde a una mejor disponibilidad de macro y micronutrientes. Si la saturación de bases es baja, es limitada la disponibilidad de nutrientes para las plantas.



Carbono orgánico (co)

Está relacionado con el contenido de materia orgánica (MO) y con la actividad de organismos en el suelo. Se estima que la MO del suelo contiene aproximadamente 55 % - 60 % de CO en masa (FAO, 2017). Esto contribuye a la disponibilidad de nutrientes y condiciones físicas en el suelo.



En los suelos de Cauca, donde se produce el cultivo, la materia orgánica (% MO) oscila entre 4 % y 12 % en los primeros 30 cm de profundidad, lo cual indica que esta variable no es un factor que limite la producción del cultivo. Los valores se reducen al profundizar en el perfil de suelo.

Rango óptimo: 1,70 % - 15 %.

Efecto en el cultivo: a mayor MO, más cantidad de CO, el cual ayuda a mejorar las condiciones físicas del suelo, el movimiento y la retención del agua, la CIC y a disminuir la pérdida de nutrientes por lixiviación.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (cmol (+)/kg suelo)

La CIC representa la cantidad de cationes (Ca^+ , Mg^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , etc.) presentes en el suelo y retenidos en las superficies minerales u orgánicas como arcillas y materia orgánica (FAO, 2023a). El aguacate Hass se desarrolla adecuadamente en suelos con una CIC mayor o igual a 10 cmol (+)/ kg suelo. En las zonas productoras de Cauca, el rango de CIC oscila entre 1,39 y 11,07, el cual es considerado bajo. Por lo tanto, se deben verificar los contenidos de fósforo (P), micronutrientes y bases intercambiables como calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K)



para garantizar su disponibilidad y absorción por el cultivo en sus diferentes estados de desarrollo. Por este motivo, es necesario implementar acciones para el manejo de la fertilidad orientadas a mejorar la disponibilidad de los cationes.

Rango óptimo: $> 20 \text{ cmol (+) / kg suelo}$.

Efecto en el cultivo: una CIC superior a $20 \text{ cmol (+)/kg suelo}$ indica que el suelo tiene una buena capacidad para retener nutrientes y tenerlos disponibles para las plantas. Por el contrario, una baja CIC indica que el suelo posee una baja capacidad de retención de nutrientes y pueden lixiviarse de la zona de raíces.

6. Toxicidad por sales, sodio y aluminio

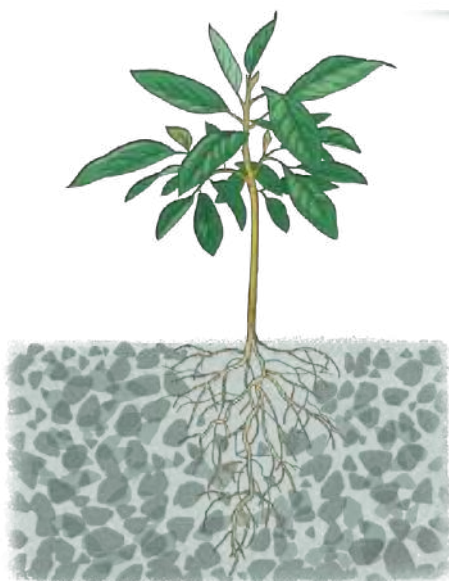
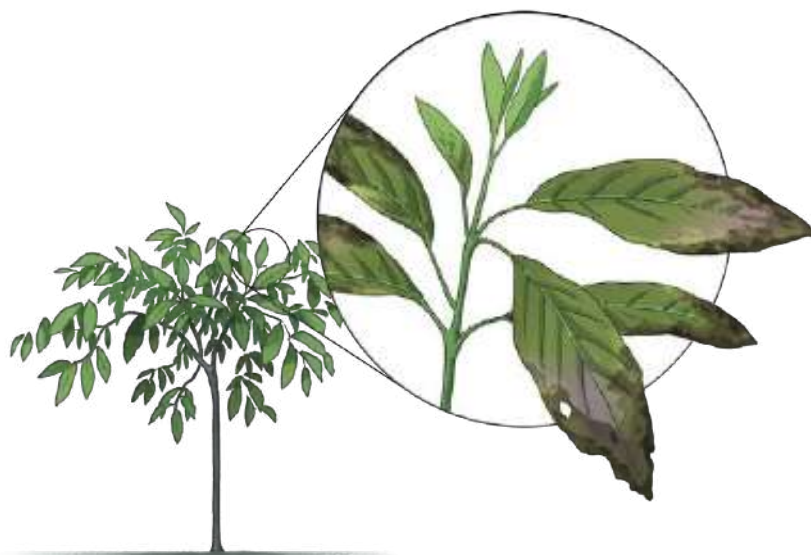
Se refiere a la concentración de minerales en altas cantidades que pueden limitar el desarrollo de la planta y afectar la productividad. Este criterio está determinado por las características de suelo: salinidad (dS/m), sodicidad (porcentaje de sodio intercambiable [$\% \text{PSI}$]) y saturación de aluminio ($\text{SAI } \%$).

Los suelos de las zonas productoras de aguacate Hass en Cauca generalmente presentan altas concentraciones de aluminio intercambiable ($> 15 \%$), principalmente debido al origen de los suelos, provenientes de cenizas volcánicas. Esta propiedad influye en la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo de raíces (figura 11).

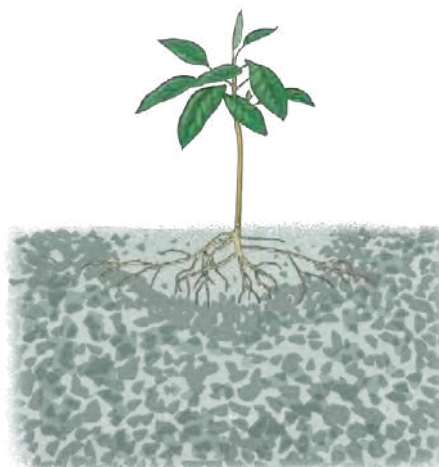
Los suelos de las zonas productoras de aguacate Hass en Cauca generalmente presentan altas concentraciones de aluminio intercambiable ($> 15 \%$), principalmente debido al origen de los suelos, provenientes de cenizas volcánicas.

Figura 11. Efectos de la toxicidad por sales y sodio en suelos y cultivo de aguacate Hass.

Síntomas visuales de toxicidad en aguacate por altos contenidos de cloruros en el suelo. Se evidencian principalmente en hojas adultas (Martínez et al., 2015)



Efecto de altas concentraciones de Na en el suelo (Agrosal, 2016).



Daño en estructura y sellamiento de poros en el suelo (Agrosal, 2016).

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la salinidad y los contenidos de sodio, el cultivo es bastante sensible a los altos niveles de sales y sodio en la solución del suelo, situación que puede limitar la absorción de agua y nutrientes en la planta (Castro et al., 2014).

En Cauca, las zonas productoras de aguacate Hass presentan bajos niveles de salinidad (< 2 dS/m) y de sodio (< 1 cmol (+) / kg). Sin embargo, estos factores pueden verse alterados debido a prácticas inadecuadas de manejo, especialmente en la fertilización, como el uso de fuentes no apropiadas para el tipo de suelo, la aplicación excesiva de fertilizantes de síntesis química y el uso de materia orgánica no compostada.

Salinidad

Rango óptimo: ≤ 2 dS.m⁻¹.

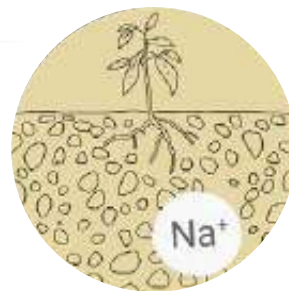
Efecto en el cultivo: el alto contenido de sales o salinización elevada en el suelo propicia la pérdida de la capacidad productiva de los suelos y disminuye su calidad. Las sales están relacionadas con los altos contenidos de Ca⁺, Mg⁺, Na⁺ y K⁺ (FAO, 2023a).



Sodicidad

Rango óptimo: ≤ 10 %.

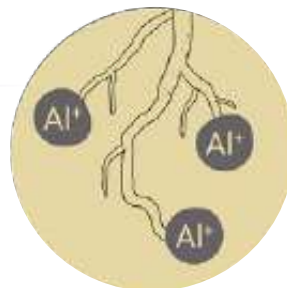
Efecto en el cultivo: los elevados niveles de sodio intercambiable (soluble) en el suelo dañan su estructura, entre otras propiedades físicas y químicas, lo cual disminuye la posibilidad de desarrollar alguna actividad agrícola (FAO, 2023a).



Saturación de aluminio

Rango óptimo: $\leq 15 \%$.

Efecto en el cultivo: una alta presencia de Al en el suelo disminuye el pH y eleva la acidez, provoca que las raíces del aguacate no se expandan e impide que la planta pueda tomar agua y nutrientes, lo cual afecta su crecimiento y productividad (Carreño & Chaparro, 2013).



7. Susceptibilidad a la pérdida de suelo

Este criterio hace referencia al grado de vulnerabilidad de los suelos a ser afectados por agentes que ocasionan erosión y pérdida de la capa arable. Las características que permiten la estimación de esta cualidad son: pendiente del terreno, erosión actual y susceptibilidad a deslizamientos.

Pendiente

Rango óptimo: $\leq 25 \%$.

Efecto en el cultivo: la pendiente del terreno influye en el movimiento de partículas y agua, así como en el nivel de susceptibilidad a la degradación. Para el establecimiento de cultivos de aguacate Hass, se consideran óptimas las inclinaciones menores a 25 % y aceptables aquellas entre 25 % y 50 % (figura 12). Por encima de estos valores existe una alta probabilidad de que ocurran procesos de erosión y deslizamientos, a menos que se implementen medidas de prevención y se planifiquen actividades de conservación y aprovechamiento productivo del territorio.

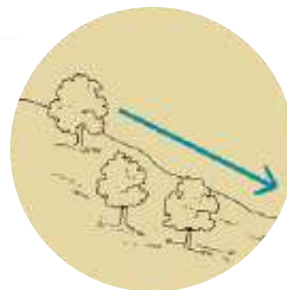


Figura 12. Cultivo de aguacate Hass en terrazas para evitar la erosión por la pendiente.



Foto: Diana Lucía Correa Moreno

Erosión

Condición óptima: no hay; ligera.

Efecto en el cultivo: la pérdida de suelos en áreas productoras de aguacate Hass puede estar relacionada con condiciones climáticas como vientos fuertes y precipitaciones predominantes, así como con la acción antrópica. Esta última implica la ampliación de cultivos en zonas con baja aptitud, como áreas de montaña con pendientes mayores a 25 %, y en suelos frágiles caracterizados por texturas francas, baja densidad aparente y alta capacidad de retención de humedad (figura 13).



Movimientos en masa

Condición óptima: muy baja a baja.

Efecto en el cultivo: los deslizamientos en ladera son un riesgo geológico de origen natural o inducido que debe tenerse en cuenta al tomar decisiones sobre el establecimiento de nuevos cultivos de aguacate Hass (Fonseca et al., 2018). Por esta razón, es necesario identificar factores de riesgo en las zonas del cultivo y sus alrededores. A propósito de esto, es clave establecer la frecuencia de las precipitaciones y la acumulación de humedad en el suelo, variables que pueden desencadenar el desplazamiento de grandes masas de suelo y roca debido a la gravedad que se manifiesta en deslizamientos, derrumbes, procesos de remoción en masa y fallas en taludes y laderas (figura 14).



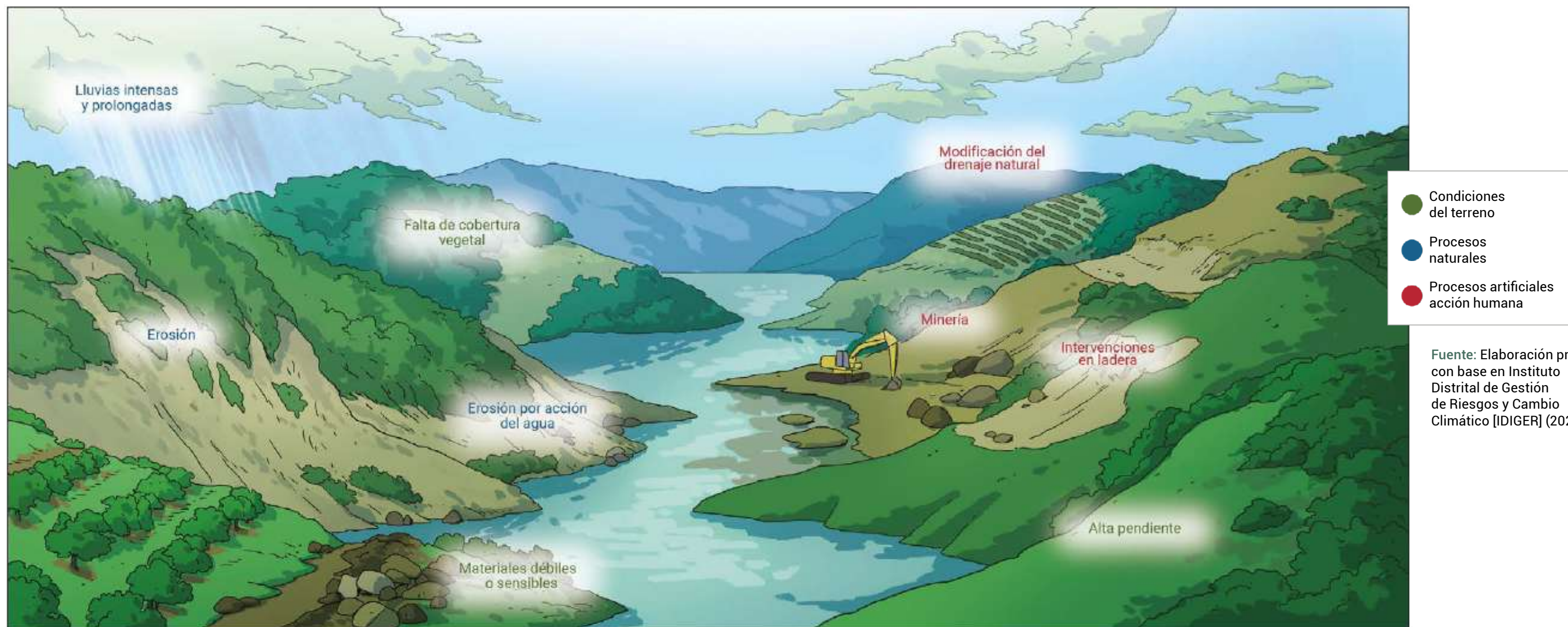
Figura 13. Cultivo de aguacate Hass en pendiente pronunciada susceptible a erosión.



Foto: Diana Lucía Correa Moreno

Tenga en cuenta que la pérdida o degradación del suelo genera cambios en las propiedades físicas, químicas y/o biológicas. En general, la pérdida de suelo ocasiona alteraciones en la fertilidad del suelo y, como consecuencia, en su capacidad productiva. 🌱

Figura 14. Factores que propician y aceleran procesos de remoción masal.





CAPÍTULO II

Evalúe la calidad del suelo

La evaluación de la calidad o condición del suelo puede llevarla a cabo mediante una simple medición cualitativa por observación o hacerla más compleja, implementando medidas cuantitativas como muestreos intensivos sistemáticos, tratamiento estadístico para resumir el comportamiento de un parámetro y modelos para predecir el impacto de los sistemas de cultivo en el recurso suelo. Independientemente del método que utilice, debe tener en cuenta los siguientes aspectos: la escala, las variaciones estacionales y espaciales en las funciones del suelo y su uso (Rubiano, 2005).

En esta sección se presenta información sobre métodos e indicadores para evaluar la calidad y salud del suelo, y así ofrecer una referencia para que pueda aplicarlos en áreas de producción y cultivos de aguacate Hass. Estos conceptos están estrechamente relacionados con el seguimiento y monitoreo de las condiciones que se consideran adecuadas para el cultivo y debe implementarlos para asegurar la sostenibilidad tanto ambiental como económica en este sistema productivo.



¿Cómo evaluar la calidad del suelo?

La calidad del suelo se evalúa a través de características o variables edáficas que funcionan como indicadores e índices que relacionan sus atributos con funciones específicas. Existen cuatro grupos para categorizar estos indicadores: visuales, físicos, químicos y biológicos (USDA, 1999). En general, un suelo de buena calidad tiene:

- Altos niveles de materia orgánica que aporta nutrientes a las plantas.
- Una estructura que permite el crecimiento del sistema radical.
- Una adecuada capacidad de infiltración del agua.
- Una alta capacidad de retención de la humedad.
- Adecuado drenaje en superficie y en profundidad (no se encharca).
- Baja población de patógenos que ocasionan enfermedades a las plantas.
- Una alta población de organismos y microorganismos benéficos en la rizósfera.

Los indicadores para evaluar la calidad de suelo pueden utilizarse de acuerdo con las condiciones locales de la región que va a analizar y el tipo de suelo, su uso, función y factores de formación (Arshad & Coen, 1992). Para zonas tropicales húmedas, como las que encontramos en el territorio colombiano, Lal (1994) agrupa los principales atributos físicos, químicos y biológicos que son indicadores clave de la calidad del suelo y su aptitud para desempeñar una actividad específica, como el cultivo de aguacate Hass. Estos atributos deben ser analizados teniendo en cuenta las condiciones ambientales particulares de la región (tabla 1).

I **Tabla 1.** Atributos e indicadores claves para evaluar la calidad y procesos desarrollados en el suelo

Atributos físicos	Procesos de intervención
• Textura • Densidad aparente • Agregación • Distribución de tamaño y continuidad de poros	Mecánicos • Formación de costras, difusión de gases e infiltración. • Capas compactadas, desarrollo de raíces e infiltración. • Erosión, encostramiento, infiltración y difusión de gases. • Movimiento y retención de agua, crecimiento de raíces e intercambio gaseoso.
• Capacidad de retención de humedad • Infiltración	Hidrológicos • Estrés por sequía, producción de biomasa y acumulación de materia orgánica del suelo. • Escorrentía, erosión y pérdida de nutrientes.
• Profundidad efectiva de raíces • Temperatura del suelo	Zonas de raíces • Crecimiento de raíces y uso eficiente del agua y los nutrientes. • Flujo de calor, calentamiento del suelo, actividad y diversidad de macrofauna del suelo.
Atributos químicos	Procesos de intervención
• pH • Saturación de bases • Capacidad de intercambio catiónico • Contenido total y disponible de nutrientes • Contenido de materia orgánica	• Acidificación y reacción del suelo y disponibilidad de nutrientes. • Absorción, adsorción y solubilización. • Intercambio catiónico y lavado. • Fertilidad del suelo y reserva de nutrientes. • Formación estructural, mineralización y acumulación de carbono.

Continúa...

Continuación Tabla 1. Atributos e indicadores claves para evaluar la calidad y procesos desarrollados en el suelo

Atributos biológicos	Procesos de intervención
• Población, actividad y diversidad de macrofauna y microorganismos • Carbono orgánico • Carbono orgánico total del suelo	• Ciclaje de nutrientes, descomposición de materia orgánica y formación de estructura del suelo. • Transformaciones y respiración microbiana, formación de la estructura del suelo y complejos organominerales. • Mineralización y fuente de nutrientes del suelo, carbono de la biomasa, respiración del suelo y flujo gaseoso.

Fuente: Elaboración propia con base en Lal (1994).

La calidad del suelo para el cultivo puede evaluarla mediante el reconocimiento en campo de características fácilmente identificables por observación directa o evaluación cualitativa. También puede hacer pruebas en campo o tomar muestras para su evaluación cuantitativa en laboratorio. Estas pruebas abarcan propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que permiten comprender los procesos que influyen en la fertilidad y productividad del cultivo.



Evaluación cualitativa

La evaluación cualitativa es un método sencillo para identificar características positivas y limitantes de cada horizonte del suelo, las cuales pueden estar relacionadas con su calidad y su impacto en el desarrollo normal de las plantas. Este enfoque puede ser muy beneficioso para la toma de decisiones y la gestión sostenible del suelo, así como para evaluar cambios en este.

Por ejemplo, es posible reconocer suelos que, así presenten condiciones para una adecuada fertilidad química, también tengan limitaciones como poca profundidad, dificultades en su manejo debido a la presencia de rocas o al incremento de la compactación cada vez que se profundiza en el suelo (Food and Agriculture Organization [FAO] & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible [MADS], 2018).

