



Prácticas de manejo sostenible para fertilización y riego de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Ronal Arturo Burbano Díaz | Adriana Katherine Rodríguez León
Luis Carlos Grajales Guzmán | Alexander Rebolledo Roa



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



42 *Motivos*
para avanzar



Prácticas de manejo sostenible para fertilización y riego de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Ronal Arturo Burbano Díaz

Adriana Katherine Rodríguez León

Luis Carlos Grajales Guzmán

Alexander Rebolledo Roa

Prácticas de manejo sostenible para fertilización y riego de aguacate Hass en el departamento del Cauca. / Ronal Arturo Burbano Díaz [y otros tres]. -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2023.

196 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, fotografías y gráficos.

ISBN: 978-958-740-665-8

ISBN e-Book: 978-958-740-666-5

1. *Persea americana* 2. Fenología 3. Nutrición de las plantas 4. Balance Hídrico 5. Crecimiento de la planta 6. Tamaño de la fruta 7. Cauca (Colombia). I. Burbano Díaz, Ronal Arturo II. Rodríguez León, Adriana Katherine III. Grajales Guzmán, Luis Carlos IV. Rebolledo Roa, Alexander.

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

Adecuación pedagógica: Amalia Tapiero

Diseño: María Cristina Rueda Traslaviña

Diagramación: Sonia Rodríguez

Ilustraciones: Juan Felipe Martínez Tirado

Impresión: DGP Editores S. A. S.

Impreso en Bogotá, Colombia, noviembre de 2023

Printed in Bogotá

Citación sugerida: Burbano Díaz, R. A., Rodríguez León, A. K., Grajales Guzmán, L. C., & Rebolledo Roa, A. (2023). *Prácticas de manejo sostenible para fertilización y riego de aguacate Hass en el departamento del Cauca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA.

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

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

<http://www.agrosavia.co/>



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Tabla de contenido

Agradecimientos	17
Introducción	18
Características generales del sistema productivo	22
Un producto de exportación	24
El cultivo de aguacate Hass en el departamento de Cauca	26
Desafíos actuales	28
Objetivos de este manual	29
Capítulo I. Optimice la fertilización de su cultivo	30
Conozca los fundamentos de la fertilización	35
Nutrientes esenciales para el crecimiento, el desarrollo y la productividad	36
El agua, elemento clave en el transporte de nutrientes en la planta	38
¿Cómo está compuesto el suelo?	41
Características del suelo en las zonas productoras de aguacate Hass en Cauca	43
Ventajas y desventajas de este tipo de suelo	45
Antes de actuar, evalúe	47
La zona agroecológica del predio, clave para la productividad	47
La cosecha extrae una gran cantidad de nutrientes del suelo	48
Haga análisis de suelos para diagnosticar su estado nutricional	50
Siga estos pasos para tomar la muestra de suelo	51
Haga análisis químico foliar para conocer el estado nutricional de sus árboles	55
Siga estos pasos para realizar el análisis foliar	55
Analice los resultados	59

Elabore un plan de fertilización	62
Calcule el índice de balance de nutrientes (IBN)	62
Fórmulas	63
Ejemplo	64
Fertilización edáfica	69
Yema en latencia	70
Floración	71
Crecimiento inicial del fruto	72
Crecimiento lineal del fruto	73
Tenga en cuenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC)	74
Elija la fuente de nutrientes	75
Pasos para realizar la fertilización edáfica	78
Fertilización foliar	80
¿Cuáles nutrientes debe aplicar?	80
Nitrógeno	80
Boro	81
¿Cuándo debe realizar la fertilización foliar?	81
Pasos para realizar la fertilización foliar	83
Utilice tecnohass para planear la fertilización de su cultivo	85
Ingrese al aplicativo	85
Ingrese y registre sus datos en la plataforma	87
Registre la información de su predio o finca	90
Registre la información de fertilización	95
Registre la producción	95
Guardar el registro del lote	96
Cree el plan de fertilización	97
Ingrese la información del análisis de tejido foliar	98
Ingrese la información del análisis de suelo	99
Elabore el diagnóstico de suelo y tejido foliar	101
Procese los requerimientos nutricionales	103
Obtenga los planes de fertilización recomendados	104
Guarde el informe realizado por TECNOHASS	105
Consideraciones finales	106



Capítulo II. Use de forma eficiente el recurso hídrico 108

Conozca los principales aspectos del riego 111

¿Cuáles variables debe tener en cuenta? 111

Variables ambientales 114

Variables de suelo 116

Textura 116

Infiltración 118

Pendiente 119

Drenaje y nivel freático 120

Variables del cultivo 122

Densidad de siembra 122

Edad del cultivo 123

Porte de los árboles 123

Asociación con otros cultivos 124

Presencia o ausencia y tipos de cobertura 124

Manejo de fertirriego o control fitosanitario
por medio del sistema de riego 125

Compatibilidad con las labores de manejo y mantenimiento del cultivo 126

Etapas fenológicas de importancia para el aporte
de agua en el cultivo de aguacate Hass 127

¿Qué efectos tiene la deficiencia hídrica en estas etapas? 130

Recursos disponibles 131

Fuentes hídricas 131

Calidad del agua 132

Sales y partículas en suspensión 133

Espacio disponible 133

Energía eléctrica 133

Personal capacitado 134

Calcule el balance hídrico del cultivo 134

Programación de riego 137

¿Cómo es el balance hídrico histórico en dos zonas de producción
de aguacate Hass en Cauca? 140



Tipos de sistemas de riego y sus características	142
¿Cuáles son los componentes generales de un sistema de riego?	143
¿Cuáles son los sistemas de riego más recomendados para aguacate Hass?	146
Riego por goteo	146
Ventajas	146
Desventajas	148
Riego por microaspersión	148
Ventajas	150
Desventajas	150
Recomendaciones generales para la conservación del sistema de riego	151
Utilice TECNOHASS para planear el riego de su cultivo	153
Seleccione el plan de riego	154
Ingrese la información	155
Analice e interprete los resultados	164
Gestione el agua en el cultivo de aguacate Hass	167
Manejo del agua en el cultivo en temporada de sequía	171
Manejo del agua en el cultivo en temporada de lluvias	171
Cosecha de agua	172
Cosecha de agua aprovechando las estructuras disponibles	173
Cosecha de agua aprovechando la pendiente del cultivo	174
Lagunas artificiales	175
Cosecha de agua instalando cubiertas inclinadas	176
Manejo de exceso de agua en el cultivo	177
Surcos o zanjas de infiltración	177
Canales superficiales a través del terreno	179
Drenajes topo o túneles	181
Camellones	182
Siembra en terrazas	184
Consideraciones finales	185
Referencias	187
Los autores	193

Lista de figuras

Figura 1. Exportación de aguacate Hass cosechada en Colombia en 2022	25
Figura 2. Panorama de la producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca	27
Figura 3. Elementos esenciales para el cultivo de aguacate Hass	37
Figura 4. Esquema de gradiente de potencial hídrico	39
Figura 5. Fracciones líquida, sólida y gaseosa del suelo	42
Figura 6. Ejemplo de suelo arenoso y franco arenoso	45
Figura 7. Características del suelo del departamento del Cauca influidas por las épocas de lluvia y sequía	46
Figura 8. Extracción de nutrientes por la cosecha de aguacate Hass en condiciones de Cauca	49
Figura 9. Pasos para tomar la muestra de suelo	53
Figura 10. Ejemplo de un resultado de análisis de las propiedades del suelo realizado en los laboratorios de AGROSAVIA	54
Figura 11. Toma de muestras foliares	57
Figura 12. Ejemplo de un resultado de análisis foliar realizado en los laboratorios de AGROSAVIA	58
Figura 13. Yema en latencia	70
Figura 14. Floración de planta de aguacate Hass	71
Figura 15. Crecimiento inicial del fruto	72
Figura 16. Crecimiento lineal del fruto	73
Figura 17. Inflorescencia de la planta de aguacate Hass	82
Figura 18. Aplicación de fertilización edáfica en planta de aguacate Hass	84
Figura 19. Página de AGROSAVIA donde encuentra la plataforma TECNOHASS . .	85

Figura 20. Ubicación de Sistemas de Información en la sección de Oferta Tecnológica de la página de AGROSAVIA	86
Figura 21. Espacio de la plataforma para registrar sus datos de usuario	87
Figura 22. Visualización de la información necesaria para realizar el registro	88
Figura 23. Creación y confirmación de contraseña para acceder a TECNOHASS	88
Figura 24. Visualización de los términos y condiciones de uso del aplicativo	89
Figura 25. Registro de la ubicación de la finca o predio donde se encuentra el cultivo de aguacate	90
Figura 26. Registro de las coordenadas geográficas del predio	91
Figura 27. Etapa final del registro de la información del predio	92
Figura 28. Confirmación de que se ha registrado en la plataforma de TECNOHASS	93
Figura 29. Visualización del acceso a la plataforma después de registrar la información	94
Figura 30. Imagen de la información que debe registrar para crear el lote o lotes donde se va a implementar al plan de fertilización	96
Figura 31. Creación del plan de fertilización para el cultivo en el lote que ha registrado	97
Figura 32. Registro de la información de los nutrientes de los tejidos reportados por el laboratorio en los resultados del análisis foliar	98
Figura 33. Esquema de un análisis de suelo realizado por el Laboratorio de Química Analítica de AGROSAVIA	99
Figura 34. Registro de los nutrientes del suelo reportados en el análisis del laboratorio	100
Figura 35. Resultados del diagnóstico de nutrientes en suelo y tejido foliar realizado por el aplicativo TECNOHASS	102
Figura 36. Resultado de los requerimientos nutricionales procesados por TECNOHASS	103
Figura 37. Ejemplo de plan de fertilización sugerido por el aplicativo TECNOHASS	104

Figura 38. Generación y descarga del informe con los planes de fertilización elaborados por TECNOHASS	105
Figura 39. Principales variables ambientales relacionadas con el balance hídrico del cultivo de aguacate Hass	115
Figura 40. Tipos de textura del suelo según su contenido de arena, arcilla y limo	117
Figura 41. Infiltración del agua lluvia en el suelo	118
Figura 42. Pendiente del terreno	119
Figura 43. Ejemplo de suelo con mal y buen drenaje	121
Figura 44. Calendario fenológico de los principales estados fenológicos en el cultivo de aguacate Hass en Cauca, caso parcela experimental en el municipio de Morales	128
Figura 45. Estación meteorológica	136
Figura 46. Comportamiento histórico de la precipitación y la evapotranspiración de referencia El Tambo y Morales	141
Figura 47. Componentes básicos del sistema de riego por goteo para aguacate Hass	144
Figura 48. Componentes de un sistema de riego por goteo	147
Figura 49. Esquema de un sistema de riego por microaspersión	149
Figura 50. Mantenimiento del sistema de riego por goteo en parcela experimental de aguacate Hass en el departamento del Cauca	152
Figura 51. Visualización del acceso a los planes de riego	154
Figura 52. Ubicación del enlace para agregar la información necesaria para que el aplicativo calcule el balance hídrico	155
Figura 53. Espacio en la plataforma donde se define el método para calcular el ETo	156
Figura 54. Elección de opciones de humedad relativa y velocidad del viento que permiten elegir el método FAO Penman-Monteith para calcular la ETo	157
Figura 55. Definición de las opciones de humedad relativa y velocidad del viento que permiten elegir el método Hargreaves para calcular la ETo	158

Figura 56. Definición de las variables para establecer el área de humedecimiento y opción de guardar el plan de riego	159
Figura 57. Opciones para conocer la información diaria de las estaciones meteorológicas	161
Figura 58. Reporte del balance hídrico correspondiente al día para el cual se registraron los datos	163
Figura 59. Historial del balance hídrico en los municipios productores de aguacate Hass y el balance hídrico calculado	164
Figura 60. Descarga en formato PDF del informe diario de necesidades de riego	165
Figura 61. Visualización del módulo “Planes de riego” luego de que haya completado uno de los registros de información	166
Figura 62. Identificación de puntos y recomendaciones clave para el ahorro y uso eficiente del agua	170
Figura 63. Aprovechamiento de estructuras como techos de casas y otras construcciones para cosecha de agua	173
Figura 64. Aprovechamiento de la pendiente del terreno (desnivel) para recolección y cosecha de agua	174
Figura 65. Ejemplo de lagunas artificiales o tanques para la captación y almacenamiento de aguas lluvias	175
Figura 66. Estructuras para la recolección de aguas lluvias en zonas planas	176
Figura 67. Zanjas de infiltración en ladera para captación de agua y drenaje de suelos en épocas de lluvia en zonas productoras de aguacate Hass en el Cauca	178
Figura 68. Canales de drenaje en zonas de acumulación de humedad en lotes de aguacate Hass	180
Figura 69. Ejemplo de drenajes topo	181
Figura 70. Camellón usado para establecimiento de aguacate en zonas productoras	183
Figura 71. Tipos de terrazas utilizadas para disminuir el riesgo de erosión en los suelos de ladera	185

Lista de tablas

Tabla 1. Valores de referencia tomados de la “Quinta Aproximación del <i>Manual de asistencia técnica</i> ”	60
Tabla 2. Valores estándar en tejido vegetal y coeficientes de variación para el departamento del Cauca	61
Tabla 3. Rangos de los contenidos nutricionales en hojas de aguacate	66
Tabla 4. Macronutrientes y formulaciones comerciales que pueden ser utilizadas en un plan de fertilización	76
Tabla 5. Variables necesarias para calcular el balance hídrico	139
Tabla 6. Matriz de evaluación de los factores considerados para una correcta gestión del agua en cultivos de aguacate Hass	169





Agradecimientos

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) expresa su sincero agradecimiento a la Gobernación del Cauca, a través de la Secretaría de Desarrollo Económico y Competitividad, por el valioso respaldo financiero proporcionado a través del Sistema General de Regalías. Este apoyo fue fundamental para la realización del proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca”, del cual se obtuvieron los datos y la información que sustentan este documento.

Asimismo, deseamos expresar nuestro reconocimiento a los productores que colaboraron activamente en este proyecto. En particular, agradecemos a Libardo Peña, miembro de la asociación Aprat, y a Esperanza Ledezma, de la asociación Asproamilenio, ambos ubicados en el municipio de El Tambo, así como a Fernando Velasco y Nelson Porfidio Otero, de la asociación Asproamor, en el municipio de Morales, departamento del Cauca.





Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una especie frutal perenne perteneciente a la familia Lauraceae. Su fruto es ampliamente conocido por su rico contenido de aceites y proteínas, así como por los numerosos beneficios que aporta a la salud. Estas características lo han convertido en un producto muy valorado en los mercados internacionales, particularmente en Europa y Estados Unidos. El aguacate se destaca por su alto valor nutricional, sus propiedades organolépticas y su contenido de ácidos grasos monoinsaturados, lo cual lo convierte en una fruta muy demandada (Yahia & Woolf, 2011).

Este frutal se cultiva en más de setenta países en todo el mundo, de los cuales los principales productores son México, Colombia, República Dominicana, Indonesia y Kenia. En el año 2021, se produjeron un total de 8'100.000 toneladas (t) de aguacate en el mundo, abarcando una superficie de cultivo de 858.152 hectáreas (ha). México lidera la producción de este fruto, con 2'393.849 t en el mismo año (Food and Agriculture Organization [FAO], 2020). Por su parte, Colombia es el segundo mayor productor mundial de aguacate, con una producción de 443.059 t.



En el cultivo de aguacate Hass, el agua desempeña un papel fundamental en todos los procesos fisiológicos de las plantas. El déficit hídrico conduce a situaciones de estrés por sequía, lo cual desencadena una serie de eventos que impactan de forma negativa el crecimiento, el desarrollo y la productividad de la planta. El estrés por sequía disminuye el potencial productivo y genera la producción de frutos de menor calidad. La principal fuente de agua para el cultivo son las precipitaciones, razón por la cual los programas de riego se han enfocado en épocas en las que las lluvias son escasas debido a factores locales y globales.

Cabe destacar que en el trópico y en la cordillera de los Andes de Colombia, donde se cultiva la variedad Hass, las lluvias están influidas por factores locales como el relieve, la altitud, la presión atmosférica, los vientos, entre otros. Normalmente, en esta región las épocas de lluvia tienden a ser estacionales, caracterizadas por tener dos periodos de alta precipitación y dos periodos con menor precipitación (régimen bimodal). Sin embargo, el cambio climático ha producido variaciones en estos patrones. En algunos años no se presenta este régimen estacional y las lluvias son escasas (años “niño”), mientras que en otros años las precipitaciones acumuladas superan las que se han presentado históricamente en la región (años “niña”) (Lawrence & Vandecar, 2015; Mitchard, 2018; Xie et al., 2015).

En el trópico, las épocas de lluvia tienden a ser estacionales, caracterizadas por dos periodos de alta precipitación y dos periodos con menor presencia de lluvias.

La nutrición en el cultivo del aguacate Hass también desempeña un papel fundamental en el éxito reproductivo y tiene un impacto directo en la productividad. Un desequilibrio en la disponibilidad de nutrientes en los árboles puede disminuir el rendimiento y ocasionar la producción

de frutos de menor calidad y tamaño en la cosecha (Rebolledo-Roa & Burbano-Díaz, 2023).

En este sentido, uno de los desafíos más significativos que enfrentan los productores es determinar qué nutrientes aplicar, en qué cantidades y cuándo aplicar los fertilizantes de manera óptima. La evidencia científica ha demostrado que reponer los nutrientes extraídos por la cosecha es fundamental para mantener los árboles en condiciones nutricionales adecuadas. Para establecer los requerimientos específicos del cultivo, es crucial realizar estudios locales que permitan determinar qué cantidad de nutrientes son extraídos por la cosecha en árboles altamente productivos y en las condiciones edafoclimáticas particulares de la región en estudio (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001, 2003).

Teniendo en cuenta los valores de extracción de nutrientes en la cosecha, un paso clave para determinar la cantidad de fertilizante que se debe aplicar es hacer un diagnóstico nutricional del cultivo. Este proceso consiste en comparar los análisis químicos del suelo o el potencial aporte de nutrientes del suelo con el estado nutricional de la planta, el cual se evalúa mediante el análisis de tejido vegetal. Estas herramientas de diagnóstico permiten calcular con precisión la cantidad necesaria de cada nutriente, lo cual a su vez facilita una fertilización racional y eficiente (Rebolledo-Roa & Burbano-Díaz, 2023; Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001, 2003).



Reponer los nutrientes extraídos por la cosecha es fundamental para mantener los árboles en condiciones nutricionales adecuadas.

Características generales del sistema productivo

Los árboles de aguacate pueden desarrollarse en una amplia variedad de tipos de suelo, incluyendo arcillosos, arenosos, de origen volcánico, lateríticos y calizos (Lim, 2012). En términos generales, estos árboles requieren suelos con un buen sistema de drenaje, ya que sus raíces son susceptibles a condiciones de anegamiento que provocan la falta de oxígeno (Fassio et al., 2009). Además, los aguacates no toleran la salinidad del suelo y prosperan mejor en un rango de pH entre 5 y 7, aunque es posible cultivarlos en condiciones alcalinas.

Las diferentes razas y genotipos de aguacates han demostrado su capacidad de adaptación a diversas condiciones agroecológicas. Estos árboles pueden crecer tanto a nivel del mar como a altitudes elevadas de hasta 2.250 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). En Colombia, la variedad Hass se cultiva en la región altoandina en alturas superiores a los 1.800 m.s.n.m. Esta elección de altitud por lo general se realiza para evitar problemas fisiológicos y enfermedades relacionados con las características de las raíces de estos árboles.



Específicamente, *Persea americana* presenta diversos tipos botánicos, entre los cuales la variedad Hass se clasifica en la raza *P. americana* var. *guatemalensis*, también conocida como raza guatemalteca. Esta variedad es originaria de las zonas de montaña de América Central y destaca por sus excelentes características agronómicas y la calidad de la fruta (Bergh & Ellstrand, 1986).

El fruto de la variedad Hass es de tamaño pequeño y tiene una piel gruesa, con un espesor de aproximadamente 6 mm, que protege la pulpa. Además, se caracteriza por tener una semilla pequeña que generalmente no se encuentra suelta en la **cavidad locular** (Bender, 2012; Bergh & Ellstrand, 1986). Por su parte, las hojas de la planta de Hass son de tamaño pequeño y pueden presentar colores que van desde el verde hasta el rojizo. Esta variedad exhibe una adaptación intermedia a las condiciones del suelo y el clima en comparación con las razas americana y mexicana.

Glosario

Cavidad locular. Espacio dentro del fruto donde se encuentran las semillas. La pulpa comestible del aguacate rodea esta cavidad locular. Las semillas se encuentran en el centro y están rodeadas por la pulpa.



Un producto de exportación

El cultivo de aguacate Hass ha cobrado gran importancia en el país debido a la creciente demanda internacional. En 2015, se exportaron 5.543 t, valuadas en US\$ 10,3 millones (mercancía puesta en el puerto de embarque), cifras que mostraron un aumento notable en los años siguientes, pues en 2021 las exportaciones alcanzaron 96.357,7 t y generaron ingresos de US\$ 203,7 millones. Además, en el periodo de enero a septiembre de 2022 se exportaron 75.900,4 t, equivalentes a US\$ 142,6 millones (mercancía puesta en el puerto de embarque), un valor significativo teniendo en cuenta que durante el mismo periodo en 2021 se exportaron 69.629,3 t (Asociación Nacional de Comercio Exterior [Analdex], 2022).

Entre los principales países que más exportaciones colombianas recibieron durante el periodo de enero a septiembre de 2022 destacan Países Bajos, Estados Unidos, Reino Unido, España, Alemania, Bélgica, Francia, Hong Kong, Corea del Sur y Rusia. De estos, Estados Unidos experimentó el mayor incremento de exportaciones colombianas de este fruto.

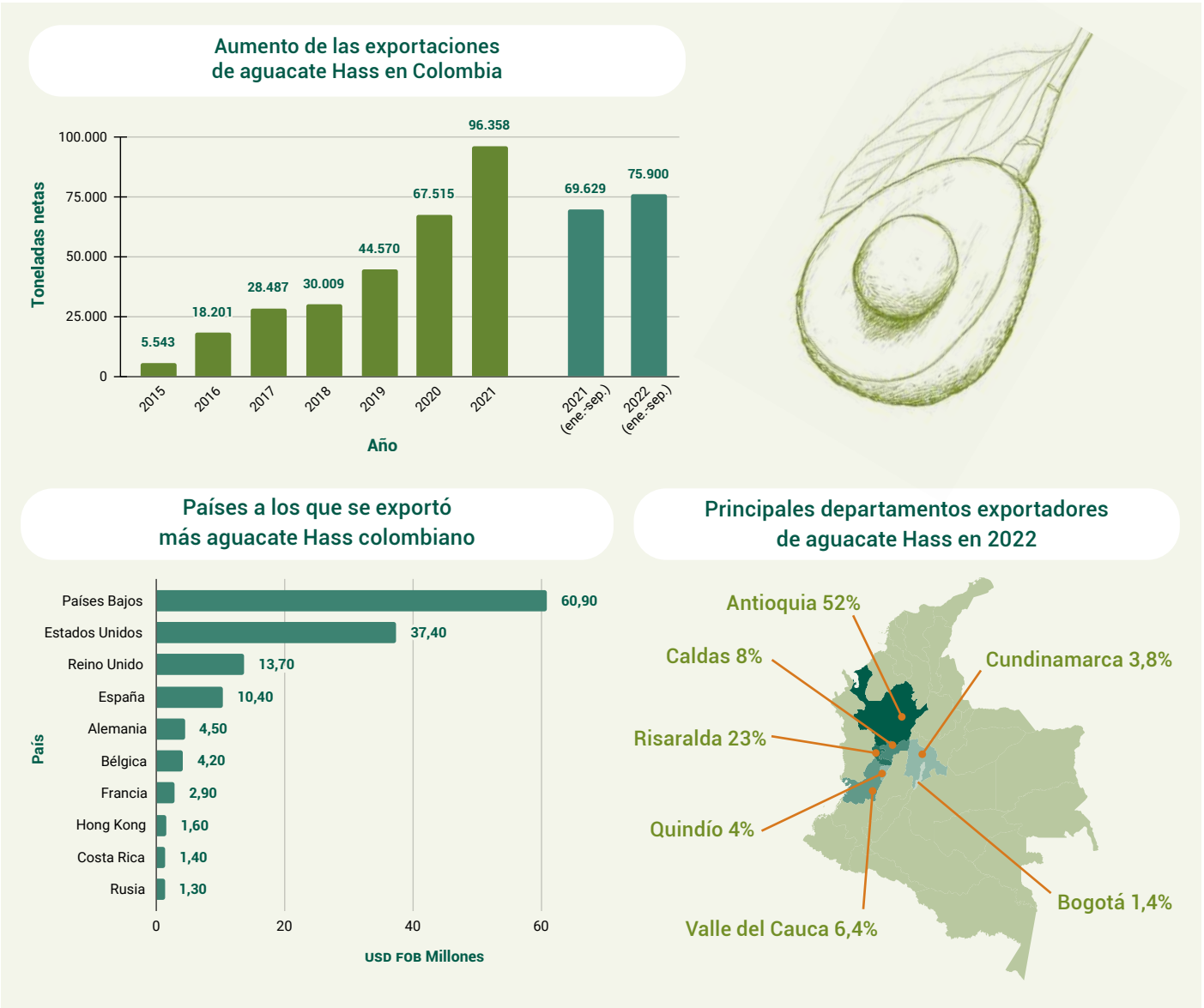
En el ámbito nacional, los principales departamentos que produjeron aguacate Hass de exportación en 2022 fueron Antioquia (52%), Risaralda (23%), Caldas (8%), Valle del Cauca (6,4%), Quindío (4%), Cundinamarca (3,8%) y Bogotá (1,4%) (Analdex, 2022) (figura 1).

Glosario



USD FOB. Es una abreviatura que significa “*United States Dollars Free on Board*” en inglés. En español, se traduce como “Dólares Estadounidenses Franco a Bordo” y se utiliza en comercio internacional para indicar el precio de un producto o mercancía que incluye su costo hasta que se encuentra a bordo del medio de transporte (por lo general, un barco o un avión) en el país de origen, pero no incluye los costos de flete y seguro adicionales una vez que la mercancía se ha embarcado. En resumen, USD FOB representa el precio de un producto en el punto de embarque, antes de los gastos de transporte y seguro adicionales.

Figura 1. Exportación de aguacate Hass cosechada en Colombia en 2022.



Fuente: Elaboración propia con base en Analdex (2022)

El cultivo de aguacate Hass en el departamento de Cauca

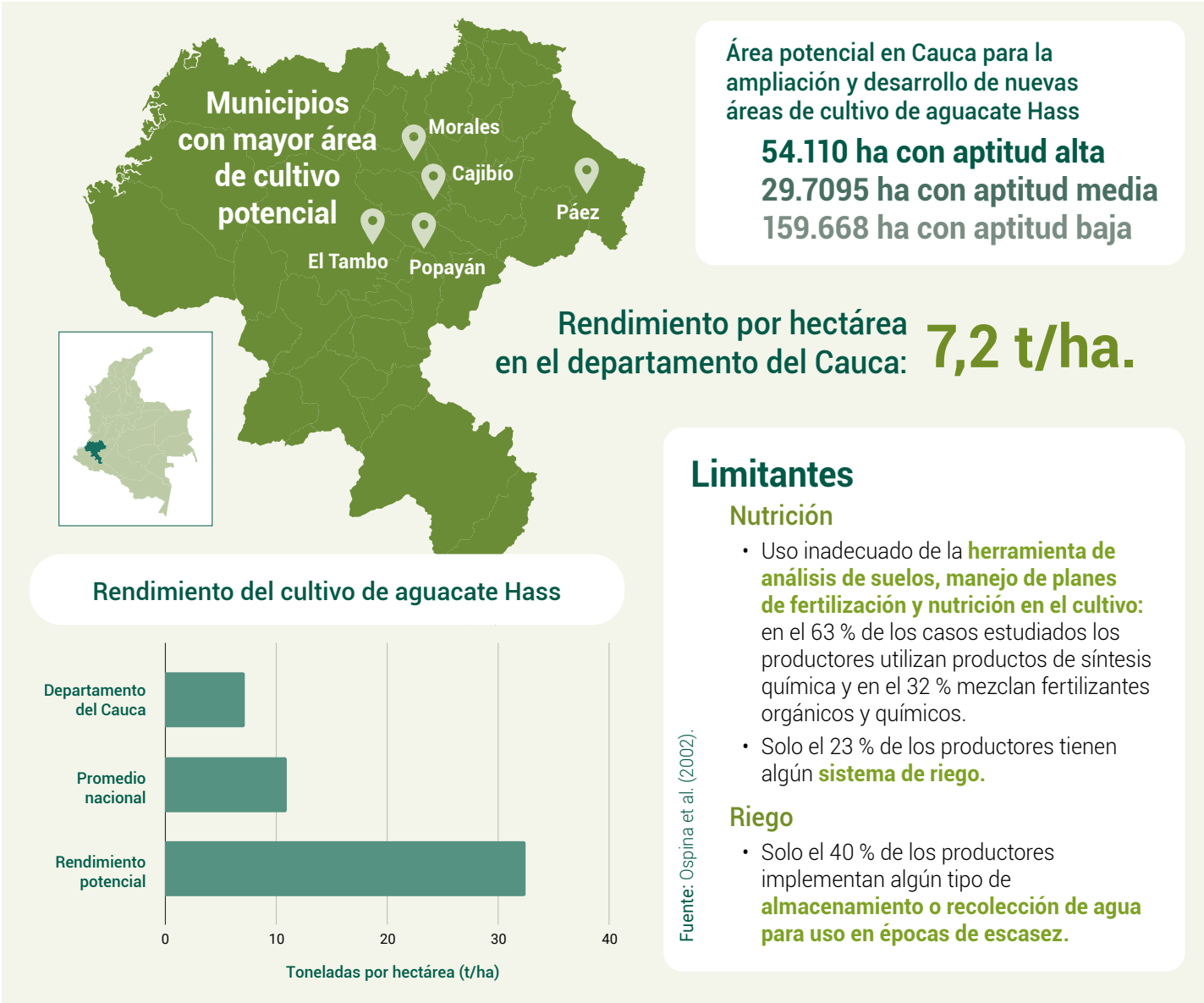
Para 2021, había más de 4.000 productores de Hass en Colombia, con un área sembrada de 31.518 ha. De estas, 20.446 ha, que corresponden al 65 % del total sembrado, estaban en etapa productiva (Minagricultura, 2021). Cauca reportó alrededor de 944,4 ha sembradas con aguacate Hass en 2021 (Agronet, 2022), de las cuales 458 ha estaban registradas ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) como predios exportadores. De estas, 334 ha se encontraban en estado productivo (Romoleroux, 2022).

A pesar de que el área sembrada en el departamento es baja en comparación con el total nacional, la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) estima que Cauca cuenta con un área potencial de 54.110 ha con aptitud alta para la ampliación y el desarrollo de nuevas áreas de cultivo de aguacate Hass. Asimismo, tiene 29.7095 ha con aptitud media y 159.668 ha con aptitud baja, estas últimas caracterizadas por presentar algunas limitaciones para la producción. Los municipios con mayor área de cultivo potencial son El Tambo, Cajibío, Popayán, Páez (Belalcázar) y Morales (Fonseca et al., 2018).

En cuanto al rendimiento por hectárea, en Cauca se reporta un valor de 7,2 t/ha (Agronet, 2022), el cual está por debajo del promedio nacional de 11 t/ha (Minagricultura, 2021) y muy por debajo del rendimiento potencial del cultivo de aguacate Hass de 32,5 t/ha (Rebolledo & Dorado, 2017) (figura 2).

Cauca cuenta con un área potencial de 54.110 ha con aptitud alta para ampliar y desarrollar nuevos cultivo de aguacate Hass.

Figura 2. Panorama de la producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia con base en Fonseca et al. (2018); Agronet (2022); Minagricultura (2021) y Rebolledo y Dorado (2017)

Desafíos actuales

El acompañamiento técnico en el manejo del cultivo es accesible para solo el 44% de los productores y en el 70% de los casos estudiados la mano de obra es escasa debido a la competencia con otros sistemas productivos agrícolas y mineros. De hecho, en el 28% de los casos esta labor es desempeñada por integrantes del núcleo familiar.

Dentro de las limitantes tecnológicas que afectan la producción y la exportación de aguacate Hass destacan el uso inadecuado de la herramienta de análisis de suelos y el manejo de planes de fertilización y nutrición en el cultivo. En este sentido, se observa que los agricultores tienden a utilizar productos de síntesis química en el 63% de los casos, mientras que el 32% emplea una mezcla de fertilizantes orgánicos y químicos.

De igual forma, el riego se considera otra de las limitantes, ya que solo el 23% de los productores cuenta con algún tipo de sistema de irrigación. Principalmente, se utilizan sistemas de riego por aspersión, seguidos de sistemas de riego por gravedad y, en menor medida, sistemas de riego por goteo. Además, solo el 40% de los productores implementa estrategias de almacenamiento o recolección de agua con el fin de utilizarla en épocas de escasez (Ospina et al., 2002).

Es necesario usar la herramienta de análisis de suelos para orientar los planes de fertilización y nutrición en el cultivo, así como para implementar sistemas de riego eficientes.

Objetivos de este manual

Teniendo en cuenta el potencial de producción, las características de los productores y las limitaciones mencionadas, el objetivo de este manual es darles a los productores del Cauca recomendaciones prácticas para que mejoren los niveles de producción de aguacate Hass mediante las siguientes acciones:

1. Mejorar la comprensión de las interacciones entre la nutrición y el estado hídrico del cultivo.
2. Perfeccionar las técnicas de toma de muestras para análisis de suelos y foliares.
3. Ofrecer información sobre diferentes fuentes de fertilización y sus características.
4. Identificar factores clave en el ciclo productivo para diseñar prácticas de fertilización y de riego que mejoren los rendimientos.
5. Elegir y adaptar el sistema de riego en función de las características particulares del lugar de producción.
6. Gestionar adecuadamente el agua en el sistema productivo durante las épocas secas y de lluvias.
7. Describir y promocionar la herramienta tecnológica TECNOHASS, la cual también se presenta en este manual debido a su utilidad para generar planes de fertilización y riego adaptados a las condiciones específicas del departamento.