El objetivo de esta evaluación es describir características que definan la condición actual del suelo y las prácticas de manejo que se deben implementar en un futuro, tanto para la producción agrícola como para la conservación y sostenibilidad del recurso suelo. Entre estas características destacan la profundidad efectiva, el color, la textura, el pH, la estructura, el drenaje, el desarrollo de raíces, la pedregosidad, la presencia de macroorganismos, entre otros.

¿Cómo realizar la observación directa del suelo?

En los siguientes párrafos y en la figura 15 se describe el paso a paso para hacer observación directa del suelo:



1. Construya **calicatas** de 2 x 2 metros o 1 x 1 metro, ubicadas en taludes o bordes de vías en zonas cercanas al cultivo, o dentro del propio cultivo utilizando cajuelas de 50 x 50 cm para visualizar el perfil del suelo o su horizonte superior. Además, puede realizar cateos a profundidad utilizando barrenos en lugares de interés identificados por su topografía, pendiente, condiciones de humedad, color, profundidad o tipo de cobertura vegetal.
2. Seleccione una de las caras de la calicata o cajuela con mejor visibilidad, de preferencia aquella que no reciba luz solar directa para observar claramente los límites de cada horizonte, los cuales pueden distinguirse por diferencias de color o estructura. La pared elegida será el perfil de análisis, el cual debe ser limpiado utilizando un cuchillo o una herramienta similar para mejorar la visualización de sus características morfológicas.
3. Una vez que haya preparado el perfil del suelo o la cara de la cajuela, examine los cambios de color, textura o morfología del suelo a medida que desciende desde la superficie hasta la profundidad de excavación. Marque los puntos donde encuentre cambios significativos y enumere los horizontes que haya diferenciado; por lo general, el horizonte superficial presenta un color más oscuro que los horizontes más profundos.
4. De cada horizonte puede registrar características a simple vista como el color, la profundidad efectiva, el espesor de sus horizontes o capas, la presencia de poros, la gravilla, los moteados, las raíces y

Glosario

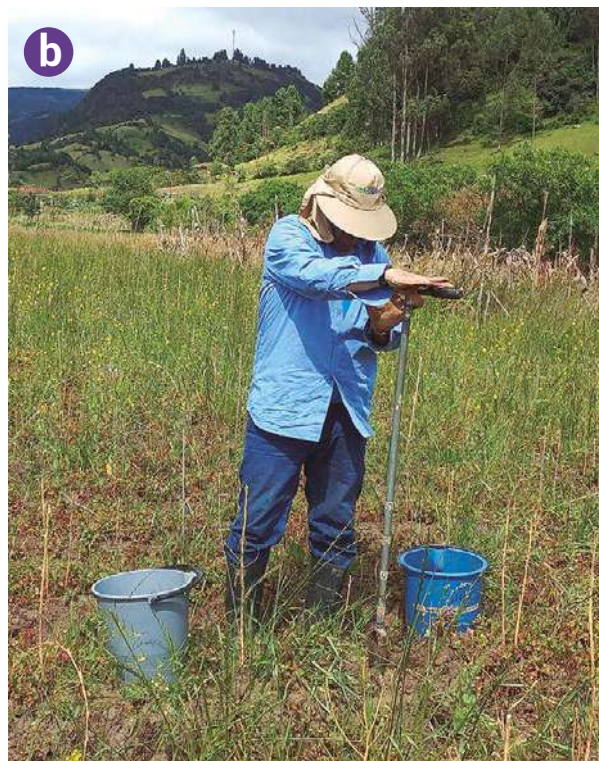
Calicata: se utiliza para describir, en forma detallada y completa, los perfiles representativos de los suelos. Son huecos que tienen dimensiones suficientes para permitir la descripción y el muestreo de todos los horizontes.



las raicillas, así como la actividad de organismos del suelo. A través de pruebas organolépticas y sencillas, es posible evaluar propiedades que influyen en el desarrollo del cultivo, como el pH, la textura y la materia orgánica.

Figura 15. Pasos para la toma de muestras y observación directa del suelo.

a. Construcción de calicata; b. Muestreo con barreno holandés.



Continúa...

Continuación Figura 15. Pasos para la toma de muestras y observación directa del suelo. c. Observación de una pared de la calicata para hacer la evaluación; d. Análisis de los cambios de color, textura o morfología del suelo; e. Observación directa de color, profundidad efectiva y espesor de horizontes, raíces y macroorganismos, drenaje y gravilla.



Fotos: Sebastián Polo, Lina Garavito Morales y Diana Lucía Correa Moreno

También puede realizar estas observaciones con cateos en profundidad con barreno (1,20 m), como complemento a cajuelas o mediante recorridos en el área de cultivo para diagnosticar sitios con condiciones morfológicas o de fertilidad diferentes.

¿Cómo hacer la evaluación cualitativa de las características del suelo?

A continuación, se describen métodos sencillos para hacer la evaluación cualitativa de algunas características que permiten analizar las condiciones edáficas aptas y la calidad del suelo para el cultivo de aguacate Hass en Cauca y que pueden ser aplicadas en otras zonas del país.

¿Cómo reconocer la profundidad efectiva del suelo?

El aguacate Hass requiere suelos profundos que permitan el adecuado desarrollo de raíces de los portainjertos para el anclaje del árbol y la absorción de agua y nutrientes. Se necesitan suelos con una profundidad efectiva igual o superior a 1 m, de los cuales al menos 70 cm son necesarios para el crecimiento de las raíces y 30 cm para el drenaje (Lemus et al., 2005).

Para reconocer esta propiedad en el campo, realice estas acciones:

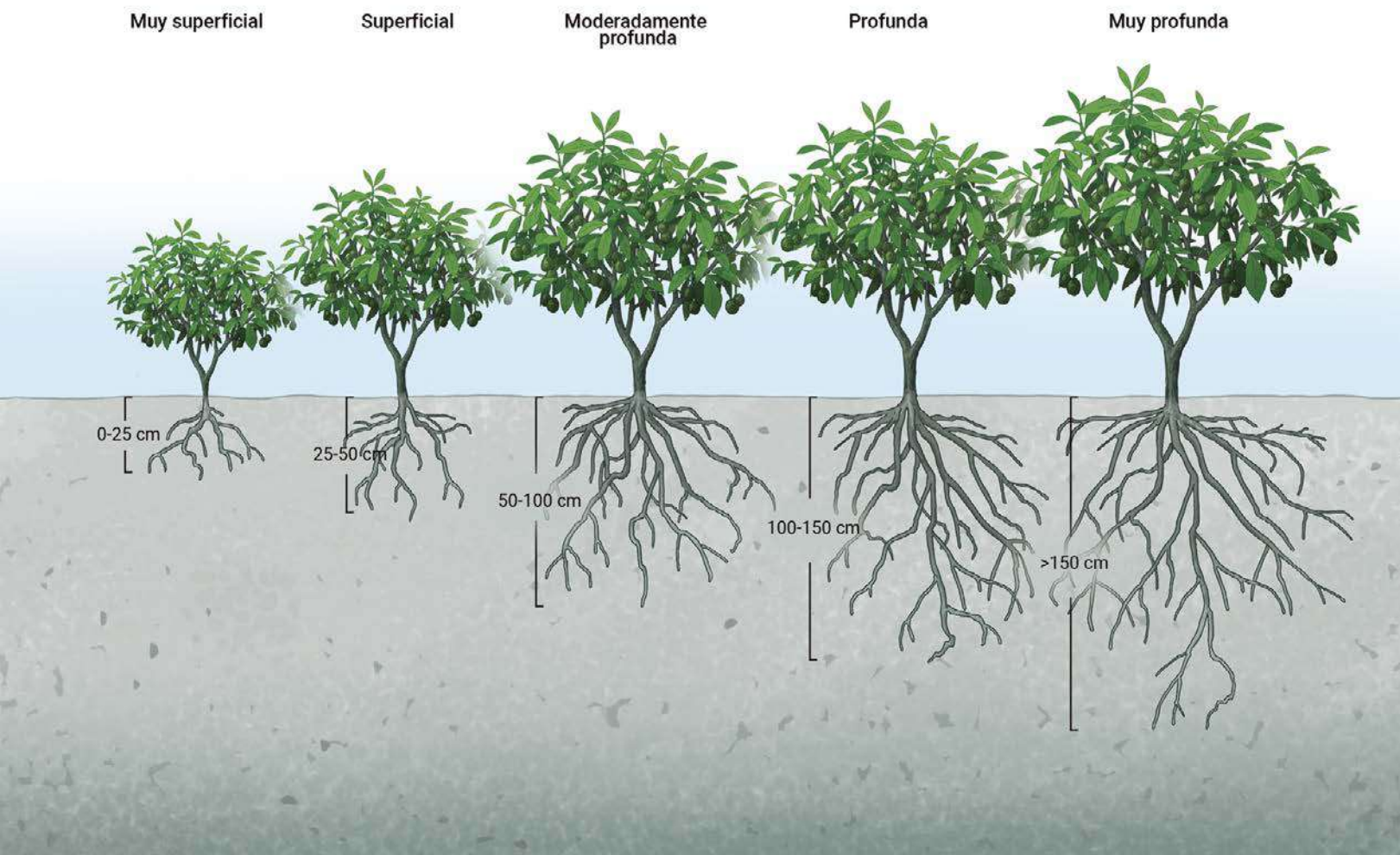
1. Explore el perfil del suelo, al menos hasta una profundidad de 1 m, mediante la observación en calicatas o perforaciones profundas.
2. Identifique cambios en el color del suelo, como tonalidades grises, azules o verdes, que pueden indicar un drenaje deficiente. También



preste atención a cambios en la textura del suelo, la presencia de capas compactas, afloramientos rocosos o material parental, y verifique la proximidad del nivel freático (agua subterránea cercana a la superficie del suelo).

3. Para identificar una capa dura o compacta, puede utilizar un cuchillo para romper la estructura en un horizonte del perfil del suelo o emplear un barreno o una varilla metálica para evaluar la resistencia al penetrar el utensilio a medida que profundiza en el suelo.
4. Observe el desarrollo de raicillas y raíces vivas en el suelo. Estas raíces deben estar ramificadas y presentar abundantes pelos radiculares. Haga un registro si nota un crecimiento horizontal o lateral, lo cual puede ser causado por la resistencia a la penetración vertical debido a la presencia de capas duras o compactas en el suelo. La presencia de pocos pelos absorbentes puede indicar una baja disponibilidad de oxígeno en la zona de raíces (figura 16).
5. Registre la profundidad en la cual se observa la presencia de las limitantes descritas, y de raicillas y raíces vivas (figura 16).

| Figura 16. Clasificación de la profundidad efectiva en suelos para el desarrollo de raíces en el cultivo.



Fuente: Elaboración propia.

¿Cómo se reconoce la pedregosidad o fragmentos de roca en el suelo?

Para reconocer esta característica, siga estos pasos:

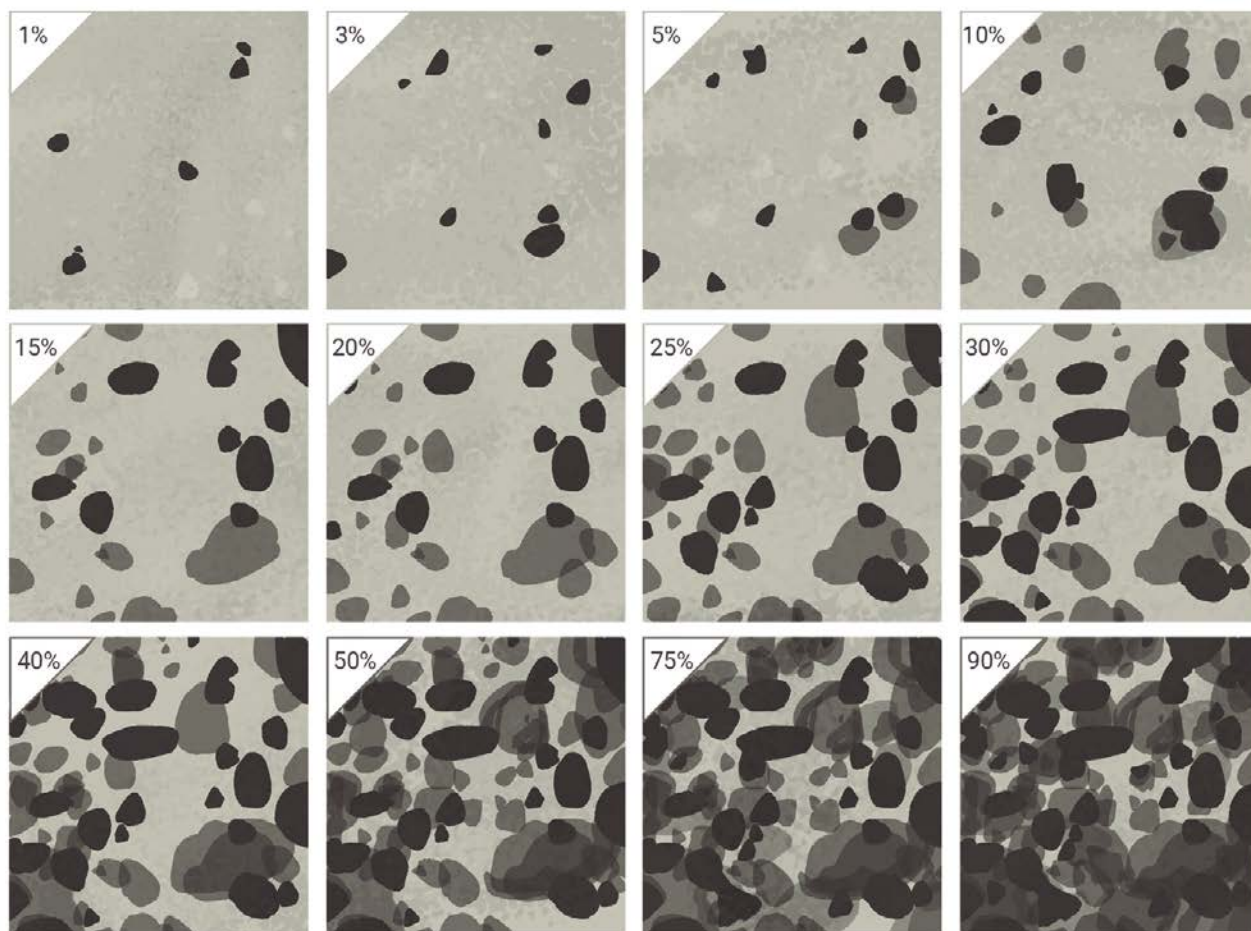
- 1.** Realice cateos en distintos puntos del lote para identificar fragmentos mayores a 2 mm, como piedras, gravas, gravilla o afloramientos rocosos. Se consideran limitantes las fracciones con un tamaño superior a 7,6 cm de diámetro (figura 17).
- 2.** Estime la cobertura o abundancia de los fragmentos rocosos identificados. Para esto se sugiere utilizar la clave elaborada por la FAO, que permite realizar una aproximación de la cobertura de fragmentos rocosos o pedregosidad en la superficie (figura 18).
- 3.** Para estimar el grado de abundancia y cobertura utilice los gráficos de la figura 19 si presenta alguna de las condiciones para cuantificar la pedregosidad a nivel de superficie del lote y en horizontes del perfil del suelo. Una abundancia superior al 15 % en superficie, o más del 35 % en volumen en horizontes del perfil del suelo, puede limitar la superficie útil por unidad de superficie y, en consecuencia, dificultar la utilización de implementos para la preparación del suelo o la realización de hoyados (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2021).

Figura 17. Pedregosidad en los horizontes del suelo.



Foto: Sebastián Polo

Figura 18. Clave para estimar la cobertura de fragmentos gruesos en superficie y en horizontes del suelo.



Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2009).

Figura 19. Guía para determinar el nivel de pedregosidad en superficie y en horizontes de perfil del suelo.

Revise los gráficos y defina el nivel de pedregosidad de su terreno.

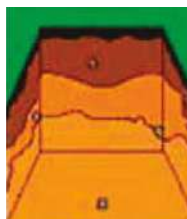
Marque con una X la situación que presente:

Superficie del terreno



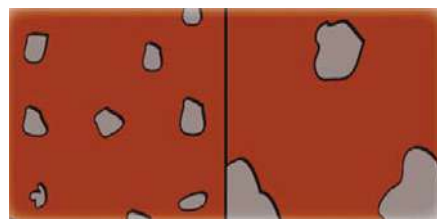
- ☐ Sin piedras
☐ Sin rocas

Perfil y horizontes



- ☐ Sin piedras
☐ Sin rocas

Las piedras o rocas no interfieren con las labores del cultivo o no hay.

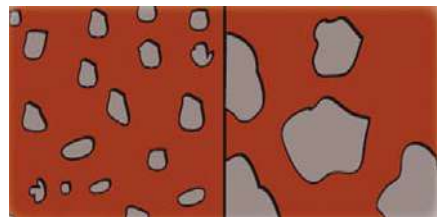


- ☐ Pedregoso
☐ Rocoso

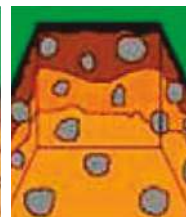
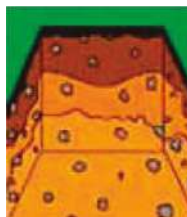


- ☐ Pedregoso
☐ Rocoso

Las piedras o rocas interfieren con las labores del cultivo, pero se pueden usar herramientas manuales.



- ☐ Muy pedregoso
☐ Muy rocoso



- ☐ Muy pedregoso
☐ Muy rocoso

Fuente: Tomado de Cock et al. (2010).

De acuerdo con la evaluación de las condiciones de enraizamiento y capacidad de laboreo del suelo, esta característica puede ser considerada como limitante para el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, en zonas secas o sitios con lluvias intensas, la pedregosidad contribuye a retener el agua en el suelo y a disminuir los efectos erosivos de la lluvia en terrenos muy inclinados.

¿Cómo se reconoce el drenaje natural del suelo?

Esta característica describe el drenaje interno y externo, que indica la rapidez con la cual el agua se mueve dentro del suelo y cómo se escurre sobre la superficie del terreno. Esta condición relaciona la pendiente, la escorrentía y la infiltración, como también la profundidad a la cual se encuentra el nivel freático (Fonseca et al., 2018). Para reconocer esta propiedad en campo, es necesario que tenga en cuenta los siguientes aspectos:

1. Identifique la fuente que ocasiona el exceso de humedad, por ejemplo, zonas de alta pluviosidad, nivel freático alto (cercano a la superficie del suelo) (figura 20) o fuentes hídricas superficiales (lagos, lagunas, ríos, humedales, etc.).

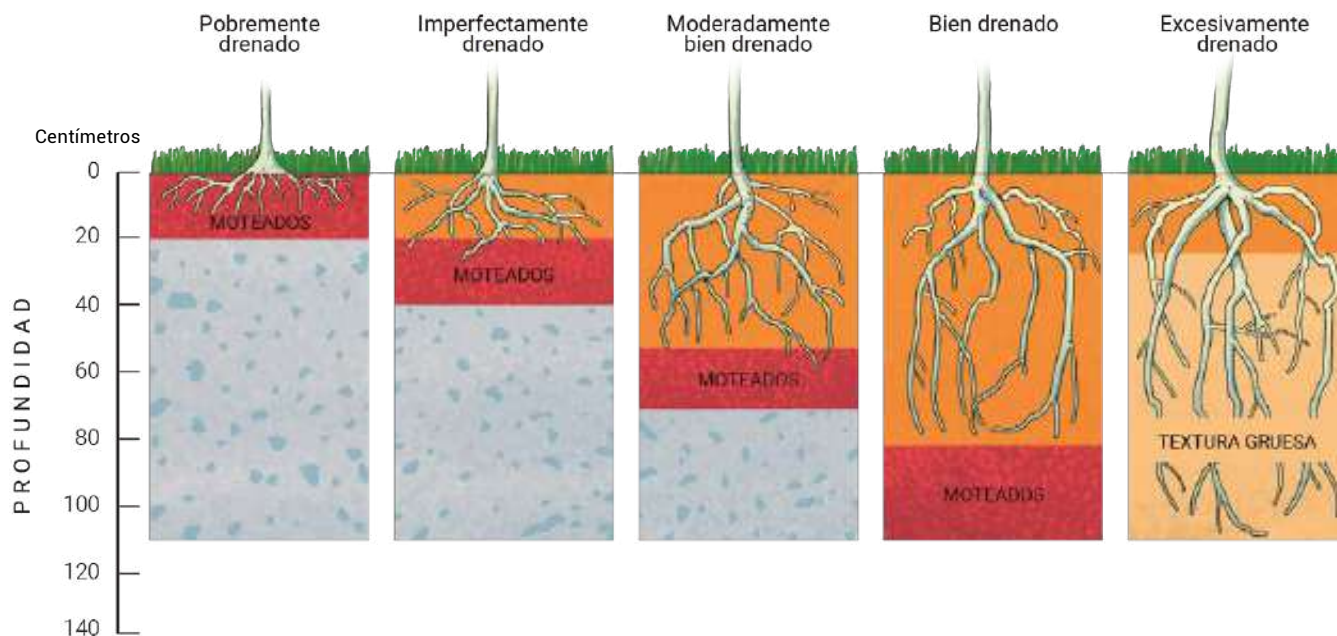
Figura 20. Ejemplo de un suelo con elevado nivel freático.

Foto: Sebastián Polo



2. Establezca la causa del drenaje imperfecto o muy pobre en el suelo, que puede ser: suelos con altos contenidos de arcilla, presencia de capas compactas en el perfil del suelo, ubicación del lote en zonas planas, de baja pendiente o depresiones y malas prácticas de riego y manejo del suelo (figura 21).

Figura 21. Identificación de los niveles de drenaje del cultivo.



Fuente: Elaboración propia con base en IGAC (2021, p. 12).

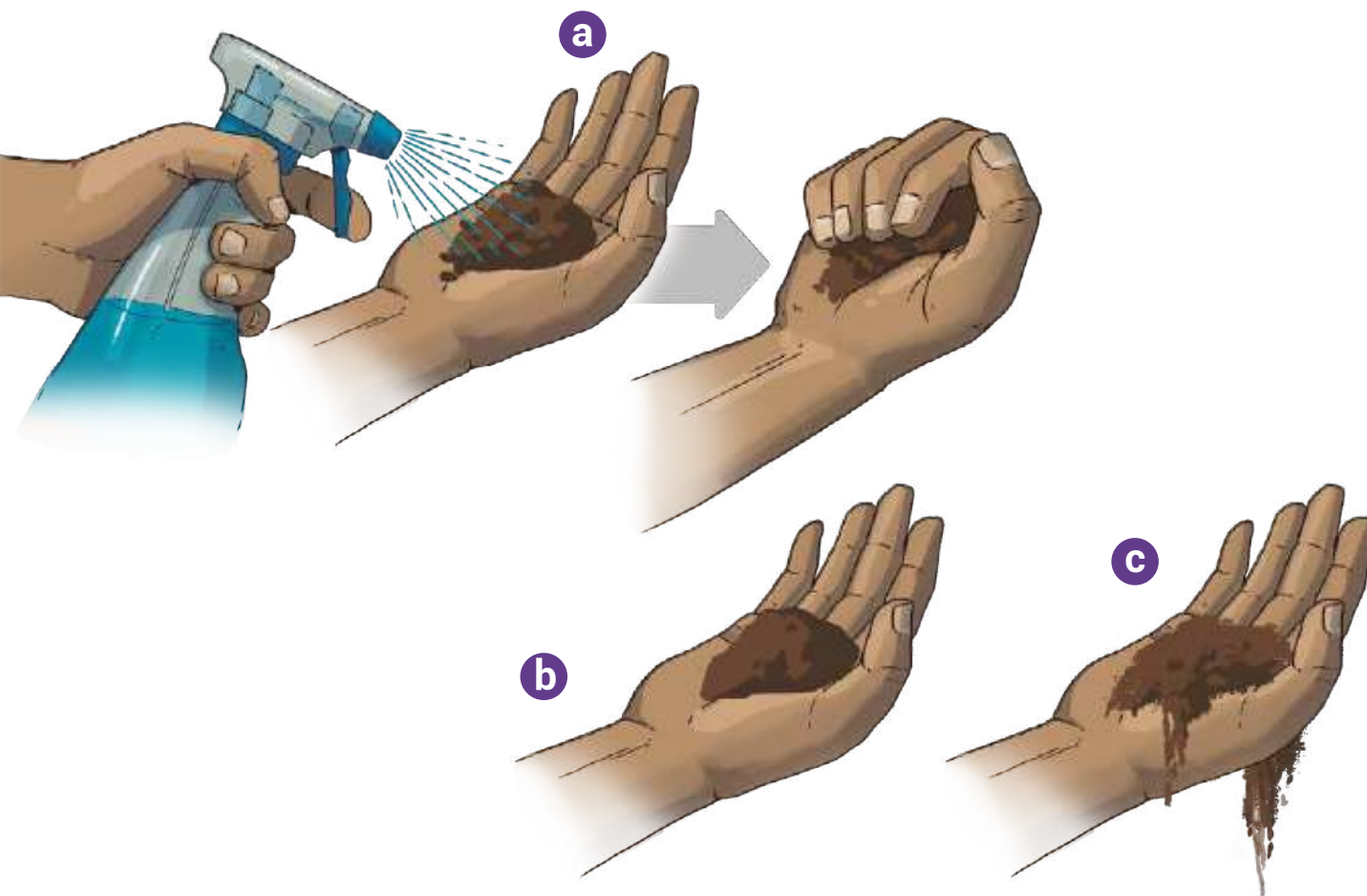
3. Esté atento a moteados y colores grises en el suelo, así como a indicios de que, durante su desarrollo, las raíces puedan presentar atrofiamiento por la presencia de capas o zonas con baja oxigenación. En algunos suelos, la prolongada saturación transforma las formas estables oxidadas de hierro (Fe^{3+}) a su estado móvil reducido (Fe^{2+}). En este estado posee una mayor movilidad dentro y fuera del suelo, lo cual favorece la formación de zonas del suelo grisáceas en suelos arenosos, o azuladas, grisáceas o verdosas (gleizadas) en suelos con mayor contenido de arcillas.

¿Cómo se reconoce la textura en el suelo?

La textura se puede reconocer en campo mediante diferentes métodos sencillos:

1. **Consistencia en húmedo:** tome suelo húmedo, forme una bola y presiónela en la mano (figura 22). Si la bola mantiene su forma, el suelo tiene una textura fina (arcilla). Si la bola se desmorona, la textura es más ligera (con mayor contenido de arena).
2. **Prueba de la bola de barro:** humedezca un puñado de suelo, forme una bola y láncela sobre una superficie plana y lisa (figura 23). Si la bola se desintegra y salpica, la textura es gruesa. Si al chocar con la superficie la bola se pega y no se desmorona, la textura es fina.

Figura 22. Método para determinar la textura del suelo al tacto. a. Preparación del material. b. Textura fina (arcilla); c. Textura ligera (con mayor contenido de arena).



Fuente: Elaboración propia con base en FAO (s. f.).

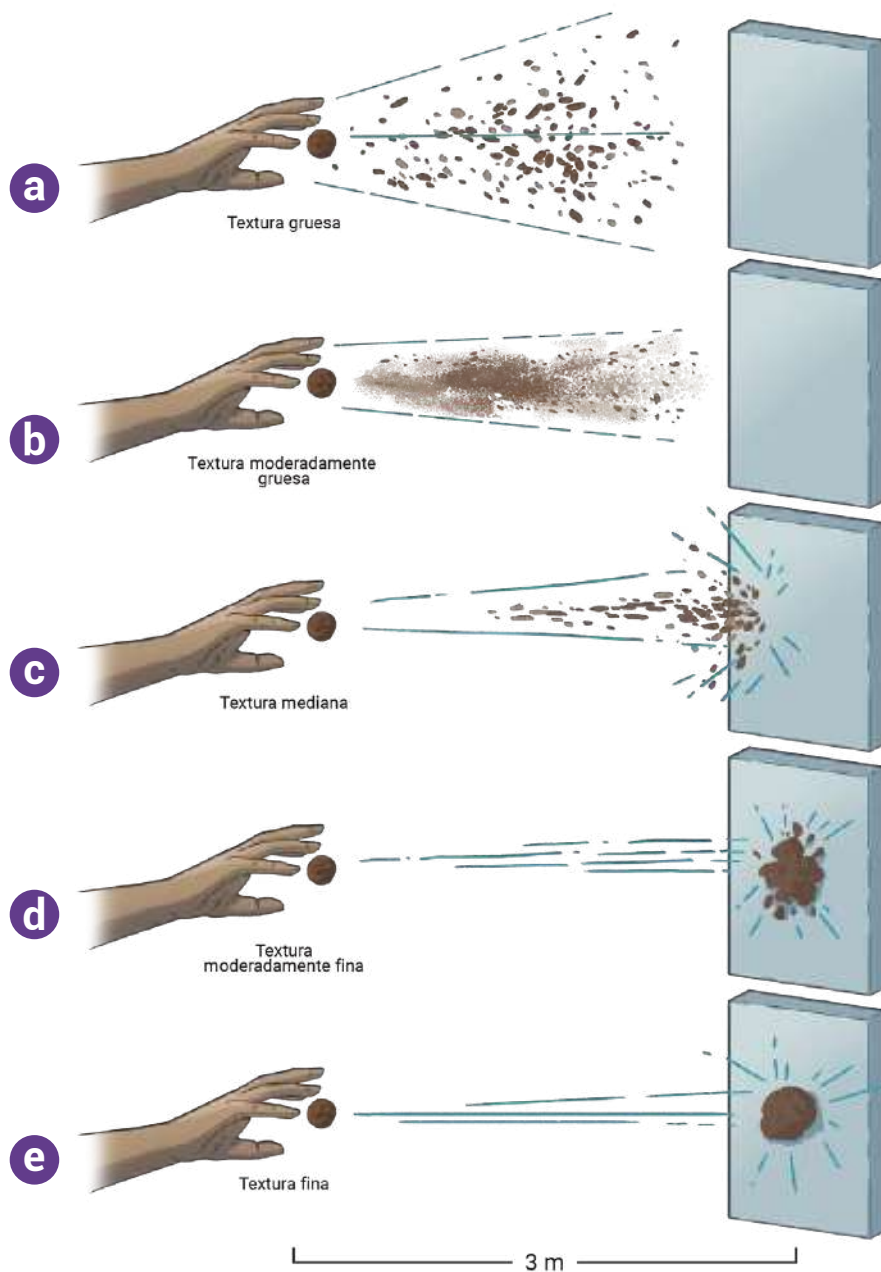


Figura 23. Método para determinar la textura del suelo por su consistencia.

- a.** Textura gruesa;
- b.** Textura moderadamente gruesa;
- c.** Textura mediana;
- d.** Textura moderadamente fina;
- e.** Textura fina.

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (s. f.).

3. **Método mediante elaboración de figuras con suelo:** este método permite determinar las clases texturales con base en la plasticidad y pegajosidad del suelo, según la predominancia de partículas de limo, arcilla y arena. Para realizar esta determinación, siga los siguientes pasos (figura 24):

| **Figura 24.** Determinación de textura del suelo al tacto mediante elaboración de figuras.



- a** Tome una porción de suelo y desmenúcelo hasta obtener una consistencia fina.



- b** Humedezca ligeramente la porción de suelo sostenida en la mano hasta que las partículas comiencen a unirse, sin que se adhieran a la mano.



- c** Amase el suelo para que se forme una bola con un diámetro de aproximadamente 3 cm.

Continúa...

Continuación Figura 22. Método para determinar la textura del suelo al tacto.



- d** Deje caer la bola: si se desmorona, es suelo arenoso; en caso contrario, continúe con el siguiente paso.



- e** Amase la bola para darle forma de cilindro con una longitud de 6-7 cm: si no mantiene la forma, es suelo franco arenoso; de lo contrario, continúe con el siguiente paso.



- f** Continúe amasando el cilindro hasta alcanzar una longitud de 15-16 cm: si no mantiene la forma, es suelo franco arcilloso; en caso contrario, avance al siguiente paso.



- g** Doble el cilindro para formar un semicírculo: si no puede doblarse, es suelo franco arcilloso; si se mantiene la forma, continúe con el siguiente paso.



- h** Continúe doblando el cilindro hasta que forme un círculo cerrado.



- i** Si no puede formar un círculo cerrado, es suelo franco arcilloso; si se forman grietas en el cilindro, es suelo arcillo limoso; si el cilindro no presenta grietas, es suelo arcilloso.

Fuente: Elaboración propia con base en INATEC (2016).

¿Cómo se reconoce la disponibilidad de nutrientes en el suelo?

Mediante pruebas sencillas en campo, puede estimar variables como la reacción del suelo (pH) y el contenido de materia orgánica. Estas pruebas permiten realizar una evaluación cualitativa de la fertilidad del suelo e inferir la disponibilidad de algunos nutrientes para el cultivo. Sin embargo, es importante destacar que estas pruebas son descriptivas y no pueden reemplazar los análisis químicos de laboratorio, que son necesarios para cuantificar con precisión el nivel de nutrientes disponibles para la planta y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo.

Para determinar el pH, puede emplear un método con papel tornasol o cintas indicadoras de nivel 0-14 siguiendo estos pasos:

1. Limpie el sitio donde tomará la muestra eliminando cualquier material vegetal presente.
2. Luego, recoja una muestra de suelo con una espátula o una pequeña pala separando los agregados y eliminando raíces y restos de vegetación.
3. Ponga la muestra pulverizada en un recipiente o vaso desechable y agregue agua destilada o embotellada en la misma proporción. Mezcle durante un minuto para obtener una solución homogénea (figura 25a).
4. A continuación, tome una tira de papel indicador de pH (0 - 14) y súmerjalo en la solución de suelo asegurándose de que solo la primera fracción del papel entre en contacto con la solución. Espere durante dos minutos para que el papel se humedezca completamente y el color se estabilice (figura 25b).



5. Deje que el papel se seque al aire y luego compare el color resultante con la escala que se muestra en la caja del papel indicador. El color proporcionará una estimación del pH del suelo en una escala que indica si es ácido (1-5), neutro (6-7) o alcalino (> 7) (figura 25c).

Figura 25. Pasos para determinar el pH en el suelo. a. Mezcla de agua destilada con la muestra pulverizada; b. Inmersión de la cinta indicadora en la mezcla; c. Determinación del pH del suelo mediante método cinta indicadora (0 – 14).



Foto: Lina Garavito Morales

¿Cómo se reconoce la materia orgánica en el suelo?

En campo, es posible identificar un suelo con altos niveles de materia orgánica (MO) observando el color oscuro, que generalmente se presenta en la capa superficial o el primer horizonte del perfil. También existen pruebas cualitativas, como el uso de agua oxigenada o peróxido de hidrógeno, que permiten una estimación aproximada de la materia orgánica contenida en suelo a través de la oxidación del humus presente. Para llevar a cabo esta prueba, siga estos pasos (figura 26):

- 1.** Ponga una pequeña porción de suelo en un recipiente o vaso desechable.
- 2.** Agregue gotas de agua oxigenada al 30 % hasta que la muestra de suelo esté completamente humedecida evitando encharcarla.
- 3.** Observe la reacción que se genera en forma de burbujas en la superficie del suelo o escuchando el ruido del burbujeo. La intensidad de estas señales puede variar según el contenido de materia orgánica presente:
 - a.** Si la mezcla produce abundantes burbujas y espuma, se considera que el suelo es rico en materia orgánica.
 - b.** Si la reacción es moderada y genera una cantidad menor de burbujas, se concluye que el nivel de materia orgánica en el suelo es medio.
 - c.** Si la reacción genera pocas burbujas o ninguna, se considera que el suelo posee un bajo contenido de materia orgánica.



Figura 26. Determinación de materia orgánica del suelo mediante método de peróxido de hidrógeno. a. Toma de la muestra; b. Adición de agua oxigenada o peróxido de hidrógeno.



Foto: Lina Garavito Morales

Evaluación cuantitativa

Como parte de las prácticas de manejo sostenible de los suelos destinados a la producción de aguacate Hass, es crucial llevar a cabo un reconocimiento preciso de las características físicas, químicas y biológicas que influyen en la calidad y salud del suelo, y, en última instancia, en su aptitud para el cultivo.

Existen diversas condiciones que indican la necesidad de realizar evaluaciones cuantitativas de los suelos, como son los problemas de fertilidad, la degradación de las condiciones físicas, como la pérdida de estabilidad

estructural, la disminución en la capacidad de infiltración o la compactación del suelo, así como la sospecha de problemas relacionados con la toxicidad por aluminio, salinidad, contaminación y otros factores. Por lo tanto, se considera fundamental que el análisis de laboratorio sea un complemento indispensable de la observación cualitativa del suelo (FAO & MADS, 2018).

Dependiendo del enfoque requerido, los análisis de suelos proporcionan información sobre el contenido de elementos, procesos biogeoquímicos, actividad de organismos y comportamiento de características mecánicas e hidráulicas del suelo. A continuación, se describen procedimientos para llevar a cabo el muestreo de suelos en función de las propiedades que se van a identificar.

Muestreo para análisis de propiedades físicas

Las propiedades físicas que pueden utilizarse como indicadores de calidad del suelo son las que permiten relacionar la interacción del suelo con el agua, su capacidad para retenerla y ponerla a disposición de las plantas, así como las posibles restricciones que puedan surgir en el crecimiento de las raíces y el desarrollo de las plántulas. Estas propiedades están vinculadas a la disposición de partículas y poros en el suelo.

Además de la evaluación en campo de propiedades físicas como la estructura y la profundidad efectiva del suelo, es posible realizar análisis de laboratorio para determinar la textura, la densidad aparente, la capacidad de retención de humedad a diferentes tensiones y la conductividad



hidráulica saturada. Estos datos proporcionan información relevante sobre la porosidad, la capacidad de almacenamiento y el movimiento del agua en el suelo (Avellaneda, 2008; Bautista et al., 2004) (figura 27).

Figura 27. Muestreo para análisis de propiedades físicas y procesamiento en laboratorio. a. Uso de cilindros para estimación de densidad aparente, retención de humedad y conductividad hidráulica; b. Método de picnómetro para determinar la densidad real; c y d. Muestras disturbadas para análisis de textura por Bouyoucos.



Fotos: Harold Rodríguez, Luis Carlos Grajales y Diana Lucía Correa

Dependiendo del tipo de variable que se vaya a analizar, se pueden utilizar muestras disturbadas o alteradas colectadas mediante barrenos, palas o palines para determinar el tipo de textura, la distribución de partículas del suelo y la densidad real. También se pueden tomar muestras inalteradas o sin disturbar. Estas muestras se recolectan utilizando cilindros de volumen conocido o palas pequeñas para obtener bloques de suelo que se utilizarán para hacer análisis específicos relacionados con el almacenamiento y el movimiento de agua, el espacio poroso disponible para las raíces de las plantas y la estabilidad de los agregados en las capas superficiales del suelo (figura 28).

Figura 28. Herramientas y elementos utilizados para tomar muestras de suelos. a y b. Barreno.



Continúa...

Continuación Figura 28. Herramientas y elementos utilizados para tomar muestras de suelos.
c. Martillo; d. Cilindro ; e. Balde con muestras.



Fotos: Diana Lucia Correa Moreno

¿Cómo tomar una muestra sin disturbar?

Una muestra sin disturbar es aquella en la que el suelo es recolectado tal como se encuentra en el sitio y, por ende, aquella en la que se conserva la estructura y el volumen poroso del suelo. Dado que el objetivo de las evaluaciones para las cuales se requiere este tipo de muestras es establecer la capacidad de acumulación y movimiento de agua y aire en el suelo, así como el grado de compactación, la estabilidad de los agregados y la susceptibilidad a la degradación física o a los procesos de erosión, es necesario tener un cuidado especial al recolectarlas para minimizar cualquier alteración de sus características.

En este caso, no se realiza un muestreo compuesto, que implica la recolección de suelos en varios puntos para combinar las muestras. Por lo tanto, se deben seleccionar de 1 a 3 sitios que sean homogéneos y representativos en el área de cultivo de acuerdo con las condiciones del suelo y la pendiente del terreno. Para tomar adecuadamente este tipo de muestras, se recomienda seguir estos pasos:

1. Una vez elegido el lugar de muestreo, prepare una cajuela de 50 cm x 50 cm que permita hacer una recolección escalonada de muestras a varias profundidades (figura 29a). En el caso de especies arbóreas como el aguacate Hass, se sugiere tomar muestras a dos profundidades, entre 0 cm y 20 cm y entre 20 cm y 40 cm, si es necesario para el análisis de humedad con fines de planificación de riego.
2. A cada profundidad, se debe introducir un cilindro o anillo de acero o PVC con un diámetro de 5 cm y una altura de 5 cm, teniendo cuidado de no aplicar presión ni compactar el suelo (figura 29b). Se puede usar un barreno *up-land* o un martillo de goma, y se debe



utilizar un soporte para amortiguar el impacto sobre el cilindro. Se recomienda usar un cilindro por profundidad para las determinaciones de humedad, conductividad hidráulica y densidad aparente en el laboratorio. Si es posible, se debe conservar una contramuestra en caso de pérdida o deterioro de la muestra durante el transporte al laboratorio.