CAPÍTULO I

**Optimice la fertilización
de su cultivo**

El suelo es uno de los recursos primordiales en la agricultura: no solo es el sustrato fundamental en el cual crecen las plantas, sino que también es un medio a través del cual estas obtienen los recursos necesarios para llevar a cabo sus procesos metabólicos esenciales. Junto con el agua, las plantas toman del suelo el aire y los nutrientes minerales que requieren para su nutrición y desarrollo.

A excepción del carbono, que se obtiene del aire, los nutrientes minerales del suelo son absorbidos por las raíces en forma de solución acuosa. Posteriormente, la planta procesa estos nutrientes, los transporta y los almacena en sus células y órganos, listos para ser utilizados en diversas funciones metabólicas (Marschner, 2011; Robledo et al., 2008).

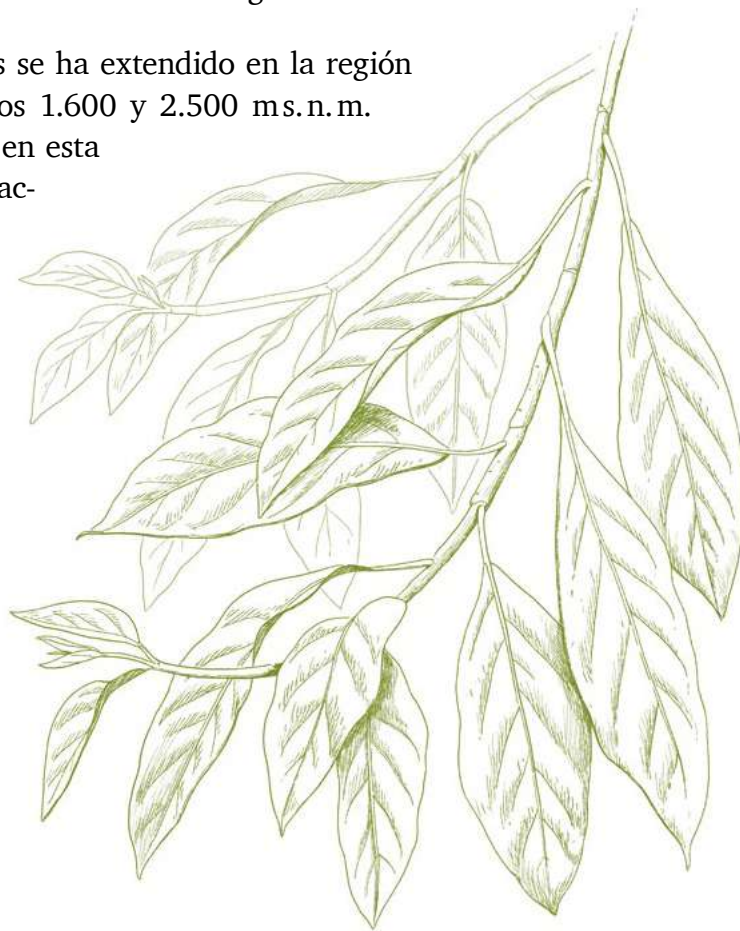
Los suelos a menudo no contienen todos los nutrientes minerales necesarios para el óptimo desarrollo y alto rendimiento de los cultivos. En cambio, pueden presentar limitaciones como bajas concentraciones de cierto iones o un pH inadecuado que dificultan la disponibilidad de nutrientes minerales. Esto plantea un desafío significativo en la producción agrícola, ya que la deficiencia de un solo elemento esencial para las plantas puede limitar la productividad de los cultivos y reducir su rendimiento potencial.

La deficiencia de un solo elemento esencial para las plantas puede limitar la productividad de los cultivos y reducir su rendimiento potencial.



En este escenario, la fertilización se destaca como una herramienta fundamental para abordar estas deficiencias nutricionales en el suelo. El uso adecuado y racional de diversas fuentes de fertilización, sean químicas u orgánicas, se ha convertido en una premisa fundamental en la agricultura contemporánea. Esta práctica es esencial para el éxito del cultivo y para preservar la salud y la calidad del suelo en el sistema agrícola.

En Colombia, el cultivo de aguacate Hass se ha extendido en la región Andina, en altitudes que oscilan entre los 1.600 y 2.500 ms.n.m. La clasificación taxonómica de los suelos en esta región los identifica como andisoles, caracterizados por su origen volcánico, una textura que va desde arenosa hasta franco arenosa, bajo pH que tiende a la acidez, buen drenaje y un material parental dominado por alófonos, lo que resulta en una alta retención de aniones como fosfato, sulfato, molibdato y borato (Ramírez-Gil et al., 2018). Además, los suelos en la región suelen tener una capacidad de intercambio catiónico relativamente baja. Esta característica, combinada con las altas tasas de precipitación, conduce a la lixiviación de iones esenciales que actúan como nutrientes minerales de los cultivos (Gómez, 1991).





Los estudios sobre la nutrición del aguacate han establecido una estrecha correlación entre la disponibilidad de iones minerales en el suelo y el estado nutricional de los árboles. En suelos con pH ácido y bajos niveles de materia orgánica (MO), se han observado concentraciones bajas de nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y calcio (Ca) en el tejido foliar. Asimismo, se han encontrado concentraciones elevadas de elementos como hierro (Fe) y zinc (Zn). Sin embargo, es importante destacar que estas variaciones pueden ser específicas de cada región y están vinculadas a los patrones de crecimiento y desarrollo del cultivo (García-Martínez et al., 2021; Maldonado-Torres et al., 2007; Salazar-García et al., 2016).

Los frutos representan el principal órgano de acumulación de nutrientes en el cultivo, de manera que la cantidad de nutrientes que extraen varía según el rendimiento potencial del cultivo. Por lo tanto, reintegrar al suelo los minerales extraídos por la cosecha constituye una herramienta esencial para satisfacer las demandas nutricionales del cultivo. En este sentido, los planes de fertilización que se basan en la cantidad de nutrientes retirados de los frutos y su reincorporación al suelo son una herramienta valiosa para garantizar el éxito productivo del cultivo y la obtención de frutos de alta calidad (Rebolledo-Roa & Burbano-Díaz, 2023; Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2003).

Reintegrar al suelo los minerales extraídos por la cosecha constituye una herramienta esencial para satisfacer las demandas nutricionales del cultivo.

Conocer el estado nutricional de la planta es fundamental para alcanzar niveles óptimos de producción. Herramientas como el análisis de suelos y el análisis foliar permiten diagnosticar las necesidades nutricionales del cultivo, lo cual facilita la elaboración de planes de fertilización

eficientes. De esta manera, se cubre la demanda nutricional de la planta y se optimiza la aplicación de fertilizantes. Con este objetivo, se recomienda tener en cuenta estos factores:

1. Los conceptos fundamentales de la fertilización: la importancia de los nutrientes, el papel del agua en el transporte de los nutrientes y el papel de las características del suelo en la absorción de nutrientes.
2. Las **condiciones agroecológicas de la zona**.
3. Las características fisicoquímicas del suelo.
4. La extracción de nutrientes por la cosecha.
5. Un plan de fertilización que tenga en cuenta los **ciclos fenológicos** del cultivo: fertilización edáfica y foliar.

Glosario

Condiciones agroecológicas de la zona. Se trata de una unidad de mapeo de los recursos de la tierra que se define en función del clima, relieve, tipos de suelos o cobertura de la tierra. Esta unidad presenta un rango específico de potenciales y limitaciones para el uso de la tierra.

Ciclo fenológico. Es el conjunto de etapas que una planta atraviesa durante su vida, las cuales están influenciadas por factores ambientales como la temperatura y la luz. Comprender este ciclo es crucial en agricultura para tomar decisiones como siembra y cosecha en el momento óptimo.



En los siguientes apartados se desarrolla esta información y se hacen recomendaciones para implementar un plan de fertilización oportuno y eficiente.

Conozca los fundamentos de la fertilización

Previamente hemos destacado la importancia de la nutrición y los elementos minerales en el crecimiento, desarrollo y éxito productivo del aguacate. AGROSAVIA ha llevado a cabo estudios en condiciones específicas del departamento del Cauca para examinar los valores de extracción de nutrientes por parte de la cosecha en árboles altamente productivos.

Estos estudios también incluyen el desarrollo de una metodología precisa y eficiente para la fertilización de aguacate, la cual se basa en el índice de balance de nutrientes (IBN) y ha sido ampliamente investigada y validada en árboles frutales. Esta metodología ofrece a los productores la capacidad de aplicar la cantidad adecuada de nutrientes, para evitar excesos y deficiencias en la fertilización. Además, el estudio de las propiedades químicas del suelo permite seleccionar con precisión las fuentes y los nutrientes necesarios para el cultivo, de manera que se garantice la aplicación óptima de los trece elementos esenciales para el desarrollo del aguacate, los cuales se describen en las siguientes secciones.



Información complementaria:

Nutrient Balance in Hass Avocado Trees as a Tool to Optimize Crop Fertilization Management.



<https://doi.org/10.3390/agronomy13081956>

Nutrientes esenciales para el crecimiento, el desarrollo y la productividad

La buena fertilización de los cultivos es fundamental para alcanzar buenos rendimientos y una óptima calidad del fruto. En el caso del cultivo de aguacate Hass –**planta perenne** que perdura durante varios años–, es crucial mantener un equilibrio adecuado de los nutrientes necesarios para la formación de los frutos y el mantenimiento de todas las funciones de la planta. Es bien sabido que las plantas superiores requieren trece elementos esenciales para su crecimiento y desarrollo, y que cualquier desequilibrio de estos puede afectar directamente el rendimiento o las funciones metabólicas.

Los elementos esenciales requeridos para el cultivo de aguacate Hass se clasifican en macronutrientes y micronutrientes (Marschner, 2011):

1. *Los macronutrientes* son elementos esenciales para las plantas, necesarios en cantidades significativas para asegurar su adecuado crecimiento y desarrollo. Los principales macronutrientes requeridos por la planta de aguacate Hass son el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio, el azufre y el magnesio.
2. *Los micronutrientes* son elementos esenciales que las plantas requieren en cantidades mínimas, pero desempeñan un papel crucial en su crecimiento y desarrollo. Estos incluyen hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, boro y cloro, y participan en procesos como la fotosíntesis, la formación de enzimas y hormonas, y el mantenimiento de la salud celular. A pesar de su baja concentración, la deficiencia de micronutrientes puede tener efectos negativos en la vitalidad y productividad de las plantas (figura 3).

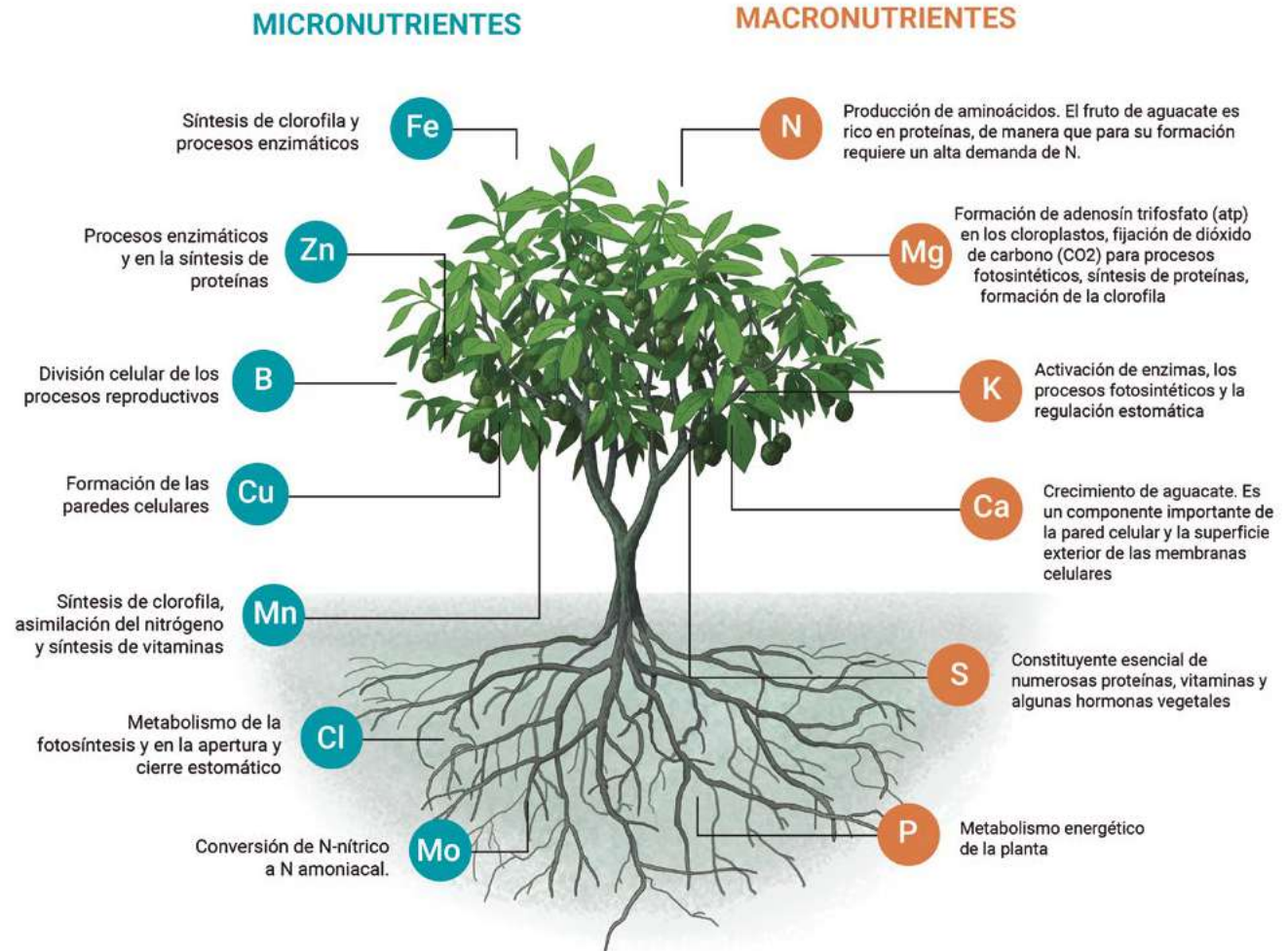
Glosario



Planta perenne.

También llamada vivaz, es una planta que subsiste al menos dos años.

Figura 3. Elementos esenciales para el cultivo de aguacate Hass.



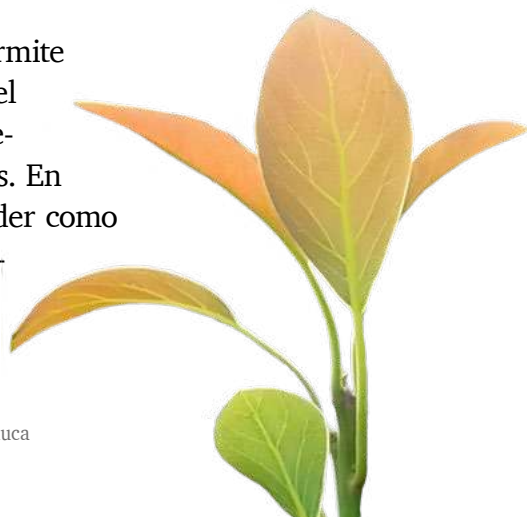
Fuente: Elaboración propia.

El agua, elemento clave en el transporte de nutrientes en la planta

Para que la planta pueda aprovechar los nutrientes es necesario que estén disponibles en el suelo en forma de solución acuosa. Por lo tanto, es importante mantener una humedad adecuada en el suelo para que las raíces puedan absorber los nutrientes y estos puedan ser transportados a través de los órganos de la planta. Dada la importancia de esta temática, en el capítulo 2 se abordan en detalle las necesidades de riego para el cultivo de aguacate.

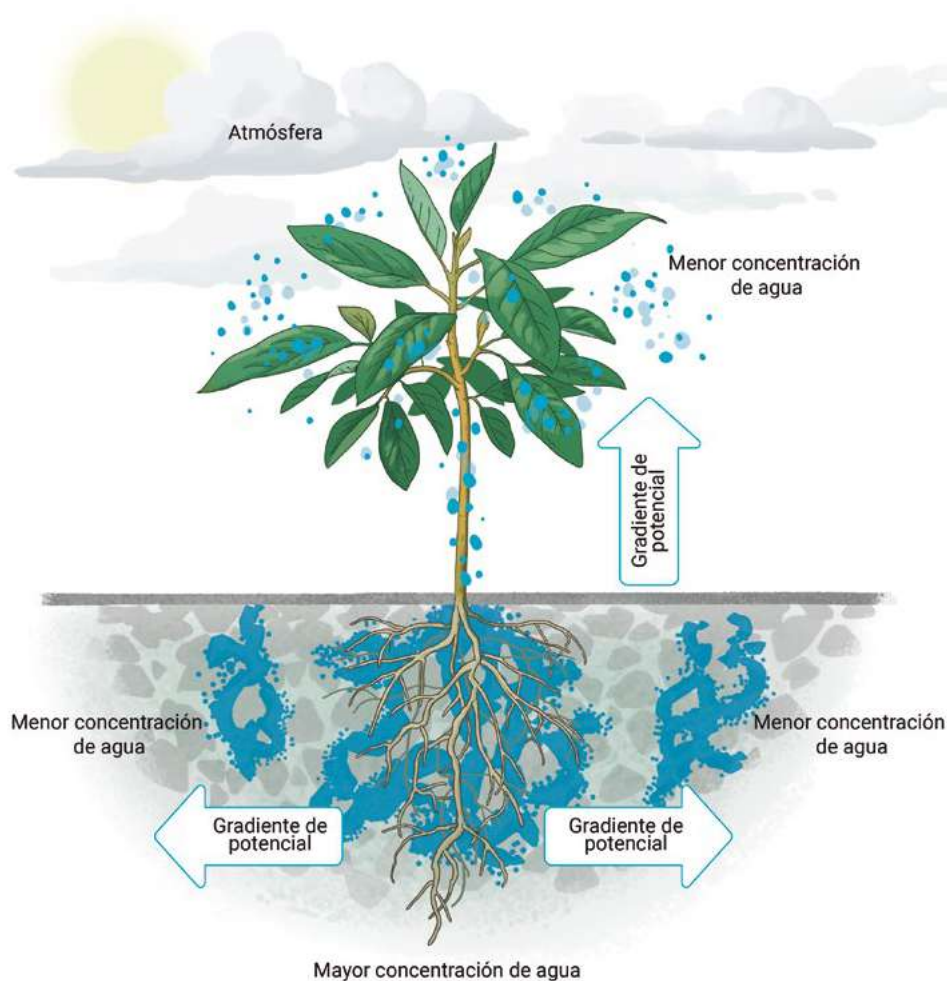
La principal función de las raíces es transportar agua y sales minerales para nutrir a la planta, proceso en el cual son decisivos dos fenómenos físicos: el potencial hídrico y el gradiente de potencial:

1. *El potencial hídrico* indica la disponibilidad de agua en un sistema. Específicamente, es una medida de la energía del agua en un sistema y afecta la forma en que el agua se mueve en las plantas. El agua tiende a moverse desde áreas con más energía (potencial hídrico más positivo y, por ende, más agua) a áreas con menos energía (potencial hídrico más negativo y, por lo tanto, menos agua). Esto es importante para la absorción de agua y nutrientes en las plantas.
2. *El gradiente de potencial* es la diferencia de energía que permite que las raíces de las plantas absorban agua y nutrientes del suelo, ya que las raíces tienen un potencial hídrico más negativo que el suelo, lo cual atrae el flujo de agua hacia ellas. En otras palabras, este gradiente de potencial se puede entender como el movimiento del agua desde una zona de mayor concentración de agua hacia una de menor concentración (figura 4).



Así pues, las raíces absorben el agua disponible en el suelo junto con los nutrientes minerales que contiene y la transporta a través del tallo (Papendick & Campbell, 2015).

| **Figura 4.** Esquema de gradiente de potencial hídrico.



Fuente: Elaboración propia.

El movimiento de agua entre el suelo y la atmósfera se produce a través de este gradiente de potencial, que comienza con la absorción del agua por las raíces y su ascenso a través del tallo hacia las hojas y brotes. Finalmente, el agua es liberada a la atmósfera, que representa una zona de menor concentración de agua. Cabe destacar que si la precipitación resulta insuficiente para cubrir las demandas hídricas del cultivo, es necesario compensar las pérdidas de agua del sistema suelo-planta hacia la atmósfera. Este proceso de pérdida de agua es conocido como *evapotranspiración*.

Como se señaló, dado que el agua y los nutrientes se transportan simultáneamente en la planta, es indispensable asegurar una disponibilidad adecuada de nutrientes en el suelo para garantizar una nutrición óptima. Por lo tanto, para definir un plan de fertilización que se adecúe a las necesidades del cultivo, es importante que tenga en cuenta estas recomendaciones, las cuales se amplían en los siguientes apartados del capítulo:

Dado que el agua y los nutrientes se transportan de forma simultánea en la planta, es indispensable asegurar una disponibilidad adecuada de nutrientes en el suelo para garantizar una nutrición óptima.

- 1.** Comprenda el sistema radicular para que logre una gestión eficiente del riego y la nutrición (Marschner, 2011).
- 2.** Tenga en cuenta los requisitos nutricionales específicos del cultivo en cada ciclo productivo.
- 3.** Realice análisis de suelo y foliar para evaluar el estado nutricional de la planta.

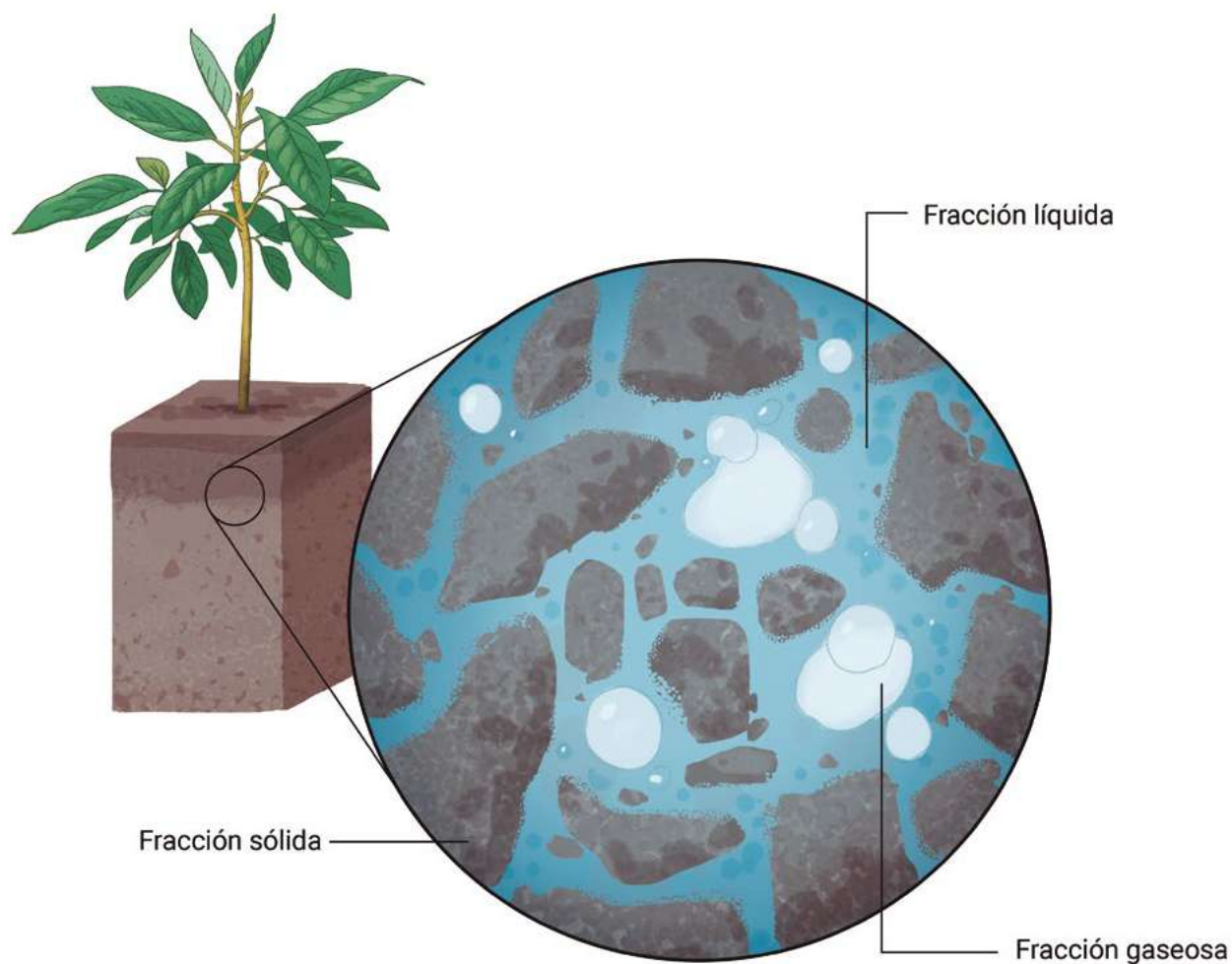
¿Cómo está compuesto el suelo?

El suelo está compuesto por una fracción sólida (los minerales), una fracción líquida y una fracción gaseosa, como se describe a continuación y en la figura 5:

1. *Fracción sólida:* es la que se encuentra en mayor proporción en los suelos y se clasifica según su granulometría –es decir, según el tamaño de las partículas– y sus propiedades químicas.
2. *Fracción líquida:* es el agua que contiene los nutrientes disueltos del suelo, las sustancias orgánicas, los fertilizantes y los microorganismos.
3. *Fracción gaseosa:* está compuesta por los poros del suelo y contiene los mismos componentes de la atmósfera, aunque la proporción de CO_2 puede ser mayor debido a la actividad de micro y macroorganismos (Jaramillo, 2002).



| Figura 5. Fracciones líquida, sólida y gaseosa del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Además de las diversas fracciones que componen el suelo, las propiedades químicas son de gran importancia para definir los planes de fertilización para el cultivo. Una de las más relevantes para la nutrición de la planta es la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cual indica la habilidad del suelo para retener y liberar iones cargados positivamente (cationes) esenciales para las plantas. Suelos con una CIC más alta retienen una cantidad significativamente más alta de iones y, por lo tanto, son más fértiles. Esta propiedad depende de factores como el contenido de arcilla, la materia orgánica y los minerales en la fracción sólida del suelo, y tiene un papel fundamental en la planificación de la fertilización en la agricultura.

Características del suelo en las zonas productoras de aguacate Hass en Cauca

En las zonas productoras de aguacate Hass en Cauca, los suelos son ricos en materia orgánica (MO). El contenido de MO está determinado por factores como el clima, la vegetación, el **relieve**, el **material parental** y el tiempo, lo cual significa que puede variar enormemente dentro de una misma región.

Sin embargo, a pesar de esta variabilidad, la mayoría de las zonas productoras de aguacate Hass en Cauca se caracterizan por tener suelos con alto contenido de arena y texturas predominantemente arenosas o franco-arenosos, como se describe a continuación:

Glosario



Relieve. Es el conjunto de formas que conforman el paisaje, como montañas, mesetas, llanuras entre otros.

Material parental. Es la roca o el sustrato geológico original a partir del cual se forma un suelo a lo largo del tiempo. El material parental determina las características del suelo, como su textura, contenido mineral y capacidad de retención de nutrientes y agua.



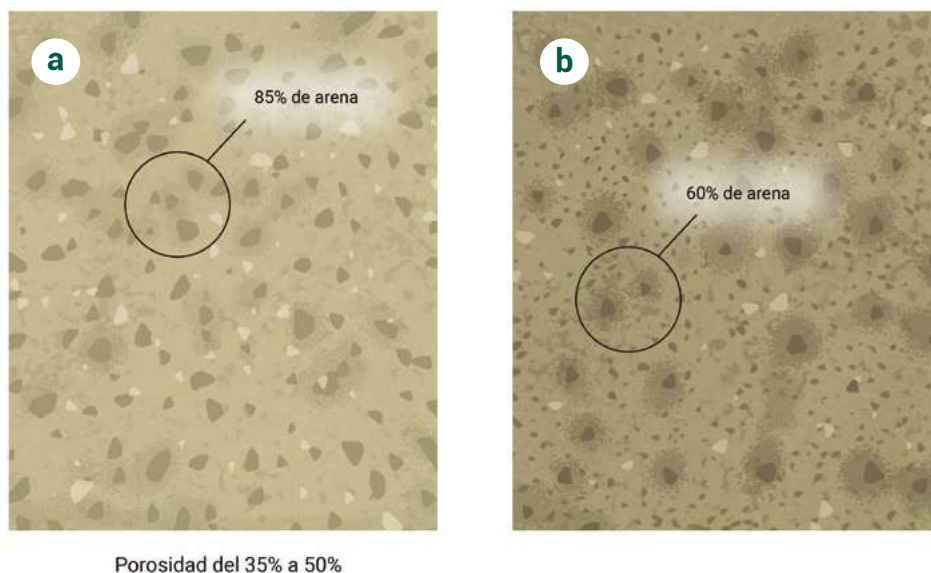
1. *Un suelo arenoso* contiene una alta proporción de partículas de arena en comparación con otros tipos de partículas, como arcilla y limo. Los suelos arenosos tienden a tener partículas de arena que son relativamente grandes y gruesas. Como resultado, estos suelos tienen una estructura granular suelta y permiten un excelente drenaje del agua, lo cual evita la retención excesiva de humedad.

Sin embargo, debido a su falta de retención de agua y nutrientes, los suelos arenosos a menudo requieren más irrigación y fertilización para mantener un cultivo saludable (figura 6a).

2. *La textura franco-arenosa* del suelo es una mezcla de partículas de arena y partículas de limo y arcilla en proporciones relativamente equilibradas. Los suelos franco-arenosos tienen una textura intermedia entre los suelos arenosos (con predominio de partículas de arena) y los suelos francos (que tienen una mezcla equilibrada de partículas de limo y arcilla). Este tipo de suelo tiende a retener mejor la humedad y los nutrientes en comparación con los suelos arenosos puros, lo cual puede ser beneficioso para el cultivo de plantas, ya que proporciona un buen equilibrio entre el drenaje y la retención de agua y los nutrientes (figura 6b).

Los suelos arenosos tienen una estructura granular suelta y permiten un excelente drenaje del agua, lo cual evita la retención excesiva de humedad.

Figura 6. Ejemplo de suelo arenoso (a) y franco arenoso (b).



Fuente: Elaboración propia.

Ventajas y desventajas de este tipo de suelo

Este tipo de suelo beneficia el cultivo del aguacate Hass, ya que tiene una buena capacidad de drenaje y una baja acumulación de sales. En estos suelos se pueden encontrar tanto arenas gruesas (2 a 0,2 mm) como finas (0,2 a 0,02 mm), característica que favorece la penetración de las raíces, la distribución del agua y la fracción gaseosa.

No obstante los atributos mencionados, estos suelos representan un desafío para el establecimiento del cultivo debido a su capacidad limitada para retener nutrientes y agua, lo que los vuelve propensos a la erosión (Jaramillo, 2002) (figura 7).

Figura 7. Características del suelo del departamento del Cauca influidas por las épocas de lluvia y sequía.

Suelos del departamento del Cauca con vocación para el cultivo de aguacate Hass		
Características	Comportamiento en temporada de lluvia	Comportamiento en temporada seca
Textura arenosa	Buen drenaje cuando hay exceso de lluvias	Se seca rápidamente
Textura franco-arenosa	Mayor retención de humedad	Se seca rápidamente
Alto contenido de materia orgánica	Nitrógeno disponible a través del ciclo del nitrógeno	Ayuda a la retención de humedad
Baja CIC	Iones presentes en el suelo disponibles. Fertilizantes disueltos en solución disponibles para la planta. El exceso de lluvias puede “lavar” los iones.	Los iones minerales no están disponibles para la nutrición de la planta
Pendiente moderada a alta	Favorece el drenaje	Susceptible a erosión
Fertilización química	Fertilizantes disponibles para la planta. Mejora la fertilidad del suelo.	Fertilización poco eficiente. Nutrientes no aprovechados por la planta. Puede acidificar el suelo.

Fuente: Elaboración propia.

Antes de actuar, evalúe

Además de comprender los conceptos que se describieron en el apartado anterior, para elaborar un plan de fertilización adecuado para su cultivo es necesario que conozca las condiciones agroecológicas del predio, la extracción de nutrientes por la cosecha, las características del suelo y el estado nutricional de la planta. Esta información le permitirá determinar los requisitos nutricionales del cultivo y elaborar un plan de fertilización adecuado y eficiente.

La zona agroecológica del predio, clave para la productividad

Las condiciones agroecológicas están estrechamente vinculadas a las características específicas del lugar donde se establece el cultivo, lo que se conoce como *zonificación agroecológica*. Específicamente, la FAO (2020) define las zonas agroecológicas como las “áreas que comparten combinaciones similares de clima, características de suelo y potencial biofísico para la producción agrícola”. Por lo tanto, las condiciones agroecológicas tienen un papel determinante en la respuesta y el potencial del cultivo.

En este sentido, para las condiciones del departamento del Cauca se debe prestar atención a los siguientes aspectos:

Las zonas agroecológicas se definen como áreas que comparten combinaciones similares de clima, propiedades de suelo y potencial biofísico para la producción agrícola.

- *Clima*: precipitación, temperatura, luminosidad, radiación y humedad relativa.
- *Suelo*: textura, contenido de materia orgánica, pendiente, pH y fertilidad.
- *Potencial biofísico*: acceso al agua, topografía y ecosistema.

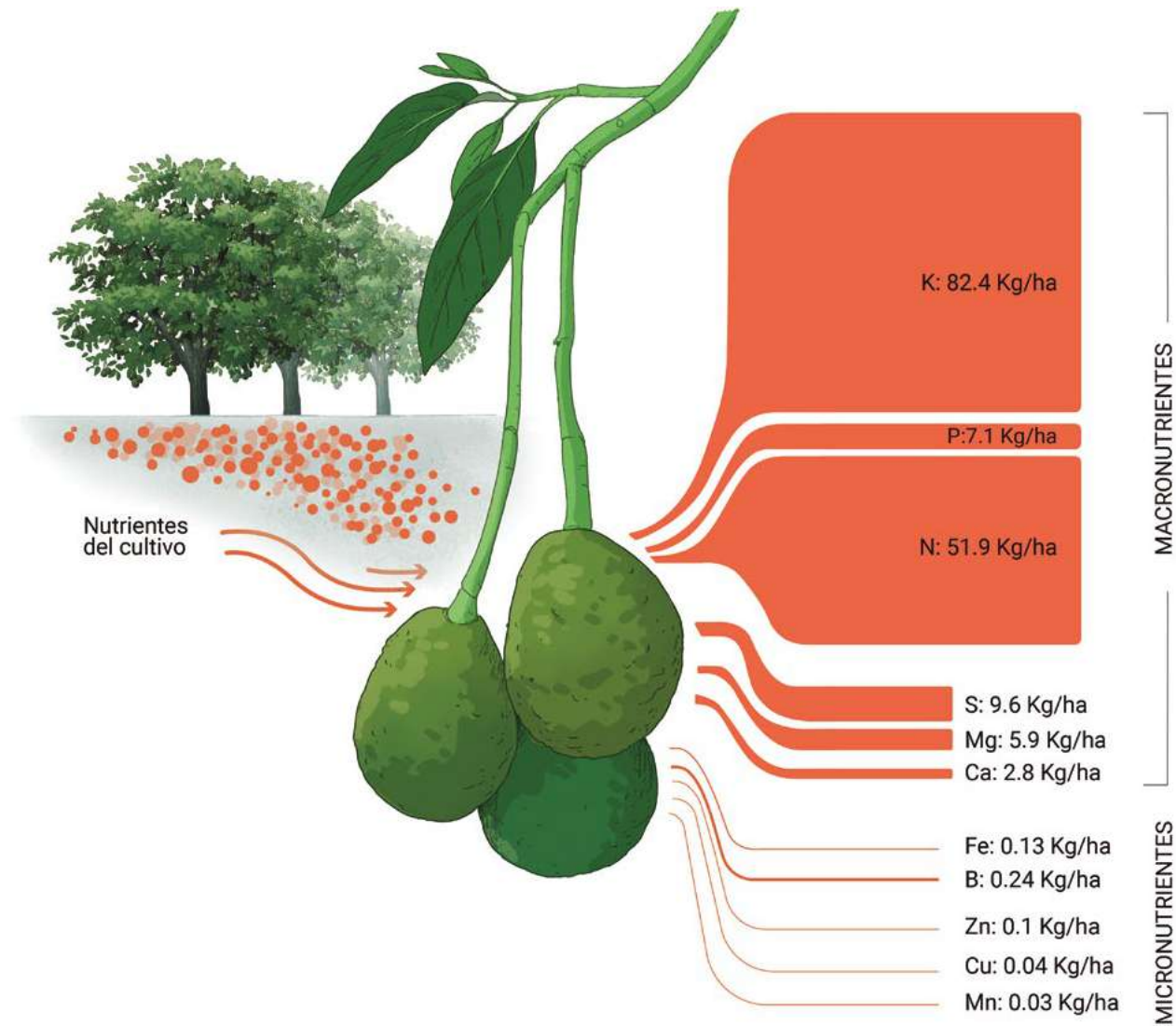
La combinación de estos factores determinará el potencial productivo del cultivo, de manera que es fundamental que los agricultores evalúen y comprendan estos factores en la región productora de aguacate Hass para que tomen decisiones informadas sobre cómo optimizar el manejo del cultivo, maximizar su potencial productivo y minimizar las limitaciones.

La cosecha extrae una gran cantidad de nutrientes del suelo

Los frutos del aguacate son un órgano de reserva de la planta, por ende, cada vez que se remueven por la cosecha se está eliminando una gran cantidad de minerales almacenados en ellos que deben ser devueltos al cultivo a través del plan de fertilización. En la figura 8 se presentan los valores de extracción de nutrientes que AGROSAVIA ha encontrado en sus investigaciones en el departamento del Cauca (Rebolledo & Burbano, 2023).

Cada vez que se remueven los frutos por la cosecha, se elimina una gran cantidad de minerales almacenados en ellos.

Figura 8. Extracción de nutrientes por la cosecha de aguacate Hass en condiciones de Cauca.



Fuente: Elaboración propia con base en Rebolledo-Roa y Burbano-Díaz (2023).

Como se verá más adelante, para definir el plan de fertilización de su cultivo debe tener en cuenta estos valores y relacionarlos con la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la eficiencia en su aplicación. Con esta información podrá hacer el diagnóstico nutricional del cultivo y obtener el **índice de balance de nutrientes** (IBN), que es la metodología implementada por AGROSAVIA para realizar una adecuada fertilización de aguacate Hass. Además, esta herramienta también utiliza como indicador el nivel de los nutrientes en la planta, que se diagnostican con un análisis foliar.

Haga análisis de suelos para diagnosticar su estado nutricional

Dadas las características de los suelos de Cauca, es importante implementar un plan de fertilización adecuado para el cultivo de aguacate Hass que considere todas las **propiedades físicas y químicas** de la zona productora con el objetivo de lograr un uso racional y eficiente de las fuentes de fertilización. Para lograrlo, es necesario que el productor reconozca la importancia de realizar análisis de suelos y foliares, así como que esté familiarizado con el procedimiento adecuado de muestreo.



Glosario

Índice de balance de nutrientes. Herramienta de diagnóstico que considera la variación fisiológica de cada nutriente en árboles altamente productivos como referencia para determinar el estado nutricional de un cultivo bajo un plan de manejo nutricional específico. Se usa para ajustar las dosis y fuentes de fertilizantes según las condiciones agroecológicas de desarrollo del cultivo.

Propiedades fisicoquímicas.

Este concepto hace referencia a la cantidad y calidad del agua, los nutrientes, la fracción gaseosa, la fracción sólida, el pH, la materia orgánica, la textura, la porosidad, etc.

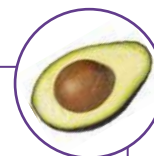
Siga estos pasos para tomar la muestra de suelo

El análisis químico de suelos es una herramienta fundamental para evaluar y diagnosticar la fertilidad del suelo. Proporciona información valiosa para determinar la concentración de nutrientes esenciales para el desarrollo y la producción de las plantas.

Por esta razón, AGROSAVIA ha establecido una colaboración con Efecty-Servientrega para la recepción y envío de muestras destinadas a estos análisis. Cuando visite los puntos de atención, realice el pago correspondiente por el análisis de fertilidad de suelos AGROSAVIA y recibirá una bolsa de seguridad para depositar las muestras. Este acuerdo ha facilitado a numerosos productores obtener un diagnóstico nutricional del suelo en sus fincas.

A continuación se describe el procedimiento para la toma de muestras y análisis de suelos:

- 1. Defina las áreas homogéneas:** antes de tomar las muestras de suelo, debe identificar áreas homogéneas dentro de la finca. Estas áreas fraccionadas permitirán obtener muestras representativas que reflejen de manera precisa las condiciones del suelo en cada sección. Tenga en cuenta las siguientes características para definir las áreas homogéneas: relieve, cultivo, aplicación de enmiendas o fertilizantes, color y textura del suelo.



Información complementaria

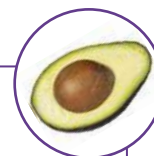
Consulte el

"Procedimiento para la toma de muestras y análisis de suelos".



https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11556/Ver_documento_11556.pdf

2. **Establezca el número de muestras y las zonas de muestreo:** una vez que haya identificado las áreas homogéneas, debe definir la cantidad de muestras necesarias para realizar un diagnóstico preciso del suelo. Tenga en cuenta que estas áreas homogéneas son específicas de cada finca y, en consecuencia, deberá calcular el número de muestras que extraerá de su predio.
3. **Planee un recorrido:** existen tres formas de establecer un recorrido para muestrear las áreas homogéneas: en zigzag, en forma de “X” o en forma de “Z”. Debe seleccionar el recorrido más apropiado, evitando tomar muestras cerca de los límites de la finca, carreteras, cuerpos de agua, caminos y cualquier zona donde se haya producido una alteración significativa del suelo.
4. **Muestree en la gotera de los árboles:** en lotes donde el cultivo ya esté establecido, se recomienda muestrear de 4 a 5 árboles por hectárea, tomando cuatro muestras de forma cruzada (una en cada cara del árbol) a una profundidad de 40 cm, con un barreo o pala. La herramienta debe estar limpia y libre de cualquier agente que pueda contaminar el suelo.
5. **Empaque las muestra:** con las manos limpias, mezcle todas las submuestras que ha tomado en el paso anterior, limpie las impurezas, como hojarasca y cualquier elemento extraño al suelo. En la bolsa limpia que se le ha entregado para el muestreo, llene un volumen aproximado a 1 kg. Selle la bolsa y diligencie los datos que aparecen en la bolsa (figura 9).



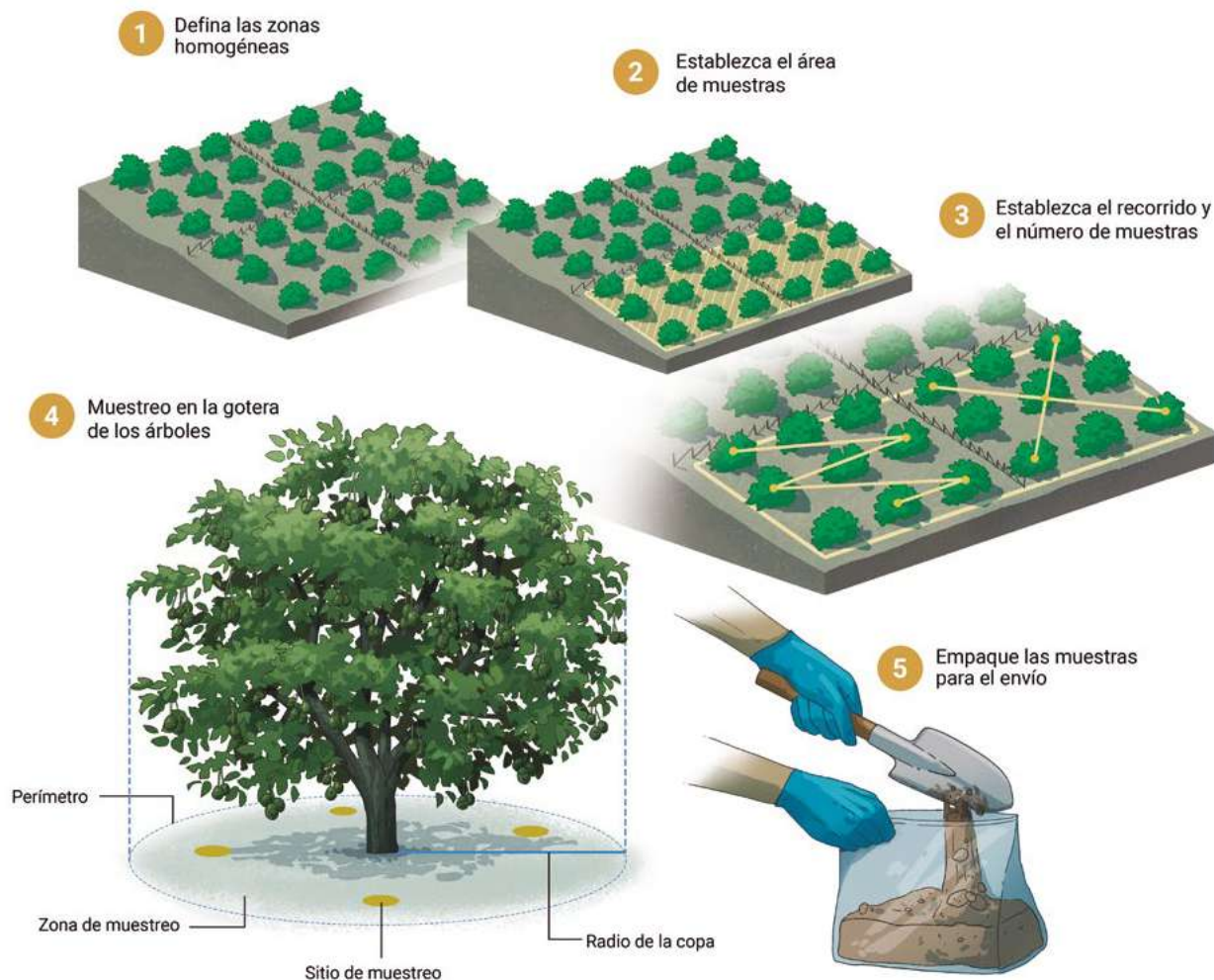
Información complementaria

Para obtener información más detallada sobre la toma de muestras, se puede consultar el documento titulado *Criterios para la definición de planes de fertilización y aplicación de riego en cultivos de aguacate Hass con un enfoque tecnificado*.



<https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7406801>

| Figura 9. Pasos para tomar la muestra de suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez el laboratorio haya realizado el análisis de las muestras, le enviará un reporte como el que se presenta en la figura 10.

Figura 10. Ejemplo de un resultado de análisis de las propiedades del suelo realizado en los laboratorios de AGROSAVIA.



**REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO
DE SERVICIOS UNA MUESTRA
GESTIÓN DE LA AGENDA CORPORATIVA**

LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA (Química de suelos)

1. Información del cliente

NOMBRE Y APELLIDO: P1000769 - ALEXANDER REBOLLEDO ROA
CÉDULA O NIT: P1000729
DIRECCIÓN: AGROSAVIA - C.I PALMIRA
DEPARTAMENTO: CAUCA
MUNICIPIO: EL TAMBO
TEL, FIJO/CEL: 3155136243 /
TIPO DE ANALISIS: FERTILIDAD COMPLETO

NÚMERO SOLICITUD	CÓDIGO DE LABORATORIO
QAS22-003278	LQAS22-006178

2. Información de la muestra suministrada por el cliente

IDENTIFICACIÓN: EL UVO 20 - 40 cm
MATRIZ: Suelos
VEREDA: EL ZARZAL
FINCA: EL UVO
PRODUCTOR: ALEXANDER REBOLLEDO
CULTIVO(S): Aguacate variedad NO INDICA con 10 Año(s) de edad

ALTURA: 1682m.s.n.m
PROFUNDIDAD: 20 a 40 cm
TIPO DE RIEGO: Goteo
TOPOGRAFIA: Pendiente moderada
DRENAJE: No indica

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia con acreditación ONAC vigente a la fecha, con código de acreditación 13-LAB-031, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017

El laboratorio tiene acreditación ONAC bajo la norma NTC ISO/IEC 17025 en los ensayos de: pH (Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25.), fósforo disponible Bray II (Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 07, 2021-10-25.), conductividad eléctrica en suelos (NTC 5596:2008 Método B.), cationes cambiabiles en suelo calcio, magnesio, potasio y sodio disponibles (Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 9, 2021-10-25.), micronutrientes en suelo por Olsen modificado Hierro, Manganeseo, Cobre y Zinc (NTC 5526:2007 Método D.), determinación de Carbono Orgánico en suelo (Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 4, 2021-10-25.).

FECHA DE RECEPCIÓN 2022-07-08

FECHA DE ANÁLISIS: De 2022-07-11 a 2022-07-27

FECHA DE REPORTE: 2022/07/28

Yeni Rodríguez Giraldo (E6968)

Coordinador técnico del laboratorio de Química Analítica

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR	INTERPRETACION*
pH (1:2.5)	Unidades de pH	Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25.	5.29	Fuerte a extremadamente ácido
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS/m	NTC 5596:2008 Método B.	0.35	No salino
Materia Orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 5403 Walkey & Black	7.10	Alto
Carbono Orgánico (CO)	g/100g	Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 4, 2021-10-25.	4.12	
Fósforo (P) Disponible (Bray II)	mg/kg	Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 07, 2021-10-25.	2.71	Bajo
Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio	23.05	Alto
Capacidad Interc. Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo	2.42	Baja
Boro (B) Disponible	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio	0.29	Medio
Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl	0.46	No Indica
Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCl	0.26	Sin restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 9, 2021-10-25.	1.25	Bajo
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 9, 2021-10-25.	0.38	Bajo

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3
CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATÁ
KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA (CUNDINAMARCA)
TELÉFONOS: 4227300 EXTENSION: 1369
suelos@agrosavia.co

Página 1 de 18

GA-F-97
Versión: 5

Fuente: Laboratorio de Química Analítica de AGROSAVIA.

Haga análisis químico foliar para conocer el estado nutricional de sus árboles

El análisis foliar es una herramienta de gran utilidad para evaluar el estado nutricional de los árboles de cultivo, y su ventaja radica en la posibilidad de realizar un seguimiento continuo a lo largo del tiempo en plantas perennes. Después de la cosecha, y dependiendo de la cantidad de frutos producidos, es necesario reponer al suelo, al menos, la cantidad de nutrientes extraídos por los frutos. Las hojas de los brotes vegetativos del crecimiento reproductivo del ciclo de producción anterior pueden servir como indicadores del estado nutricional de la planta después de que haya sostenido una carga elevada de cosecha.

En caso de que decida hacer un muestreo posterior, se recomienda tomar hojas del flujo de crecimiento de inflorescencias indeterminadas, ya que están directamente relacionadas con el suministro de nutrientes para los frutos en desarrollo. Esta información permite tomar decisiones precisas sobre la fertilización y la reposición de nutrientes, de tal manera que se garantice que los árboles mantengan un nivel óptimo de nutrición.

Siga estos pasos para realizar el análisis foliar

A continuación se describe el procedimiento para tomar las muestras y solicitar el análisis foliar.

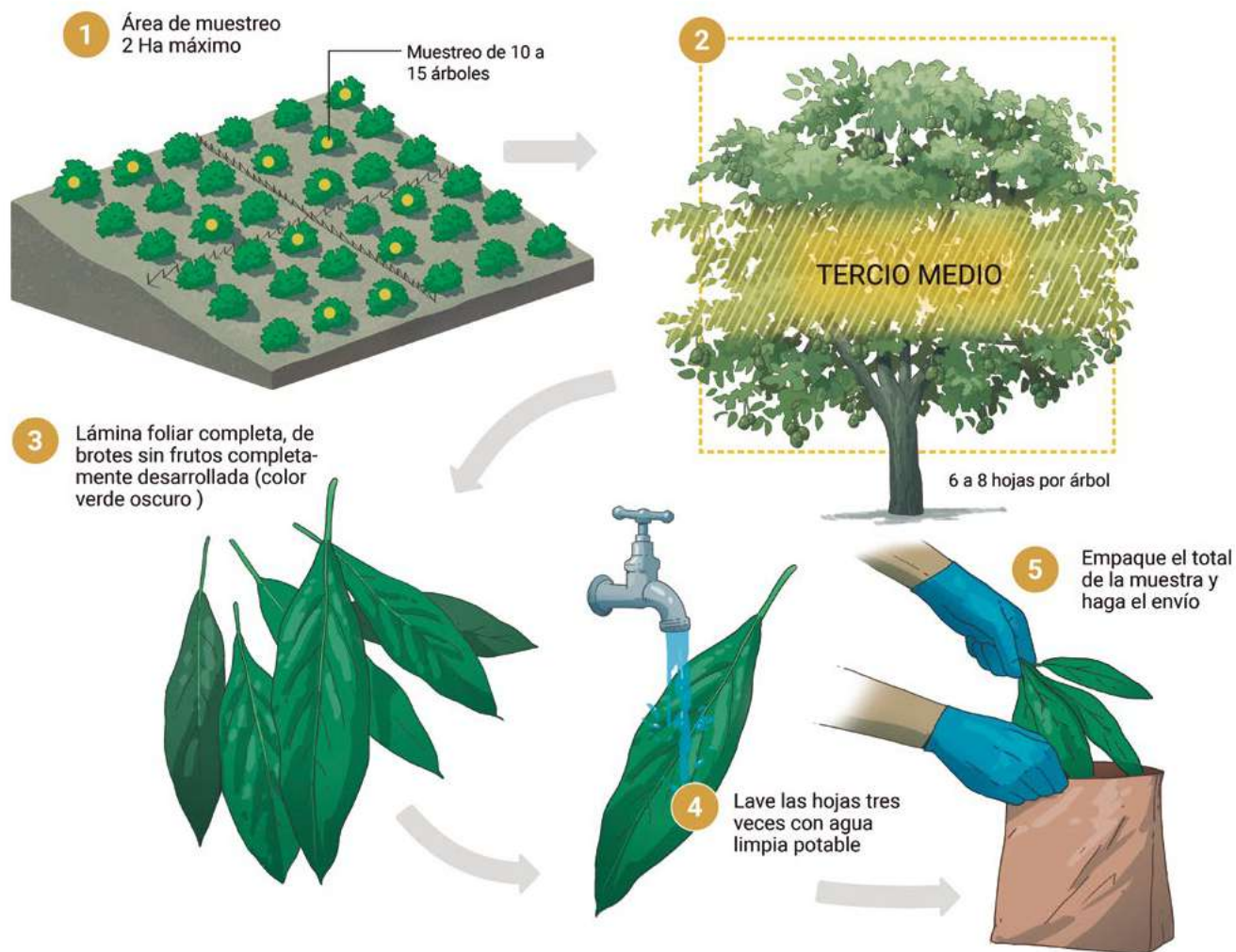


1. El tamaño de una unidad de muestreo no debe superar las 2 ha. La parcela tiene que ser lo más uniforme posible en relación con la edad, el suelo, el cultivo y el desarrollo de los árboles.
2. Seleccione de seis a ocho hojas, incluyendo lámina y pecíolo, que se encuentren a una altura de 1,5-2,0 m y pertenezcan a diez árboles muestreados. Las hojas deben provenir de brotes vegetativos y estar totalmente desarrolladas, sin síntomas de enfermedades o presencia de plagas.
3. Haga un triple lavado sobre las hojas para retirarles cualquier impureza. Asegúrese de que el agua esté limpia, que sea potable y, si realizó aplicaciones de productos agroquímicos sobre el cultivo, tenga en cuenta el periodo de carencia para muestrear las hojas solo cuando haya pasado el tiempo indicado por el fabricante.
4. Deje secar las hojas y empáquelas en una bolsa de papel, luego empáquelas en la bolsa para muestreo y envíelas a laboratorio (figura 11).

Una vez el laboratorio haya realizado el análisis de las muestras le enviará un reporte como el que se presenta en la figura 12.



Figura 11. Toma de muestras foliares.



Fuente: Elaboración propia con base en Rebolledo y Dorado (2017).

Figura 12. Ejemplo de un resultado de análisis foliar realizado en los laboratorios de AGROSAVIA.

 Corporación colombiana de investigación agropecuaria	GESTIÓN DE LA AGENDA CORPORATIVA		CÓDIGO: GA-F-73	
			VERSIÓN: 3	
	REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIOS DE SERVICIOS UNA MUESTRA		Fecha de vigencia: (2018-10-30)	
LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA			# DE SOLICITUD	CÓDIGO DE LABORATORIO
1. Información del cliente Nombre y Apellido: ALEXANDER REBOLLEDO Cédula o Nit: 800194600-3 Dirección: C.I. PALMIRA Dpto: CAUCA Municipio: MORALES Tel. fijo/Celular: EXT. 2529 Tipo de análisis: COMPLETO NUTRIENTES			185	F22-17066
2. Información de la muestra Identificación: T1A2B1 REGALO Matriz: HOJAS Finca: EL REGALO Cultivo: AGUACATE Tiempo de establecido: + 10 años Porte de la planta para análisis: HOJAS Sintomatología: NO INDICA				
Fecha de recepción: 2022-07-08 Fecha(s) de análisis: 2022-07-08 2022-08-16 Fecha de reporte: 2022-08-16			Yeni Rodríguez Giraldo (CG968) Coordinador Técnico de Laboratorio	
DETERMINACIÓN ANALÍTICA UNIDAD		MÉTODO (EXTRACCIÓN/CUANTIFICACIÓN)	VALOR*	INTERPRETACIÓN
Nitrógeno (N)	%	Método 96052 Oficial AOAC versión 2016 modificado: Kjeldah/Volumetría	2,893	
Fósforo (P)	%	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	0,80	
Potasio (K)	%	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	1,399	
Calcio (Ca)	%	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	1,062	
Magnesio (Mg)	%	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	0,278	
Sodio (Na)	%	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	0,002	
Azufre (S)	%	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	0,246	
Hierro (Fe)	mg*Kg-1	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	104,629	
Cobre (Cu)	mg*Kg-1	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	9,402	
Manganeso (Mn)	mg*Kg-1	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	110,801	
Zinc (Zn)	mg*Kg-1	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	38,794	
Boro (B)	mg*Kg-1	GA-R-B2: Digestión cerrada. Ácido nítrico:peroácido de hidrógeno 5:3/ GA-R-274: Espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acopiado ICP-OES	21,909	
Observaciones				

Fuente: Laboratorio de Química Analítica de AGROSAVIA.

Analice los resultados

Con el objetivo de establecer pautas para desarrollar planes de fertilización que optimicen la productividad en los cultivos de aguacate Hass, es necesario recurrir a la aplicación de fuentes externas de nutrientes. Esta práctica se debe basar en las necesidades específicas de la planta, las características fisicoquímicas del suelo y las condiciones nutricionales del cultivo.

La fertilización adecuada comienza con un diagnóstico nutricional que implica evaluar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y determinar la cantidad de nutrientes requeridos por la planta. Este análisis proporciona información sobre la cantidad de nutrientes presentes en el suelo, mientras que el requerimiento se basa en un cultivo que esté bien desarrollado y sea productivo. De esta manera, el plan de fertilización integrada se diseña para suministrar a la planta los nutrientes que el suelo no puede proporcionar en cantidades suficientes. Este enfoque garantiza una fertilización precisa y eficaz que beneficia el rendimiento y la calidad del cultivo de aguacate Hass.

Con los resultados del análisis de suelos, puede realizar un diagnóstico inicial de la condición nutricional de su terreno. Para esto debe examinar los valores que le ha proporcionado el laboratorio para cada uno de los nutrientes minerales en el análisis de suelos. Compare estos valores con los que se presentan en la tabla 1 para evaluar los niveles de nutrientes presentes en el suelo de su finca y determinar si se encuentran dentro de los rangos normales, en niveles bajos o en concentraciones elevadas.

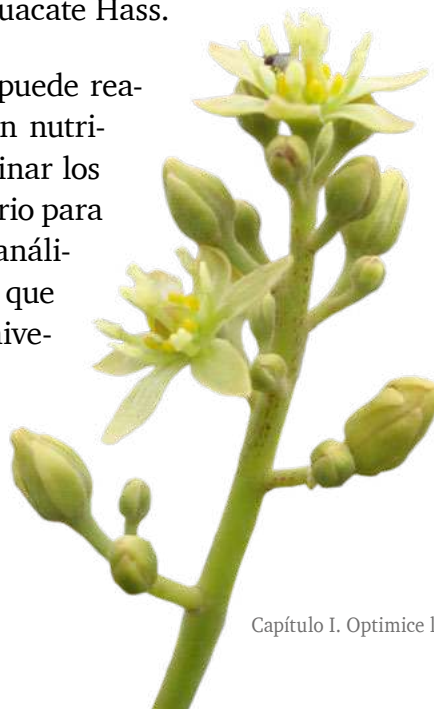


Tabla 1. Valores de referencia tomados de la “Quinta Aproximación del *Manual de asistencia técnica*”

Nutriente	Interpretación		
	Bajo	Normal	Alto
mo Clima frío (%)	<5	5-10	>10
mo Clima templado (%)	<3	3-5	>5
mo Clima cálido (%)	<2	2-3	>3
P Método Olsen (mg/kg)	<20	20-40	>40
P Método Bray (mg/kg)	<8	8-13	>13
Azufre (mg/kg)	<10	10-20	>20
Calcio (cmol/kg)	<3	3-10	>10
Magnesio (cmol/kg)	<1,5	1,5-3,0	>3
Potasio (cmol/kg)	<0,2	0,2-0,4	>0,4
CICE	<10	10-20	>20
CE (dS/m)	<2	2-4	>4
Hierro (mg/kg)	<50	50-100	>100
Cobre (mg/kg)	<1,5	1,5-3,0	>3
Manganeso (mg/kg)	<5	5-10	>10
Zinc (mg/kg)	<1,5	1,5-3,0	>3
Boro (mg/kg)	<0,2	0,2-0,4	>0,4

Fuente: Laboratorio de Química Analítica de AGROSAVIA.



Los estudios realizados en el marco del proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el Departamento del Cauca” han permitido establecer valores estándar en el tejido foliar asociados a árboles de alto rendimiento, como se muestra en la tabla 2. Estos valores se presentan como una referencia para evaluar el estado nutricional de las plantaciones de aguacate Hass en el departamento del Cauca. Más adelante se presenta cómo hacer un diagnóstico con estos valores utilizando la metodología del índice de balance de nutrientes (IBN).

Tabla 2. Valores estándar en tejido vegetal y coeficientes de variación para el departamento del Cauca

Nutriente	Valores para el departamento del Cauca	
	Valor estándar (S)	Coefficiente de variación (CV)
Nitrógeno (%)	2,37	13,52
Fósforo (%)	0,15	13,11
Potasio (%)	1,09	23,2
Calcio (%)	1,36	16,45
Magnesio (%)	0,32	20,22
Azufre (%)	0,21	16,08
Hierro (mg·kg ⁻¹)	70,35	26,05
Manganeso (mg·kg ⁻¹)	116,77	51,08
Zinc (mg·kg ⁻¹)	30,04	29,73
Cobre (mg·kg ⁻¹)	7,51	21,05
Boro (mg·kg ⁻¹)	18,69	25,1

Fuente: Rebolledo-Roa y Burbano-Díaz (2023).

Elabore un plan de fertilización

Para desarrollar un plan de fertilización eficaz es esencial tener en cuenta el diagnóstico nutricional que se obtiene con el análisis de suelos y el análisis foliar. Esto permite determinar los requerimientos nutricionales, es decir, la cantidad específica de cada nutriente necesaria en el suelo para que la planta alcance su máximo potencial de crecimiento y producción.

El requerimiento nutricional se establece comparando el contenido de nutrientes que existe en el suelo con el estado nutricional de los árboles, así como con los valores estándar determinados para el departamento del Cauca; este proceso se conoce como diagnóstico nutricional mediante el índice de balance de nutrientes. Para establecer los requerimientos nutricionales del cultivo de manera adecuada, es fundamental contar con la asistencia de un ingeniero agrónomo o un técnico capacitado en la interpretación de los resultados del análisis de suelo.

En la siguiente sección se describe cómo calcular la cantidad necesaria de fertilizante con esta metodología y se presenta la herramienta tecnológica TECNOHASS, un aplicativo que facilita y automatiza todo este proceso.

Calcule el índice de balance de nutrientes (IBN)

Para el cultivo de aguacate, se recomienda aplicar la técnica del índice de balance de nutrientes (IBN). Esta técnica se basa en definir valores óptimos para el contenido de cada nutriente teniendo en cuenta las variaciones fisiológicas naturales de cada mineral en el suelo y las

necesidades específicas de la planta (tabla 2). A continuación, se muestran las operaciones necesarias para calcular el IBN en tres sencillos pasos y un ejemplo para su mejor comprensión.

Fórmulas

1. Si el valor reportado en el laboratorio (X) es menor que el valor estándar (reportado en la tabla 2):

$$P = (X/S) 100 \qquad I = (100 - P) (CV/100) \qquad B = P + I \qquad \text{(ecuación 1)}$$

2. Si el valor reportado en el laboratorio (X) es mayor que el valor estándar:

$$P = (X/S) 100 \qquad I = (P - 100) (CV/100) \qquad B = P - I \qquad \text{(ecuación 2)}$$

Donde,

S = valor estándar.

I = influencia de la variación.

P = porcentaje del estándar.

CV = coeficiente de variación.

B = índice de balance.

Ejemplo

Si retomamos el ejemplo de informe de análisis foliar presentado en la figura 12, se ve que el laboratorio reporta un valor para fósforo de 0,08 %. Dado que este valor es menor que el estándar, utilizamos la ecuación 1:

1

$$P = \frac{x}{s} * 100$$

$$P = \frac{0,08}{0,16} * 100 = 50$$

→ Este es nuestro valor P .

2

$$I = (100 - P) * \frac{cv}{100}$$

$$I = (100 - 50) * \frac{13,11}{100} \rightarrow \text{Hacemos la resta y la división.}$$

$$I = (50) * 0,1311 \rightarrow \text{Multiplicamos.}$$

$$I = 6,55 \rightarrow \text{Este es nuestro valor } I.$$

3

$$B = P + I$$

$$B = 50 - 6,55$$

$$B = 43,45$$

→ Este es nuestro valor B con el que se determinará en qué condición está el nutriente.

Si el valor reportado por el laboratorio es mayor que el valor estándar, utilizamos la ecuación 2. Retomando el análisis foliar, vemos que el valor de nitrógeno es 2,89% de acuerdo con lo reportado por el laboratorio:



$$P = \frac{x}{s} * 100$$

$$P = \frac{2,89}{2,37} * 100 = 121,94 \rightarrow \text{Este es nuestro valor } P.$$



$$I = (P - 100) * \frac{cv}{100}$$

$$I = (121,94 - 100) * \frac{13,52}{100} \rightarrow \text{Hacemos la resta y la división.}$$

$$I = (21,94) * 0,1352 \rightarrow \text{Multiplicamos.}$$

$$I = 2,96 \rightarrow \text{Este es nuestro valor } I.$$



$$B = P - I$$

$$B = 121,94 - 2,966$$

$$B = 118,97 \rightarrow \text{Este es nuestro valor } B \text{ con el que se determinará en qué condición está el nutriente.}$$

A continuación, se comparan los resultados de calcular el IBN con los rangos nutrimentales de las hojas de aguacate presentados en la tabla 3 (Kenworthy, 1973).

Tabla 3. Rangos de los contenidos nutricionales en hojas de aguacate.

Escasez	Debajo de lo normal	Normal	Arriba de lo normal	Exceso
15-48 %	>49-83 %	>83-117 %	>117-151 %	>151-185 %

Fuente: Elaboración propia.

Retomando el ejemplo anterior, se observa que el fósforo se encuentra en un nivel de escasez ($B = 43,45$), lo cual indica que es necesario revisar el aporte de fósforo en el análisis de suelo y considerar la aplicación de fertilizante para corregir esta deficiencia. Asimismo, el nitrógeno muestra un valor ($B = 118,97$) que supera el rango normal, lo cual sugiere que no es necesario aplicar más nitrógeno en este momento. No obstante, aún se debe evaluar la cantidad de nitrógeno que se encuentra en el suelo.