3. Retire lentamente el cilindro del suelo (figura 29c). Si utiliza barreno *up-land*, debe desenroscar y retirar el anillo. En situaciones donde no se usó un barreno, se puede emplear un cuchillo o una pala pequeña para excavar alrededor del cilindro y liberarlo del suelo.
4. Limpie la superficie del cilindro y proteja los extremos con las tapas del anillo o con papel aluminio para conservar la muestra y evitar su deterioro durante el transporte (figura 29d).
5. Etiquete y marque claramente cada cilindro con el nombre de la finca y la profundidad a la que tomó la muestra. Posteriormente, envíe al laboratorio correspondiente (figura 29e).



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno

Figura 29. Procedimiento para tomar muestras sin disturbar. a. Elaboración de cajuela escalonada según profundidad para la toma de muestras; b. Uso de dispositivo para introducir cilindro en el suelo; c. Toma de muestras en cada profundidad; d. Limpieza de suelo adicional adherido al cilindro; e. Rotulación y empaque de muestras inalteradas en cilindro.



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno



Muestreo para análisis de propiedades químicas

Los indicadores químicos describen las condiciones que influyen en la interacción suelo-planta, el contenido de nutrientes, la calidad del agua, su disponibilidad y capacidad amortiguadora y la actividad de los microorganismos (Soil Quality Institute [SQI], 1996). En este sentido, se puede definir como indicadores el contenido de nutrientes, carbono orgánico, pH, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total, nitrógeno y fósforo disponible, salinidad y sodicidad (Avellaneda, 2008; Bautista et al., 2004).

Para conocer la calidad del suelo y definir los planes de fertilización del suelo mediante la evaluación de propiedades químicas, el método más sencillo es tomar muestras disturbadas compuestas de suelos en el cultivo (figura 30). Para esto, se recomienda seguir estos pasos:

1. Identifique zonas homogéneas en el área de cultivo o predio. Esto se logra detectando cambios abruptos en las características físicas y químicas del suelo, que pueden ser evidentes a través del color predominante, la textura y el tipo de relieve, ya sea plano, ondulado o inclinado.
2. Realice un recorrido por el terreno y áreas similares siguiendo una trayectoria que permita obtener una muestra representativa del lote, evitando áreas intervenidas como edificaciones, cercados, zonas de inundación, caminos y depósitos de basura o residuos. Puede hacer el recorrido en zigzag, en equis, en zeta o en cuadrículas. Para lotes



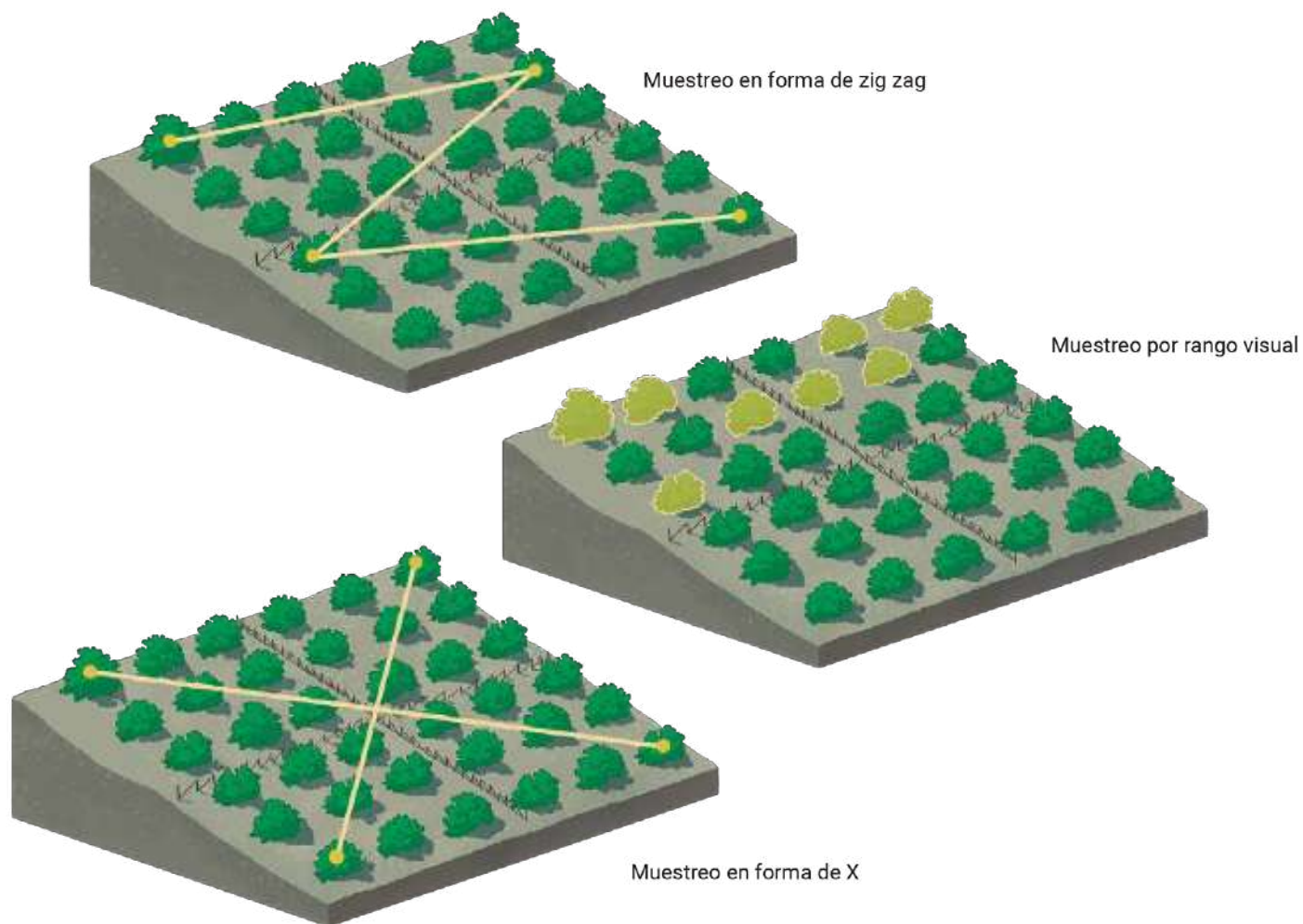
- pequeños, el muestreo en equis puede proporcionar representatividad, mientras que en áreas grandes o zonas de ladera se recomienda el muestreo en zigzag.
3. Durante el recorrido, recoja entre 15 y 20 submuestras de suelo a una profundidad de 20 cm o 30 cm utilizando una pala o un barreno holandés (tabla 2). Para estudios más detallados del contenido de materia orgánica y carbono, que son indicadores de mineralización y acumulación de carbono en el suelo, se sugiere utilizar una profundidad de 0 cm a 10 cm, ya que en esta capa se concentra la mayor actividad biológica del suelo.
 4. Deposite cada submuestra recolectada en un balde y posteriormente mézclelas para obtener una muestra compuesta que será enviada al laboratorio.

Tabla 2. Guía para toma de muestra con pala y barrenador holandés.

Muestreo con pala	Muestreo con barreno holandés
1. Limpie el terreno quitando la capa vegetal con un azadón o una pala limpia y haga un hoyo en el suelo de acuerdo con la profundidad escogida.	1. Entierre el barreno hasta 5 cm en la superficie con el objetivo de retirar la capa vegetal.
2. Tome de la pared del hoyo la muestra con la pala y elimine los bordes para evitar contaminación en la muestra.	2. Vuelva a enterrar el barreno para tomar la submuestra a la profundidad deseada (0 cm - 20 cm es el tope de la cabeza del barreno).
3. Ponga la muestra en un recipiente limpio (balde) y mezcle todas las submuestras.	3. Saque la muestra y deposítela en un balde limpio.

Fuente: Elaboración propia.

| Figura 30. Guía para la toma de muestras disturbadas en el cultivo.



Fuente: Elaboración propia.

Muestreo para análisis de propiedades biológicas

Los indicadores biológicos abarcan una amplia gama de factores que influyen en la calidad del suelo, por ejemplo, la cantidad, variedad y derivados de microorganismos y macroorganismos como bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos; así como la abundancia de raíces.

Algunos de estos indicadores, como la macrofauna, pueden evaluarse de manera sencilla mediante observación directa en el campo. Sin embargo, para medir factores más específicos, como la tasa de respiración, la velocidad de descomposición de los residuos vegetales, la concentración de nitrógeno y carbono en la biomasa microbiana y la actividad enzimática, que proporcionan información valiosa sobre el estado biológico del suelo en agroecosistemas y ecosistemas estratégicos, se requieren análisis bioquímicos especializados que se realizan en laboratorio (Avelaneda, 2008; SQI, 1996).

En este caso, es fundamental que tome muestras compuestas de suelos a una profundidad de 0 cm a 10 cm mediante un muestreo sistemático en sitios de interés para el análisis, así como conservar la muestra en refrigeración tan pronto sea colectada, si el objetivo es evaluar la actividad microbiana.

A continuación, se describe una metodología para estimar, por un lado, la macrofauna del suelo como indicador de su calidad y salud, y, por otro, su contribución al proceso de descomposición de materia orgánica y ciclaje de nutrientes.

Metodología de evaluación visual de suelos

La determinación de la macrofauna se puede realizar a simple vista, utilizando la metodología de evaluación visual (EVS), para la cual se



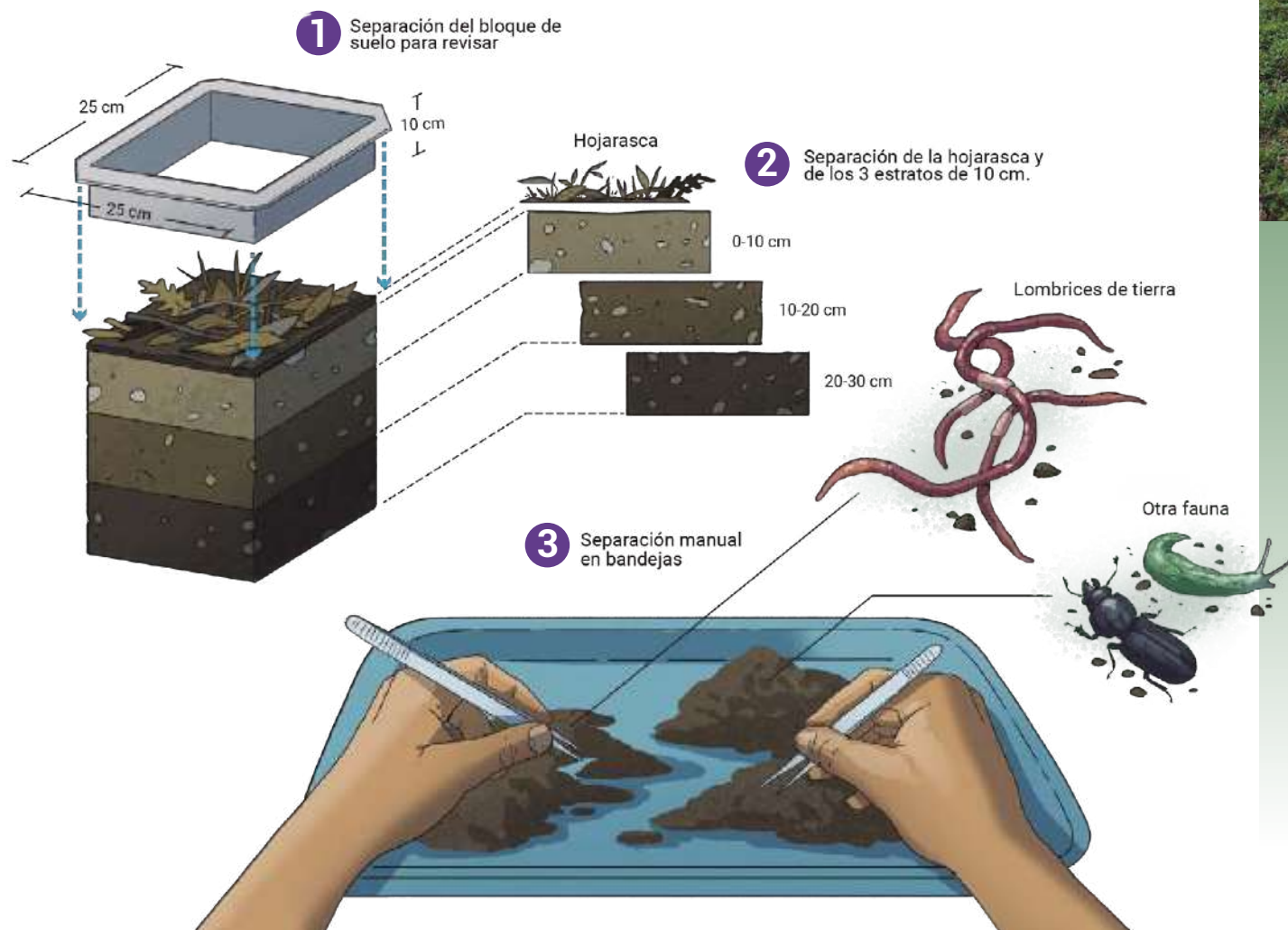
cuantifican organismos como lombrices e insectos en los primeros 30 cm del perfil del suelo y se asignan valores según el número de individuos encontrados (Mendoza & Espinoza, 2017).

La metodología del Programa Tropical Soil Biology and Fertility [TBSF] consiste en estimar el número de individuos por metro cuadrado y comprende la colecta de micromonolitos de 25 cm x 25 cm con una profundidad de hasta 30 cm. Esto se realiza para contar a los individuos y determinar la diversidad presente en cada capa del suelo, ya sea en condiciones de campo o en el laboratorio (Anderson & Ingram, 1993; CIAT & TSBF, 2011; Ruiz et al., 2008) (figura 31). Una vez haya tomado la muestra, evalúe el número de individuos de acuerdo con los siguientes indicadores:

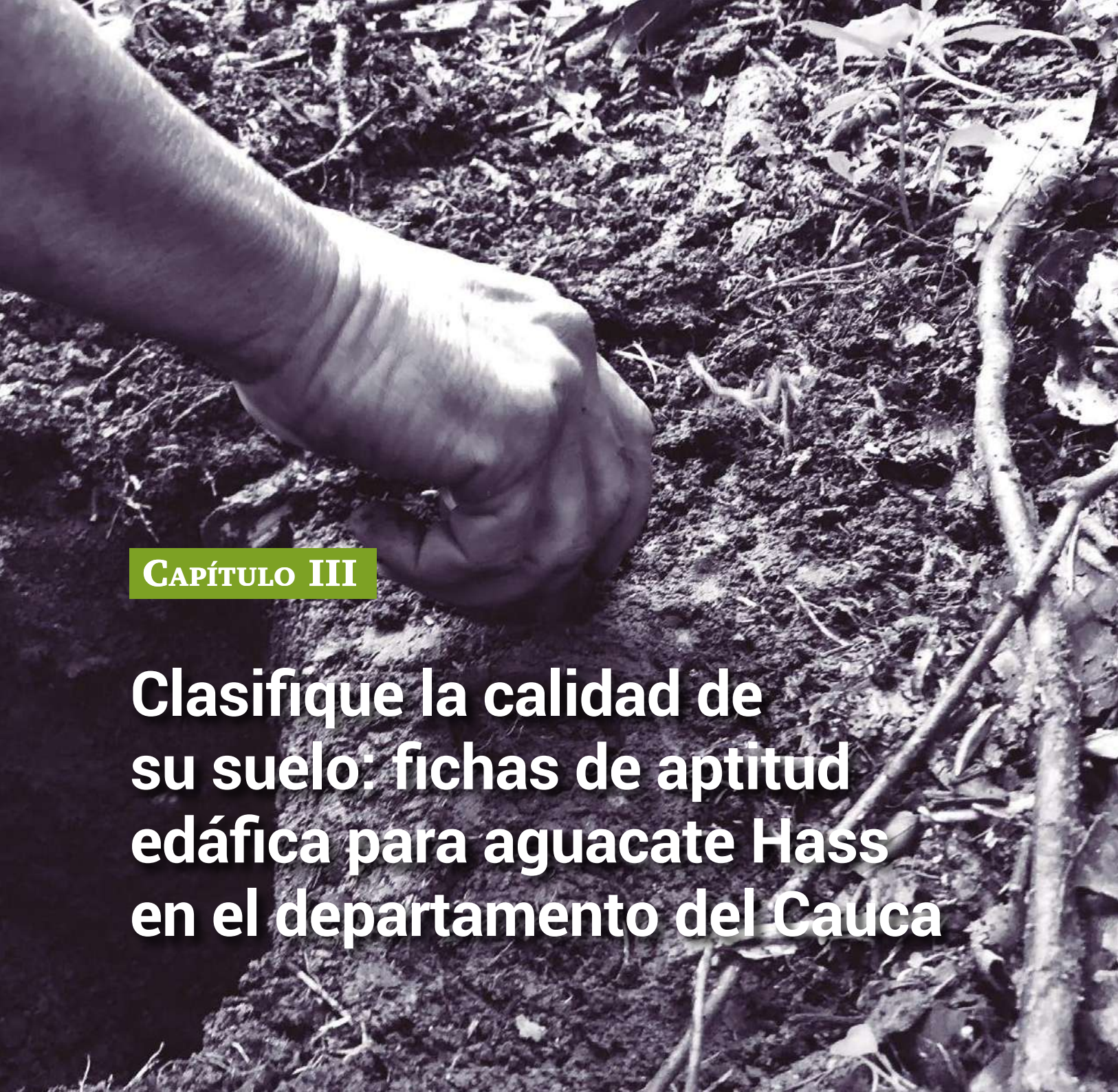
- **Buena condición (CV= 2):** más de ocho lombrices de tierra en el cubo de suelo de 25 cm x 25 cm x 10 cm.
- **Condición moderada (CV =1):** de 4 a 8 lombrices de tierra en el cubo del suelo de 25 cm x 25 cm x 10 cm.
- **Condición pobre (CV = 0):** menos de cuatro lombrices de tierra en el cubo de suelo de 25 cm x 25 cm x 10 cm.

Específicamente, los análisis bioquímicos del suelo engloban factores como la tasa de respiración, la tasa de descomposición de residuos vegetales, la concentración de nitrógeno (N) y carbono (C) en la biomasa microbiana (SQI, 1996) y la actividad enzimática (Avellaneda, 2008). Para realizar este tipo de análisis, se requieren técnicas especializadas que involucran la dilución del suelo y pruebas de incubación, que generalmente se llevan a cabo en contextos de investigación. Las muestras de suelo se obtienen mediante un muestreo sistemático, siguiendo un recorrido en zigzag o en equis, a una o dos profundidades. Para finalizar, tenga en cuenta que la función de los organismos del suelo es más significativa en los primeros 10 cm de profundidad. 🌱

Figura 31. Metodología para cuantificar la macrofauna TSBF.



Fuente: Elaboración propia con base en Huerta et al. (2010).

A close-up photograph of a person's hand digging into dark, rich soil. The hand is positioned on the left side of the frame, with fingers curled as if pulling or turning the earth. The soil is dark brown and appears moist, with some small roots and organic matter visible. The background is slightly out of focus, showing more soil and some dry leaves or twigs.

CAPÍTULO III

**Clasifique la calidad de
su suelo: fichas de aptitud
edáfica para aguacate Hass
en el departamento del Cauca**

La ficha de aptitud edáfica es un formato para facilitar la evaluación de la aptitud de un tipo de suelo en un lugar específico. Esta evaluación se basa en las variables que se describieron en los capítulos anteriores y tiene como objetivo identificar suelos aptos para el cultivo de aguacate Hass.

En esta sección, se presentan siete fichas de aptitud correspondientes a los principales tipos de suelos que se encuentran en los municipios productores de aguacate Hass en Cauca (tabla 3).

En esta sección, se presentan siete fichas de aptitud correspondientes a los principales tipos de suelos que se encuentran en los municipios productores de aguacate Hass en Cauca.