Este análisis proporciona información sobre el estado nutricional de los árboles. En colaboración con un asistente técnico o un ingeniero agrónomo, puede aplicar la ecuación 3 para determinar la necesidad de fertilizante cuando los nutrientes están escasos o por debajo de los niveles normales.

$$NF = (CRPC - CPS) / EA * 100$$

(ecuación 3)

Donde,

NF = necesidad de fertilización.

$CRPC$ = cantidad requerida por el cultivo extracción de la cosecha; véase la figura 8).

CPS = cantidad presente en el suelo.

EA = eficiencia de la aplicación (esta información se amplía en el libro sugerido en la información complementaria).

Para aplicar la fórmula de necesidad de fertilizante (ecuación 3), es esencial contar con información sobre la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo, la cual se obtiene mediante un análisis químico. Como ejemplo, consideremos el cálculo de las necesidades de fósforo (P) utilizando los valores resultantes del análisis de suelos que se presentó en el apartado anterior (figura 10). Allí, el laboratorio reporta una concentración de fósforo de 2,71 mg/kg para una profundidad de 0 a 45 cm. A partir de este valor, procedemos a calcular el contenido de fósforo por hectárea.

Para calcular cuánto fósforo (P) hay en una hectárea, primero es necesario conocer cuál es el peso del suelo correspondiente. Esta información ya se obtuvo en la investigación que soporta estas recomendaciones tecnológicas: el peso total de una hectárea de suelo es 2'340.000 kg. Para calcularla, los investigadores multiplicaron la profundidad del suelo en la que se realizó el muestreo para el análisis,

Información complementaria



Si desea ampliar la información sobre la metodología completa del IBN puede consultar el libro *Criterios para la definición de planes de fertilización y aplicación de riego en cultivos de aguacate Hass con un enfoque tecnificado*, donde está detallado el paso a paso para realizar los cálculos.



<http://hdl.handle.net/20.500.12324/13143>

en este caso 45 cm, por la superficie de una hectárea, que equivale a 10.000 m². Además, se consideró una densidad aparente (Da) de 0,52 g por centímetro cúbico.

Conociendo esta información, podemos usar una regla de tres simple para calcular cuánto fósforo (P) hay en una hectárea a partir de los resultados del análisis de suelo:

Si en 1'000.000 de kilogramos de suelo hay 2,71 kg de fósforo (P), ¿cuánto de este mineral hay en una hectárea que pesa 2'340.000 kg de suelo? (ecuación 4):

$$(2,71 \text{ kg de P} / 1'000.000 \text{ kg de suelo}) * 2'340.000 \text{ kg de suelo} = \text{Cantidad de P en una hectárea}$$

(ecuación 4)

Realizando la operación:

$$(2,71 / 1'000.000) * 2'340.000 = 6,34 \text{ kg de P en una hectárea.}$$

Por lo tanto, en una hectárea de suelo que pesa 2'340.000 kg habrá 6,34 kg de fósforo (P).

Una vez obtenido el valor que indica la cantidad de fósforo presente en el suelo (6,34 kg/h), pasamos a resolver la ecuación de necesidad de fertilización (ecuación 3).

$$NF = (CRPC - CPS)/EA * 100$$

$$NF = ((7,1 - 6,34) / 10 \%) * 100$$

$$NF = 7,6 \text{ kg/ha de fósforo (P)}$$

Es decir, en el ejemplo que se ha presentado, el resultado del análisis evidencia que el cultivo debería ser fertilizado con 7,6 kg/h de fósforo (P).

Hacer todos estos cálculos puede parecer un poco complicado. Sin embargo, más adelante se presenta una herramienta tecnológica que simplifica este proceso: TECNOHASS. Mientras tanto, lo invitamos a seguir explorando el resto del manual.

Fertilización edáfica

Se debe tener en cuenta que el plan de fertilización está diseñado para abarcar todo el ciclo productivo, desde el periodo de reposo de las yemas hasta la cosecha. En estudios realizados en el departamento del Cauca, se han identificado cuatro estados de desarrollo fenológico clave en el aguacate Hass en los cuales hay una alta demanda de nutrientes.

1. Yema en latencia.
2. Floración.
3. Crecimiento inicial del fruto.
4. Crecimiento lineal del fruto.

A continuación, se describe cada una de estas etapas y sus necesidades nutricionales, así como el papel que tiene la capacidad de intercambio catiónico (CIC).



Yema en latencia

Las yemas son visibles cuando hay frutos listos para la cosecha y se produce un nuevo ciclo de floración (figura 13). Las yemas que darán inicio al próximo ciclo de floración comienzan su transición hacia brotes vegetativos. Durante esta etapa, la yema se encuentra en un estado de reposo o inactividad temporal. A medida que las condiciones ambientales y el ciclo de crecimiento de la planta cambian, la yema comenzará a crecer para formar nuevos brotes, hojas y eventualmente flores y frutos. La latencia de la yema es una fase importante en el ciclo de crecimiento del aguacate, ya que afecta la brotación y la producción de los siguientes ciclos de la planta.

| Figura 13. Yema en latencia.



Foto: Alexander Rebolledo Roa

Floración

El estado de floración (figura 14) puede variar según las condiciones climáticas locales, pero suele ocurrir en dos meses específicos cada año: la principal en marzo y la intermedia en septiembre. Durante este periodo es necesario proporcionar nutrientes para apoyar las diferentes etapas del desarrollo floral y la transición a la formación inicial del fruto. Este es un momento crítico en el ciclo de crecimiento del aguacate Hass, ya que las flores y, posteriormente, los frutos en desarrollo requieren nutrientes esenciales para un crecimiento saludable y una producción óptima.

Figura 14. Floración de planta de aguacate Hass.



Foto: Alexander Rebolledo Roa

Crecimiento inicial del fruto

El periodo de crecimiento inicial del fruto (figura 15) es una etapa crítica en el ciclo de desarrollo del cultivo. Durante los primeros tres meses posteriores a la floración, los frutos pequeños comienzan a desarrollarse a partir de las flores polinizadas. Durante esta fase, se forma la estructura básica del fruto, incluyendo la cáscara, la pulpa y la semilla. Por esta razón, la nutrición tiene un papel esencial en el desarrollo adecuado de los frutos en esta etapa, pues minerales como nitrógeno, fósforo, potasio y otros micronutrientes son esenciales para la síntesis de tejidos y la formación de estructuras celulares en los frutos jóvenes.

Figura 15. Crecimiento inicial del fruto.



Foto: Alexander Rebolledo Roa

Crecimiento lineal del fruto

El período de crecimiento lineal del fruto (figura 16) es una fase crítica en el desarrollo del aguacate Hass. Comienza aproximadamente tres meses después del inicio de la fase de crecimiento inicial del fruto y se caracteriza por un aumento significativo en su tamaño. Durante esta etapa, la planta se enfoca en la acumulación de reservas y la expansión de las estructuras celulares del fruto. Por esta razón, la nutrición es esencial para garantizar un crecimiento saludable y un aumento óptimo en el tamaño de los frutos.

| **Figura 16.** Crecimiento lineal del fruto.



Foto: Ronal Arturo Burbano Díaz

Tenga en cuenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Sin embargo, es importante destacar que lo anterior no implica necesariamente que la fertilización deba centrarse exclusivamente en estos estados, pues las características de cada suelo tienen un papel crucial en la determinación de la frecuencia de aplicación de fertilizantes.

Por ejemplo, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es fundamental para definir la frecuencia de fertilización. La CIC es una propiedad del suelo que indica su capacidad para retener y liberar iones cargados positivamente (cationes) esenciales para las plantas. Suelos con una CIC más alta retienen nutrientes de manera más eficiente y son más fértiles. La CIC depende de factores como el contenido de arcilla, la materia orgánica y los minerales en el suelo, y es fundamental para la planificación de la fertilización en la agricultura.

Específicamente, se considera que suelos con CIC menor a $10 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ tienen una baja capacidad de intercambio y, por lo tanto, poca retención de los minerales que sirven como nutrientes. Asimismo, los suelos con un alto porcentaje de arena tienden a tener una baja CIC, por lo tanto es recomendable llevar a cabo fertilizaciones mensuales o incluso con intervalos más cortos dependiendo de otras variables, como la topografía del terreno y las condiciones climatológicas (Rodríguez et al., 2012).



Elija la fuente de nutrientes

En la tabla 4 se muestran diferentes fuentes de fertilización para los macronutrientes, junto con sus características más relevantes. No se incluye el azufre (S) en el listado, ya que la mayoría de las fuentes suelen aportarlo en forma de sulfatos.

En el caso de los micronutrientes, se pueden emplear tanto fertilizantes simples como compuestos (es decir, una mezcla de macro y micronutrientes), según las necesidades específicas de cada cultivo. Para los elementos manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y hierro (Fe) se encuentran presentaciones en forma de quelatos, óxidos o sulfatos, y para el boro (B) se pueden utilizar fuentes como el ácido bórico.



Tabla 4. Macronutrientes y formulaciones comerciales que pueden ser utilizadas en un plan de fertilización

Elemento	Forma química como lo toma la planta	Movilidad		Fuentes de fertilización		
		Suelo	Planta			
P	H_2PO_4 , HPO_4	Poco móvil	Móvil	Fosfato diamónico (DAP, por sus siglas en inglés)	Fosfato monoamónico (MAP, por sus siglas en inglés)	Roca fosfórica
Características				P_2O_5 46 % altamente soluble en agua	P_2O_5 48 % recomendado para suelos alcalinos	P_2O_5 25-40 % aporta calcio intercambiable
N	NH_4^+ NO_3^-	Móvil	Móvil	Urea	Nitrato de amonio	*
Características				N 46 % altamente soluble en agua	N 33 % aporta 50 % NH_4^+ y 50 % NO_3^-	*
K	K^+	Poco móvil	Móvil	Cloruro de potasio (KCL)	Sulfato de Potasio (K_2SO_4)	Nitrato de Potasio (KNO_3)
Características				K_2O 60 – 62 % El fertilizante con mayor contenido de K	K_2O 50-53 % Altamente soluble en agua	K_2O 44-46 % Minimiza la absorción de cloruro

Continúa...

Elemento	Forma química como lo toma la planta	Movilidad		Fuentes de fertilización		
		Suelo	Planta			
Ca	Ca ⁺⁺	Poco móvil	Poco móvil	Nitrato de calcio	Hidróxido de calcio (cal apagada)	Carbonato de calcio
Características				21-26 % CaO – 15 % N Altamente soluble en agua	35 % de CaO No aporta otros elementos como N, K o Cl	40 % de Ca Se utiliza para realizar enmiendas “encalada” para manejo del pH del suelo
Mg	Mg ⁺⁺	Poco móvil	Móvil	Sulfato de magnesio	Óxido de magnesio	Nitrato de magnesio
Características				MgO 16 % Altamente soluble en agua	MgO 85- 91 % Formulación con el mayor contenido de Mg	MgO 16 % Aporta nitrógeno en forma de nitratos (NO ₃)

Fuente: Elaboración propia con base en Jaramillo (2002).

Pasos para realizar la fertilización edáfica

La aplicación de fertilizantes se debe realizar durante los estados fenológicos recomendados para la fertilización. Recuerde que las texturas de suelos arenosas suelen lixiviar los fertilizantes rápidamente, se recomienda realizar fertilizaciones mensuales si el suelo de su predio presenta un porcentaje alto de arenas.

A continuación, se presenta el paso a paso para realizar la fertilización edáfica:

1. ***Seleccione las fuentes de fertilizante:*** antes de aplicar los fertilizantes, es crucial seleccionar las fuentes de fertilizantes adecuadas para su cultivo de aguacate Hass. Considere factores como la disponibilidad de nutrientes necesarios, la formulación del fertilizante y la condición de pH del suelo. Evite usar fuentes que puedan favorecer la acidez del suelo.
2. ***Pese la cantidad de fertilizante:*** utilice una balanza digital para medir la cantidad exacta de fertilizante necesaria para cada árbol y asegúrese de que cada uno reciba la dosis correcta. Puede hacer una tara para cada fertilizante.
3. ***Verifique el contenido de humedad del suelo:*** procure que el suelo se encuentre húmedo antes de realizar la aplicación para evitar pérdidas de fertilizante.
4. ***Realice la aplicación en el suelo:*** la aplicación del fertilizante en el suelo debe hacerse a una profundidad de entre 10 cm y 15 cm desde la superficie del suelo, en la “gotera” de los árboles. Esto suele estar entre 1,20 m y 1,40 m desde el tallo de la planta.

5. **Cubra el fertilizante con suelo o hojarasca:** es recomendable que cubra el fertilizante que ha aplicado para evitar pérdidas por evaporación. Esto se hace para asegurarse de que los nutrientes lleguen al sistema radicular de las plantas de manera efectiva.
6. **Aplique la lámina de riego:** finalice el proceso aplicando la cantidad recomendada de agua de riego. Esto ayudará a que los nutrientes se mezclen adecuadamente con el suelo y estén disponibles para las raíces de las plantas.

Siguiendo estos pasos, podrá realizar una aplicación efectiva de fertilizantes al suelo en su cultivo de aguacate Hass. Recuerde siempre seguir las recomendaciones específicas de su plan de fertilización y las necesidades del cultivo.



Fertilización foliar

El cultivo de aguacate produce una gran cantidad de flores y frutos, sin embargo, la **abscisión** es alta: de 1 millón de flores que puede llegar a generar un árbol de aguacate Hass, solamente entre el 0,001 % y el 0,01 % cuajarán (Gazit y Degani, 2007). La baja disponibilidad de nutrientes como boro (B) y nitrógeno (N) limitan la fecundación de las flores y el amarre de los frutos, por lo cual es importante monitorear el contenido de estos nutrientes en los análisis foliares. En este sentido, como complemento a la fertilización edáfica se pueden hacer aspersiones foliares con fuentes solubles.

¿Cuáles nutrientes debe aplicar?

La necesidad de aplicación se puede evaluar según la demanda nutricional del cultivo. Las investigaciones realizadas por AGROSAVIA en Cauca han demostrado que una fertilización edáfica basada en la metodología del IBN, junto con aspersiones complementarias de boro y nitrógeno, beneficia el calibre de los frutos de aguacate Hass y aumenta su peso individual. A continuación se describe de forma general el aporte de cada nutriente.

Nitrógeno

Si el nivel de nitrógeno es insuficiente o está por debajo de lo normal (por ejemplo, un IBN inferior a 83 o un contenido de nitrógeno en los tejidos inferior al 1,8 %), una aplicación foliar de un fertilizante nitrogenado

Glosario

Abscisión. Proceso natural en las plantas que implica la separación y caída controlada de estructuras de las plantas, como hojas, flores, frutos o ramas, cuando estas ya no son funcionales o han completado su ciclo de vida. Este proceso permite a las plantas conservar energía y recursos, y es esencial para la reproducción y la supervivencia.



altamente soluble puede reducir la competencia por nutrientes que se genera entre el crecimiento vegetativo de las terminales de las inflorescencias y las flores en etapa reproductiva o en la formación inicial de frutos.

Boro

Se ha demostrado que el boro es necesario para el éxito reproductivo de las plantas. Las deficiencias de este nutriente en las fases fenológicas reproductivas se manifiestan con una floración deficiente, una baja producción y viabilidad del polen, una baja fertilidad y un alto porcentaje de abscisión en flores y frutos.

Por lo tanto, las aspersiones foliares con boro favorecen el éxito reproductivo y, en consecuencia, mejoran el desarrollo de los frutos. Se recomienda utilizar el ácido bórico ($\text{H}(\text{BO})_3 \cdot 2$) como fuente de fertilización, ya que es la forma más asimilable para las plantas (Minchin et al., 2012).

¿Cuándo debe realizar la fertilización foliar?

Se ha encontrado que el momento más adecuado para realizar las aspersiones con boro, nitrógeno o la combinación de ambos es cuando las inflorescencias inician la elongación de ejes secundarios y se presentan pequeñas flores cerradas, estado que se conoce como “coliflor” (figura 17), ya que en este momento el desarrollo de la inflorescencia se encuentra en una fase de transición entre el crecimiento y la apertura floral, que marcará el inicio del proceso de fecundación (Boldingh et al., 2016).

Glosario

Amarre de los frutos.

Proceso en el cual las flores de una planta se convierten en frutos y se adhieren a la planta madre. Es un paso importante en el ciclo de vida de las plantas cultivadas y puede afectar la producción de cultivos. Los factores como la polinización y las condiciones ambientales influyen en este proceso, y los agricultores lo supervisan para optimizar su producción.



Figura 17. Inflorescencia de la planta de aguacate Hass. Estado conocido como “coliflor”.



Foto: Ronal Arturo Burbano Díaz

Pasos para realizar la fertilización foliar

Se recomienda realizar la aspersión foliar en relación 1:1, es decir 1 g de B o N o B+N por cada litro de agua siguiendo este procedimiento:

1. *Asegúrese de tener todos los materiales necesarios listos antes de comenzar:*

- Fertilizante foliar adecuado para su cultivo, urea y ácido bórico.
- Agua limpia y de calidad para diluir el fertilizante.
- Pulverizador o aspersor con capacidad mínima de 5 litros.
- Equipo de protección personal, como guantes y gafas de seguridad (figura 18).

2. *Prepare la mezcla:* diluya el fertilizante foliar en agua de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y las indicaciones de su plan de fertilización. Mezcle de manera uniforme para asegurarse de que el fertilizante esté completamente disuelto en el agua.

3. *Seleccione el momento adecuado:* realice la aplicación de fertilización foliar en el estado fenológico 515, cuando los árboles estén en el estado de “coliflor” (figura 17). Este es un periodo crítico para la asimilación de nutrientes.

4. *Aplique:* asperje uniformemente 5 litros de la solución de fertilizante diluida en agua sobre cada árbol, asegurándose de cubrir todas las hojas de manera efectiva. Procure no aplicar el fertilizante en exceso, ya que esto puede tener efectos negativos en el cultivo. Realice la aplicación en horas de la mañana para aprovechar la capacidad de asimilación de la planta y reducir las pérdidas por evaporación.



| Figura 18. Aplicación de fertilización edáfica en planta de aguacate Hass.



Foto: Ronal Arturo Burbano Díaz

Utilice TECNOHASS para planear la fertilización de su cultivo

AGROSAVIA ha desarrollado un aplicativo web que les permite a productores y asistentes técnicos generar el plan de fertilización para su cultivo con base en la metodología del IBN que se explicó en apartados anteriores. A continuación se describe el paso a paso para acceder a la plataforma, registrar la información de su cultivo y analizar los resultados.

Ingrese al aplicativo

1. Visite el sitio web www.agrosavia.co y diríjase a la sección de Productos y Servicios (figura 19).

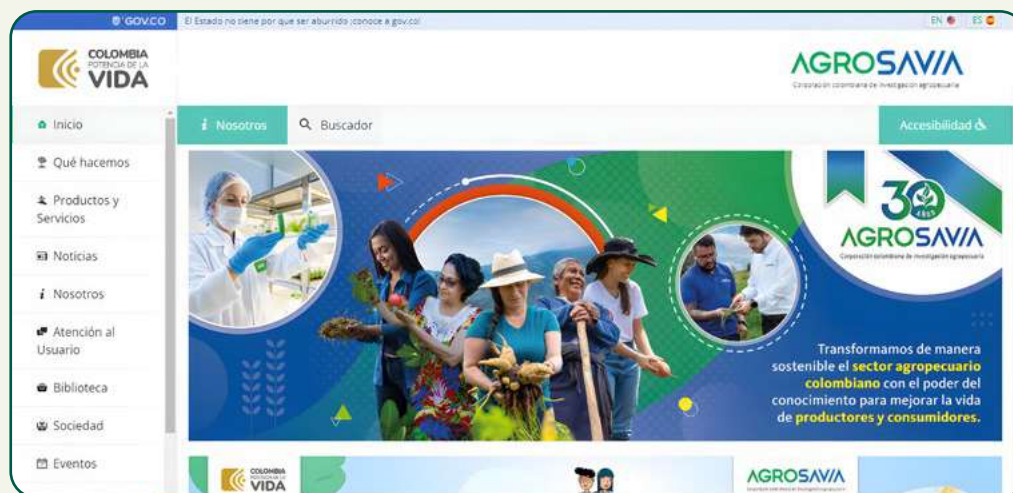


Figura 19. Página de AGROSAVIA donde encuentra la plataforma TECNOHASS.

Fuente: AGROSAVIA.

2. Elija la opción Oferta Tecnológica, donde estará el enlace a Sistemas de Información para acceder a la plataforma (figura 20).

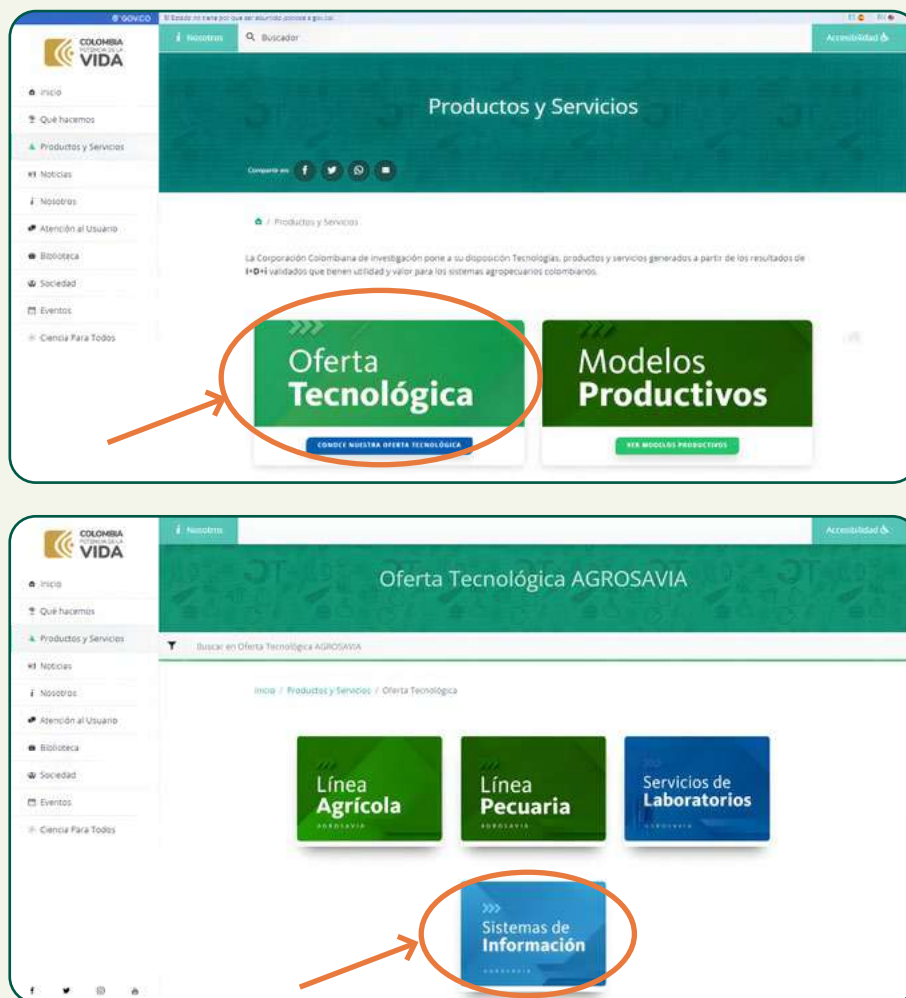


Figura 20. Ubicación de Sistemas de Información en la sección de Oferta Tecnológica de la página de AGROSAVIA.

Fuente: AGROSAVIA.

Ingresa y registre sus datos en la plataforma

Para disfrutar de todas las funcionalidades de la plataforma, siga estos pasos para registrarte:

1. Acceda a la sección “Quiero registrarme” (figura 21).



Figura 21. Espacio de la plataforma para registrar sus datos de usuario.

Fuente: AGROSAVIA.

2. Registre sus datos básicos:
 - Nombres y apellidos.
 - Correo electrónico: proporcione una dirección de correo electrónico a la que tenga acceso, ya que recibirá un correo de confirmación necesario para continuar con el registro.

3. Seleccione su nivel educativo actual de la lista desplegable.
4. Escoja el tipo de usuario que mejor lo identifique: “Productor” o “Asesor Técnico” (figura 22).

1 Registro Usuario

2 Registro Predio

Nombres: *
Pedro

Apellidos: *
Perez Perez

Correo electrónico: *
tecnohass.01@gmail.com

Contraseña: *

Nivel de Educación: *
Técnico

Tipo Usuario: *
Productor

Confirmar contraseña: *

☐ Aceptar términos y condiciones

Salir Continuar

Figura 22. Visualización de la información necesaria para realizar el registro.

Fuente: AGROSAVIA.

5. Cree una contraseña segura y fácil de recordar. Para asegurarse de que la recuerde, el sistema le pide confirmarla (figura 23).

Contraseña: *

Confirmar contraseña: *

☐ Aceptar términos y condiciones

Salir Continuar

Figura 23. Creación y confirmación de contraseña para acceder a TECNOHASS.

Fuente: AGROSAVIA.

6. Lea detenidamente los términos y condiciones de uso (figura 24). Si está de acuerdo, marque la casilla para indicarlo. Una vez haya completado todos los campos, haga clic en el botón “Continuar” para finalizar el registro de sus datos personales.



Figura 24. Visualización de los términos y condiciones de uso del aplicativo.

Fuente: AGROSAVIA.

Registre la información de su predio o finca

A continuación, siga estos pasos para registrar su predio o finca en el aplicativo:

1. Seleccione el departamento y la vereda: elija “Departamento del Cauca” en la lista desplegable. Posteriormente, seleccione el municipio donde se encuentra el predio y escriba el nombre de la vereda.
2. Ingrese el nombre de la finca en el campo correspondiente (figura 25).

NUEVO REGISTRO

1 Registro Usuario

2 Registro Predio

Departamento: *
Cauca

Municipio: *
Morales

Vereda: *
El Pomo

Nombre del predio: *
Recuerdo

Latitud (Decimales): *

Longitud (Decimales): *

Altura sobre el nivel del mar:

Área del predio (Hectáreas): *

Acceso al predio: ?

Figura 25. Registro de la ubicación de la finca o predio donde se encuentra el cultivo de aguacate.

Fuente: AGROSAVIA.

3. Ingrese las coordenadas geográficas del predio en formato decimal, incluyendo latitud y longitud. Si no cuenta con esta información, puede utilizar las del municipio o vereda (figura 26).

NUEVO REGISTRO

1 Registro Usuario

2 Registro Predio

Departamento: *

Cauca

Vereda: *

El Pomo

Latitud (Decimales): *

2.75

Altura sobre el nivel del mar:

Acceso al predio: ?

Longitud (Decimales): *

-76.633 I

Área del predio (Hectáreas): *

Recuerda que: estas coordenadas deben encontrarse dentro de los límites del departamento del Cauca, separar las cifras por punto (.) y que la longitud generalmente se presentara en valores negativos con el signo menos (-)

Figura 26. Registro de las coordenadas geográficas del predio.

Fuente: AGROSAVIA.

4. Indique el área de la finca en hectáreas y el tipo de acceso al predio: “camino”, “trocha” o “carretera”.



5. Termine el registro haciendo clic en el botón “Finalizar” una vez haya completado toda esta información (figura 27).

Figura 27. Etapa final del registro de la información del predio.

Fuente: AGROSAVIA.



6. Confirme el registro accediendo al mensaje que recibirá en el correo que registró. Verifique su bandeja de entrada y haga clic en el botón azul para terminar el proceso y regresar al aplicativo (figura 28).

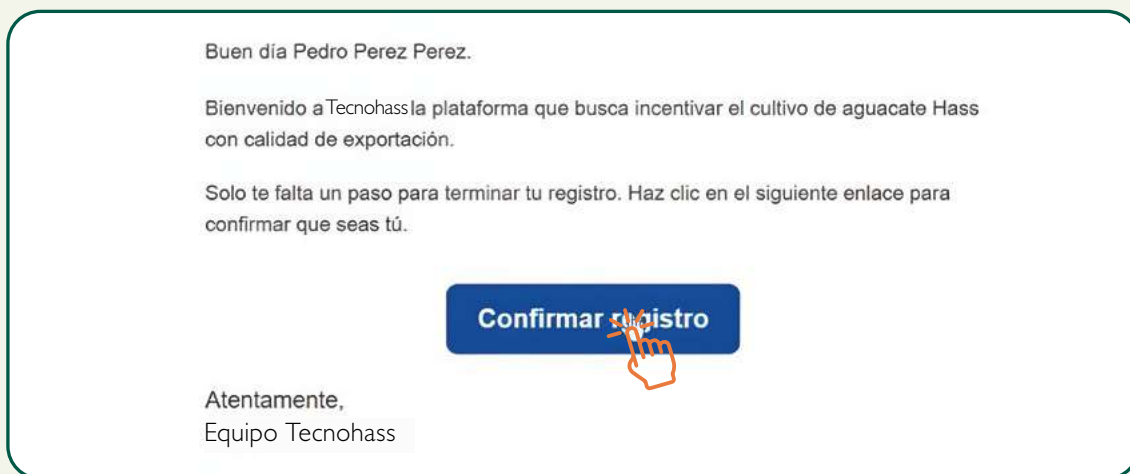


Figura 28. Confirmación de que se ha registrado en la plataforma de TECNOHASS.

Fuente: AGROSAVIA.

7. Ingrese nuevamente al aplicativo utilizando el correo electrónico que registró y la contraseña que creó específicamente para este aplicativo (figura 29).



Figura 29. Visualización del acceso a la plataforma después de registrar la información.

Fuente: AGROSAVIA.

¡Ha completado el registro de su finca en la plataforma!
Ahora podrá acceder a todas las herramientas y recursos disponibles
para mejorar la gestión y productividad de su cultivo.

Registre la información de fertilización

Este módulo es crucial para la fertilización adecuada de los árboles de aguacate Hass. Asegúrese de tener los análisis químicos de suelos y tejidos foliares del cultivo, ya que son la base para los planes de fertilización. Siga estos pasos para registrar la información que necesita el aplicativo para el análisis:

Registre la producción

1. Observe el video introductorio que explica los fundamentos y el proceso del proyecto.
2. Escoja el tipo de mano de obra: “familiar”, “jornal” o “mixta” en la lista desplegable.
3. Agregue un lote para el plan de fertilización y riego. Numérelo según su preferencia.
4. Ingrese el número de lote y la producción por hectárea y por árbol.
5. Si tiene cultivos asociados, selecciónelos en la lista desplegable.
6. Escriba “Hass” en el campo de “Material de Siembra”.
7. Describa las características de su terreno, como pendiente, color o profundidad.
8. Ingrese el área sembrada en aguacate Hass en hectáreas.
9. Incluya las coordenadas geográficas en formato decimal (que ya había ingresado previamente).
10. Registre la densidad de siembra y el número de plantas por hectárea.
11. Seleccione los meses habituales de cosecha y floración.
12. Ingrese la temperatura media anual y la densidad aparente del suelo.

Guardar el registro del lote

Haga clic en “Guardar” para crear el lote si ha ingresado correctamente la información (figura 30). Si necesita registrar más lotes, puede hacerlo.

NUEVO LOTE

Número: * 1

Producción en kilogramos por árbol: * 24.5

Producción por ha / cosecha: * 5 Toneladas

Cultivos asociados: Aguacates Criollos x Maíz x

Material de siembra: * Hass

Características del terreno: * Pendiente moderada

Área en aguacate Hass: * 1 Hectáreas

Latitud (Decimales): * 2.75

Longitud (Decimales): * -76.633

Distancia entre plantas (m): * 7

Distancia entre surcos (m): * 7

Número de plantas / ha (DP): * 204

Edad del cultivo: 10 Años

Epoca de cosechas: * Marzo x Noviembre x

Epoca de floración: * Febrero x Octubre x

Temperatura media anual (°C): * 20

Densidad aparente (Da) (g/cm3): * 0.69

Plan de fertilización aplicado por el productor:

Agregar plan fertilización +

La información debe contemplarse en la fertilización por árbol

Nutriente	Producto Comercial	Cantidad	Unidad	Frecuencia

Cancelar Guardar

Figura 30. Imagen de la información que debe registrar para crear el lote o lotes donde se va a implementar al plan de fertilización.

Fuente: AGROSAVIA.

Cree el plan de fertilización

A continuación se describe el proceso para que el aplicativo cree un plan de fertilización para su cultivo de acuerdo con la información del predio y el reporte de los análisis de suelo y foliar.

1. En la pestaña de “Planes de Fertilización”, haga clic en el botón azul con el símbolo “+” de la sección “Lista de Planes de Fertilización”.
2. Asigne un nombre a su lote y seleccione uno de los lotes creados en la lista desplegable.
3. Pulse en “Guardar” (figura 31).



Figura 31. Creación del plan de fertilización para el cultivo en el lote que ha registrado.

Fuente: AGROSAVIA.

Ingresa la información del análisis de tejido foliar

1. Registre la información del análisis de tejido foliar seleccionando el laboratorio y la fecha de reporte.
2. Complete los valores de cada nutriente según el reporte del laboratorio. Es muy importante que preste atención a las unidades para que el plan de fertilización no tenga errores.
3. Guarde los datos (figura 32).

Video introductorio

Tutoriales

Laboratorio: * Agrosavia (Tibaitata - Mosquera) ×

Núm Laboratorio: * F22-17046

2022-08-22

RESULTADOS

Recuerde! para realizar el cálculo de los planes de fertilización debe ingresar todos los valores en las unidades indicadas.
Nota: Si no cuenta con el resultado del análisis foliar, registre todos los campos en cero (0) y seleccione la opción guardar. Para generar el plan de fertilización sólo se considerará el análisis de suelos registrado.

Calcio (Ca): *	1.513	%	Potasio (K): *	1.455	%
Nitrógeno (N): *	2.33	%	Magnesio (Mg): *	0	%
Fósforo (P): *	0.16	%	Sodio (Na): *	0.016	%
Azufre (S): *	0.23	%	Manganeseo (Mn): *	105.14	ppm
Zinc (Zn): *	30.41	ppm	Boro (B): *	26.63	ppm
Hierro (Fe): *	60.41	ppm	Cobre (Cu): *	7.33	ppm

AGROSAVIA
Escuela Colombiana de Ingeniería Agropecuaria

Cancelar Guardar

Figura 32. Registro de la información de los nutrientes de los tejidos reportados por el laboratorio en los resultados del análisis foliar.

Fuente: AGROSAVIA.

Ingrese la información del análisis de suelo

En la figura 33 se presenta nuevamente el análisis de suelos realizado por el laboratorio de AGROSAVIA que se presentó en apartados anteriores. Ahora, se resaltan los elementos importantes que debe considerar para usarlo en TECNOHASS.

Ubicación del predio, también necesitará las coordenadas geográficas

Edad del cultivo

Método de determinación del fósforo (P)

Nutrientes minerales y variables químicas del suelo, debe tener cuidado con las unidades reportadas por el laboratorio



REPORTES DE RESULTADOS LABORATORIO DE SERVICIOS UNA MUESTRA GESTIÓN DE LA AGENDA CORPORATIVA

LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA (Química de suelos)

1. Información del cliente

NOMBRE Y APELLIDO: - ALEXANDER REBOLLEDO ROA

CÉDULA O NIT: AGROSAVIA - C.I. PALMIRA

DIRECCIÓN: CAUCA

DEPARTAMENTO: EL TAMBO

MUNICIPIO: CAUCA

TEL, FIJO/CEL: FERTILIDAD COMPLETO

TIPO DE ANALISIS: FERTILIDAD COMPLETO

2. Información de la muestra suministrada por el cliente

IDENTIFICACIÓN: EL UVO 20 - 40 cm

MATRIZ: Suelos

VEREDA: EL ZARZAL

FINCA: EL UVO

PRODUCTOR: ALEXANDER REBOLLEDO

CULTIVO(S): Aguacate variedad NO INDICA con 10 Año(s) de edad

ALTURA: 1682m.s.n.m

PROFUNDIDAD: 20 a 40 cm

TIPO DE RIEGO: Goteo

TOPOGRAFIA: Pendiente moderada

DRENAJE: No indica

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia con acreditación ONAC vigente a la fecha, con código de acreditación 13-LAB-031, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017

El laboratorio tiene acreditación ONAC bajo la norma NTC ISO/IEC 17025 en los ensayos de: pH (Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25), Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 07, 2021-10-25, conductividad eléctrica en suelos (NTC 5596:2008 Método B.), cationes intercambiables en suelos (Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 9, 2021-10-25), micronutrientes en suelo por Olsen modificado Hierro, Manganeseo, Cobre y Zinc (NTC 5526:2007 Método D.), determinación de Carbono Orgánico en suelo (Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 4, 2021-10-25).

FECHA DE RECEPCIÓN: 2022-07-08

FECHA DE ANÁLISIS: De 2022-07-11 a 2022-07-27

FECHA DE REPORTE: 2022/07/28

Yeni Rodríguez Giraldo (E6968)

Coordinador técnico del laboratorio de Química Analítica

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR	INTERPRETACIÓN*
pH (1:2.5)	Unidades de pH	Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25.	5.29	Fuerte a extremadamente ácido
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS/m	NTC 5596:2008 Método B.	0.35	No salino
Materia Orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 5403 Walkley & Black	7.10	Alto
Carbono Orgánico (CO)	g/100g	Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 4, 2021-10-25.	4.12	
Fósforo (P) Disponible (Bray II)	mg/kg	Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 07, 2021-10-25.	2.71	Bajo
Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio	23.05	Alto
Capacidad Interc. Catiónica Efect (CICE)	cmol(+) /kg	Cálculo	2.42	Baja
Boro (B) Disponible	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio	0.29	Medio
Acidez (Al+H)	cmol(+) /kg	KCl	0.46	No Indica
Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+) /kg	KCl	0.26	Sin restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+) /kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 9, 2021-10-25.	1.25	Bajo
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+) /kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 9, 2021-10-25.	0.38	Bajo

Número o código del laboratorio

Altura en m s. n. m. y profundidad a la que fue tomada la muestra

Características del terreno

Valor reportado para cada variable

Figura 33. Esquema de un análisis de suelo realizado por el Laboratorio de Química Analítica de AGROSAVIA. Se destacan los apartados que se deben tener en cuenta para el aplicativo de fertilización.

Fuente: Elaboración propia con base en el reporte del Laboratorio de Química Analítica de AGROSAVIA.

A continuación se describe el proceso para que registre la información reportada por el laboratorio en el análisis de suelo:

1. Ingrese la información del análisis de suelos, incluyendo el método utilizado por el laboratorio para determinar el fósforo y la profundidad de la muestra.
2. Complete los nutrientes reportados en el análisis. Si no se reporta alguno, déjelo con valor cero.
3. Seleccione la textura del suelo.
4. Guarde la información (figura 34).

Magnesio (Mg):	cmol/kg	0.4
Fósforo (P):	mg/kg	4.73
Sodio (Na):	cmol/kg	0.14
Azufre (S):	mg/kg	29.69
Manganeso (Mn):	mg/kg	22.02
Zinc (Zn):	mg/kg	1.88
Boro (B):	mg/kg	
Hierro (Fe):	mg/kg	0
Cobre (Cu):	mg/kg	0
Aluminio (Al):	cmol/kg	0
Materia Orgánica (MO):	%	0
Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE):		0

Figura 34. Registro de los nutrientes del suelo reportados en el análisis del laboratorio.

Fuente: AGROSAVIA.

Elabore el diagnóstico de suelo y tejido foliar

En la pestaña “Informe de Análisis” observará un diagnóstico de suelo y tejido foliar. También se presentan gráficos y tablas con el estado de cada nutriente (figura 35). La clasificación puede ser:

- Escasez.
- Por debajo de lo normal.
- Normal.
- Por encima de lo normal.
- En exceso.



Hierro (Fe)	84.33 %	Normal
Cobre (Cu)	91.98 %	Normal



ANÁLISIS DE SUELOS

Variable	Prof 30 - 45 cms	Clasificación		Prof 0 - 45 cms	Clasificación	
Calcio (Ca)	0.90	Bajo	↓	0.90	Bajo	↓
Potasio (K)	0.15	Bajo	↓	0.15	Bajo	↓
Nitrógeno (N)	0.69	Alto	↑	0.69	Alto	↑
Magnesio (Mg)	0.40	Bajo	↓	0.40	Bajo	↓
Fósforo (P)	4.73	Bajo	↓	4.73	Bajo	↓
Sodio (Na)	0.14	Normal		0.14	Normal	
Azufre (S)	29.69	Alto	↑	29.69	Alto	↑
Manganeso (Mn)	22.02	Alto	↑	22.02	Alto	↑
Zinc (Zn)	1.88	Normal		1.88	Normal	
Boro (B)	0.30	Normal		0.30	Normal	
Hierro (Fe)	100.60	Alto	↑	100.60	Alto	↑

Figura 35. Resultados del diagnóstico de nutrientes en suelo y tejido foliar realizado por el aplicativo TECNOHASS.

Fuente: AGROSAVIA.

Procese los requerimientos nutricionales

En la pestaña “Requerimientos Nutricionales” encontrará el análisis para un rendimiento de 20 toneladas por hectárea (t/h) basado en los análisis foliares y de suelos. Se mostrará la cantidad presente en el suelo, la extracción por la cosecha, la eficiencia de la aplicación y la necesidad de fertilizante (figura 36).



Figura 36. Resultado de los requerimientos nutricionales procesados por TECNOHASS.

Fuente: AGROSAVIA.

Obtenga los planes de fertilización recomendados

En la pestaña “Planes Recomendados” verá tres planes de fertilización con diferentes fuentes comerciales (figura 37). Cada uno incluirá el nombre del fertilizante, la concentración de cada nutriente y la cantidad que debe aplicar en kg/ha y gramos por planta. Elija el plan que se ajuste a sus necesidades y condiciones.

Planes de Riego
 Video Introductorio
 Tutoriales

A continuación, se recomiendan tres planes de fertilización basados en productos comerciales disponibles en el mercado y calculados a partir de la información del análisis de suelos y foliar de su predio. Si desea utilizar otras fuentes de fertilizante, puede remitirse al libro “**Criterios para la definición de planes de fertilización en el cultivo de aguacate Hass con un enfoque tecnificado**” en el capítulo V “**Requerimientos nutricionales del cultivo de aguacate Hass**” en la sección “**Fuentes de fertilización externa**”, para hacer el cálculo de forma manual a partir de la información generada en este plan en la pestaña **Requerimientos Nutricionales** en la columna **NF - Necesidad de Fertilización**.

Cada plan de fertilización sugerido es para un ciclo productivo; se sugiere dividir la cantidad total de fertilizante en el número de aplicaciones que va a realizar durante todo el ciclo de producción. Se sugiere realizar aplicaciones cada mes, es decir, distribuir la cantidad total recomendada en 12 aplicaciones para cubrir todos los estados fenológicos de la planta. En el capítulo II del libro encontrará la descripción de los estados fenológicos tipo del aguacate Hass que requieren el suministro de agua y nutrientes durante todo el ciclo productivo del cultivo.

PLAN FERTILIZACIÓN 1

Producto Comercial	Nutriente	Concentración	Requerido	Kg / Ha Producto Comercial	Gramos / Planta
Cloruro de Potasio	Potasio - K ₂ O	0.62	0.00	0.00	0.00
Nitrato de Calcio	Nitrógeno - N	0.16	2.20	14.21	69.68
	Calcio - Ca	0.27	3.77		
Quelato de Mn	Manganeso - Mn	0.13	0.04	0.34	1.65
Quelato de Boro	Boro - B	0.21	0.24	1.18	5.80
Quelato de Hierro	Hierro - Fe	0.06	0.16	2.63	12.87
	Calcio - Ca	0.18	0.90		
	Nitrógeno - N	0.08	0.40		

Figura 37. Ejemplo de plan de fertilización sugerido por el aplicativo TECNOHASS.

Fuente: AGROSAVIA.

Guarde el informe realizado por TECNOHASS

Si lo desea, puede guardar este informe en formato PDF haciendo clic en el botón “Informe” (figura 38).



TECNOHASS

FERTILIZACIÓN Y RIEGO

Fertilización y Riego

PP Pedro Perez Productor

Plan Fertilización - Recuerdo

Informe

General Foliar Suelos Informe Análisis Requerimientos Nutricionales Planes Recomendados

A continuación, se recomiendan tres planes de fertilización basados en productos comerciales disponibles en el mercado y calculados a partir de la información del análisis de suelos y foliar de su predio. Si desea utilizar otras fuentes de fertilizante, puede remitirse al libro "Criterios para la definición de planes de fertilización en el cultivo de aguacate Hass con un enfoque tecnificado" en el capítulo V "Requerimientos nutricionales del cultivo de aguacate Hass" en la sección "Fuentes de fertilización externa", para hacer el cálculo de forma manual a partir de la información generada en este plan en la pestaña Requerimientos Nutricionales en la columna NF - Necesidad de Fertilización.

Cada plan de fertilización sugerido es para un ciclo productivo; se sugiere dividir la cantidad total de fertilizante en el número de aplicaciones que va a realizar durante todo el ciclo de producción. Se sugiere realizar aplicaciones cada mes, es decir, distribuir la cantidad total recomendada en 12 aplicaciones para cubrir todos los estados fenológicos de la planta. En el capítulo II del libro encontrará la descripción de los estados fenológicos tipo del aguacate Hass que requieren el suministro de agua y nutrientes durante todo el ciclo productivo del cultivo

PLAN FERTILIZACIÓN 1

Producto Comercial	Nutriente	Concentración	Requerido	Kg / Ha Producto Comercial	Gramos / Planta
Cloruro de Potasio	Potasio - K2O	0.62	0.00	0.00	0.00

Figura 38. Generación y descarga del informe con los planes de fertilización elaborados por TECNOHASS.

Fuente: AGROSAVIA.

¡Con estos pasos ha completado sus planes de fertilización para su cultivo de aguacate Hass!

Consideraciones finales

Recuerde que los planes de fertilización recomendados por TECNOHASS están diseñados para un ciclo productivo completo, ya que se basan en la cantidad de nutrientes que la cosecha extraerá del suelo. En colaboración con su asistente técnico o ingeniero agrónomo, deberá determinar la mejor manera de satisfacer estos requisitos nutricionales.

A lo largo de este capítulo ha comprendido la influencia del suelo y el clima en el proceso de fertilización. Es crucial que considere las características únicas de su suelo y las condiciones climáticas locales. Asegúrese de mantener un suministro constante de agua y nutrientes minerales para el cultivo. Además, preste especial atención a los estados fenológicos clave que tienen un impacto significativo en la nutrición de los árboles de aguacate. No descuide las particularidades de su terreno en este proceso, ya que desempeñan un papel fundamental en el éxito de su cultivo.







CAPÍTULO II

Use de forma eficiente el recurso hídrico

La demanda global de agua ha superado el crecimiento demográfico, lo cual ha llevado a que cerca de la mitad de la población experimente una grave escasez de este recurso durante al menos un mes al año. Además, actualmente la mayoría de los ríos en África, Asia y América Latina presentan niveles de contaminación más altos que en la década de 1990. También se estima que en los últimos cien años se ha perdido entre el 50% y el 70% de los humedales naturales en todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019).

La oferta de agua en Colombia está en riesgo, situación que se agrava debido a que las fuentes hídricas no disponen del **caudal** suficiente, presentan deficiencias en su capacidad de regulación y son vulnerables a los fenómenos de variabilidad y cambio climático (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Estos escenarios climáticos pueden conllevar reducciones de hasta el 40% en la precipitación en una tercera parte del territorio nacional y aumentos de alrededor 2,1 °C para el año 2100 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015).

En comparación con otros sectores productivos de Colombia, el agrícola es el que más agua demanda, con un 43,25% (IDEAM, 2022). Por este motivo, es necesario implementar medidas que optimicen el uso del

Glosario



Caudal. Es la cantidad de agua que circula por una fuente hídrica o ducto en un tiempo determinado. La unidad de medición es litros por segundo (l/s).

recurso hídrico y reduzcan las pérdidas de agua en la producción agrícola, en particular en los sistemas de riego, donde pueden superar incluso el 50 % (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

En el caso del aguacate Hass, la disponibilidad adecuada de agua en el cultivo puede significar aumentos en la producción de hasta 6 t/ha al año (Anguiano et al., 2007). En Colombia, se ha demostrado que, en las zonas productoras, el cultivo requiere de riego al menos un mes en el año (entre mayo y septiembre), dado que los regímenes de lluvia no suplen las necesidades de agua del cultivo (Erazo et al., 2021).

Las estimaciones sobre los requerimientos hídricos del cultivo muestran que el uso del balance hídrico diario es una herramienta que permite hacer seguimiento a las condiciones de humedad del suelo y definir el momento oportuno, la frecuencia y el volumen adecuado para la aplicación de riego. Asimismo, se definió que el **coeficiente del cultivo (Kc)** más apropiado para el aguacate Hass en etapa productiva es de 0,75, valor con el cual se determinan las necesidades de riego (evapotranspiración del cultivo [ETc]) en las diferentes zonas de producción, incluido el departamento del Cauca (Dorado et al., 2017; Grajales-Guzmán, 2017).

Debido a esto, el suministro adecuado de agua en el cultivo de aguacate Hass se convierte en una práctica que, junto al manejo integrado de plagas y enfermedades, la nutrición y las prácticas culturales, permite expresar el potencial de las plantas en cuanto a producción y calidad de los frutos.

Glosario



Coeficiente del cultivo (Kc). Representa el valor máximo de consumo de agua de un cultivo particular. Integra las diferencias entre evaporación de agua del suelo y la transpiración de las plantas.

Específicamente, en este capítulo se argumenta que es indispensable realizar el manejo de los periodos de déficit hídrico con la instalación de sistemas de riego ajustados a las condiciones agroambientales de producción, así como manejar las altas precipitaciones con diferentes técnicas de evacuación y aprovechamiento del exceso de agua.

Conozca los principales aspectos del riego

Para implementar sistemas de riego en el cultivo de aguacate Hass se deben tener en cuenta varios aspectos que garanticen el uso eficiente del agua, así como elegirlo correctamente de acuerdo con las variables agroambientales de la zona de producción, las etapas fenológicas del cultivo, el monitoreo climático y el cálculo de las necesidades de riego durante el ciclo productivo.

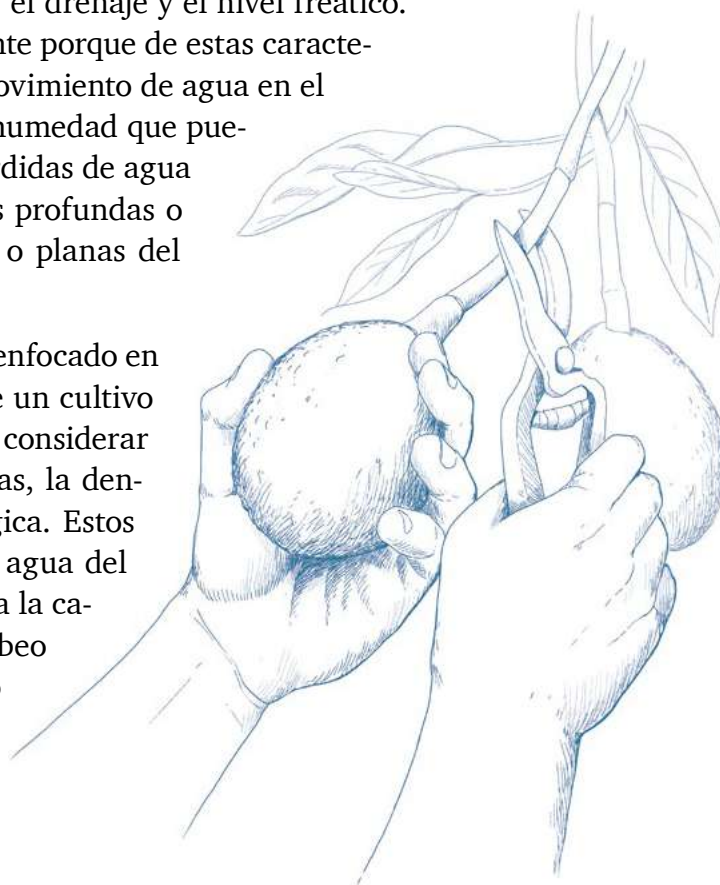
¿Cuáles variables debe tener en cuenta?

Antes de seleccionar e instalar un sistema de riego para el cultivo de aguacate que se adecúe a sus condiciones particulares, debe tener en cuenta variables relacionadas con:

1. **Ambiente:** hace referencia a las condiciones ambientales que influyen en la determinación de las necesidades de agua del cultivo, por ejemplo, precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento, las cuales tienen un papel

importante en la pérdida de agua desde la superficie del suelo. Conocer el comportamiento histórico ambiental ayuda a identificar las temporadas de déficit y exceso hídrico en el año. En el primer periodo se deben priorizar las labores de almacenamiento de agua y mantenimiento del sistema de riego antes de que sea necesario regar, mientras que en el segundo se deben realizar las adecuaciones en el cultivo para facilitar la evacuación del exceso de agua.

2. **Suelo:** consiste en las propiedades hidrofísicas del suelo, como la textura, la infiltración, la pendiente, el drenaje y el nivel freático. Se trata de un aspecto muy importante porque de estas características dependen la dinámica del movimiento de agua en el suelo, la capacidad de retención de humedad que puede ser usada por las plantas y las pérdidas de agua que pueden ocurrir hacia capas más profundas o acumularse en las zonas más bajas o planas del terreno.
3. **Cultivo:** el riego siempre debe estar enfocado en suplir los requerimientos hídricos de un cultivo específico, por lo cual es importante considerar variables como la edad de las plantas, la densidad de siembra y la etapa fenológica. Estos factores influyen en la demanda de agua del cultivo y determinan en gran medida la capacidad de almacenamiento y bombeo que deberá tener el sistema de riego para suministrar la cantidad de agua que se requiera.



4. **Etapas fenológicas de la planta:** conocer los periodos del año en los cuales se presentan las principales etapas de desarrollo es fundamental para identificar las de mayor requerimiento de suministro de agua y, por lo tanto, en las que se debe garantizar el riego para no afectar la producción ni la calidad de los frutos de aguacate.
5. **Los recursos disponibles en la zona de producción:** es determinante evaluar previamente los recursos que se encuentran en la zona, ya que darán la información necesaria para diseñar y adaptar el sistema de riego a las condiciones particulares de espacio, tecnología, infraestructura y fuentes de agua.

El conocimiento de estas variables permitirá responder las preguntas orientadoras que se describen a continuación.

- **¿Cómo regar?** El tipo de sistema de riego deberá ser el que proporcione las mejores ventajas y eficiencia del uso del agua en el cultivo de aguacate Hass en cada caso. Esta decisión se debe basar en la uniformidad y eficiencia en la aplicación del agua, de ahí que los más recomendados y utilizados sean:
 - El riego por goteo: anillos con goteros alrededor de las plantas.
 - La microaspersión: rociadores pequeños instalados a menor altura y menor radio de humedecimiento que los aspersores, los cuales se ubican alrededor de los árboles.
- **¿Cuándo regar?** La decisión de cuándo regar está relacionada directamente con el estado del agua en el suelo, ya que es necesario aplicar agua al cultivo cuando las reservas disponibles en la zona de las raíces estén por debajo de los requerimientos hídricos de la

planta del aguacate y se torne más difícil para estas tomar el agua y los nutrientes del suelo. En estas condiciones, se debe usar la herramienta del balance hídrico diario para definir el momento oportuno de riego.

- **¿Cuánto volumen regar y con qué frecuencia?** El volumen y la frecuencia del riego están sujetos, primero, a la intensidad de las lluvias en la zona y la reserva de agua del suelo. Segundo, a las pérdidas por evapotranspiración, las cuales dependen de las condiciones ambientales y del cultivo combinadas. Y, en tercer lugar, al tipo de textura e infiltración del suelo, variables que determinan si se debe optar por riegos cortos o largos, de mayor o menor frecuencia, de tal manera que se optimice el uso del agua y, a la vez, se suplan los requerimientos hídricos del cultivo.



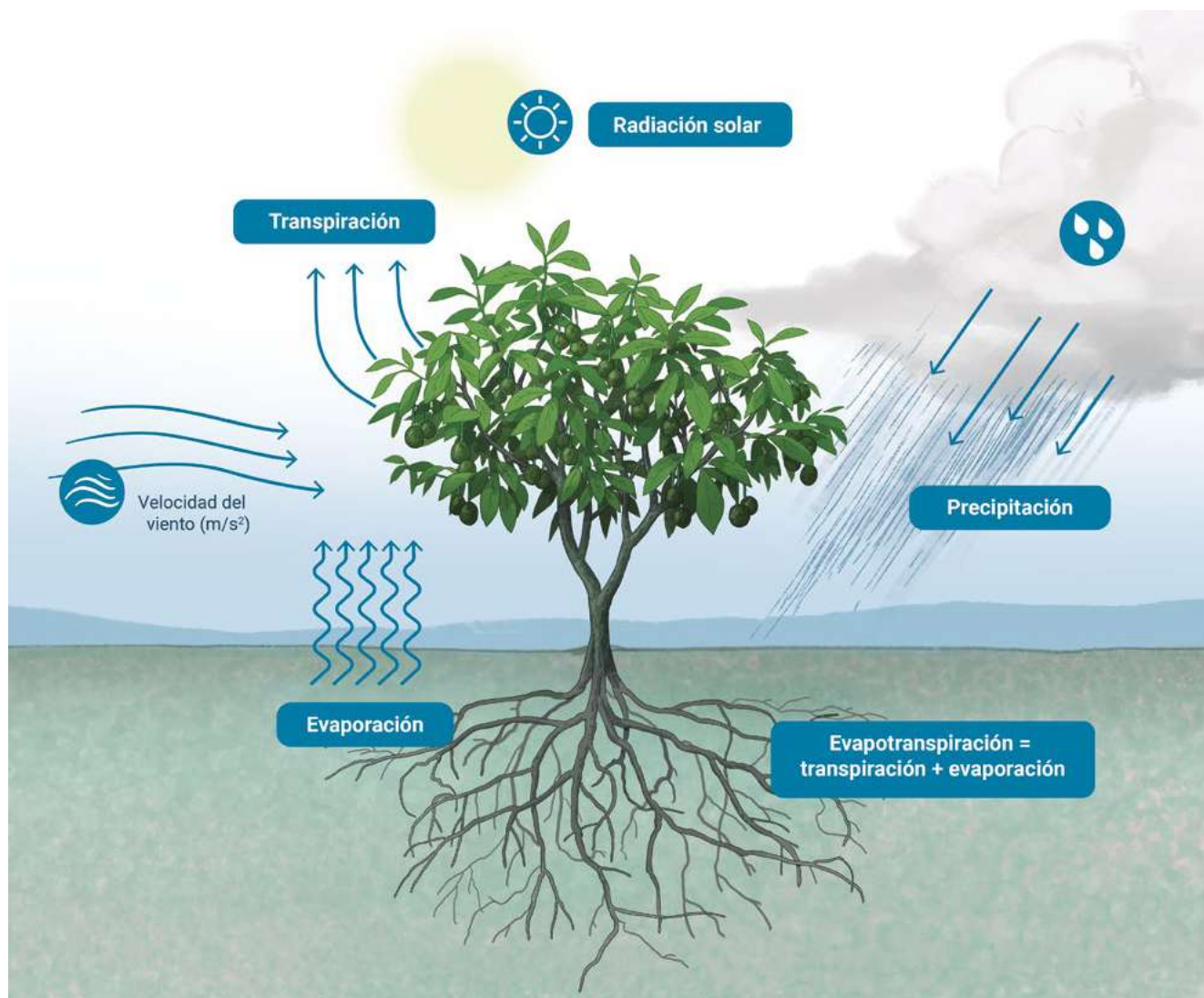
Se recomienda asesorarse con un profesional del área agrícola con conocimientos específicos en diseño, ajuste e instalación de sistemas de riego de alta eficiencia.

Variables ambientales

Monitorear las condiciones ambientales actuales permite conocer la entrada de agua al cultivo a través de la precipitación y las pérdidas de agua causadas por la evapotranspiración (ET), es decir, la cantidad de agua que pierde el suelo por evaporación desde su superficie más el agua que las hojas de las plantas transpiran después de ser captada del suelo por las raíces.

Específicamente, la precipitación, la temperatura del aire máxima y mínima, la humedad relativa, la radiación o brillo solar y la velocidad del viento son variables ambientales que se emplean para calcular el balance hídrico (figura 39), que se explica en apartados posteriores.

Figura 39. Principales variables ambientales relacionadas con el balance hídrico del cultivo de aguacate Hass.



Fuente: Elaboración propia.

Variables de suelo

Las características físicas del suelo donde está establecido el cultivo determinan en gran medida la capacidad del sistema de riego que se va a instalar, así como la frecuencia y el volumen de cada sesión de riego en el cultivo. Estas características se describen a continuación.

Textura

La textura es una propiedad que indica el contenido porcentual de partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. La proporción de estas partículas confiere características particulares a cada tipo de suelo.

Es importante tener en cuenta que los suelos con texturas medias a gruesas, como los que caracterizan a las zonas productoras de aguacate Hass en Cauca (p. ej., los francos, franco arenosos y arenosos, entre otros), requerirán una mayor frecuencia de riego y un menor volumen de agua en cada aplicación con el fin de evitar pérdidas de agua por **lixiviación** o **percolación profunda**.

En cambio, en los suelos de texturas finas (p. ej., los franco limosos, franco arcillosos y arcillosos) los riegos pueden ser más espaciados debido a su capacidad de retención de humedad. En estos suelos se puede aplicar un mayor volumen de agua, pero es crucial que se suministre de manera lenta para que pueda penetrar en el suelo, mantenerse disponible para las plantas y evitar que se produzcan encharcamientos.

Glosario

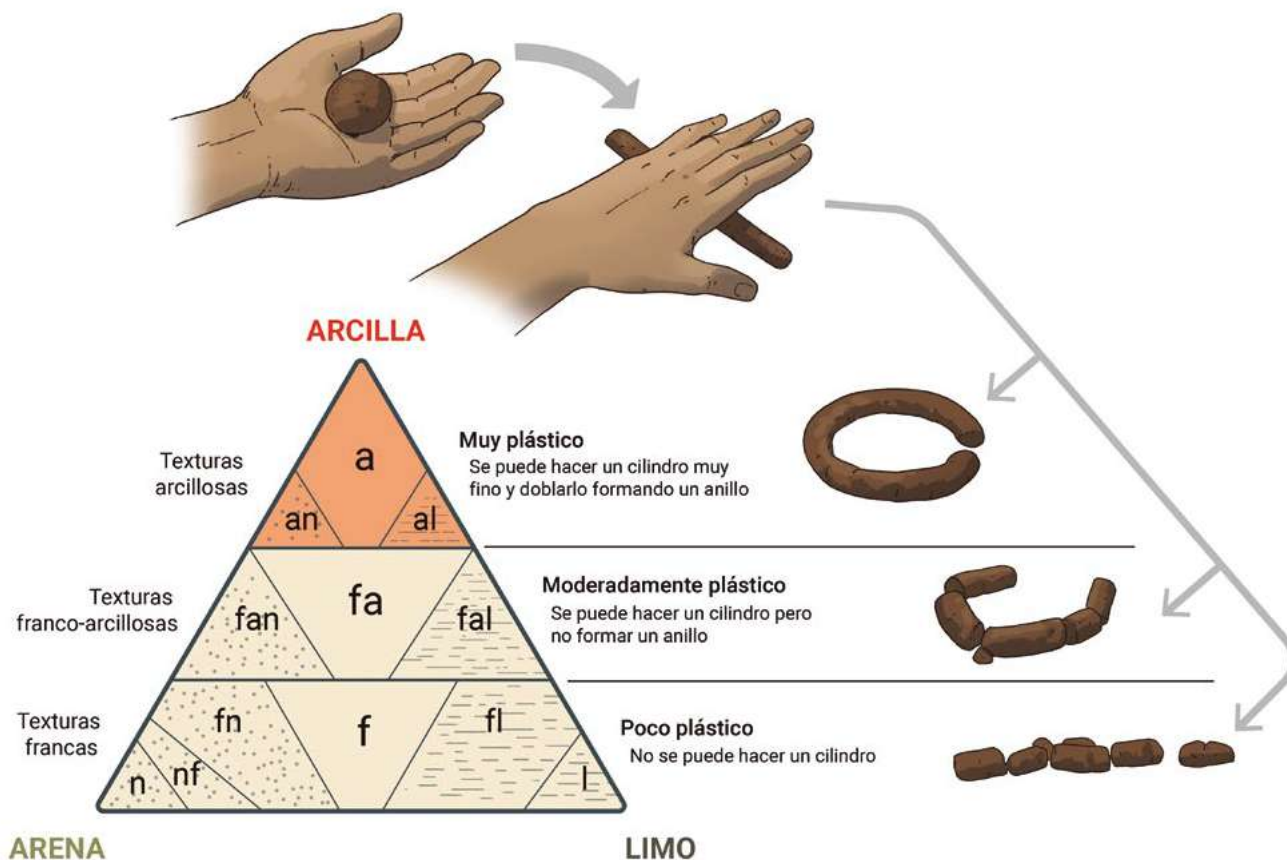
Lixiviación. Hace referencia al arrastre de compuestos solubles por el movimiento del agua a través del suelo.

Percolación profunda. Se refiere al agua que se filtra más allá de la zona de las raíces de las plantas, y que ya no es utilizable por estas. Puede llegar hasta el nivel freático.



A continuación, la figura 40 muestra una forma sencilla de evaluar la textura del suelo.

Figura 40. Tipos de textura del suelo según su contenido de arena, arcilla y limo.

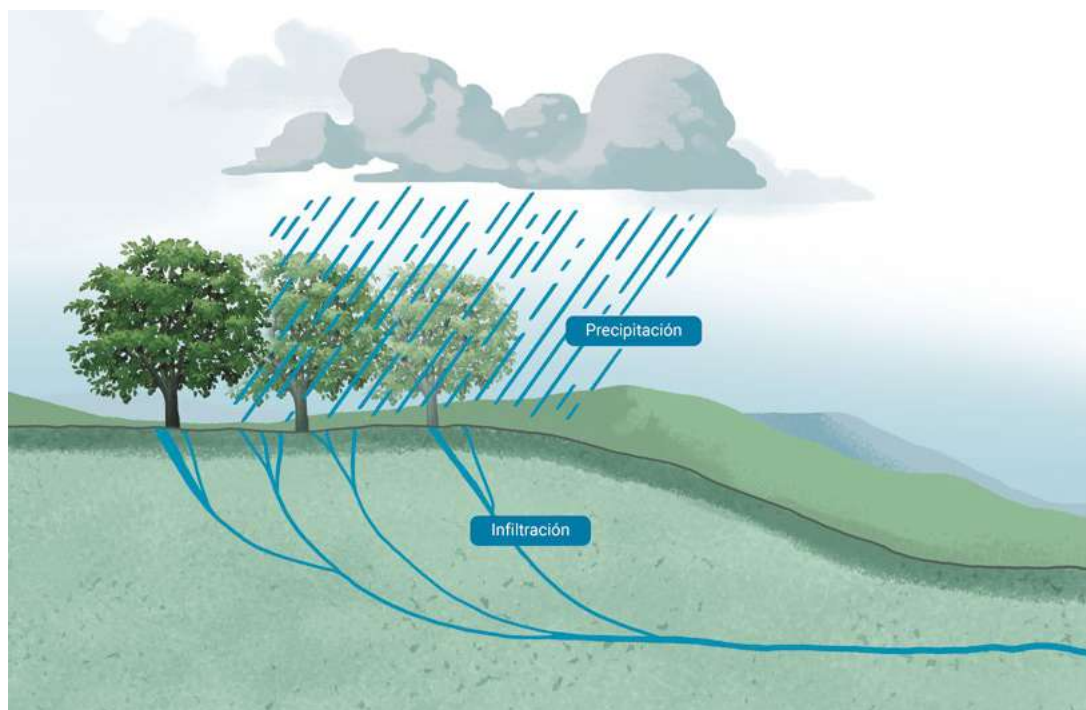


Fuente: Elaboración propia.