Tabla 3. Descripción de las unidades de caracterización de suelos del grupo de suelos aptos y no aptos para el cultivo de aguacate Hass

Aptitud	Unidad de caracterización de suelos	Paisaje	Relieve	Forma del terreno	Material parental	Clima
Apto	LCCi-m	Lomerío	Colinas	Cimas y laderas	Rocas ígneas	Medio húmedo
Apto	MFLi-f	Montaña	Filas y vigas	Laderas	Rocas ígneas	Medio húmedo
Apto	LLEs-m	Lomerío	Lomas	Escarpe	Rocas sedimentarias	Medio húmedo
Apto	ACCi-m	Altiplanicie	Colinas	Cimas y laderas	Rocas ígneas	Medio húmedo
No apto	AVVd-m	Altiplanicie	Vallecito	Vega	Depósitos aluviales	Medio húmedo
No apto	ACBd-m	Altiplanicie	Cañada	Bajo	Depósitos orgánicos aluviales	Medio húmedo

Fuente: Elaboración propia.

Estas fichas están diseñadas para ser consultadas y utilizadas por productores y asistentes técnicos. La información se basa en la descripción de los tipos de suelos utilizados para identificar zonas aptas para el cultivo en una escala de 1:25.000 y se proporcionan rangos de aptitud específicos para las condiciones del departamento. Las fichas están disponibles en las tablas 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.

Esta información de carácter descriptivo tiene como objetivo instruir al lector sobre las condiciones específicas de los suelos que cumplen con los requerimientos del cultivo. Aunque constituye un apoyo para la toma de decisiones sobre la ubicación de nuevas áreas de siembra, en ningún momento reemplaza información más detallada sobre el análisis de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, necesarios para estimar el manejo agronómico.



¿Cómo leer las fichas de aptitud edáfica?

¿Qué información contienen?

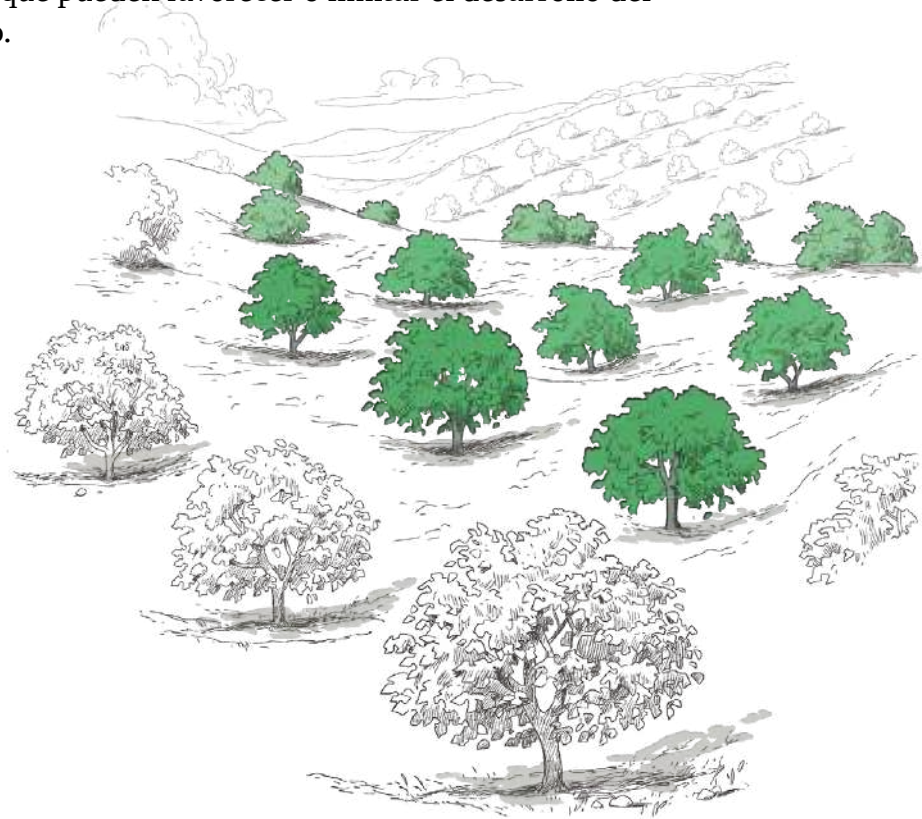
En cada ficha se encuentra la ubicación del perfil de referencia, el orden al que pertenece y su clasificación taxonómica. En cada perfil se detallan criterios de aptitud climática y edáfica que se evaluaron utilizando 17 variables junto con sus respectivos valores de referencia. Estos criterios se utilizan para asignar un rango de aptitud (alta, media o baja) en función de los requisitos edafoclimáticos del cultivo.

Los valores de referencia se obtuvieron a partir de los resultados de análisis químicos, físicos y biológicos de suelos en laboratorio y del trabajo de campo realizado en la caracterización edafoclimática a escala 1:25.000 para aguacate Hass en Cauca.

¿Cómo utilizar la ficha de aptitud edáfica?

La ficha de aptitud edáfica contiene información que puede ser utilizada por el lector para comparar las condiciones presentes en un predio con las que se describen en los perfiles de suelos analizados en trabajo de campo y laboratorio (figura 32). Para hacer uso de estas fichas, se sugiere que siga estos pasos:

1. Compare si el terreno y los suelos que aparecen en las fotos de las fichas se asemejan a los de su predio. Si existe similitud, se puede emplear la información de aptitud de la ficha para comprender las características clave que pueden favorecer o limitar el desarrollo del cultivo en su terreno.



2. Verifique la ubicación, altitud y condiciones climáticas de su predio, y compárelas con las del perfil de suelo en la ficha.
3. Si cuenta con resultados de análisis de suelos de su propio terreno, compare las características de su suelo con las que se describen en el perfil seleccionado en la ficha.
4. Observe la calificación de aptitud asignada a cada valor de las variables en las columnas de los criterios descritos. Los rangos de aptitud definidos, de acuerdo con los requerimientos del cultivo, son los siguientes:
 - Aptitud alta (óptimo) (A1).
 - Aptitud media o moderada (A2).
 - Aptitud marginal o baja (A3).
 - No apta (N1).

Esto le permitirá evaluar la idoneidad de su terreno para el cultivo de aguacate Hass.



Información complementaria

Para ampliar esta información consulte Guía de campo ilustrada: *Suelos en zonas aptas para aguacate Hass en el departamento del Cauca*.

Enlace al documento:

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7406740>



También puede consultar el video *Zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca*

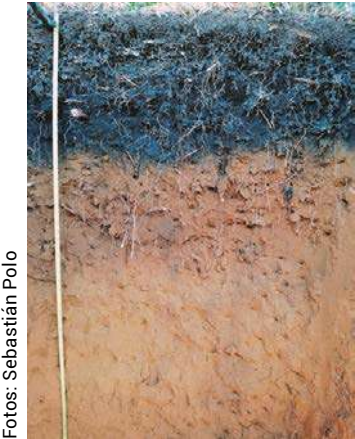


Enlace al documento:

https://www.youtube.com/watch?v=jXsS_YUd5KQ

Figura 32. Componentes y pasos para utilizar la ficha de aptitud edáfica para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca.

1 Compare si el terreno y suelos de las fotos son similares a los de su finca: si la respuesta es sí, puede tomar la información como base.



Fotos: Sebastián Polo

Perfil: SP-09			Ubicación: El Tambo, Cauca			Unidad de caracterización de suelos: LLEs-m				
Orden: Andisol			Taxonomía: Acrudoxic Melanudands			Unidad de caracterización de suelos: LLEs-m				
Descripción: Suelos paisaje de lomerío, tipo de relieve en lomas, forma del terreno en escarpe,			material parental rocas sedimentarias, en clima medio							
Variables			Criterios							
Variable	Unidad	Valor	Aptitud climática	Aptitud edáfica						
			Condiciones climáticas	Capacidad de laboreo	Condiciones de enraizamiento	Disponibilidad de humedad	Disponibilidad de oxígeno	Disponibilidad de nutrientes	Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Susceptibilidad a la pérdida de suelos
Altitud	m s. n. m.	1.865	Mediciones							
Temperatura media	°C / anual	20								
Precipitación total	mm / año	2.000								
Pendiente	%	12 - 25								
Textura	Cualitativo	Franco limosa	Descripción del sitio							
Pedregosidad	Cualitativo	Sin pedregosidad								
Profundidad efectiva	cm	50 - 100								
Régimen de humedad	Cualitativo	Údico								
Susceptibilidad a inundaciones	Cualitativo	No hay	Resultados de análisis químico							
Drenaje natural	Cualitativo	Bien drenado								
Acidez	pH	5,2								
Saturación de bases	%	2,65								
Carbono orgánico	%	10,55	Descripción del sitio de muestreo							
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+) / kg suelo	57,37								
Saturación de aluminio	%	46,27								
Erosión actual	Cualitativo	No hay								
Susceptibilidad a movimientos en masa	Cualitativo	No hay								

3 Si dispone de información, verifique si las características de su suelo son similares a estas.

Media
Baja
Alta

4 Observe la valoración de aptitud que se le ha dado a cada valor de variable

2 Verifique si la ubicación, altitud y clima se asemejan a la de su predio

3 Si dispone de información, verifique si las características de su suelo son similares a estas.

Media
Baja
Alta

4 Observe la valoración de aptitud que se le ha dado a cada valor de variable

Tabla 4. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico (perfil SP-01) de unidad cartográfica de suelos LCCi-m. Suelo apto. Ubicación: Timbío (Cauca).



Fotos: Sebastián Polo

Perfil: SP-01			Ubicación: Timbío, Cauca							
Orden: Andisol			Taxonomía: Typic Hapludands			Unidad de caracterización de suelos: LCCi-m				
Descripción: Suelos en paisaje de lomerío, tipo de relieve en colinas, forma del terreno en cimas y laderas, material parental rocas ígneas, en clima medio húmedo										
Variables			Criterios							
Variable	Unidad	Valor	Aptitud climática	Aptitud edáfica						
			Condiciones climáticas	Capacidad de laboreo	Condiciones de enraizamiento	Disponibilidad de humedad	Disponibilidad de oxígeno	Disponibilidad de nutrientes	Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Susceptibilidad a la pérdida de suelos
Altitud	m s. n. m.	1.933	Alta							
Temperatura media	°C / anual	19	Media							
Precipitación total	mm / año	2.000	Alta							
Pendiente	%	12 - 25		Alta						
Textura	Cualitativo	Franco limosa		Alta	Alta	Media				
Pedregosidad	Cualitativo	Sin pedregosidad		Alta	Alta					
Profundidad efectiva	cm	50 - 100			Media					
Régimen de humedad	Cualitativo	Údico				Alta				
Susceptibilidad a inundaciones	Cualitativo	No hay					Alta			
Drenaje natural	Cualitativo	Bien drenado					Alta			
Acidez	pH	5,12						Media		
Saturación de bases	%	5,76						Baja		
Carbono orgánico	%	4,54						Alta		
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+) / kg suelo	33,92						Alta		
Saturación de aluminio	%	16,04							Media	
Erosión actual	Cualitativo	No hay								Alta
Susceptibilidad a movimientos en masa	Cualitativo	No hay								Alta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico (perfil SP-06) de unidad cartográfica de suelos MFLi-f. Suelo apto. Ubicación: Sotará (Cauca).



Fotos: Sebastián Polo Carrera

Perfil: SP-06			Ubicación: Sotará, Cauca							
Orden: Andisol			Taxonomía: Acrudoxic Melanudands				Unidad de caracterización de suelos: MFLi-f			
Descripción: Suelos en paisaje de montaña, tipo de relieve en filas y vigas, forma de terreno en laderas, material parental rocas ígneas, en clima frío húmedo.										
Variables			Criterios							
Variable	Unidad	Valor	Aptitud climática	Aptitud edáfica						
			Condiciones climáticas	Capacidad de laboreo	Condiciones de enraizamiento		Disponibilidad de humedad	Disponibilidad de oxígeno	Disponibilidad de nutrientes	Toxicidad por sales, sodio y aluminio
Altitud	m s. n. m.	2.232	Media							
Temperatura media	°C / anual	15	Alta							
Precipitación total	mm / año	2.000	Alta							
Pendiente	%	25 a 50		Media						Alta
Textura	Cualitativo	Franco limoso		Alta		Alta	Media			
Pedregosidad	Cualitativo	Sin pedregosidad		Alta		Alta				
Profundidad efectiva	cm	50 - 100				Media				
Régimen de humedad	Cualitativo	Údico				Alta				
Susceptibilidad a inundaciones	Cualitativo	No hay					Alta			
Drenaje natural	Cualitativo	Bien drenado					Alta			
Acidez	pH	5,0						Media		
Saturación de bases	%	4,13						Baja		
Carbono orgánico	%	10,25						Alta		
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+) / kg suelo	44,54						Alta		
Saturación de aluminio	%	40,89							Baja	
Erosión actual	Cualitativo	Moderada								Media
Susceptibilidad a movimientos en masa	Cualitativo	No hay								Alta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico (perfil SP-09) de unidad cartográfica de suelos LLEs-m. Suelo apto. Ubicación: El Tambo (Cauca).



Fotos: Sebastián Polo

Perfil: SP-09			Ubicación: El Tambo, Cauca							
Orden: Andisol			Taxonomía: Acrudoxic Melanudands				Unidad de caracterización de suelos: LLEs-m			
Descripción: Suelos paisaje de lomerío, tipo de relieve en lomas, forma del terreno en escarpe, material parental rocas sedimentarias, en clima medio.										
Variables			Criterios							
Variable	Unidad	Valor	Aptitud climática	Aptitud edáfica						
			Condiciones climáticas	Capacidad de laboreo	Condiciones de enraizamiento		Disponibilidad de humedad	Disponibilidad de oxígeno	Disponibilidad de nutrientes	Toxicidad por sales, sodio y aluminio
Altitud	m s. n. m.	1.865	Alta							
Temperatura media	°C / anual	20	Media							
Precipitación total	mm / año	2.000	Alta							
Pendiente	%	12 - 25		Alta						Alta
Textura	Cualitativo	Franco limosa		Alta		Alta	Media			
Pedregosidad	Cualitativo	Sin pedregosidad		Alta		Alta				
Profundidad efectiva	cm	50 - 100				Media				
Régimen de humedad	Cualitativo	Údico				Alta				
Susceptibilidad a inundaciones	Cualitativo	No hay					Alta			
Drenaje natural	Cualitativo	Bien drenado					Alta			
Acidez	pH	5,2						Media		
Saturación de bases	%	2,65						Baja		
Carbono orgánico	%	10,55						Alta		
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+) / kg suelo	57,37						Alta		
Saturación de aluminio	%	46,27							Baja	
Erosión actual	Cualitativo	No hay								Alta
Susceptibilidad a movimientos en masa	Cualitativo	No hay								Alta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico (perfil FN-11) de unidad cartográfica de suelos ACCi-m. Suelo apto. Ubicación: Popayán (Cauca).



Fotos: Fredy Nieves

Perfil: FN-11			Ubicación: Popayán, Cauca							
Orden: Inceptisol			Taxonomía: Andic Dystrudepts				Unidad de caracterización de suelos: ACCi-m			
Descripción: Suelos en paisaje de altiplanicie, tipo de relieve en colinas, forma del terreno en cimas y laderas, material parental rocas ígneas, en clima medio.										
Variables			Criterios							
Variable	Unidad	Valor	Aptitud climática	Aptitud edáfica						
			Condiciones climáticas	Capacidad de laboreo	Condiciones de enraizamiento		Disponibilidad de humedad	Disponibilidad de oxígeno	Disponibilidad de nutrientes	Toxicidad por sales, sodio y aluminio
Altitud	m s. n. m.	1.780	Media							
Temperatura media	°C / anual	20	Media							
Precipitación total	mm / año	1.500	Alta							
Pendiente	%	12 a 25		Alta						Alta
Textura	Cualitativo	Franco arcillo limosa		Alta		Alta	Alta			
Pedregosidad	Cualitativo	Sin pedregosidad		Alta		Alta				
Profundidad efectiva	cm	>100				Alta				
Régimen de humedad	Cualitativo	Údico				Alta				
Susceptibilidad a inundaciones	Cualitativo	No hay					Alta			
Drenaje natural	Cualitativo	Bien drenado					Alta			
Acidez	pH	5,44						Media		
Saturación de bases	%	2,65						Baja		
Carbono orgánico	%	6,64						Alta		
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+) / kg suelo	39,64						Alta		
Saturación de aluminio	%	17,55							Media	
Erosión actual	Cualitativo	Ligera								Alta
Susceptibilidad a movimientos en masa	Cualitativo	No hay								Alta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico (perfil FN-16) de unidad cartográfica de suelos ACCi-m. Suelo apto. Ubicación: Caldono (Cauca).



Fotos: Fredy Nieves

Perfil: FN-16			Ubicación: Caldono, Cauca							
Orden: Inceptisol			Taxonomía: Andic Dystrudepts				Unidad de caracterización de suelos: ACCi-m			
Descripción: Suelos en paisaje de altiplanicie, tipo de relieve en colinas, forma del terreno en cimas y laderas, material parental rocas ígneas, en clima medio.										
Variables			Criterios							
Variable	Unidad	Valor	Aptitud climática	Aptitud edáfica						
			Condiciones climáticas	Capacidad de laboreo	Condiciones de enraizamiento		Disponibilidad de humedad	Disponibilidad de oxígeno	Disponibilidad de nutrientes	Toxicidad por sales, sodio y aluminio
Altitud	m s. n. m.	1.918	Alta							
Temperatura media	°C / anual	19	Media							
Precipitación total	mm / año	1.800	Alta							
Pendiente	%	25 a 50		Media						Alta
Textura	Cualitativo	Franco arcillo limosa		Alta		Alta	Alta			
Pedregosidad	Cualitativo	Sin pedregosidad		Alta		Alta				
Profundidad efectiva	cm	>100				Alta				
Régimen de humedad	Cualitativo	Údico				Alta				
Susceptibilidad a inundaciones	Cualitativo	No hay					Alta			
Drenaje natural	Cualitativo	Bien drenado					Alta			
Acidez	pH	5,17						Media		
Saturación de bases	%	2,32						Baja		
Carbono orgánico	%	3,79						Alta		
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+) / kg suelo	27,99						Alta		
Saturación de aluminio	%	28,22							Media	
Erosión actual	Cualitativo	Ligera								Alta
Susceptibilidad a movimientos en masa	Cualitativo	No hay								Alta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico (Perfil FN-04) de unidad cartográfica de suelos AVVd-m. Suelo no apto. Ubicación: El Tambo (Cauca).



Fotos: Fredy Nieves

Perfil: FN-04			Ubicación: El Tambo, Cauca							
Orden: Inceptisol			Taxonomía: Fluventic Humaquepts				Unidad de caracterización de suelos: AVVd-m			
Descripción: Suelos desarrollados en paisaje de altiplanicie, tipo de relieve vallecito, forma del terreno en vega, material parental de depósitos aluviales, en clima medio.										
Variables			Criterios							
Variable	Unidad	Valor	Aptitud climática	Aptitud edáfica						
			Condiciones climáticas	Capacidad de laboreo	Condiciones de enraizamiento	Disponibilidad de humedad	Disponibilidad de oxígeno	Disponibilidad de nutrientes	Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Susceptibilidad a la pérdida de suelos
Altitud	m s. n. m.	1.681	Baja							
Temperatura media	°C / anual	22	No apto							
Precipitación total	mm / año	1.500	Alta							
Pendiente	%	0 a 3		Alta						Alta
Textura	Cualitativo	Franco limosa		Alta		Alta	Media			
Pedregosidad	Cualitativo	Sin pedregosidad		Alta		Alta				
Profundidad efectiva	cm	<50				Baja				
Régimen de humedad	Cualitativo	Acuico				No apto				
Susceptibilidad a inundaciones	Cualitativo	Frecuentes					No apto			
Drenaje natural	Cualitativo	Imperfecto					Baja			
Acidez	pH	4,7						Baja		
Saturación de bases	%	9,42						Baja		
Carbono orgánico	%	2,16						Alta		
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+) / kg suelo	23,36						Alta		
Saturación de aluminio	%	36,16							Baja	
Erosión actual	Cualitativo	Ligera								Alta
Susceptibilidad a movimientos en masa	Cualitativo	No hay								Alta

Tabla 10. Ficha de aptitud edafoclimática de perfil característico (perfil SP-07) de unidad cartográfica de suelos ACBd-m. Suelo no apto. Ubicación: Timbío (Cauca).