Infiltración

La infiltración es el proceso de entrada de agua al suelo desde la superficie hacia las capas inferiores y puede darse en dirección vertical u horizontal (figura 41). Específicamente, la velocidad de infiltración está relacionada con la textura y estructura del suelo. A mayor velocidad de infiltración, se necesitará menos tiempo de riego para alcanzar la capacidad de campo (cc), es decir, el nivel máximo de humedad que un suelo puede retener después de haber drenado el exceso de agua. Mientras que, a menor velocidad de infiltración, cada sesión de riego debe ser más prolongada.

Figura 41. Infiltración del agua lluvia en el suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Pendiente

La pendiente desempeña un papel importante en el diseño del sistema de riego, pues se debe garantizar la uniformidad en la distribución del agua y prevenir las pérdidas por escorrentía o infiltración excesiva, así como posibles encharcamientos en áreas planas o bajas del cultivo (figura 42).

| Figura 42. Pendiente del terreno.



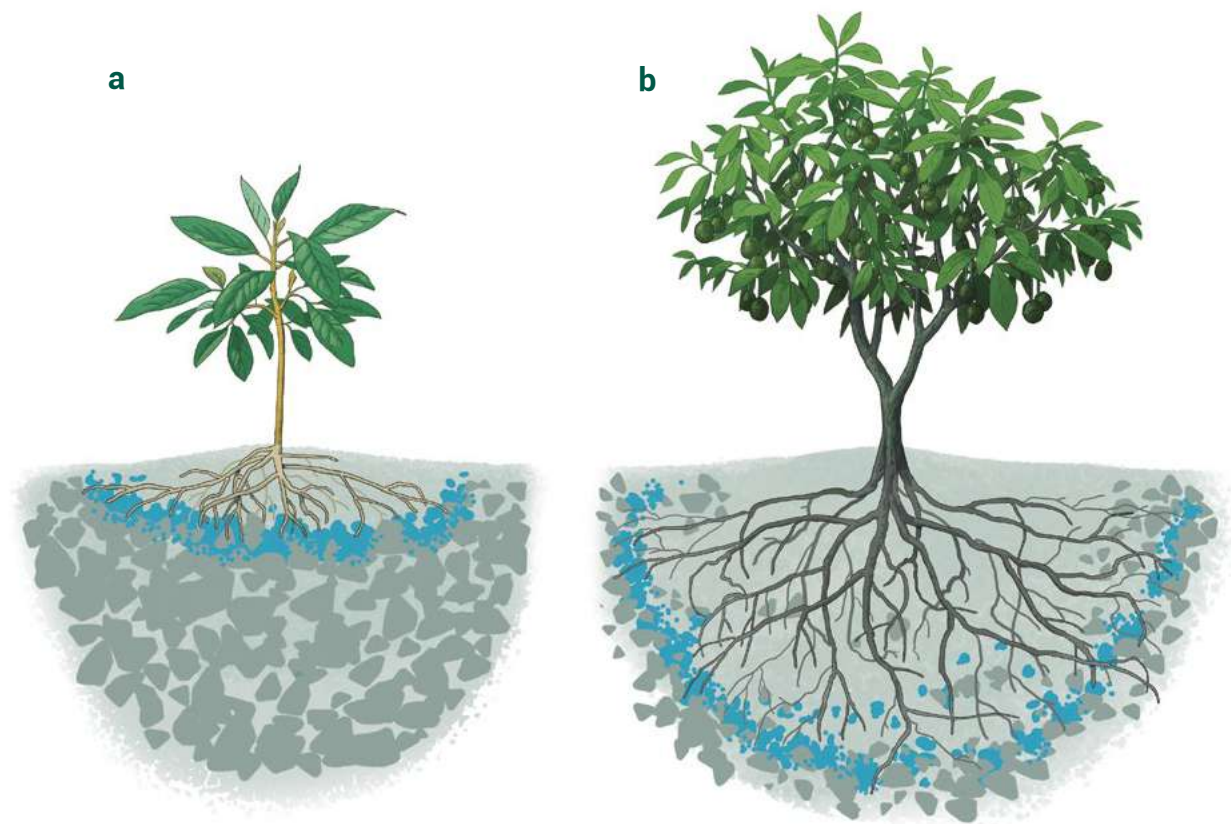
Foto: Luis Carlos Grajales Guzmán.

Drenaje y nivel freático

Las condiciones de drenaje imperfecto que ocasionen exceso de humedad en los suelos pueden afectar el crecimiento vegetal, cambiar el comportamiento fisiológico de las plantas y ocasionar una menor capacidad de absorción de agua y nutrientes, lo que a su vez impacta en el nivel de producción (Moreno & Fischer, 2016) (figura 43). En aguacate Hass, además de las limitantes referenciadas, esta condición de mal drenaje asociada a texturas del suelo inadecuadas y bajos niveles de oxígeno en la zona de raíces constituyen factores que predisponen a la planta a presentar infección por patógenos como *Phytophthora cinnamomi*, causante de la pudrición de raíces en el aguacate (Castaño-Zapata & Leal, 2018).



| Figura 43. Ejemplo de suelo con mal (a) y buen drenaje (b).



Fuente: Elaboración propia.

Variables del cultivo

Es importante que tenga en cuenta las características del cultivo para tomar una decisión sobre el sistema de riego más adecuado, ya que estas permiten definir:

- La capacidad y dimensiones del sistema de riego.
- La cantidad de **emisores** (goteros o microaspersores) necesarios por planta o sitio.
- Las áreas de humedecimiento.
- La integración con otras labores, como fertilización y manejo fitosanitario.
- La compatibilidad del sistema de riego con la tecnología disponible en el cultivo.

Densidad de siembra

La cantidad de plantas por área de cultivo es una variable muy importante para establecer el sistema de riego, ya que determina la distribución de sus componentes y la cantidad de agua que requiere (caudal total/volumen total), las necesidades de almacenamiento y la potencia de la bomba que impulsa el agua hacia el cultivo.

En los casos en que la cantidad de plantas que deben ser regadas implique costos muy altos en los equipos de bombeo y conducción del agua, se puede dividir el cultivo en módulos de riego para activarlos

Glosario



Emisores. Son los elementos que controlan la salida de agua del sistema de riego hacia las plantas. Dentro de los emisores más comunes se encuentran los goteros, los aspersores, los microaspersores, las cintas de riego perforadas, entre otros.

por turnos. De esta manera se puede emplear una fuente de potencia de menor capacidad sin perder la eficiencia del sistema y garantizar un suministro de agua uniforme a cada una de las plantas del cultivo. Una vez se complete el tiempo de riego de un módulo, se procede a abrir la válvula de paso del siguiente y cerrar la válvula de la sección ya regada.

Edad del cultivo

El sistema de riego debe ser diseñado de tal manera que pueda suplir las necesidades hídricas de las plantas de aguacate Hass en pleno desarrollo, pero que también pueda ser adaptado a medida que las plantas van alcanzando la etapa de madurez, en la cual la producción de frutos, follaje, ramas, raíces y demás estructuras de las plantas será mayor. Por lo tanto, el requerimiento hídrico aumentará por unidad de área.

Para determinar el diseño agronómico del sistema de riego es necesario conocer las necesidades hídricas del cultivo.

Se recomienda contemplar estos cambios en las necesidades de riego del cultivo al momento de elegir la capacidad de almacenamiento y bombeo del sistema, así como la posibilidad de agregar más emisores (goteros o microaspersores) por planta para reducir el tiempo de riego y garantizar una mayor uniformidad del agua en el área activa de las raíces.

Porte de los árboles

El tamaño y la altura de la copa de los árboles, la densidad del follaje, la longitud de las ramas, el nivel de floración y el cargue de frutos deben ser tenidos en cuenta para determinar los volúmenes de agua que se aplica al cultivo. Esto se debe a que el requerimiento hídrico no es el mismo para plantas con porte alto, copas amplias, alta densidad

de follaje y floración y/o fructificación, que para plantas con porte bajo, manejo constante de podas y nivel de follaje y floración y/o fructificación medio o bajo.

Asociación con otros cultivos

Producir aguacate Hass en asocio con otros cultivos es una práctica común de los productores, sobre todo durante los primeros dos a tres años de cultivo, para proporcionar ingresos alternativos y sopesar los costos de manejo del aguacate. Si este es el caso, se deben tener en cuenta los requerimientos hídricos de las especies secundarias.

El sistema de riego del aguacate debería, idealmente, suplir las necesidades también del segundo o incluso tercer cultivo asociado, de tal manera que se garantice el adecuado suministro de agua a todas las plantas. Tenga en cuenta que estos cultivos pueden generar aumentos en el volumen de riego debido a que hay un mayor consumo de agua por las plantas adicionales sembradas. Estas variaciones del sistema de riego deben ser consideradas por el productor y el diseñador del sistema de riego para tomar la decisión de si es necesario hacer instalaciones o modificaciones adicionales.

Presencia o ausencia y tipos de cobertura

Como parte de las estrategias de manejo y uso eficiente del agua en los cultivos, se recomienda cubrir el suelo con los siguientes elementos:



- Coberturas de tipo inerte, como plásticos o lonas.
- Material vegetal en descomposición, como madera, ramas y follaje de las podas. No se deben usar las podas fitosanitarias, que deben ser retiradas del cultivo y enterradas para evitar nuevos focos de infección.
- Residuos vegetales que quedan después de realizar control mecánico de arveneses (guadaña, machete, manual). Estas coberturas son ubicadas en el área bajo la copa de los árboles para conservar la humedad, disminuir las pérdidas de agua del suelo por evaporación, reducir la presencia de malezas agresivas en los huertos de aguacate Hass y aportar materia orgánica al suelo (coberturas de origen vegetal).

Otro tipo de cobertura que se ha implementado recientemente son las llamadas *coberturas verdes*, que consisten en especies de porte bajo y alta cobertura que se establecen en los cultivos y se extienden tanto en las calles como en los platos de los árboles. Estas especies generan beneficios al sistema de producción, sobre todo en el manejo de malezas y en la conservación del agua y el suelo.

El uso de coberturas permite que los cultivos reduzcan el consumo de agua porque ayudan a controlar las pérdidas de humedad del suelo y a regular la temperatura.

Manejo de fertirriego o control fitosanitario por medio del sistema de riego

Los sistemas de riego por goteo y microaspersión tienen el beneficio de que permiten integrar la fertilización y el control fitosanitario de algunas plagas y enfermedades mediante el agua de riego, lo cual se traduce en una reducción de los costos por aplicación, además de que facilita las labores del cultivo.

Si considera que integrar el sistema de riego con otras labores del cultivo puede ser una buena opción para que tenga más utilidad, recuerde que debe tenerlo en cuenta en la etapa de diseño e instalación. También tenga presente que los productos que se distribuyan a través del agua deben ser formulados para uso en sistemas de riego, de lo contrario pueden causar obstrucciones en los emisores o líneas de riego que implicarán costos adicionales de mantenimiento o reparación.

Compatibilidad con las labores de manejo y mantenimiento del cultivo

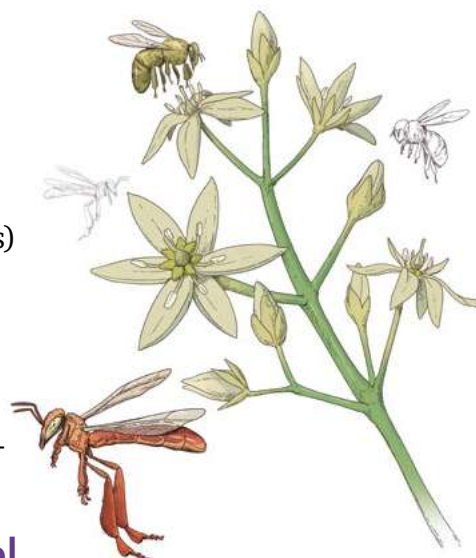
Otro factor importante para tener en cuenta en la elección del sistema de riego son las prácticas culturales y los equipos que emplea para realizar las labores cotidianas, dado que pueden generar daños en el sistema. Por ejemplo, si decide instalar un sistema de riego por microaspersión y el control de malezas en las calles y platos de los árboles se realiza con guadaña, o si instala un sistema por goteo y el manejo se realiza con machete o guadaña a nivel de suelo, se pueden causar daños en las líneas de riego o en los emisores. Esto implicará costos de reparaciones y mantenimiento adicionales, así que para evitar estos posibles daños, se recomienda capacitar al personal para que identifiquen los puntos de riego y tengan especial atención al momento de realizar las labores.

Otro caso podría ser el uso de maquinaria pesada en los cultivos que pueda afectar las líneas de conducción del agua, por lo cual se recomienda que las tuberías se entierren para evitar rupturas o daños mayores en el sistema.

Un buen uso del sistema de riego garantiza una mayor vida útil y menor tiempo de retorno de la inversión.

Estas características del cultivo permitirán definir:

- La capacidad y dimensiones del sistema de riego.
- La cantidad de emisores (goteros o microaspersores) necesarios por planta o sitio.
- Las áreas de humedecimiento.
- La integración con otras labores, como fertilización y manejo fitosanitario.
- La compatibilidad del sistema de riego con la tecnología disponible en el cultivo.

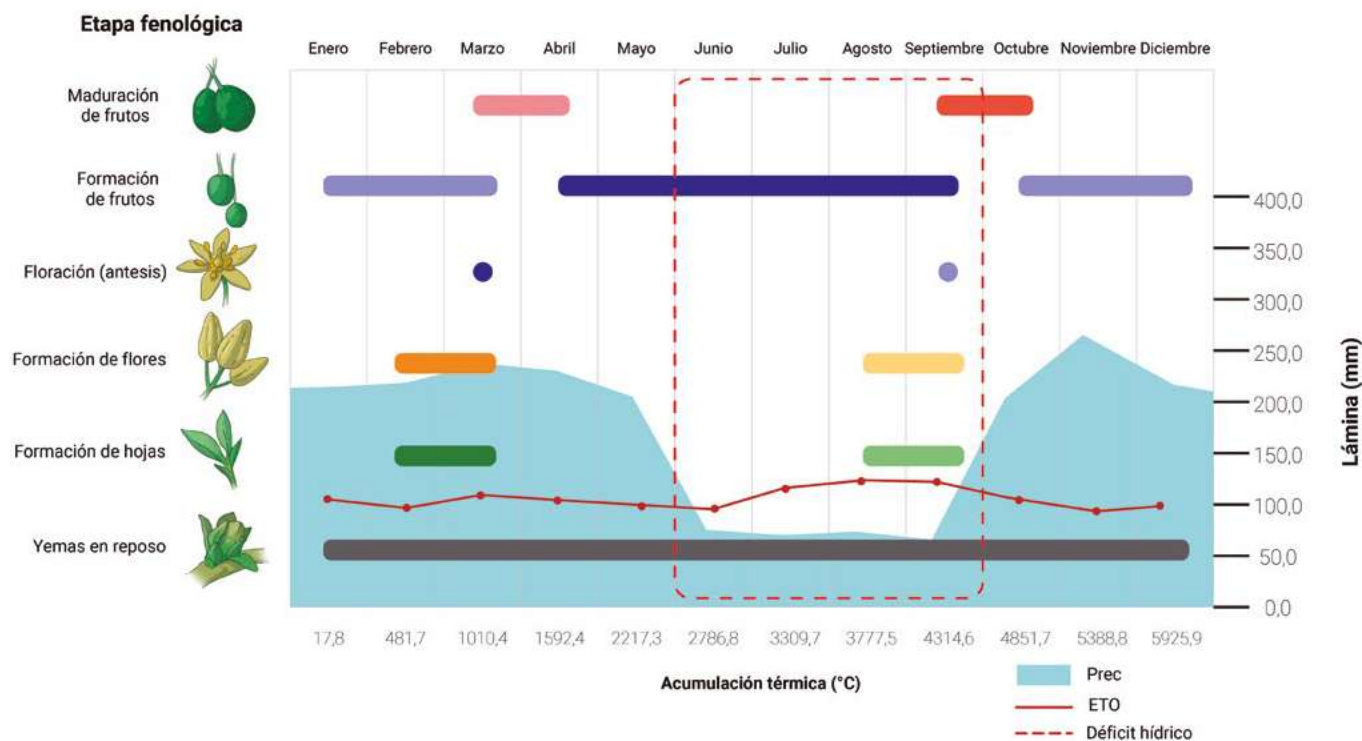


Etapas fenológicas de importancia para el aporte de agua en el cultivo de aguacate Hass

Una etapa fenológica hace referencia a cada una de las fases biológicas por las que atraviesa una planta desde su germinación hasta su muerte y que están estrechamente relacionadas con los factores ambientales y los cambios estacionales en su entorno (Yzarra & López, 2017). Algunas de estas fases en el aguacate Hass se presentan por única vez, como la germinación de la semilla, mientras otras etapas fenológicas se pueden dar de manera periódica, como la inducción floral, la floración, el cuajado, el crecimiento y la maduración de los frutos, y los ciclos de crecimiento de nuevas hojas y ramas (Rebolledo & Dorado, 2017).

Como el aguacate Hass es una planta que puede permanecer en producción durante varios años, las etapas fenológicas asociadas a la producción de frutos se presentan de manera periódica y, en condiciones tropicales como las de Colombia, es común que en dos épocas del año se activen los ciclos de generación de flores y frutos. En el caso específico del Cauca, en fincas productoras de Morales y El Tambo, se estableció el calendario fenológico con las principales etapas fenológicas (figura 44).

Figura 44. Calendario fenológico de los principales estados fenológicos en el cultivo de aguacate Hass en Cauca, caso parcela experimental en el municipio de Morales.



Nota: Las coloraciones más intensas en cada etapa fenológica indican el ciclo principal de producción de frutos, mientras las coloraciones más suaves representan el ciclo de producción intermedio. La línea roja punteada indica el periodo de déficit hídrico. El azul representa el balance hídrico histórico de la región.

Fuente: Elaboración propia.

En el calendario fenológico se observan los dos ciclos de producción del aguacate Hass que se presentan típicamente en la zona evaluada. El ciclo principal que produce generalmente la cosecha más abundante del año inicia en el mes de febrero con el flujo de crecimiento de hojas y la formación de flores. Este ciclo se extiende hasta marzo, cuando se produce la floración, que comprende la apertura y polinización de las flores, así como el cuajado de frutos y el aborto de las estructuras florales que no fueron polinizadas.

La formación y el crecimiento de los frutos de aguacate del ciclo principal se lleva a cabo entre los meses de abril y septiembre y, finalmente, la maduración de frutos ocurre entre septiembre y octubre, cuando se programan las labores de cosecha del cultivo de acuerdo con el mercado de destino.

El segundo ciclo de producción, llamado *intermedio*, inicia en el mes de agosto con el crecimiento de nuevas hojas y la formación de flores. Este va hasta septiembre, cuando se presenta el pico de floración, polinización, cuajado de frutos y aborto inicial de flores no polinizadas. El crecimiento y desarrollo de los frutos del ciclo intermedio se produce entre octubre y marzo del siguiente año, cuando se da la maduración y posterior cosecha de los frutos en los meses de marzo y abril.

Una característica importante para resaltar es que la presencia de yemas latentes (puntos de crecimiento en reposo) es constante a lo largo de todo el año y solo una parte de estas se activan para producir los flujos de crecimiento vegetativo y los ciclos de producción principal e intermedio.

Identificar las épocas de mayor demanda hídrica relacionadas con los períodos de bajas precipitaciones permite usar de forma racional el agua del riego en el cultivo.

¿Qué efectos tiene la deficiencia hídrica en estas etapas?

Según Carr (2013), la insuficiencia de agua en el suelo puede resultar en trastornos fisiológicos durante el desarrollo del fruto, los cuales afectan su calidad y propician su caída. Además, el suministro de agua durante la etapa de floración, cuando el dosel se expande y la demanda de agua del árbol es mayor, resulta fundamental para lograr un mayor cuajado de frutos y, por lo tanto, una mayor producción, como señalan Kourgialas y Dokou (2021).

Para las zonas de producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca, se ha identificado que una de las principales limitantes para su producción es el déficit hídrico, resultado de las condiciones de suelo, principalmente, ya que poseen una baja capacidad de retención de humedad y excesivo drenaje (Corpoica, 2016). Esta información se ha corroborado con registros tomados en las parcelas experimentales de los municipios de El Tambo y Morales, donde se evidencia un periodo de bajas precipitaciones durante los meses de junio a septiembre, de manera que no se alcanzan a cubrir las necesidades hídricas del cultivo.

Al comparar el balance hídrico con el calendario fenológico de la figura 44 es posible identificar que en este periodo de déficit (recuadro rojo) los árboles se encuentran en la etapa de formación y crecimiento de frutos de la cosecha principal y, simultáneamente, se presenta la formación de flores y hojas del ciclo intermedio siguiente. Por esta razón, es fundamental garantizar el suministro de agua al cultivo con el fin de no afectar la cantidad ni la calidad de los frutos, tanto de la cosecha principal como de la intermedia del siguiente año.

En épocas de déficit hídrico es importante mantener la humedad del suelo para garantizar la producción y calidad de la fruta.

Recursos disponibles

El éxito del sistema de riego también depende en gran medida de la disponibilidad de recursos en la zona y debe adaptarse a las condiciones particulares de cada cultivo. A continuación se describen los más importantes.

Fuentes hídricas

La proximidad, el acceso y el uso regulado de fuentes de agua para riego son aspectos muy importantes en la planificación de la captación y almacenamiento de agua, especialmente durante las temporadas secas que puedan surgir durante el ciclo de producción. La proximidad determinará la cantidad de recursos e infraestructura necesarios para conducir el agua desde la fuente hasta el lugar de almacenamiento y bombeo del sistema de riego.

El acceso a la fuente de agua debe contar con el permiso de concesión de uso de agua para dar cumplimiento a los requisitos exigidos por las Buenas Prácticas Agropecuarias (BPA) y los diferentes certificados y sellos de exportación. El uso medido y regulado de la fuente de agua se debe tener en cuenta para no generar mayores alteraciones en el nivel o caudal que afecten a poblaciones u otros cultivos cercanos, sobre todo en los periodos de bajas precipitaciones.



Calidad del agua

Evaluar la calidad de la fuente de agua es una tarea que debe realizarse antes de instalar el sistema de riego para conocer si cuenta con las características necesarias para su uso. Como mínimo se deben garantizar las siguientes características:

- El pH del agua debe ser menor a 7.
- El nivel de **conductividad** eléctrica no puede sobrepasar los 2 mS/cm o dS/m.
- La concentración de sodio debe ser menor a 3 meq por litro y la concentración de cloruros debe estar por debajo de los 100 ppm.

Fuentes de agua que excedan alguno de los rangos mencionados no deben ser usadas para riego de aguacate Hass, ya que podrían limitar la absorción de nutrientes, provocar la caída de hojas y, como resultado, disminuir significativamente la producción (Salinas et al., 2021). Asimismo, se podrían causar inconvenientes si se realizan labores como fertirriego o control sanitario, ya que los productos están formulados para actuar en unos rangos específicos de pH y conductividad eléctrica del agua.

La determinación de los valores de cada una de estas propiedades puede realizarse directamente en campo con medidores portátiles de pH y de concentración de cloro y sodio para obtener un primer valor indicativo. Sin embargo, lo recomendado es tomar una o varias muestras de agua para enviarlas al laboratorio y obtener un análisis más completo sobre las características del agua, de manera que se puedan tomar decisiones respecto a correctivos y manejo de acuerdo con su calidad.

Glosario

Conductividad.

Se define como la capacidad del agua para conducir corrientes eléctricas.



Sales y partículas en suspensión

En exceso, estos sólidos pueden obstruir los aspersores o goteros. Para aguas con una concentración de sólidos superior a 200 ppm, se recomienda el uso de filtros (Salinas et al., 2021). En caso de integrarse fertilización o manejo fitosanitario, es necesario revisar las recomendaciones del fabricante respecto al uso de agua con alta concentración de sales o partículas en suspensión, así como, de ser posible, realizar pruebas de los productos que se van a aplicar para descartar precipitaciones o incompatibilidades antes de ser utilizados directamente en el cultivo.

Espacio disponible

Al momento de planear y diseñar el sistema de riego, se debe establecer si se dispone de espacio suficiente y adecuado para instalar tanques o si se requiere la construcción de estructuras o reservorios que proporcionen el agua para el sistema de riego.

Energía eléctrica

Su acceso determinará la elección entre electrobombas, que utilizan energía eléctrica para succionar y distribuir el agua en el cultivo, o motobombas, que cuentan con un motor impulsado por combustibles como gasolina o diésel. Cada tipo de bomba tiene sus ventajas y desventajas, las cuales deben ser evaluadas por el productor y el diseñador del sistema de riego para elegir la opción que mejor se adapte a las necesidades particulares de cada unidad productiva.

Al iniciar un proyecto de riego es necesario identificar los recursos disponibles para facilitar el diseño y ahorrar en costos de instalación y operación.

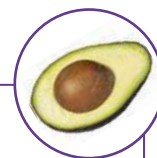
Personal capacitado

Se requiere contar con el personal suficiente capacitado para la operación del riego, el manejo de las motobombas, los módulos y los medidores de presión del sistema. También se recomienda que tenga conocimientos en el mantenimiento preventivo de los equipos de bombeo y el sistema de distribución del agua.

Calcule el balance hídrico del cultivo

Para determinar cuándo se debe regar es necesario que calcule el balance hídrico del cultivo, el cual consiste en el equilibrio entre la absorción de agua a través de las raíces y la pérdida de agua por transpiración. Este balance es esencial para las plantas, ya que el exceso o la falta de agua pueden afectarlas, y está determinado por el comportamiento de las siguientes variables:

1. **Precipitación efectiva (mm):** es la fracción de la precipitación total (medida de las estaciones climáticas y pluviómetros) que es aprovechada por las plantas. Puede determinarse a partir de fórmulas empíricas o mediante el uso de software de descarga libre como **Cropwat 8.0 FAO**.
2. **Temperatura ambiental máxima y mínima (°C):** es el nivel de calor del aire en determinado sitio. Esta variable influye en la tasa de evapotranspiración de las plantas y se mide con termómetro en estaciones climáticas.



Cropwat 8.0 FAO



<https://cropwat.informer.com/Descargar-gratis/>

Descarga gratuita

3. **Humedad relativa (%):** es el grado de saturación de aire con vapor de agua. Influye en la capacidad de remoción de agua de la superficie evaporante (suelo y/o cultivo). Este valor se mide con un higrómetro o se registra en estaciones climáticas.
4. **Radiación solar (W/m^2):** es la fuente de energía más importante para que ocurra el proceso de evapotranspiración y está determinada por la localización del cultivo y la época del año. Esta variable se registra a través de un piranómetro.
5. **Velocidad del viento (m/s^2):** promueve el proceso de remoción del vapor de agua en el aire en una superficie evaporante. El viento permite que el aire saturado de vapor de agua sea sustituido por aire más seco. Se mide con un anemómetro que mide el flujo de aire.

Información complementaria

Consulte los datos de las estaciones meteorológicas del IDEAM:

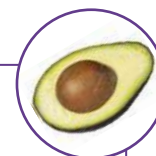


<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Consulte los datos de Cenicafé:



<https://agroclima.cenicafe.org/>



Para determinar el balance hídrico del cultivo se debe contar con una **estación meteorológica** propia (figura 45) o se deben obtener los datos de redes de estaciones meteorológicas de instituciones como IDEAM o Cenicafé, las cuales permiten acceder de forma gratuita a información de todo el país.

| Figura 45. Estación meteorológica.



Foto: Katherine Rodríguez

Glosario



Estación meteorológica.

Es un equipo que registra de manera conjunta o separada mediciones de variables ambientales como temperatura, humedad relativa, precipitación (lluvia), radiación solar y velocidad del viento, entre otros parámetros.

Programación de riego

A partir de las variables climáticas descritas y con la posibilidad de registrarlas directamente o consultar bases de datos climáticas, se utiliza la metodología de balance hídrico para realizar la programación del riego y resolver las preguntas ¿cuándo regar? y ¿con qué volumen y frecuencia regar? Los componentes del balance de agua son:

- Las variables que elevan el contenido de humedad en el suelo como precipitación efectiva (Pe) y riego (R).
- A nivel de campo, ocurren ganancias de humedad por nivel freático (NF), escorrentía (Es) o flujo subsuperficial desde áreas cercanas. En regiones como las zonas productoras de aguacate en el Cauca, el NF y el grado de percolación profunda es bajo debido a la capacidad de drenaje del suelo.
- Las pérdidas de humedad del suelo son la transpiración del cultivo (T), la evaporación desde el suelo (Ev) y las pérdidas por percolación profunda (Pp). Sin embargo, como la evaporación y la transpiración ocurren al mismo tiempo y por los mismos factores climáticos, se pueden sumar estas dos variables en la evapotranspiración del cultivo (ETc).

La ecuación con la cual se determina el balance hídrico se puede expresar en la ecuación 4:

$$\Delta HS = P + R - ETc$$

Ecuación 4

La ETc se da en los cultivos durante toda su etapa productiva, que ocupa toda el área disponible y sin restricciones de humedad en el suelo. Se determina mediante la ecuación 5:

$$ETc = Kc \times ETo$$

Ecuación 5

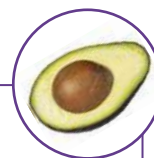
Donde,

Kc: Coeficiente del cultivo o uso consuntivo del cultivo, el cual varía en cada etapa fenológica. Recordemos que para aguacate Hass en condiciones del Cauca se recomienda un valor de 0,75.

ETo: evapotranspiración de referencia (mm/día).

La ETo se estima mediante registros directos de las estaciones climáticas automatizadas o se calcula mediante el uso de software de libre descarga, como el desarrollado por la FAO, ETo Calculator 3.1, que se basa en el modelo de FAO Penman-Monteith, reportado como el modelo más recomendado para estimar la ETo (Allen et al., 2006). Este modelo requiere de los datos diarios de: temperatura máxima y mínima (°C), humedad relativa (%), brillo solar o radiación (horas día o W/m²) y velocidad del viento (m/s).

Para ilustrar mejor cómo se aplica el balance hídrico para la programación de riego, en la tabla 5 se muestran las variables requeridas y los cálculos que se deben realizar.



ETo Calculator 3.1



https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faowater/Applications/EToCalculator64Bit.zip

Descarga gratuita

Tabla 5. Variables necesarias para calcular el balance hídrico

Balance hídrico diario										
Día	Salidas			Entradas	Diferencia	Riego a aplicar				
	ETo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	Pe (mm)	NR (mm) (ETc-Pe)	Riego (Sí/No)	ER	RRN (mm) (NRxER)	V (L)	t (min)
1	6	0,75	4,5	0	4,5	Sí	0,9	4,1	16,2	6
2	4,5	0,75	3,4	1	2,4	Sí	0,9	2,1	8,6	3
3	4,2	0,75	3,2	5	-1,9	No	0,9	0,0	0,0	0
4	5,8	0,75	4,4	0	4,4	Sí	0,9	3,9	15,7	6
5	4,1	0,75	3,1	2	1,1	Sí	0,9	1,0	3,9	2

ETo: evapotranspiración de referencia medida en milímetros (mm); **ER:** eficiencia del riego, para riego por goteo es 0,9; **ETc:** evapotranspiración del cultivo medida en milímetros (mm); **RRN:** requerimientos de riego netos (mm); **Pe:** precipitación efectiva medida en milímetros (mm); **V(L):** volumen de riego, calculado a partir de la multiplicación de **NRN** y el área de humedecimiento (m2); **NR:** necesidades de riego (mm); **T:** tiempo de riego (min), que relaciona el **V(L)**, el caudal del emisor (L/h), los emisores por planta y el factor de conversión de tiempo (1 h = 60 min).

Fuente: Elaboración propia

Información complementaria

Consulte al detalle el paso a paso metodológico para establecer la programación de riego en el manual “Requerimientos hídricos de aguacate Hass en Colombia” desarrollado por Dorado et al. (2017).
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13331>



¿Cómo es el balance hídrico histórico en dos zonas de producción de aguacate Hass en Cauca?

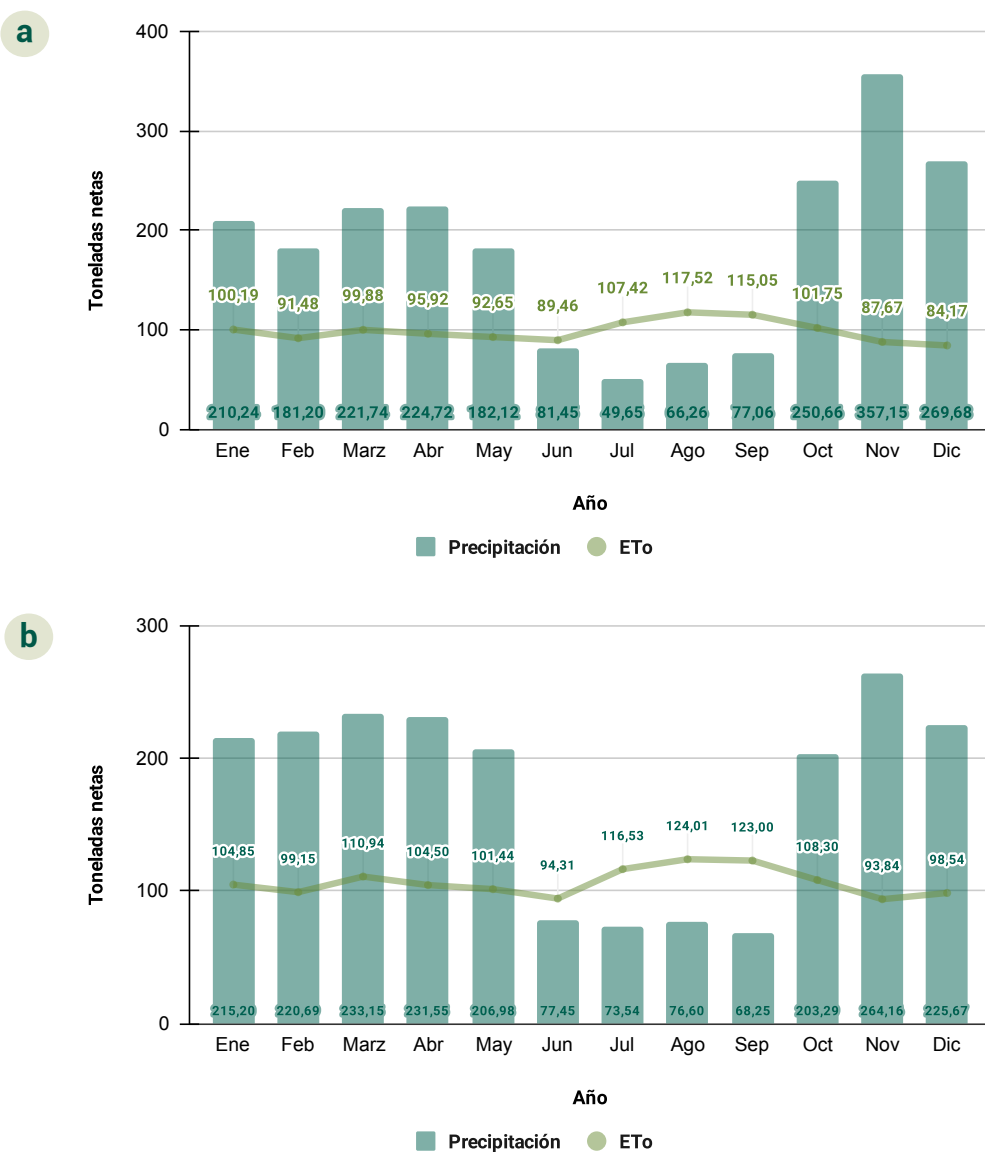
Las condiciones ambientales de los municipios productores de aguacate Hass en Cauca son similares entre sí, pues las épocas secas y de lluvias en el año son las mismas en toda la región. No obstante, existen diferencias en cuanto a la intensidad de las lluvias, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la radiación solar mensual, lo que se refleja en el balance hídrico del cultivo en cada localidad. En la figura 46 se muestran los balances hídricos promedio multianual de los municipios de El Tambo y Morales.

Como se evidencia en la figura 46, los balances hídricos representan el comportamiento de la evapotranspiración (ET) del cultivo (línea continua roja) y la acumulación mensual de precipitación (barras azules), los cuales evidencian un periodo continuo de déficit hídrico durante cuatro meses (junio, julio, agosto y septiembre) en ambas zonas productoras de aguacate Hass.

Dado que esta temporada seca histórica es tan prolongada y la lluvia es insuficiente para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo de aguacate Hass, es necesario implementar un sistema de riego con capacidad suficiente para mantener el nivel adecuado de humedad en las plantas durante al menos cuatro meses consecutivos.

En las zonas de producción de aguacate Hass en el Cauca hay déficit de agua entre junio y septiembre, por lo cual se requiere riego en esas épocas del año.

Figura 46. Comportamiento histórico de la precipitación y la evapotranspiración de referencia El Tambo (a) y Morales (b).



Fuente: Elaboración propia.

Además, al igual que históricamente se experimentan periodos de déficit hídrico durante el año, también se registran meses con un exceso de lluvia que demandan una gestión adecuada del cultivo para prevenir problemas en la zona de raíces y la aparición de enfermedades causadas por hongos, como la construcción de drenajes que permitan evacuar los excesos de agua del interior del lote.

Tipos de sistemas de riego y sus características

Debido a la creciente frecuencia de eventos de variabilidad y cambio climático, es fundamental estar preparados para enfrentar tanto los periodos de sequía mediante sistemas de riego, como los periodos de exceso de agua a través de alternativas de drenaje y recolección de agua en los cultivos.

La tendencia actual en Colombia y en todo el mundo apunta hacia el uso de sistemas de riego altamente eficientes que permitan un mayor ahorro de agua y una mejor adaptación al cultivo (Díaz, 2017). Entre los más recomendados se encuentran el riego por goteo y el riego por microaspersión, que cumplen con estas características.



¿Cuáles son los componentes generales de un sistema de riego?

Los componentes generales de un sistema de riego son los siguientes:

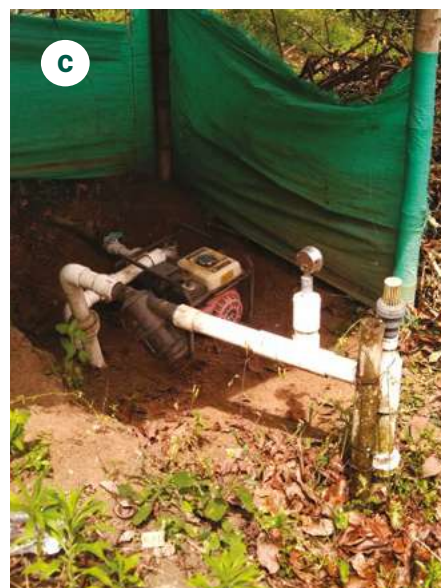
1. **Fuente o almacenamiento de agua:** como tanques, reservorios, pozos, embalses, entre otros.
2. **Fuente de presión:** electrobomba, motobomba o red presurizada para el bombeo del agua.
3. **Líneas de conducción:** para conducción del agua de riego desde la fuente hacia el cultivo.
4. **Cabecal de riego:** incluye accesorios para control de presión y filtrado del agua.
5. **Líneas de riego:** portan los goteros o microaspersores y conducen el agua desde las líneas principales o secundarias hacia cada árbol.

En la figura 47 se muestran los componentes básicos del sistema de riego instalado en una de las parcelas experimentales ubicadas en el departamento de Cauca. En este caso, se trata de un sistema de riego por goteo.



Figura 47. Componentes básicos del sistema de riego por goteo para aguacate Hass. a. y b. Fuente o almacenamiento de agua; c. Estación de bombeo de agua; d. Cabezal de riego y línea de conducción; e. y f. Línea de riego.

Fotos: Ronal Burbano, Devi Parra y Luis Carlos Grajales Guzmán





¿Cuáles son los sistemas de riego más recomendados para aguacate Hass?

Los sistemas de riego sugeridos para el cultivo de aguacate Hass son los riegos localizados de alta frecuencia, como riego por goteo y microaspersión. Sin embargo, el más recomendado es el riego por goteo porque mantiene una humedad óptima, uniforme y proporciona una excelente aireación. Además, el riego por goteo utiliza hasta 25 % menos de agua y energía en comparación con el riego por microaspersión (Dorado et al., 2017; Salinas et al., 2021). A continuación se describen los dos principales y se especifican sus ventajas y desventajas.

Riego por goteo

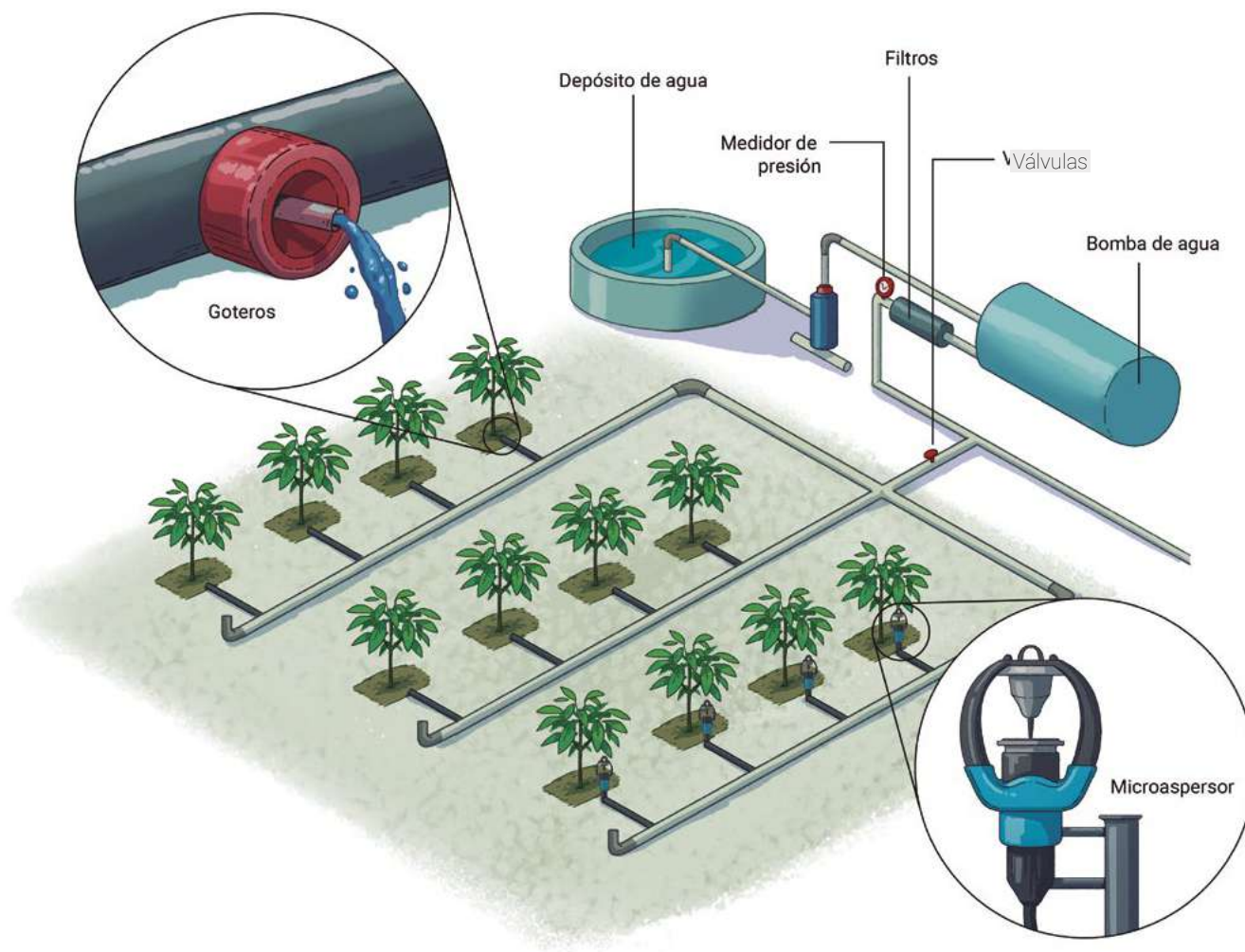
Es un método de riego localizado en el cual el agua se aplica en forma de gotas mediante emisores o goteros en la zona de las raíces de las plantas. Su objetivo es proporcionar el volumen necesario en el área de las raíces activas de los árboles para que puedan absorber agua y nutrientes de manera eficiente y lograr producciones óptimas (figura 48).

Ventajas

Entre las ventajas del sistema de riego por goteo se encuentran:

- Menor consumo de agua en comparación con sistemas de riego tradicionales.
- Suministra agua únicamente en el área efectiva de las raíces y previene el encharcamiento.

Figura 48. Componentes de un sistema de riego por goteo.



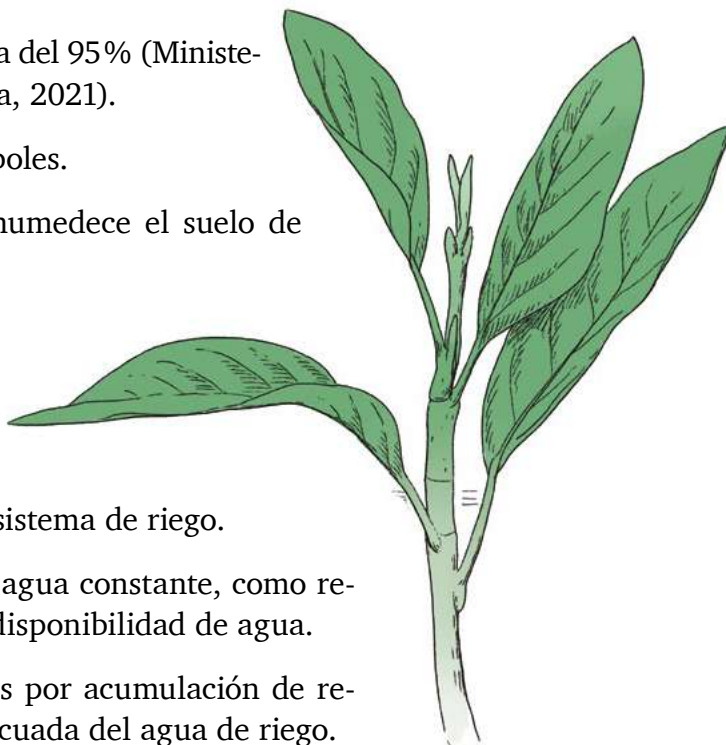
Fuente: Elaboración propia

- Eficiencia de aplicación de agua por planta del 95% (Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2021).
- Evita la humedad en el tronco de los árboles.
- Facilita el control de malezas porque humedece el suelo de forma localizada.

Desventajas

A continuación se presentan algunas de las desventajas de este sistema:

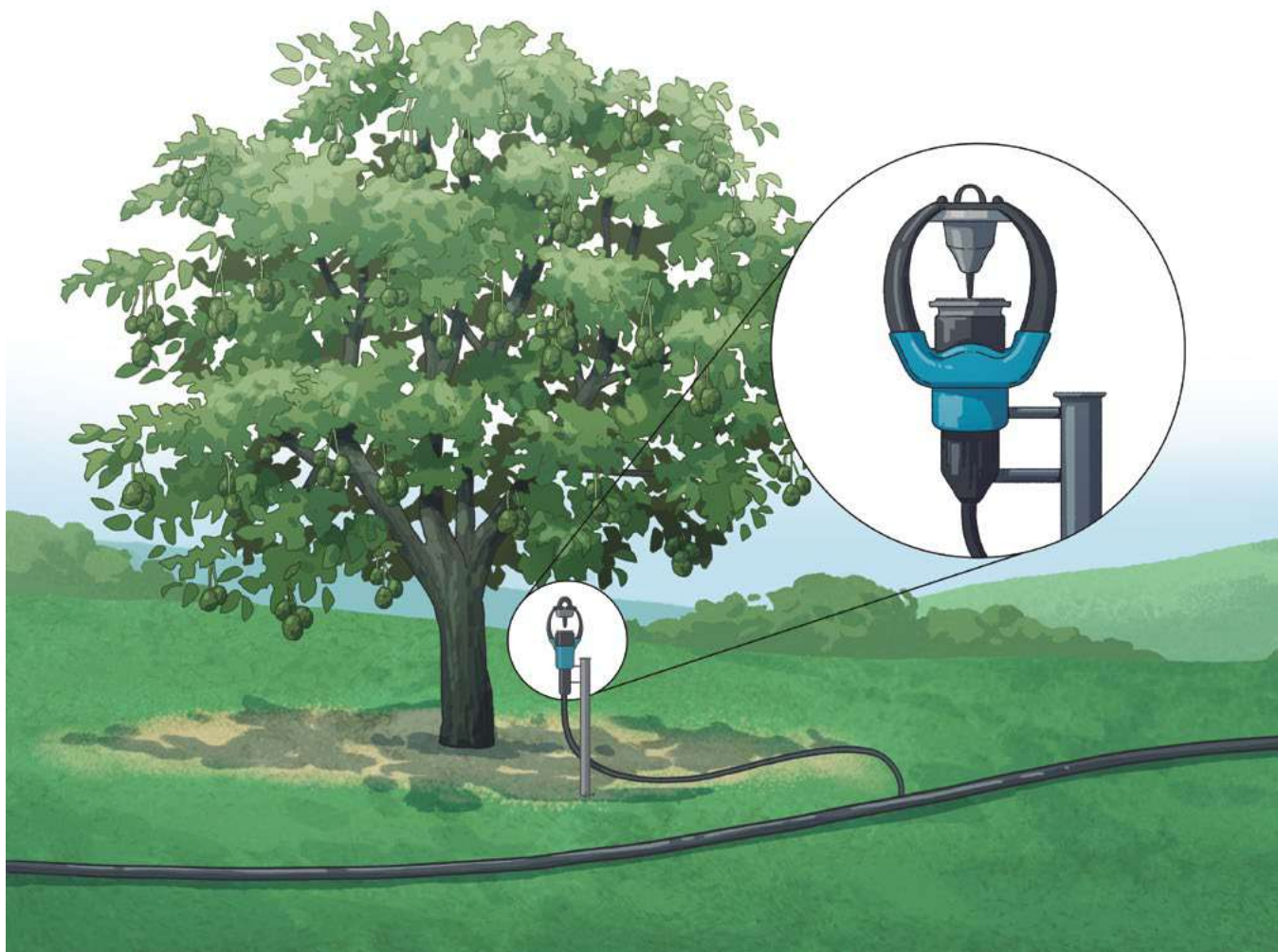
- Costo inicial elevado para establecer el sistema de riego.
- Necesidad de contar con una fuente de agua constante, como reservorios o tanques, para garantizar la disponibilidad de agua.
- Vulnerabilidad a obstrucciones causadas por acumulación de residuos si no se realiza una filtración adecuada del agua de riego.
- Requiere conocimientos para operar el sistema correctamente.
- Se debe tener precaución al realizar labores culturales con herramientas como palas, palines o guadañas que podrían dañar las líneas de riego o los goteros.



Riego por microaspersión

Es un tipo de riego que suministra agua imitando la lluvia, generalmente en forma circular alrededor de los árboles (figura 49). Es una variante del riego por aspersión con un alcance menor y gotas de menor tamaño, lo cual lo hace adecuado para una amplia variedad de cultivos. Ha sido ampliamente adoptado en la producción de aguacate Hass.

| **Figura 49.** Esquema de un sistema de riego por microaspersión.



Fuente: Elaboración propia

Ventajas

Entre las ventajas del sistema de riego por microaspersión destacan:

- Menor consumo de agua.
- Fomenta el desarrollo de raíces debido a un área de humedecimiento más amplia.
- Eficiencia de aplicación de agua por planta del 90% (Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2021).
- Evita el encharcamiento.
- Requiere bajas presiones de operación, lo que reduce los costos (Osorio & Burgos, 2012).
- Permite la aplicación de fertilizantes u otras sustancias para el manejo del cultivo.
- Facilita el control de malezas porque humedece el suelo de manera localizada y, por lo tanto, reduce la disponibilidad de agua para el crecimiento de las malas hierbas.



Desventajas

A continuación se presentan algunas de las desventajas de este sistema:

- Elevado costo inicial para establecer el sistema de riego.
- Requiere una instalación adecuada para evitar el mojado del tronco de los árboles.

- Durante los primeros años del cultivo, puede generar un mayor consumo de agua, ya que el área de humedecimiento es mayor que el área ocupada por las raíces.
- Necesita una fuente constante de agua, como reservorios o tanques, para garantizar la disponibilidad de agua.
- Existe el riesgo de mayores pérdidas de agua y/o fertilizantes si no se controlan las malezas ni se limpian los platos debido a una mayor evaporación (Osorio & Burgos, 2012).
- Es susceptible a obstrucciones causadas por la acumulación de residuos si no se realiza una adecuada filtración del agua de riego.
- Requiere conocimientos para operar el sistema de manera efectiva.
- Se debe tener precaución al llevar a cabo labores culturales con herramientas como palas, palines o guadañas, ya que podrían causar daños en las líneas de riego o en los microaspersores.

Recomendaciones generales para la conservación del sistema de riego

En términos generales, se recomienda que el productor realice estas acciones:

- Entierre la mayor parte del sistema de tuberías y mangueras para prevenir daños durante las labores de manejo del cultivo.
- Realice revisiones periódicas.

- Haga mantenimiento preventivo del sistema de riego para prevenir pérdidas de agua, evitar encharcamientos y garantizar la uniformidad en el suministro de agua (figura 50).

Figura 50. Mantenimiento del sistema de riego por goteo en parcela experimental de aguacate Hass en el departamento del Cauca. a. Limpieza de fuente de agua; b. reparación de fugas en tuberías de conducción de agua; c. revisión del funcionamiento de emisores de riego (goteros o microaspersores).

Fotos: Katherine Rodríguez



Utilice TECNOHASS para planear el riego de su cultivo

Una vez el usuario se haya registrado en la plataforma tecnológica TECNOHASS y siguiendo las indicaciones señaladas en el primer capítulo de este manual, podrá acceder al módulo de riego y calcular las necesidades hídricas del cultivo, la cantidad de agua requerida, la lámina de riego y el tiempo de riego con base en las condiciones de la zona productora de aguacate Hass del departamento del Cauca en la que se encuentre ubicado el predio.

El aplicativo realiza el balance hídrico diario a partir de los datos meteorológicos de la zona. Para esto, se pueden consultar las plataformas de Cenicafé o IDEAM, o visitar el enlace disponible en el módulo que enlaza a estas plataformas de información climática (figura 45).



Seleccione el plan de riego

Cuando el proceso de registro del lote se haya realizado de acuerdo con las indicaciones suministradas en el capítulo de fertilización, se continúa con la selección del plan de riego (figura 51).



Figura 51. Visualización del acceso a los planes de riego.

Fuente: AGROSAVIA.

Ingresa la información

Los datos requeridos para el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo con base en el balance hídrico diario son:

- Temperatura máxima, mínima y media diaria (°C).
- Humedad relativa media diaria (%) (opcional).
- Precipitación diaria (mm).
- Velocidad del viento (m/s) (opcional).

Siga estos pasos para cargar la información:

1. Agregue un nuevo registro de riego en el ícono  (figura 52).

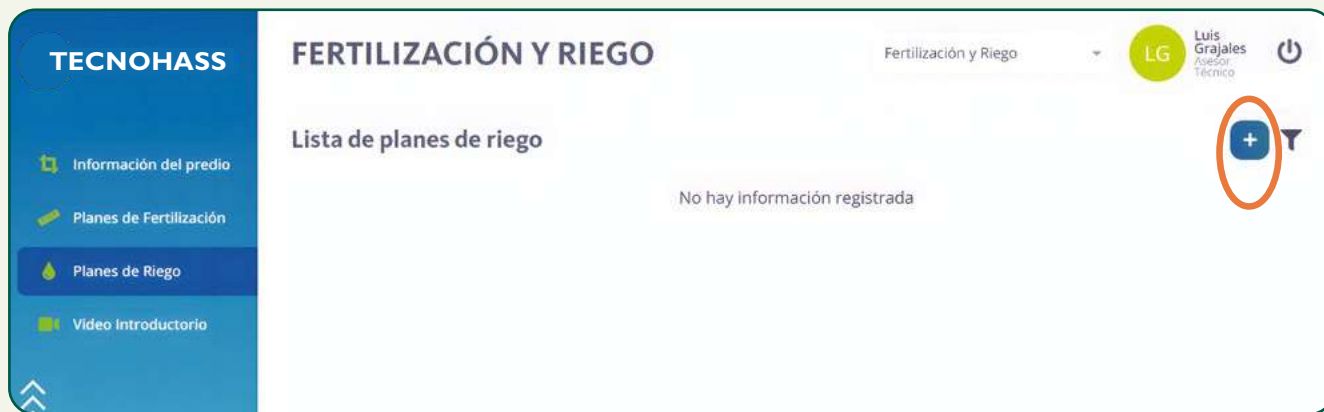


Figura 52. Ubicación del enlace para agregar la información necesaria para que el aplicativo calcule el balance hídrico.

Fuente: AGROSAVIA.

2. En la pestaña denominada “General” debe registrar la información del nombre de la finca o del plan de riego y el número del lote, definido en el registro del lote al inicio del módulo.
3. Seleccione el método de cálculo de ETo, el cual se define según la información de clima disponible al momento de ingresar al aplicativo. Elija el método de cálculo *manual* cuando tenga el dato de ETo diario, en caso contrario seleccione *calculado* (figura 53).

TECNOHASS

FERTILIZACIÓN Y RIEGO

Fertilización y Riego

LG Luis Grajales Asesor Técnico

Nuevo plan de riego

Informe

General

Nombre: * La Lorena

Lote: * 1

Cálculo ETo: * Manual

Tipo Emisor: * Calculado

Diámetro copa árbol: * 0 metros

Radio copa árbol: * 0 metros

Caudal de cada gotero: * 0 L/h

Área efectiva de riego: * 0 m²

Número de goteros por árbol: * 0

Caudal de descarga: * 0 L/h

Figura 53. Espacio en la plataforma donde se define el método para calcular el ETo.

Fuente: AGROSAVIA.

4. Si el método escogido para determinar el ETo es *calculado*, se despliega una ventana con los datos del sistema. Verifique la disponibilidad de información de las variables climáticas “velocidad del viento” y “humedad relativa”. Si cuenta con datos de estas dos variables, elija *FAO Penman-Monteith* como método para calcular la ETo (Allen et al., 2006) (figura 54). Si no tiene alguna de las dos variables, seleccione el método de cálculo Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985) (figura 55).

The figure consists of two screenshots of the TECNOHASS application interface, labeled (a) and (b).

Screenshot (a): Shows the 'DEFINIR MÉTODO CÁLCULO' dialog box. The title is 'DEFINIR MÉTODO CÁLCULO'. Below the title, it asks '¿Tiene acceso a la siguiente información?'. There are two rows of radio buttons: 'Humedad Relativa: *' with 'Si' (selected) and 'No' options, and 'Velocidad del viento: *' with 'Si' and 'No' options. At the bottom are 'Cancelar' and 'Guardar' buttons.

Screenshot (b): Shows the 'Nuevo plan de riego' form. The title is 'Nuevo plan de riego'. Below the title, it says 'General'. The form has several fields: 'Nombre: *' (La Lorena), 'Lote: *' (1), 'Cálculo ETo: *' (Calculado), 'Tipo Emisor: *', 'Diámetro copa árbol: *' (0 metros), 'Radio copa árbol: *' (0 metros), 'Caudal de cada gotero: *' (0 L/h), 'Área efectiva de riego: *' (0 m2), 'Número de goteros por árbol: *' (0), and 'Caudal de descarga: *' (0 L/h). The 'Método Cálculo:' field is circled in orange and contains the text 'Penman - Monteith'.

Figura 54. Elección de opciones de humedad relativa y velocidad del viento (a) que permiten elegir el método FAO Penman-Monteith (Allen et al., 2006) para calcular la ETo (b).

Fuente: AGROSAVIA.



Figura 55. Definición de las opciones de humedad relativa y velocidad del viento (a) que permiten elegir el método Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985) para calcular la ETo (b).

Fuente: AGROSAVIA.

5. El siguiente paso es diligenciar los datos para calcular el área de humedecimiento. Acá debe ingresar los datos de diámetro de la copa del árbol en metros y seleccionar el tipo de emisor (gotero o microaspersor), caudal del emisor (l/h) y, por último, el número de emisores por árbol, que se refiere a la cantidad de goteros o microaspersores dispuestos por árbol. Una vez complete la información debe guardar el plan de riego (figura 56).

Nuevo plan de riego Informe

General

Nombre: * La Lorena

Lote: * 1

Cálculo ET_o: * Calculado

Método Cálculo: Hargreaves

Tipo Emisor: * Gotero

Diámetro copa árbol: * 6 metros

Radio copa árbol: 3 metros

Caudal de cada gotero: * 8 L/h

Área efectiva de riego: 14,137 m²

Número de goteros por árbol: * 10

Caudal de descarga: 80 L/h

Cancelar **Guardar**

Nuevo plan de riego Informe

General

ID:

Nombre: *

Lote: *

Cálculo ET_o: *

Tipo Emisor: *

Diámetro copa árbol: *

Caudal de cada gotero: *

Número de goteros por árbol: *

Hargreaves

3 metros

14,137 m²

80 L/h

Plan Riego Guardado

El plan de riego se ha guardado correctamente

OK

Figura 56. Definición de las variables para establecer el área de humedecimiento (a) y opción de guardar el plan de riego (b).

Fuente: AGROSAVIA.

6. Después de guardar el plan de riego debe diligenciar las ventanas “Necesidades de riego” y “Balance hídrico”. En la pestaña “Necesidades de riego” ingrese los datos de clima diarios disponibles de acuerdo con el método de cálculo:

- *Hargreaves*: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) y precipitación total diaria (mm).
- *Penman-Monteith*: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad relativa media (%), velocidad del viento (m/s) y precipitación total diaria (mm).
- *Manual*: evapotranspiración de referencia (ET_o) y precipitación total diaria (mm).

7. Como insumo para los usuarios, se dispone de un enlace de consulta de información climática diaria de estaciones meteorológicas ubicadas en los municipios priorizados, a la cual es posible acceder libremente a través del enlace “Puede consultar datos de clima de su municipio aquí”. También puede consultarla en los enlaces de las instituciones IDEAM o Cenicafé detallados en apartados anteriores (figura 57).



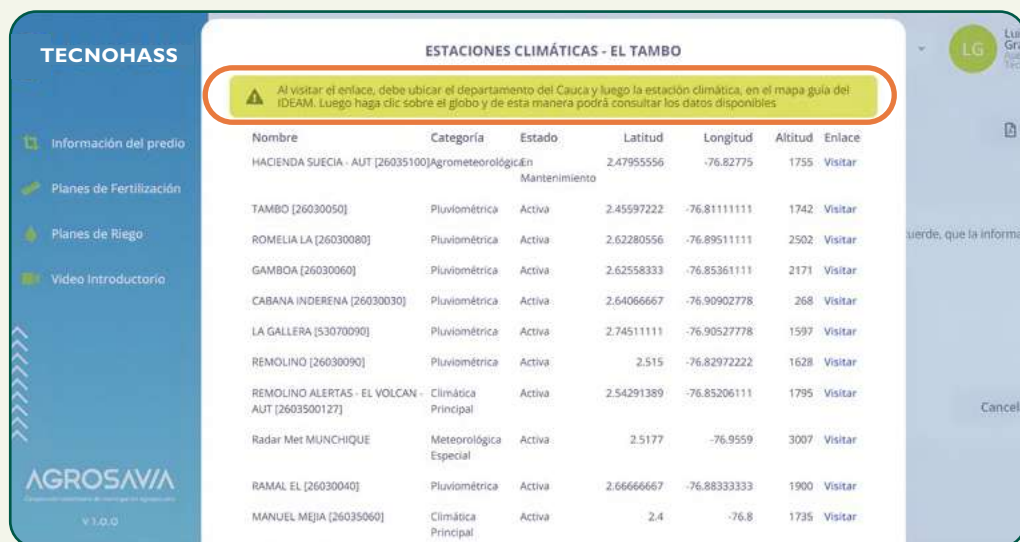


Figura 57. Opciones para conocer la información diaria de las estaciones meteorológicas. a. y b. Plataforma TECNOHASS; c. IDEAM.

Fuente: AGROSAVIA.

8. Una vez haya ingresado la información de clima requerida, continúe con la definición del balance hídrico. Seleccione el botón “Agregar registro” y después “nuevo registro”. Ingrese la fecha de cálculo (actual) y, dependiendo del método, agregue los datos climáticos correspondientes. Cuando finalice el registro de los datos climáticos, en la pestaña “Necesidades riego” aparecerá el balance hídrico para ese día (figura 58). Si es necesario regar, el sistema mostrará la lámina, el volumen que se recomienda aplicar y el tiempo de riego. De la misma manera, continúe con el registro de la información durante todos los días y podrá observar los días de riego, los días de lluvia y el comportamiento del régimen hídrico durante la semana o el mes. Es importante aclarar que también se pueden ingresar datos meteorológicos obtenidos de otras fuentes (estaciones climáticas propias, corporación autónoma regional, entre otras).

TECNOHASS AGROHASS

FERTILIZACIÓN Y RIEGO

Fertilización y Riego

Luis Grajales

Informe

NUEVO REGISTRO

Fecha: *
2023-04-03

Temperatura Media (°C): *
17

Temperatura Mínima (°C): *
14.3

Temperatura Máxima (°C): *
22.1

Precipitación Total (mm): *
0

Cancelar Guardar

TECNOHASS

FERTILIZACIÓN Y RIEGO

Fertilización y Riego

Luis Grajales

Informe

NUEVO REGISTRO

Fecha: *
2023-04-12

Temperatura Media (°C): *
17.2

Temperatura Mínima (°C): *
14.3

Temperatura Máxima (°C): *
23.5

Humedad Relativa (%): *
76.8

Velocidad Vientos: *
0.7

Precipitación Total (mm): *
0

Cancelar Guardar



c



d

Figura 58. Reporte del balance hídrico correspondiente al día para el cual se registraron los datos. a. Opción de agregar registro. b y c. Ventanas para cargar la información de acuerdo con el método seleccionado para calcular el ETo. d. Información sobre el volumen y tiempo de riego específico para su cultivo el día seleccionado.

Fuente: AGROSAVIA.

Analice e interprete los resultados

Una vez registrados los datos mencionados, se inicia el cálculo del balance hídrico diario y, a partir de este, se definen las necesidades de riego diarias para el cultivo. Además, en la plataforma se encontrará información sobre el historial del balance hídrico en los municipios productores de aguacate Hass, junto con gráficos que muestran el balance de agua calculado por mes (figura 59).