Fotos: Sebastián Polo

Perfil: SP-07			Ubicación: Timbío, Cauca							
Orden: Histosol			Taxonomía: Fibric Haplowassists			Unidad de caracterización de suelos: ACBd-m				
Descripción: Suelos en paisaje de altiplanicie, en bajo de cañada, material parental de depósitos orgánicos aluviales, en clima medio húmedo.										
Variables			Criterios							
Variable	Unidad	Valor	Aptitud climática	Aptitud edáfica						
			Condiciones climáticas	Capacidad de laboreo	Condiciones de enraizamiento	Disponibilidad de humedad	Disponibilidad de oxígeno	Disponibilidad de nutrientes	Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Susceptibilidad a la pérdida de suelos
Altitud	m s. n. m.	1777	Media							
Temperatura media	°C / anual	22	No apto							
Precipitación total	mm / año	2000	Alta							
Pendiente	%	0 - 1		Alta						Alta
Textura	Cualitativo	Franco arenosa		Alta		Alta	Media			
Pedregosidad	Cualitativo	Sin pedregosidad		Alta		Alta				
Profundidad efectiva	cm	<40				No apto				
Régimen de humedad	Cualitativo	Acuico				No apto				
Susceptibilidad a inundaciones	Cualitativo	Frecuentes					No apto			
Drenaje natural	Cualitativo	Muy pobre					No apto			
Acidez	pH	4,76						Baja		
Saturación de bases	%	20,61						Media		
Carbono orgánico	%	5,64						Alta		
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+) / kg suelo	38,76						Alta		
Saturación de aluminio	%	19,71							Media	
Erosión actual	Cualitativo	Ligera								Alta
Susceptibilidad a movimientos en masa	Cualitativo	No hay								Alta



CAPÍTULO IV

Prácticas para conservación y mejoramiento de la calidad del suelo en cultivos de aguacate Hass

La conservación del suelo es crucial para mantener y mejorar su calidad. Según varios autores, un suelo equilibrado, de alta calidad y saludable se refleja en plantas saludables, lo cual tiene efectos positivos en el medio ambiente y en las personas (Burbano, 2017; Cotler et al., 2007; Martínez, 2014). Por lo tanto, las afectaciones del suelo pueden mitigarse a partir de prácticas de recuperación, regeneración y sistemas agroforestales, lo cual conlleva una inversión que se amortiza de múltiples formas si se tienen en cuenta los beneficios de tener suelos sanos y de calidad (FAO, 2023b; Montiel et al., 2021; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015).

Existen diferentes principios básicos que permiten orientar de manera efectiva acciones de recuperación y tecnologías para el manejo de suelos. Estas acciones abarcan prácticas para incrementar la materia orgánica y el mejoramiento de la fertilidad química y física. También incluyen medidas que promueven la elaboración de obras biofísicas y la planificación de labores para evitar su deterioro y degradación (tabla 11) (FAO, 2000).

Tabla 11. Principios y beneficios para la conservación y el mejoramiento de la calidad del suelo

Principios	Beneficios
1. Incrementar la cobertura de los suelos	Disminuye la erosión hídrica y eólica.
	Incrementa la infiltración de la lluvia.
	Disminuye la pérdida de humedad por evaporación y eleva la humedad disponible.
	Reduce la temperatura.
	Restablece las condiciones de crecimiento de las plantas.
	Mejora los niveles de materia orgánica de la capa arable.
	Favorece la estabilidad estructural de los agregados superficiales.
	Promueve la actividad biológica del suelo.
	Mejora la porosidad.
	Favorece el control biológico de las plagas.
2. Aumentar la materia orgánica del suelo	Incrementa la estabilidad de los agregados superficiales.
	Mejora la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.
	Aumenta la capacidad de retención de nutrientes en el suelo.
	Incentiva la actividad biológica del suelo.

Continúa...

Continuación Tabla 11. Principios y beneficios para la conservación y el mejoramiento de la calidad del suelo

Principios	Beneficios
3. Incrementar la infiltración y el almacenamiento de agua	Disminuye el déficit hídrico en los cultivos.
	Incrementa el rendimiento y la producción de biomasa del cultivo.
	Reduce la escorrentía.
4. Reducir la escorrentía	Reduce la pérdida de suelo, agua, nutrientes, fertilizantes y plaguicidas.
	Mejora la disponibilidad del agua para el cultivo y, con ello, la producción.
5. Mejorar las condiciones de enraizamiento	Beneficia el desarrollo y el crecimiento de las raíces y, por tanto, la absorción de nutrientes y agua.
	Reduce las probabilidades de que los cultivos sufran por sequía.
6. Aumentar la fertilidad química natural y la producción	Incrementa el rendimiento.
	Incrementa la producción de biomasa del cultivo.
7. Disminuir los costos de producción	Incrementa la rentabilidad neta.
	Sistemas de producción más sostenibles.
8. Proteger los huertos	Protege de los impactos de los excesos de humedad, la erosión por escorrentía, los vientos fuertes y los movimientos en masa.
9. Disminuir la contaminación del suelo y del ambiente	Uso eficiente de recursos, protección de la biodiversidad y cuidado de la salud.

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2000)..

En este sentido, en lo que respecta a la gestión integral del suelo, se requiere la implementación de diversas prácticas y tecnologías que, en conjunto, pueden abordar y resolver una o varias condiciones limitantes para la producción de cultivos u otros servicios ecosistémicos proporcionados por el suelo. Estas medidas deben adaptarse teniendo en cuenta las características y limitaciones específicas del suelo en una ubicación o explotación agrícola, como ocurre en las zonas de producción de aguacate Hass.

A continuación, se presentan algunas estrategias recomendadas para fomentar el cumplimiento de los principios mencionados para la gestión integrada, los cuales se relacionan tanto con la aptitud

para cultivos, como es el caso del aguacate Hass, así como con los indicadores de calidad del suelo previamente descritos. A pesar de que muchas de estas estrategias han

sido ampliamente evaluadas en el contexto de los cultivos transitorios y la agricultura familiar, en

este documento se enfatiza

que el análisis específico de

los principios básicos debe

ser el punto central en

la elaboración de

planes de manejo

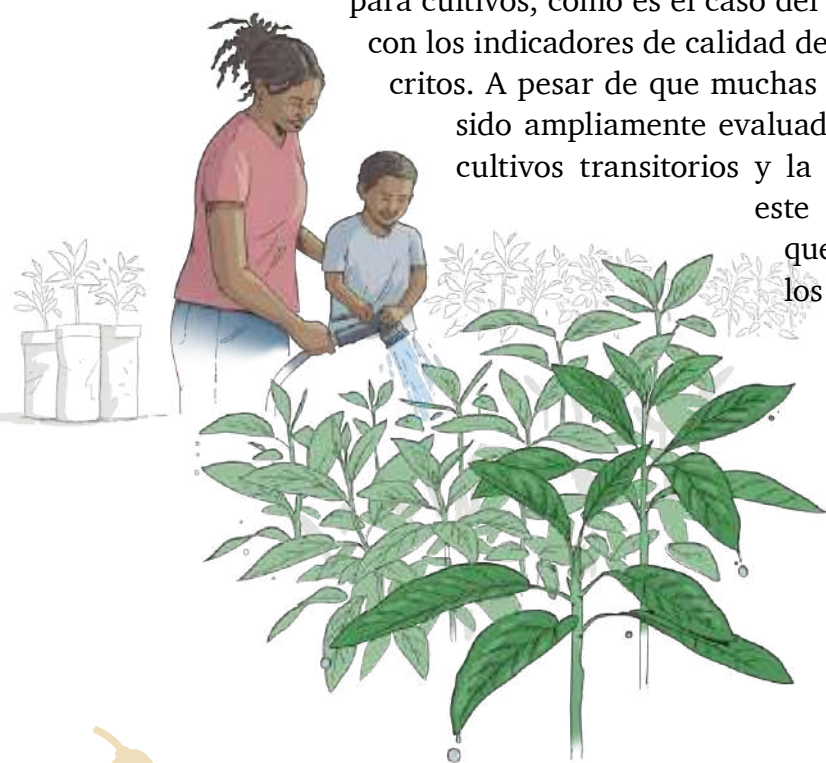
del suelo, los cuales

se deben adaptar a

diferentes usos del

suelo y condiciones

ambientales.



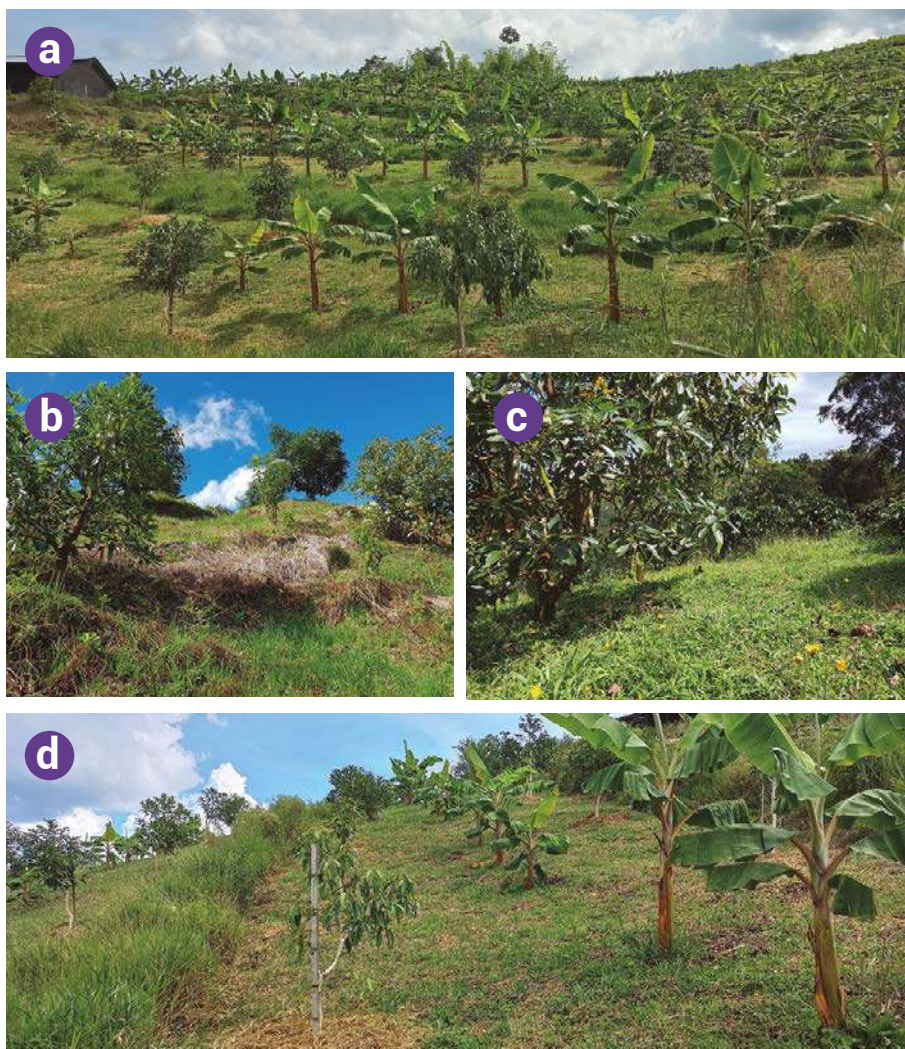
Incremente la cobertura y materia orgánica del suelo

Estos principios buscan promover la formación de una capa superficial rica en materia orgánica con el fin de brindar varios beneficios, como la protección del suelo contra la erosión, la preservación de la fertilidad y el estímulo de la actividad biológica. Por lo tanto, se promueve la utilización de residuos orgánicos generados por los cultivos o las fuentes externas de materia orgánica para aumentar su contenido en el suelo. En este contexto, se recomiendan las siguientes acciones:

1. Deje el rastrojo sobre la superficie del suelo siguiendo principios de labranza de conservación. En este sentido, se recomienda mantener los residuos de las plantas arvenses en la superficie como cobertura una vez que han sido controlados mediante métodos químicos o mecánicos, en lugar de enterrarlos (figura 33).
2. Implemente acciones dentro del sistema productivo para obtener biomasa vegetal por medio de la fertilización del cultivo, la siembra de cultivos de cobertura y abonos verdes (como leguminosas y cultivos intercalados) y aumentar la densidad de siembra de los cultivos (figura 34).
3. Deje las piedras en la superficie del suelo, dado que son elementos de cobertura que aumentan la infiltración de la lluvia. Se sugiere esta opción en lugar de retirarlas para construir barreras muertas.



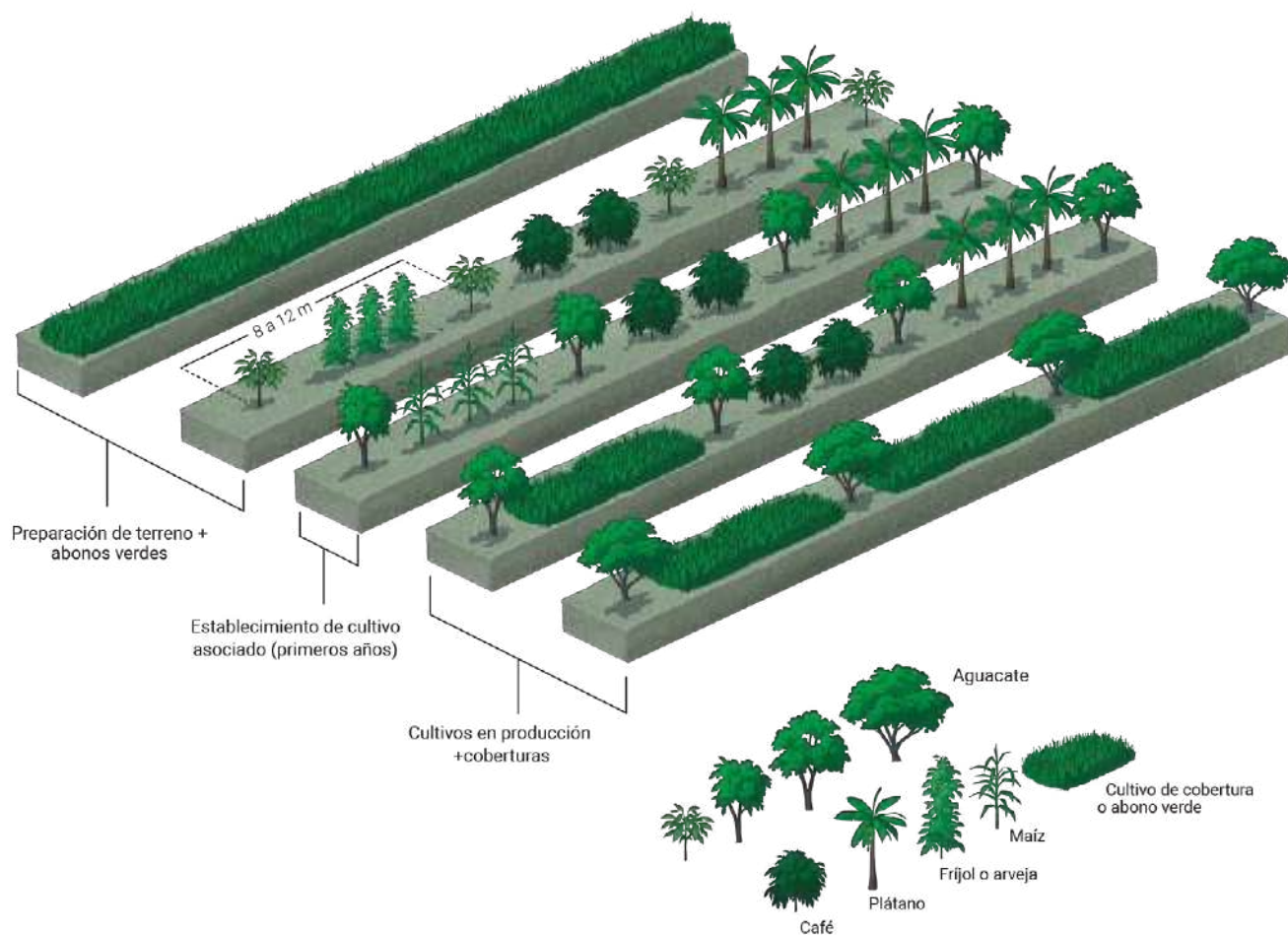
Figura 33. Actividades para el aumento de la cobertura y materia orgánica del suelo. a. Cultivos asociados; b y c. Utilización de residuos del control de malezas; d. Manejo de plantas asociadas en el cultivo.



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Arreglo en asociación de cultivos que permite aumentar la biomasa vegetal y las coberturas durante el desarrollo del cultivo de aguacate.



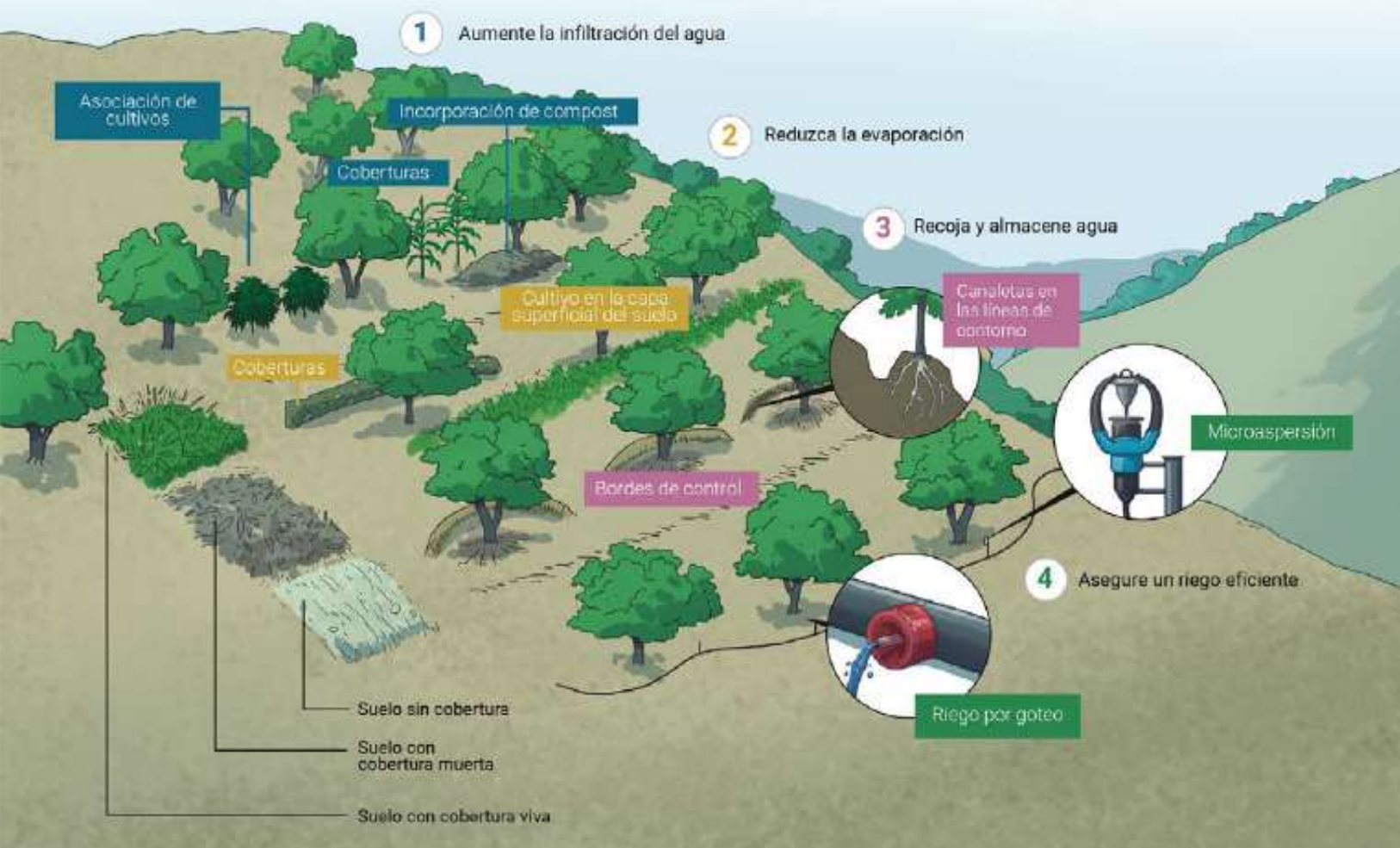
Fuente: Elaboración propia con base en Weidmann et al. (2005).

Mejore la infiltración y el almacenamiento del agua en el suelo

La aplicación de este principio implica mejorar las condiciones físicas del suelo mediante mecanismos físicos o biológicos que faciliten la entrada y el movimiento del agua en el suelo. Con esto se busca reducir la escorrentía y asegurar la disponibilidad de humedad para el cultivo sin perjudicar su desarrollo y los procesos bioquímicos relacionados con la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Para mejorar las condiciones de infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua, se recomienda realizar las siguientes acciones:

1. Utilice coberturas de residuos sobre la superficie para proteger los agregados del suelo del impacto de la lluvia, que puede provocar la dispersión de partículas y la formación de costras superficiales e impedir la entrada de agua al suelo. Esta acción permite reducir la escorrentía al dar más tiempo para que la lluvia se infiltre. Varios estudios han demostrado que las coberturas muertas son más efectivas en el control de la escorrentía en comparación con suelos con coberturas vivas, como el maní forrajero y el suelo desnudo (figura 35 y tabla 12).
2. Implemente barreras rompevientos de acuerdo con las condiciones de la zona para disminuir la velocidad del viento, ya que este puede causar pérdidas de humedad por evaporación.

Figura 35. Prácticas para mejorar la infiltración y la capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo. Se describen las acciones integrales para manejo del agua y la escorrentía, así como el efecto del tipo de cobertura sobre la tasa de escorrentía y la percolación de agua en el suelo.



Fuente: Elaboración propia con base en Restrepo et al. (2019).

I Tabla 12. Balance hídrico en suelos con diferentes coberturas

Tipo de cobertura	Evaporación	Escorrentía	Percolación
Sin cobertura	20 %	10 %	70 %
Cobertura viva (añil rastrero)	37 %	2 %	61 %
Con cobertura muerta (hojas de guamo)	11 %	3 %	86 %

Fuente: Elaboración propia con base en Farfán y Arévalo (2008).

3. Realice labores de labranza, como el arado, para romper las capas que presenten limitantes por encostramiento o compactación en superficie. Esta labor ayuda a formar una superficie irregular con agregados de mayor tamaño entre las hileras de cultivo. Además, retrasa la formación de costras y facilita la infiltración de la lluvia. El encostramiento del suelo tiende a ocurrir en áreas con altos contenidos de arenas finas y arcillas, y cuando no se cuenta con cobertura en la superficie.
4. Lleve a cabo el control de malezas evitando en la medida de lo posible dejar el suelo desnudo, pues esto favorecerá la entrada del agua y conservará la humedad en el suelo durante más tiempo.
5. Permita que las arvenses beneficiosas crezcan entre las hileras de cultivo y promueva el crecimiento e incorporación de abonos verdes, que son dos estrategias para que la superficie del suelo se mantenga protegida. Entre las arvenses nobles utilizadas en ambientes húmedos, en los cuales se adapta el aguacate Hass, destacan, entre otras:

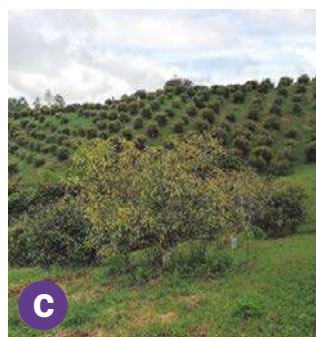
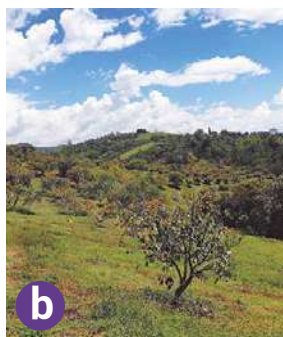
- Kudzu (*Pueraria phaseoloides*).
 - Desmodio (*Desmodium ovalifolium*).
 - Calopo (*Calopogonium* sp.)
 - Fríjol terciopelo (*Mucuna pruriens*).
 - Canavalia (*Canavalia ensiformis*).
 - Maní forrajero (*Arachis pintoi*).
 - Botoncillo (*Richardia scabra*).
 - Golondrina (*Drymaria cordata*).
 - Siempre viva (*Commelina diffusa*).
 - Hierba de coneja (*Panicum trichoides*).
 - Hierba de sapo (*Hyptis atrorubens*).
6. Realice labranza profunda con el propósito de mejorar la permeabilidad de horizontes duros, que puedan encontrarse en los primeros 60 cm del suelo, para favorecer la capacidad de retención de agua en el perfil.
 7. Aplique abonos orgánicos, principalmente en suelos arenosos, con el fin de elevar la capacidad de retención de humedad.

Reduzca la escorrentía

La aplicabilidad de este principio se centra en reducir el volumen y la velocidad del agua que no se infiltra y que fluye sobre el suelo durante eventos de precipitación. Esto ayuda a prevenir la erosión, cuyo grado de afectación depende de aspectos como el tipo de suelo, la pendiente, la intensidad de la lluvia y la especie y grado de cobertura vegetal. Para

ello, se recomienda crear estructuras que gestionen el flujo del agua (como canales), la disipación de la velocidad del agua y la reducción de la intensidad de contacto de las gotas de lluvia, además de acondicionar áreas para la acumulación de suelo y agua (figura 36).

Figura 36. Reconocimiento de zonas de acumulación de humedad en lote de aguacate e implementación de acequias para drenaje. a. Pendiente baja; b. Zona de terraza; c. Parte plana del lote; d. y e. Construcción de acequias de drenaje.



Fotos: Luis Carlos Grajales Guzmán

Construcción de acequias de drenaje



A continuación, se presentan recomendaciones que pueden servir para disminuir los efectos de la escorrentía sobre el suelo (figura 37):

1. Construya acequias de ladera y canales interceptores de forma manual o con equipos para recolectar y conducir la escorrentía a menor velocidad fuera del lote y hacia canales de drenaje sin causar erosión en puntos de recolección.
2. Instale barreras vegetativas o barreras vivas permeables y en curvas a nivel para disminuir el flujo de la escorrentía, y propiciar adecuaciones en el sitio para mejorar la infiltración del agua.

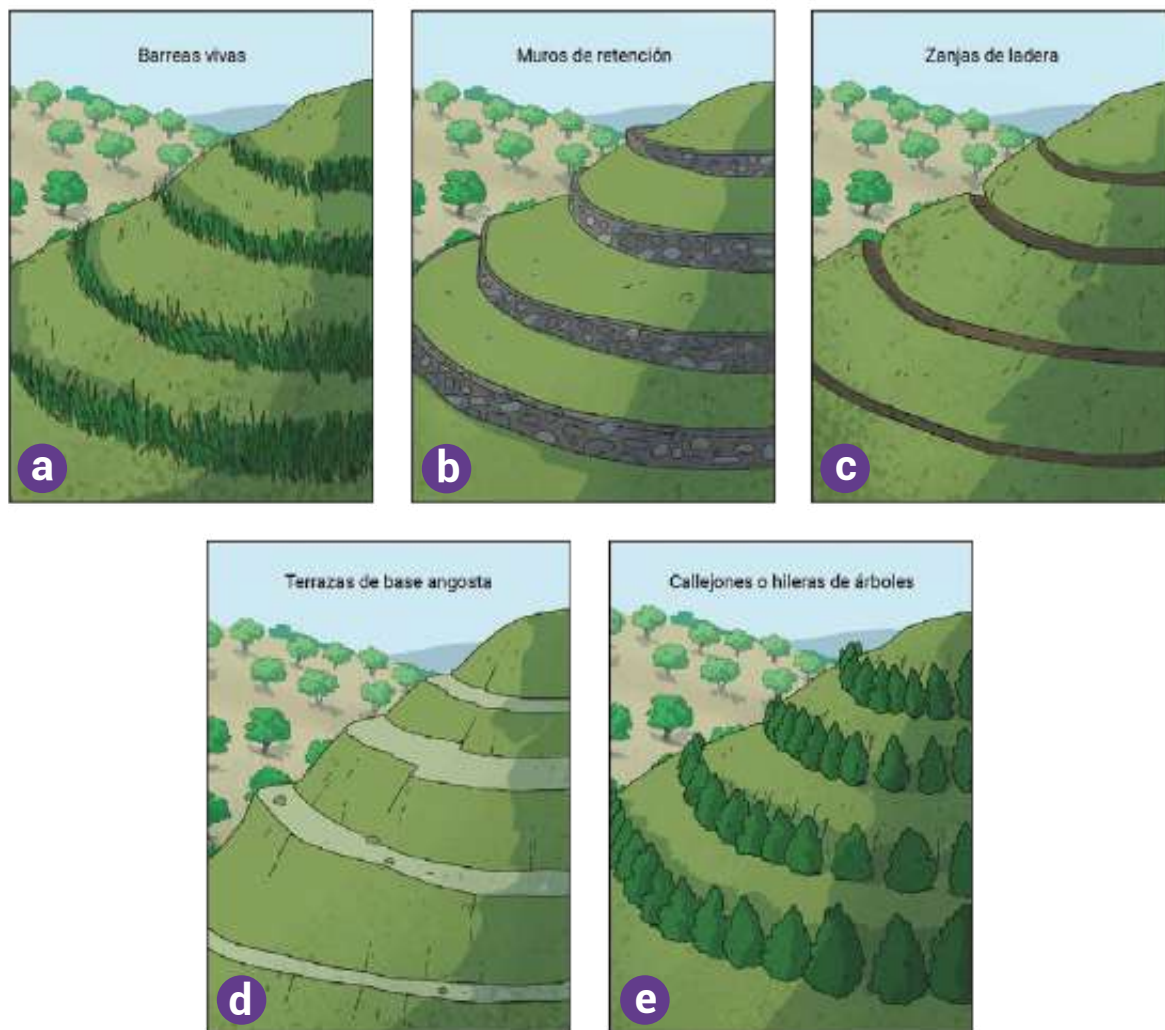
Las barreras vivas son filas de plantas de crecimiento tupido, como pastos de corte, caña, limoncillo y otras plantas disponibles en la región. Se recomienda sembrarlas desde la parte más alta del lote, transversal a la pendiente del terreno, siguiendo el contorno y con un ancho aproximado de entre 50 cm y 60 cm.

Permiten disminuir la velocidad del agua al escurrir por la ladera, retienen el suelo para evitar la erosión y conservan la humedad, lo cual permite mejorar el almacenamiento de agua en el suelo y disminuir la tasa de evapotranspiración.

Asimismo, para reducir eficientemente la escorrentía, se deben considerar factores como la variedad y crecimiento de la vegetación utilizada, facilidad de contacto entre la superficie del suelo y la vegetación, las dimensiones de la barrera, la longitud e inclinación de la pendiente, y la acumulación de residuos vegetales en la superficie del huerto.



Figura 37. Obras de reducción y corte de la pendiente para disminuir la escorrentía. a. Barreras vivas; b. Muros de retención; c. Zanjas de ladera; d. Terrazas base angosta; e. Callejones o hileras de árboles.



Fuente: Elaboración propia con base en Raudes y Sagastume (2009, p. 54).

La distancia entre las barreras vivas se relaciona directamente con la pendiente del terreno. Cuanto más alta sea la pendiente, menor será la distancia de las barreras, y cuanto más baja sea la pendiente, mayor será la distancia entre las barreras vivas.

Mejore las condiciones de enraizamiento

El propósito fundamental de este principio es crear un ambiente físico, químico y biológico adecuado para que las plantas o cultivos puedan desarrollar un amplio sistema de raíces en el suelo. Esto facilita la toma de nutrientes y agua para su crecimiento y contribuye a la estructura y estabilidad del suelo, lo cual lo protege de procesos de degradación, como la compactación, el sellamiento y la erosión. Para conseguir las condiciones adecuadas de enraizamiento de los cultivos se recomienda:

1. Afloje las capas selladas y endurecidas que dificultan la penetración de las raíces mediante una labranza profunda durante la preparación del terreno y la creación de hoyos para las plantas. Para el cultivo de aguacate Hass, se recomiendan hoyos de 50 cm x 50 cm x 50 cm, los cuales deben enriquecerse con materia orgánica o abonos orgánicos para favorecer la porosidad y la retención de humedad (figura 38).
2. Construya camellones elevados. Esta práctica aumenta la profundidad de la zona de raíces sin inconvenientes de drenaje. Los surcos entre los camellones pueden ser ligeramente inclinados para facilitar el drenaje superficial del excedente de agua.



Figura 38. Factores para mejorar el enraizamiento del cultivo. a y b. Identificación de capas duras y compactadas; c. Raíces atrofiadas; d y e.. Ahoyado y preparación del terreno para descompactar.



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno

3. Es importante que verifique las condiciones químicas del área de cultivo para identificar posibles deficiencias, desequilibrios nutricionales o la presencia de contaminantes que inhiban la actividad de las raíces. Los problemas nutricionales más usuales que afectan el incremento de las raíces incluyen deficiencias de fósforo y niveles tóxicos de aluminio, que se presentan en muchas zonas productoras de aguacate Hass en el país.

Mejore la fertilidad química y la productividad del cultivo

Aunque este principio establece una relación directa entre la disponibilidad de nutrientes y la productividad del cultivo, las acciones para aplicarlo se basan en el manejo integral de la fertilidad del suelo, que abarca aspectos físicos, químicos y biológicos. Este enfoque permite alcanzar resultados positivos en términos de producción de biomasa y rendimiento de las plantas.

En consecuencia, las actividades que contribuyen a mejorar esta fertilidad buscan aprovechar y optimizar las particularidades químicas, físicas y biológicas del suelo que condicionan procesos bioquímicos para el intercambio de nutrientes en la matriz del suelo, el flujo de agua y aireación en el espacio poroso, y la actividad de organismos que participan en los ciclos de los nutrientes (figura 39).

Información complementaria

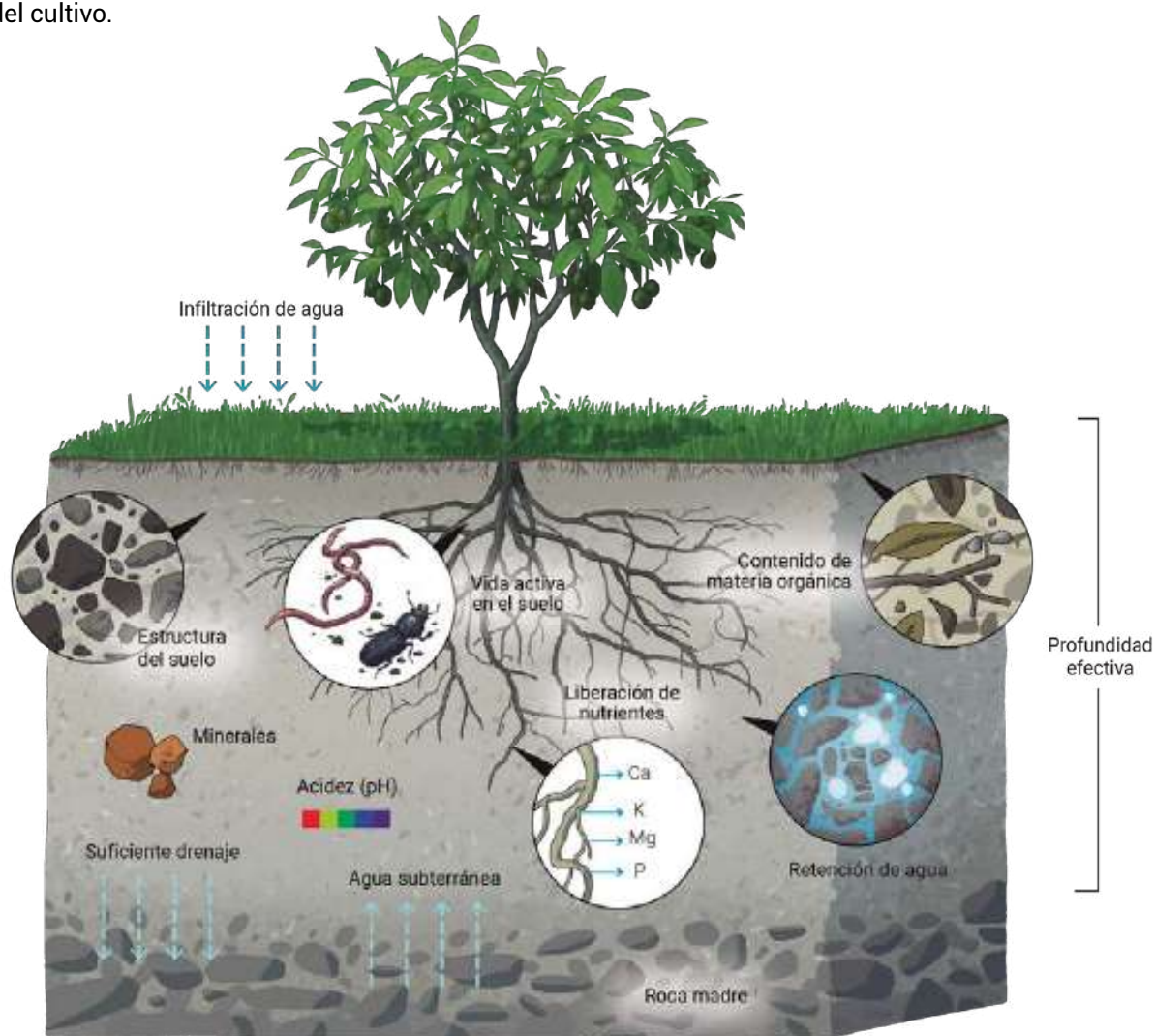
Para mayor información, consulte el manual *Prácticas de manejo sostenible para la fertilización y riego en aguacate Hass en el departamento de Cauca*.



Enlace al documento:
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406665>



Figura 39. Factores que intervienen en el mejoramiento de la fertilidad química y la productividad del cultivo.



Fuente: Elaboración propia con base en Eyhorn et al. (2005).

Entre las acciones que puede implementar para aumentar la fertilidad y la productividad de los suelos se encuentran (figura 40):

1. Realice un adecuado diagnóstico del estado nutricional, toxicidad o deficiencias identificadas en el suelo y en las plantas a través de análisis de suelos y tejidos. Esto permite implementar planes de mejoramiento mediante la aplicación de fertilizantes o enmiendas químicas u orgánicas como cal, cal dolomítica o yeso de acuerdo con el problema identificado.
2. Use abonos orgánicos disponibles y abonos verdes para mejorar la disponibilidad de nutrientes, pues estos tienen efectos beneficiosos en las propiedades físicas y químicas del suelo.
3. Maneje las condiciones de humedad del suelo de manera adecuada para la fertilización del cultivo. Esto se logra mediante el uso de residuos orgánicos en el lote y evitando la quema de rastrojos o coberturas vegetales producidos en la finca para reducir las pérdidas de nutrientes por **lixiviación**, volatilización y por traslado de la parcela, a excepción de aquellos nutrientes extraídos por las cosechas.

Glosario

Lixiviación: es el proceso mediante el cual los nutrientes del suelo en su fase móvil o disponible son arrastrados de la zona de raíces por altas precipitaciones o riego en exceso.



Figura 40. Actividades para mejorar la fertilidad química y la productividad del cultivo. a y b. Utilización de abonos verdes (*Vicia artropurpureum*) y coberturas vegetales; c y d. Uso de enmiendas químicas y abonos orgánicos (compost); e y f. Aprovechamiento de residuos vegetales de otros cultivos y utilización de hojarasca para mantener la humedad del suelo.



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno

Proteja las parcelas

La aplicación de este principio implica el conocimiento de la región o sitio de establecimiento del sistema de producción, así como la identificación de zonas aptas para el cultivo y los riesgos potenciales asociados a condiciones climáticas y topográficas que pueden contribuir a la erosión por lluvia, viento, inundaciones, deslizamientos, movimientos en masa y afectación de los cultivos por fuertes vientos. Entre las actividades clave para el manejo y conservación de suelos desde el establecimiento de los cultivos de aguacate se encuentran:

1. Realice actividades en el cultivo que permitan la protección y sostenimiento en el tiempo de las propiedades del suelo. Esto puede incluir el diseño o arreglo de siembra del cultivo, como la disposición en tres bolillos o cuadrado siguiendo las curvas a nivel según la pendiente, así como la realización de obras de adecuación del terreno y la construcción de canales de drenaje (figuras 41 y 42).
2. Trace curvas a nivel, pues esta práctica facilita la siembra de plantaciones a través de la pendiente y se realiza utilizando herramientas como el caballete o el agronivel. Además, permite estimar el grado de pendiente del terreno. Las curvas a nivel también se utilizan para la construcción de canales, acequias de ladera, el establecimiento de barreras vivas y franjas de cultivos asociados (Rodríguez et al., 2019).
3. Instale canales para colecta de la escorrentía que ingresa al cultivo, con el objetivo de evitar inundaciones.

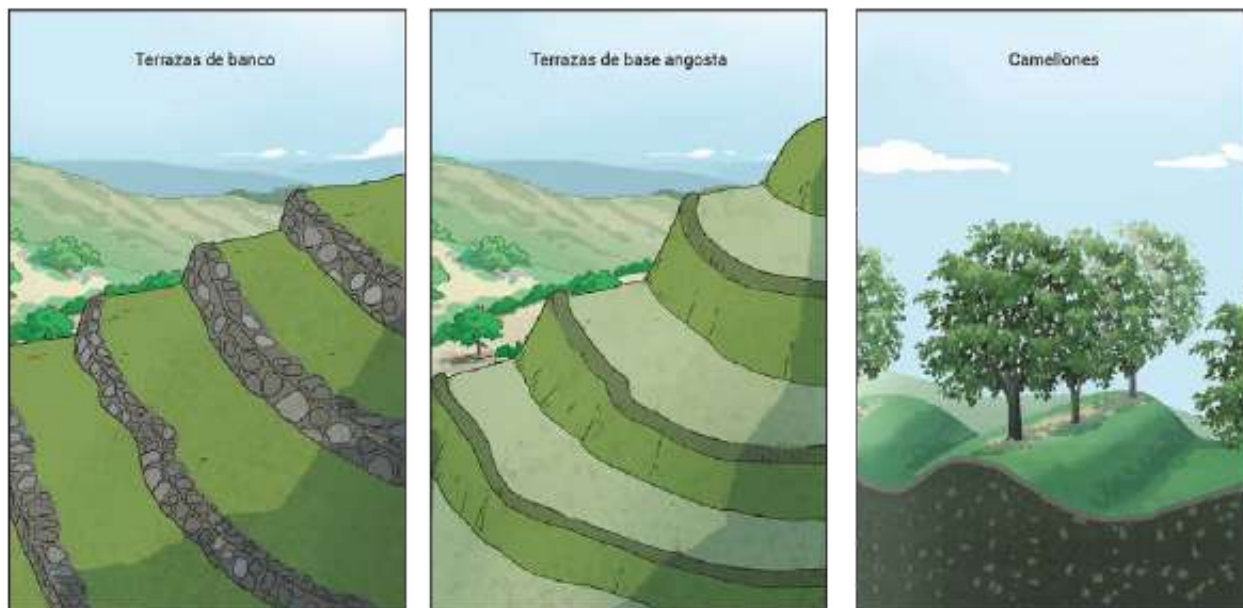


Figura 41. Actividades clave para la protección y mantenimiento de las propiedades del suelo.
a. Uso de caballete para trazar curvas a nivel; b. Trazado del cultivo en cuadrado; c. Trazado del cultivo en tres bolillos; d. Establecimiento de barreras vivas y rompevientos.



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno y Luis Carlos Grajales Guzmán

Figura 42. Tipos de terrazas. a. De banco; b. De base angosta; c. Camellones.



Fuente: Elaboración propia con base en Raudes y Sagastume (2009, p. 51).

4. Establezca micro-barreras mediante labranza o siembra en contorno en el área del cultivo para evitar la escorrentía y proporcionar más tiempo para que el agua lluvia ingrese al suelo. La distancia entre estas barreras debe determinarse según el grado de pendiente; estas son más cercanas a medida que aumenta la pendiente.
5. Utilice camellones con o sin surcos tapados para formar el contorno si la pendiente es menor al 7 %. Sin embargo, es importante tener en cuenta los riesgos de desborde y erosión en pendientes más pronunciadas.

6. Utilice prácticas para reducir el grado de inclinación del terreno mediante el terraceo y la construcción de terrazas individuales, lo cual permitirá otorgar más tiempo para la infiltración de la lluvia (figura 43).
7. Instale canales de distribución para impedir el ingreso de aguas superficiales y subsuperficiales en el lote, lo cual disminuye la estabilidad de los suelos y facilita los deslizamientos.

Figura 43. Construcción de terrazas para el manejo de la humedad.



Fuente: Elaboración propia con base en Raudes y Sagastume (2009, p. 54).

Reduzca la contaminación del suelo y del ambiente

Este principio orienta la realización de actividades en el cultivo que promuevan sistemas de producción con una baja huella de carbono. Esto se fundamenta en el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales y la utilización de insumos no perjudiciales para la biodiversidad. Además, se fomenta la conciencia sobre la gestión de los residuos generados y su aprovechamiento en actividades agropecuarias.

Las acciones asociadas a este principio para reducir la contaminación de los suelos y del ambiente incluyen:

1. Implemente prácticas sostenibles para el manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas, basadas en la bioeconomía y soluciones de la naturaleza. Esto implica el monitoreo de poblaciones de especies de alerta y el uso de bioinsumos que sean seguros para el medio ambiente.
2. Realice acciones y tome medidas en su finca para utilizar y disponer con responsabilidad los compuestos químicos utilizados en la agricultura.



Información complementaria

*Manejo integrado de plagas de importancia económica y cuarentenaria del cultivo de aguacate *Persea americana* (Lauraceae): *Stenoma catenifer* (Lepidoptera: Depressariidae), *Heilipus lauri* y *Heilipus trifasciatus* (Coleoptera: Curculionidae)*



<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406665>

Reconocimiento de las principales limitantes fitosanitarias que afectan la calidad comercial del aguacate Hass



<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406726>

3. Aplique los fertilizantes de manera fraccionada, de acuerdo con las necesidades del cultivo y la disponibilidad de nutrientes del suelo, con el fin de disminuir pérdidas por escorrentía.
4. Implemente prácticas de conservación de suelos para minimizar la erosión y la cantidad de sedimentos y contaminantes agrícolas que llegan a las aguas superficiales y subterráneas.
5. Monitoree regularmente la calidad de las aguas subterráneas y superficiales para obtener datos que orienten de manera efectiva la gestión de los suelos.

Consideraciones finales

Reconocer el suelo en las zonas productoras, donde se ubican los huertos de aguacate Hass, es fundamental para adaptar las prácticas de manejo del cultivo. Esto se hace necesario para mantener las condiciones óptimas requeridas por el sistema productivo, con el objetivo de lograr altas producciones y una buena calidad de fruta, al mismo tiempo que se preserva la salud y la calidad del suelo.

La aplicación de prácticas de manejo del suelo que se ajusten a sus propiedades físicas, químicas y biológicas constituye la base de una agricultura productiva y sostenible. Por lo tanto, es esencial brindar un acompañamiento continuo a los productores para que adopten las recomendaciones generadas. Esto contribuirá a mejorar la productividad y la competitividad del cultivo de aguacate Hass en la región. 🌱

Referencias

- Agbar. (2022). Consideraciones en el diseño de un proyecto de aguacate sostenible. <https://agbaragriculture.com/wp-content/uploads/2022/07/EstudioIFAPAAgbarAgricultureDEF.pdf>
- Agronet. (2021). *Estadísticas agropecuarias*. Agronet. <https://agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Agrosal. (2016). *Efectos de la salinidad y la sodicidad en los cultivos*. Agrosal. <http://www.agrosal.ivia.es/efectos.html>
- Anderson, J., & Ingram, J. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods* (2 ed.). CAB International Publishers.
- Arshad, M. A., & Coen, G. M. (1992). Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1-2), 25-31. <https://doi.org/10.1017/S0889189300004410>
- Avellaneda, L. (2008). *Actividades enzimáticas en suelos con y sin historia de uso agrícola y manejo convencional y de sus consorcios bacterianos* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá] Repositorio UN.
- Bartoli, J. A. (2008). *Manual técnico del cultivo del aguacate Hass* (Persea americana L.). Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.
- Bautista, A., Etchevers, J., del Castillo, R., & Gutierrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97.

- Bernal, J. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín]. Repositorio UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55435>
- Bernal, J. A., & Díaz, C. (2020). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2 ed.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Burbano, H. (2017). La calidad y salud del suelo influyen sobre la naturaleza y la sociedad. *Tendencias*, 18(1), 118-126. <https://doi.org/10.22267/rtend.171801.68>
- Carreño, A., & Chaparro, A. (2013). Tolerancia al aluminio en especies vegetales: mecanismos y genes. *Universitas Scientiarum*, 18(3), 283-310. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC18-3>
- Carter, M. R., Gregorich, E. G., Anderson, D. W., Doran, J. W., Janzen, H. H., & Pierce, F. J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. En E. G. Gregorich, & M. R. Carter (Eds.), *Developments in soil science* (vol. 25, pp. 1-19). Elsevier.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], & Tropical Soil Biology and Fertility [TSBF]. (2011). *Protocolo de muestreo para la macrofauna del suelo*. Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], & Tropical Soil Biology and Fertility [TSBF].
- Cock, J., Alvarez, D., Estrada, M. (2010). *Rapid Soil and Terrain Assessment: Guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno. Versión 2*. Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]; Corporación BIOTEC.

Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83, 5-71.

Díaz, C., Bernal, J., & Tamayo, Á. (2020). Capítulo II: Ecofisiología del aguacate cv. Hass en el trópico andino colombiano. En J. Bernal, & C. Díaz (Eds.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2 ed., pp. 331-378). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>

Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. En J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, & B.A. Stewart (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, (vol. 35). Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>

Eyhorn F., Heeb M., & Weidmann G. (2005). *Manual de capacitación en agricultura orgánica para los trópicos*. International Federation of Organic Agriculture Movements [IFOAM].

Fischer, G., & Ordúz, J. (2012). Ecofisiología en frutales. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 54-72). Produmedios.

Fonseca, F., Aguilar, D., Siachoque, R., Urbina, J., Otero, J., Páramo, G., & Lozano, J. (2018). *Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA].

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos* [Boletín de tierras y aguas No 8]. International Institute of Tropical Agriculture [IITA]; Food and Agriculture Organization [FAO].

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Food and Agriculture Organization [FAO].

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2015). *Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables*. Food and Agriculture Organization [FAO].

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. Food and Agriculture Organization [FAO].

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2023a). *Portal de suelos de la FAO*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2023b). *Cifras clave sobre la erosión del suelo*. <https://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/es/>

Food and Agriculture Organization [FAO]. (s. f.). *Soil Texture*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706e/x6706e06.htm

Food and Agriculture Organization [FAO], & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*.

Construcción participativa del diagnóstico de suelos. Diseño de planes de intervención y prácticas de manejo sostenible de suelos. Food and Agriculture Organization [FAO].

Gandolfo, S. (2008). *Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio UPV. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3441/tesisUPV2868.pdf>

Huerta, E., Brown, G., & Bautista, F. (2010). Macroinvertebrados del suelo y lombrices de tierra. En F. Bautista, H. Delfín, & J. L. Palacio (Eds.), *Técnicas de muestreo para el estudio del manejo de recursos naturales* (pp. 1-27). Universidad Nacional Autónoma de México.

Instituto Nacional Tecnológico [INATEC]. (2016). *Manual del protagonista: prácticas de conservación de suelos y agua*. Instituto Nacional Tecnológico. Nicaragua.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2021). Elaboración y actualización de áreas homogéneas de tierras con fines multipropósito. <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/DOCUMENTOS%20SGI%202021/GAG/PC-GAG-02%20Elaboracion%20y%20actualizacion%20de%20areas%20homogeneas%20de%20tierras%20con%20fines%20multiproposito.pdf>

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático [IDIGER]. (18 de julio de 2023). *Caracterización general del escenario de riesgo por movimiento en masa en Bogotá*. Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático [IDIGER].

- Jiménez, R., & González, V. (2006). La calidad de suelos como medida para su conservación. *Edafología*, 13(3), 125-138.
- Lal, R. (1994). Sustainable Land Use Systems and Soil Resilience. En D. J. Greenland, & I. Szabolcs (Eds.), *Soil Resilience and Sustainable Land Use* (pp. 41-67). CAB International Publishers.
- Maikhuri, R. K., & Rao, K. S. (2012). Soil quality and soil health: A review. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 38(1), 19-37.
- Malagón, D. (2003). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos. Énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 27(104), 319-341.
- Martínez, J. P., Muenia, V., & Ruiz, R. (2014). *Nutrición y fertilidad en palto*. [Boletín INIA N° 283]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA].
- Martínez, M. M. (2014). *Uso de materia orgánica y microorganismos en el manejo integrado de la nutrición*. Red Agrícola.
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). Guía técnica para muestreo de suelos. Universidad Nacional Agraria; Catholic Relief Services [CRS].
- Miranda, D. (2012). Establecimiento de huertos frutícolas. En *Manual para la producción de frutales del trópico* (págs. 99-119). Produmedios.
- Montiel, K., Martin, C., Witkowsky, K., & Lal, R. (2021). *Suelos saludables: la base de los sistemas alimentarios sostenibles en América Latina y el Caribe. Un aporte para los debates en las Américas previos a la Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios de las Naciones Unidas 2021*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA].

- Pilatti, M. A., & de Orellana, J. A. (2008). *Suelos ideales para agricultura sostenible*. Universidad Nacional del Litoral.
- Pla Sentís, I. (2013). *Aproximaciones empíricas para la evaluación de la calidad del suelo: ventajas e inconvenientes* [Ponencia]. XX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Venezuela.
- Rengifo, P. A., Londoño, J. D., Diez, D., & Vásquez, G. E. (2020). *Conceptos de fertilización para el cultivo de aguacate. Versión 2*. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA); Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación.
- Restrepo, G. A., & Silva T., B. (2019). *Agricultura de conservación: prácticas de adaptación al cambio climático*. Corporación Universitaria de Santa Rosa de Cabal [UNISARC]; Corporación Autónoma Regional de Risaralda [CARDER].
- Rodríguez, E., Correa, D. L., Zapata, P. A., Bolaños, M. M., & Jaramillo, A. & Rodríguez, D. M. (2019). *Prácticas de manejo sostenible para el cultivo de mora*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA].
- Rondón, T., Builes, S., Casamitjana, M., Duque, M., Rodríguez, A., Vega, C., & Rodríguez Yzquierdo, G. (2020). Perspectiva del ordenamiento productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia. En J. Bernal, & C. Díaz (Eds.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2 ed., pp. 715-759). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA].
- Rubiano, Y. (2005). *Conceptos básicos para utilizar los levantamientos de suelos en el manejo agronómico de la palma de aceite*. Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite [CENIPALMA].

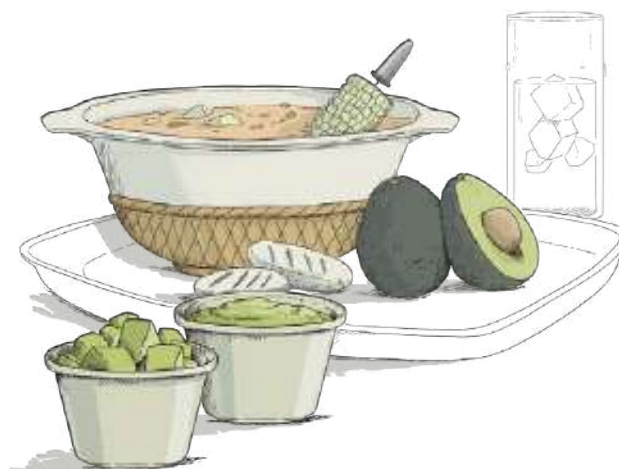
- Raudes, M., & Sagastume, N. (2009). *Manual de conservación de suelos*. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_3_Manual_Conseervacion_de_Suelos..pdf
- Ruiz, N., Lavelle, P., & Jiménez, J. (2008). *Soil macrofuana field manual*. Food and Agriculture Organization [FAO].
- Saavedra, R., Vásquez, H., & Mejía, E. (2012). Aguacate (*Persea americana*). En Fisher, G. (Ed.), *Manual para cultivo de frutales en el trópi-co* (pp. 496-525). Produmedios.
- Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., & Tapia-Vargas, L. M. (2011). Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate ‘Hass’ en Michoacán, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(2), 183-194.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Sermanat]. (2015). *Suelos, bases para su manejo y conservación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Sermanat].
- Soil Quality Institute [SQI]. (1996). *Indicators for Soil Quality Evaluation*. Soil Quality Institute.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2014). *Consolidación de la metodología de evaluación de tierras con fines agropecuarios a escala semidetallada (1:25.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA].

United States Department of Agriculture [USDA]. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. United States Department of Agriculture [USDA].

United States Department of Agriculture [USDA]. (2021). *Cropland In-Field soil health assessment guide* [Soil health technical note No 450-06]. U. S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Weidmann G., Kilcher L., & Garibay S. (2005). *Manual de capacitación en agricultura orgánica para los trópicos áridos y semiáridos*. International Federation of Organic Agriculture Movements [IFOAM].

Wolstenholme, B. N. (2013). Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor, with special reference to avocado. *Acta Hortícola*, 175, 121-126. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1986.175.18>



Los autores

Diana Lucía Correa Moreno

Investigador Ph.D.

Centro de investigación Palmira, AGROSAVIA

dlcorrea@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0003-1655-6102>

Ingeniera agrónoma con maestría y doctorado en Ciencias Agrarias, línea de investigación Manejo de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Tiene experiencia en planificación y ejecución de proyectos de investigación y extensión en el área de degradación, desertificación, cambio climático, cuencas hidrográficas, manejo y conservación de suelos y aguas, evaluación de tierras e indicadores de calidad del suelo. Ha trabajado en la evaluación y monitoreo de indicadores de degradación de suelos y desertificación, campo en el cual ha generado modelos para valoración de riesgo de desertificación en condiciones tropicales mediante la utilización de indicadores biofísicos y socioeconómicos. En la actualidad participa en La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA como investigadora principal y asociada en proyectos de manejo agronómico de cultivos (guayaba, aguacate, mora y cítricos), evaluación de especies nativas forestales y servicios ecosistémicos asociados, zonificación de cultivos, y adaptación a la variabilidad y cambio climático.

Luis Carlos Grajales Guzmán

Investigador Máster

Centro de investigación Palmira, AGROSAVIA

lgrajales@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0002-8762-4806>

Ingeniero agrícola con maestría en Ingeniería Ambiental, con línea de investigación en monitoreo, modelación y gestión de recursos naturales. Cuenta con experiencia en formulación, planeación operativa y administración técnica-financiera de proyectos de investigación agrícola, con enfoque en el manejo sostenible de los recursos naturales agua y suelo, principalmente en diseño e implementación de sistemas de riego, evaluación de indicadores de gestión del recurso hídrico y manejo eficiente del agua en sistemas productivos agrícolas, diseño y evaluación de programas de fertilización y estimación de requerimientos nutricionales de plantas. Actualmente participa en proyectos de investigación en valoración biofísica de tierras para la producción de aguacate, manejo de suelos y recurso hídrico en guayaba y establecimiento de esquemas de producción de semilla de calidad en plátano y guayaba.

Lina Vanessa Garavito Morales

Profesional de apoyo a la investigación

Centro de Investigación Palmira, AGROSAVIA

lgaravito@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0001-5178-6590>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Caldas y estudiante de la Maestría en Ciencias Agrarias, línea de investigación Suelos, de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en proyectos de investigación direccionados al manejo agronómico de cultivos como yuca, batata, aguacate, banano y lulo, con enfoque en el manejo sostenible del suelo, y con participación en el diseño e implementación de programas de fertilización y nutrición vegetal, mejoramiento genético de plantas y conservación de especies forestales. Ha trabajado en la implementación de metodologías participativas para el trabajo con comunidades, como gestión estratégica para el fortalecimiento de capacidades locales. Actualmente participa en proyectos de investigación en el área de evaluación de tierras y manejo de suelos, especies nativas forestales y generación de tecnologías para mejorar la productividad y calidad de la yuca en el suroccidente colombiano.



Este manual recopila resultados de investigación e información de referencia sobre los requerimientos del cultivo, las condiciones de suelos aptos para aguacate Hass y las prácticas de manejo que se deben implementar para conservarlos. Su objetivo principal es fomentar acciones dirigidas a proteger el suelo y reducir la presión que la producción intensiva de aguacate Hass puede ejercer sobre los recursos naturales en el territorio. Para esto, pone a disposición de los actores de la cadena productiva elementos y documentos de fácil acceso y lectura que contribuyan a la planificación del cultivo y la implementación de prácticas que fomenten la sostenibilidad integral del sistema de producción en el departamento del Cauca.

ISBN: 978-958-740-677-1



9789587406771

AGROSAVIA
EDITORIAL