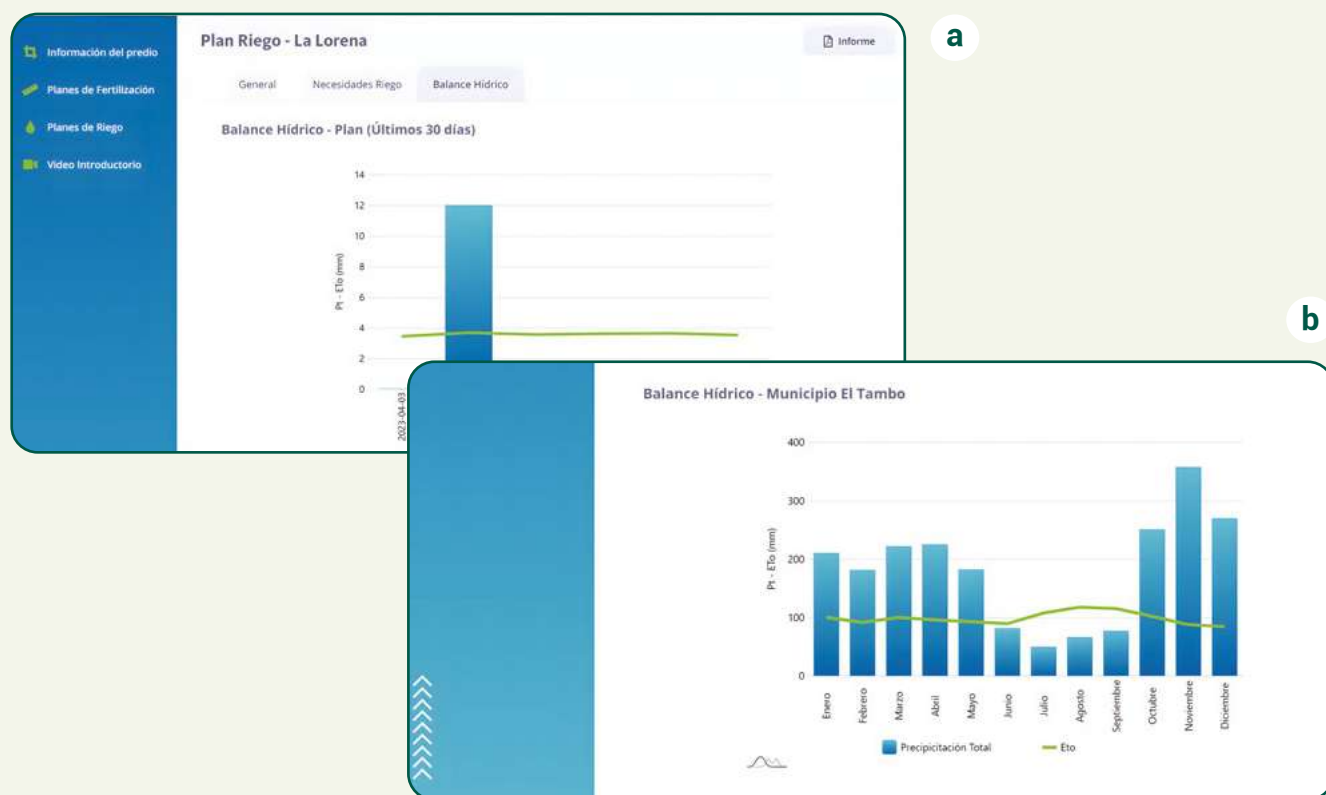


Figura 59. Historial del balance hídrico en los municipios productores de aguacate Hass (a) y el balance hídrico calculado (b).

Fuente: AGROSAVIA.

También podrá descargar la información registrada mediante un informe diario que se genera automáticamente en formato PDF (figura 60).



Figura 60. Descarga en formato PDF del informe diario de necesidades de riego. a. Enlace para descarga; b y c. Ejemplo del archivo con el reporte.

Fuente: AGROSAVIA.

Cada vez que se ingrese a la plataforma tecnológica, el plan de riego quedará guardado y disponible en la pantalla principal del módulo de registro para que continúe ingresando los datos y alimente el balance hídrico (figura 61).

TECNOHASS

FERTILIZACIÓN Y RIEGO

Fertilización y Riego

Luis Grajales
Asesor Técnico

Lista de planes de riego

Nombre	Lote	Cálculo ETo	Fecha Creación
La Lorena	1	Calculado - Hargreaves	2023-04-18 3:31 PM

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria
V 1.0.0

Figura 61. Visualización del módulo “Planes de riego” luego de que haya completado uno de los registros de información.

Fuente: AGROSAVIA.

Gestione el agua en el cultivo de aguacate Hass

El uso eficiente del agua en los cultivos se puede optimizar en varias etapas del sistema:

- **Almacenamiento del agua:** dependiendo de las condiciones de la zona, es importante evaluar si es necesario almacenar agua. Por ejemplo, si la fuente de agua primaria (río, lago o pozo) se encuentra retirada del lote o a menor o mayor altura que el lote (diferencia altitudinal), y si además su disponibilidad disminuye en temporada de bajas precipitaciones, se recomienda disponer de un dispositivo (tanque o laguna artificial) que permita el almacenamiento del recurso y facilite su aprovechamiento. En el caso de temporadas de lluvias abundantes, se recomienda cosechar agua aprovechando la infraestructura de la finca (techos, pendiente, campo abierto).
- **Captación de la fuente:** dependiendo el tipo de fuente (río, lago o pozo), se debe establecer el sistema de captación más adecuado, por ejemplo:
- **Tipo de sistema de bombeo:** seleccionar el tipo de bomba que presente la mejor eficiencia de acuerdo con el tipo y ubicación de la fuente de agua.



- **Sistema de filtración (calidad de agua):** en caso de que la fuente de agua tenga altos contenidos de sedimentos, sales solubles, material orgánico (lodos, desechos humanos o residuos vegetales), entre otro tipo de materiales. De acuerdo con estas variables se debe definir el sistema de filtrado más indicado.
- **Sistema de distribución:** debe contar con un sistema de distribución que minimice las pérdidas de agua por evaporación o filtración. Preferiblemente usar tuberías cerradas, resistentes a la intemperie.
- **Aplicación del riego:** considere las recomendaciones que se han detallado en este manual para la aplicación eficiente del riego en el cultivo. Tenga en cuenta las necesidades hídricas del cultivo y los factores de ubicación del sitio, como el suelo y las condiciones de clima.

A manera de guía como insumo para verificar la capacidad de la gestión eficiente del agua en su finca directamente y de manera práctica, se presenta la matriz definida en la tabla 6, que puede ser tomada como base para realizar las evaluaciones en campo directamente.

Además, para usar eficientemente el agua en el cultivo de aguacate Hass, debe implementar prácticas que fomenten la producción óptima empleando solo el agua necesaria y aprovechando las temporadas de lluvias para captar agua. Ambas acciones ayudan a conservar la humedad del suelo y a manejar el cultivo en temporadas de sequía. En la figura 62 se sintetizan las principales recomendaciones para el uso adecuado y eficiente del recurso hídrico en el cultivo.

El uso eficiente del agua en el cultivo de aguacate requiere que conozca las diferentes etapas del sistema e identifique opciones de mejora para disminuir las pérdidas de agua y utilizar solo lo necesario.

Tabla 6. Matriz de evaluación de los factores considerados para una correcta gestión del agua en cultivos de aguacate Hass

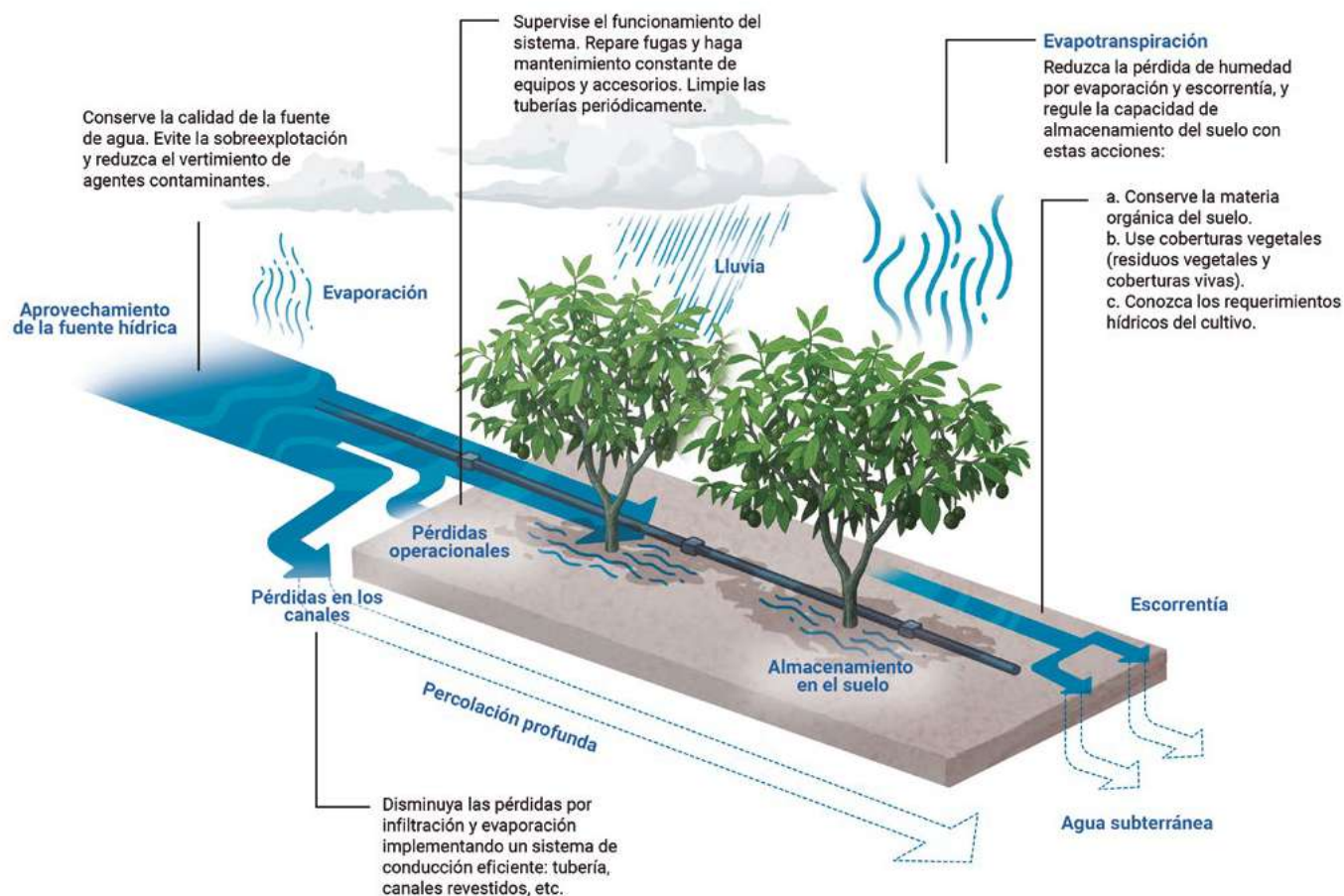
Factor	Preguntas orientadoras					Evaluación
Almacenamiento del agua	¿Cuál es el tipo de fuente? (Río, pozo, pozo/aljibe)	¿La fuente de agua está retirada del lote? (Sí/No)	¿Almacena agua en su finca para riego? (Sí/No)	¿Cuenta con algún tanque o reservorio para almacenar agua? (Sí/No)	¿Aprovecha las lluvias para cosechar agua y regar? (Sí/No)	Si contestó más de 14 preguntas con la opción Sí (80 %), significa que se realiza una buena gestión del recurso hídrico en su finca.
Captación de la fuente	¿Cuál es el tipo de fuente? (Río, pozo, pozo/aljibe)	¿Utiliza algún sistema de bombeo para captar el agua? (Sí/No)	¿La fuente de agua es de algún color? (Café, gris o transparente)*	¿Cuenta con algún sistema de filtrado? (Desarenador, filtro de anillo, tanque de reposo)	¿Conoce la disponibilidad de agua de la fuente? (Sí/No)	Si contestó Sí a entre 9 y 14 preguntas (50 % - 80%), es necesario que realice un plan de acción para mejorar los puntos en los que el sistema tiene fallas o no se hacen correctamente.
Sistema de distribución o conducción	¿Por cuál medio lleva el agua de la fuente al cultivo? (Canales abiertos, tuberías)*	¿Realiza mantenimiento preventivo a la conducción? (Sí/No)	¿Verifica si hay fugas en el sistema? (Sí/No)	¿Repara los daños del sistema inmediatamente ocurren? (Sí/No)	¿Verifica que el sistema entregue el agua requerida en el cultivo? (Sí/No)	Si respondió Sí a menos de 9 preguntas (50 %), no se está realizando una gestión del recurso hídrico en el cultivo, por lo cual debe tomar medidas para reformar las prácticas realizadas o comenzar a implementarlas en su finca para garantizar un uso eficiente del agua.
Aplicación de riego	¿Tiene sistema de riego instalado en su cultivo? (Sí/No)	¿Qué tipo de sistema de riego tiene? (Goteo, microaspersión, manual)*	¿Conoce las necesidades de agua del cultivo? (Sí/No)	¿Lleva registros de los tiempos de riego y los días de aplicación? (Sí/No)	¿Lleva registros de lluvia que le permitan tomar decisiones de cuándo regar? (Sí/No)	

* Preguntas con opción múltiple que no se tienen en cuenta en los porcentajes de evaluación de la última columna.

Fuente: Elaboración propia



Figura 62. Identificación de puntos y recomendaciones clave para el ahorro y uso eficiente del agua.



Fuente: Elaboración propia con base en MADS (2018)

Manejo del agua en el cultivo en temporada de sequía

Contar con los medios adecuados para satisfacer las necesidades del cultivo durante los periodos de déficit hídrico es fundamental para evitar pérdidas en la producción de aguacate y minimizar el impacto en la floración y en la producción de estructuras vegetativas que son vitales para futuros ciclos de producción.

Se sugiere combinar técnicas de captación de agua durante las temporadas de alta precipitación con sistemas de riego o **fertirriego** durante las temporadas de baja precipitación e implementar prácticas para conservar la humedad del suelo, como el uso de **coberturas verdes o inertes** dentro del cultivo. Estas ayudan a reducir la evaporación, la temperatura y el efecto del viento en la superficie del suelo.

Manejo del agua en el cultivo en temporada de lluvias

Durante la temporada de altas precipitaciones, es importante centrar los esfuerzos en dos aspectos principales: la captación de agua y el control del exceso de agua dentro del cultivo de aguacate Hass. Específicamente, se sugiere que realice las actividades que se describen en los siguientes apartados.

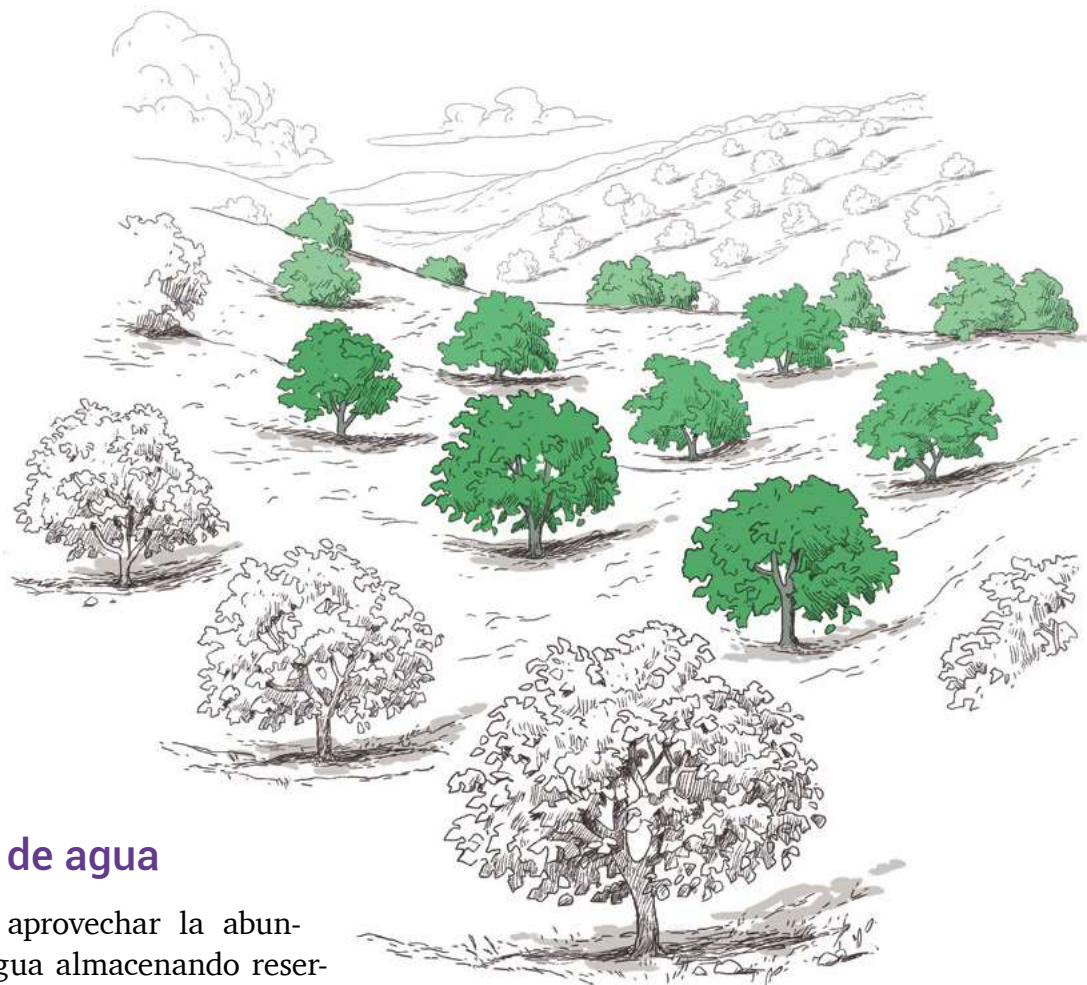


Glosario

Fertirriego. Hace referencia a la aplicación de fertilizantes solubles a través del sistema de riego en un cultivo.

Coberturas verdes o inertes.

Se refiere a los restos vegetales, ya sean frescos o secos, que se utilizan para cubrir el suelo en los cultivos. Estos restos tienen la función de proteger el suelo de la radiación solar y el viento, lo que ayuda a conservar la humedad durante más tiempo y prevenir la erosión del suelo.



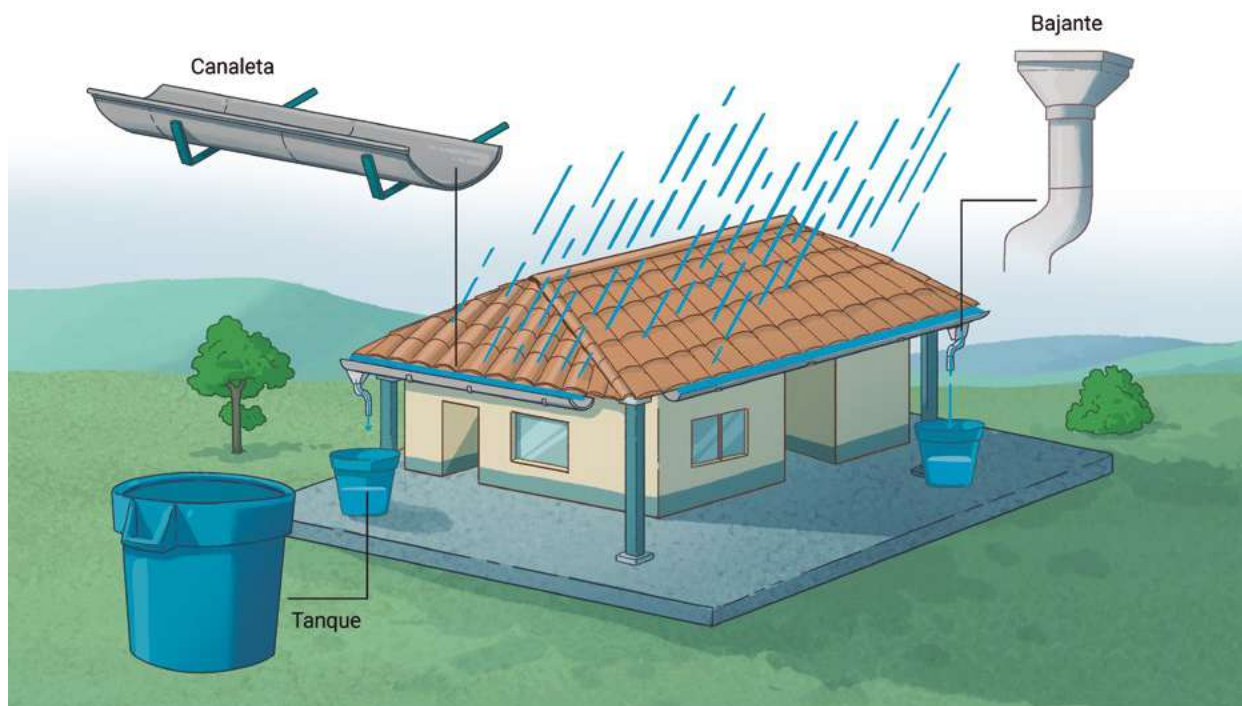
Cosecha de agua

Es esencial aprovechar la abundancia de agua almacenando reservas para su uso futuro. Esta práctica consiste en captar o desviar la precipitación para almacenarla y emplearla posteriormente en riego, producción ganadera o para satisfacer algunas necesidades diarias de los productores durante las temporadas más secas (Agencia Japonesa de Cooperación Internacional [JICA], 2015; Fondo de Cooperación Técnica [FonCT] & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2016). A continuación se presentan las técnicas más comunes.

Cosecha de agua aprovechando las estructuras disponibles

Por ejemplo, casas, cubiertas, invernaderos, galpones, almacenes y demás construcciones que cuenten con techo y donde pueda recogerse el agua por medio de canaletas y bajantes que conduzcan a tanques, cisternas, pozos o reservorios (JICA, 2015) (figura 63).

Figura 63. Aprovechamiento de estructuras como techos de casas y otras construcciones para cosecha de agua.

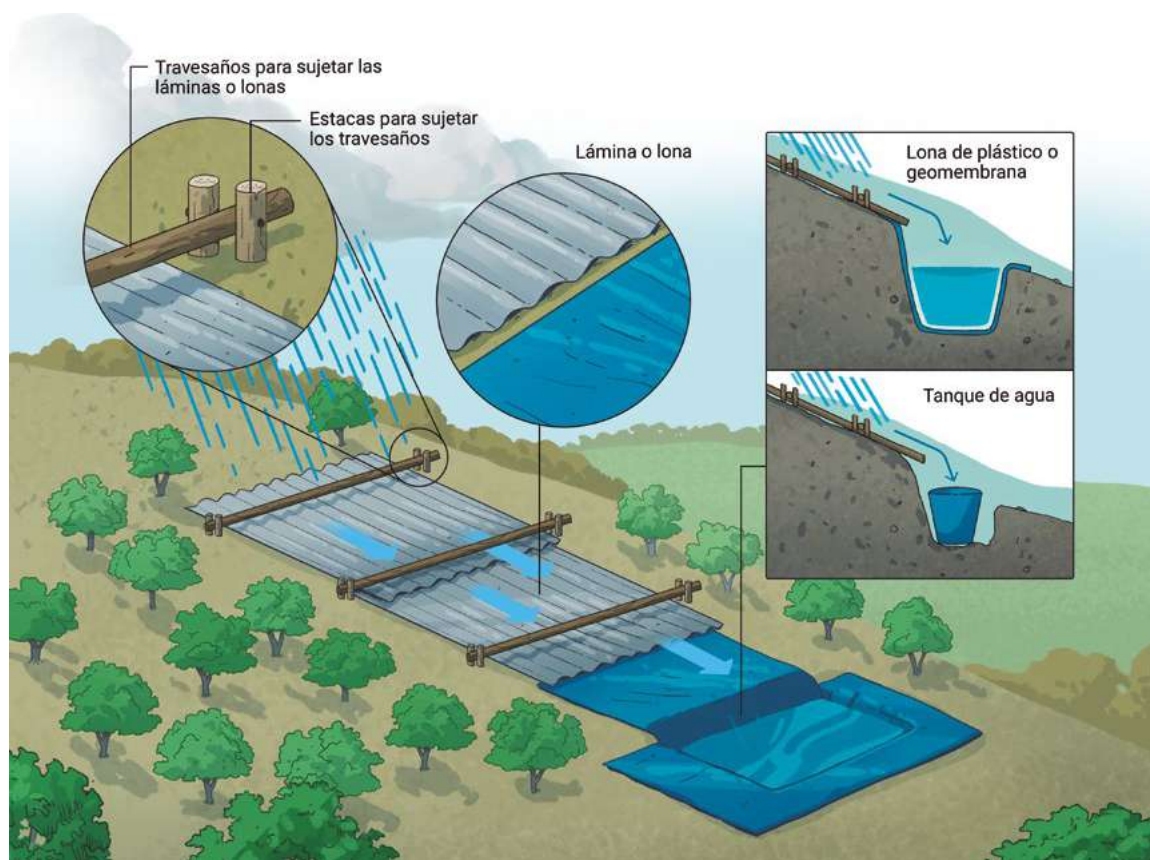


Fuente: Elaboración propia con base en JICA (2015).

Cosecha de agua aprovechando la pendiente del cultivo

Instalando tejas, láminas o cubiertas plásticas sobre el suelo en laderas para captar el agua lluvia y la esorrentía que se produzca para dirigirla a reservorios ubicados en la parte baja de la pendiente o en tanques de almacenamiento (JICA, 2015) (figura 64).

Figura 64. Aprovechamiento de la pendiente del terreno (desnivel) para recolección y cosecha de agua.



Fuente: Elaboración propia con base en JICA (2015).

Lagunas artificiales

Se pueden construir en zonas altas para captar el agua lluvia y emplearla durante la temporada seca en lugares donde no hay fuentes hídricas cercanas como quebradas y ríos (figura 65).

Figura 65. Ejemplo de lagunas artificiales o tanques para la captación y almacenamiento de aguas lluvias.



Fuente: Elaboración propia con base en JICA (2015).

Cosecha de agua instalando cubiertas inclinadas

Sobre reservorios o tanques de reserva para cultivos ubicados en zonas planas (figura 66).

Figura 66. Estructuras para la recolección de aguas lluvias en zonas planas.



Fuente: Elaboración propia con base en JICA (2015).

Manejo de exceso de agua en el cultivo

El aguacate Hass es sensible al encharcamiento y a los bajos niveles de oxígeno en la zona de raíces. Por lo tanto, es crucial establecer los cultivos en suelos que promuevan una adecuada aireación, especialmente durante los meses del año en los que la precipitación es mayor que la requerida.

En zonas de producción con limitaciones en la capacidad de drenaje del suelo, es posible implementar una serie de prácticas para eliminar estos excesos de agua de la zona de las raíces. Esto puede lograrse mediante la captación de agua o su evacuación del terreno sin afectar el cultivo, como se describe a continuación.

Surcos o zanjas de infiltración

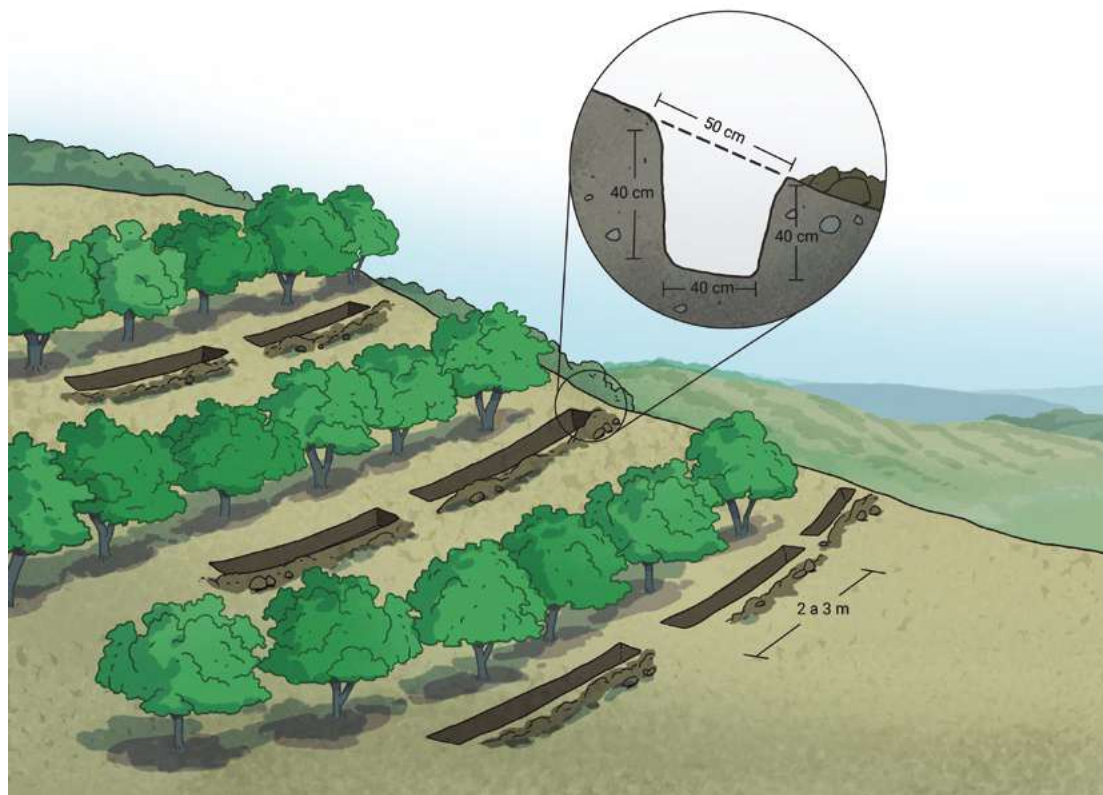
Las zanjas de infiltración son excavaciones que se realizan en zonas de pendiente para captar el agua de escorrentía, favorecer su infiltración en el perfil del suelo y retirar el exceso en la zona de raíces (figura 67). Para elaborar estas zanjas se deben considerar los siguientes puntos, de acuerdo con lo descrito por Carrasco-Jiménez y Mora (2011):

1. **La pendiente del terreno:** se debe identificar el gradiente de la pendiente para saber qué distancia debe haber entre zanja y zanja.
2. **Realizar el trazado a curvas de nivel** para evitar escorrentías y pérdida de suelo.
3. **Excavar la zanja** con un largo aproximado de 2 a 3 metros y una profundidad de 40 a 50 cm.

El aguacate es una especie muy susceptible a los excesos de humedad, por lo tanto es importante realizar acciones que permitan manejar esta condición y prevenir pérdidas en la producción.

4. ***Sembrar en las orillas de la zanja especies de pastos*** que ayuden a mantener la estructura de la zanja y a evitar la erosión.
5. ***Realizar el mantenimiento de las zanjas*** con actividades como limpieza después de eventos de lluvia fuerte, desmalezada y evitar el paso de animales de pastoreo.

Figura 67. Zanjas de infiltración en ladera para captación de agua y drenaje de suelos en épocas de lluvia en zonas productoras de aguacate Hass en el Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

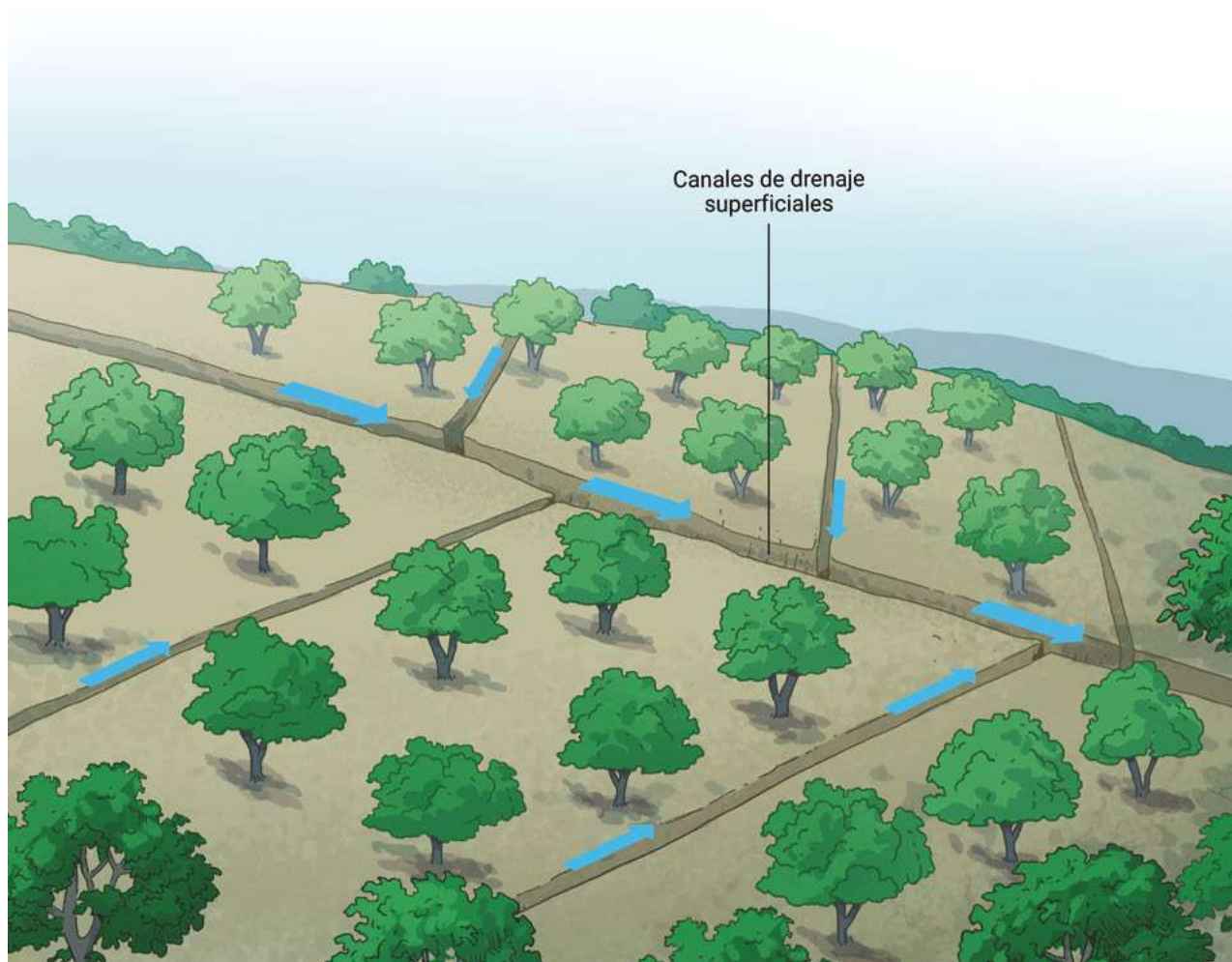
Canales superficiales a través del terreno

Son zanjales superficiales construidas a través del lote, especialmente en zonas del terreno en las que se identifique acumulación de humedad y encharcamiento, y en las partes planas del lote (figura 68). Estos canales permiten desviar el flujo de agua y facilitar el desagüe fuera del huerto. A continuación, se señalan algunos puntos a considerar al momento de construirlas:

- 1.** Identificar los puntos de mayor acumulación de humedad en el terreno para ubicar los canales de drenaje en sectores que rodeen estos puntos.
- 2.** Excavar zanjales de aproximadamente 40 cm de profundidad a través de la pendiente y en orientación hacia zonas de desagüe como canales colectores o quebradas.
- 3.** Mantener los canales libres de malezas y conservar su profundidad para disminuir la pérdida de capacidad de estos.



Figura 68. Canales de drenaje en zonas de acumulación de humedad en lotes de aguacate Hass.

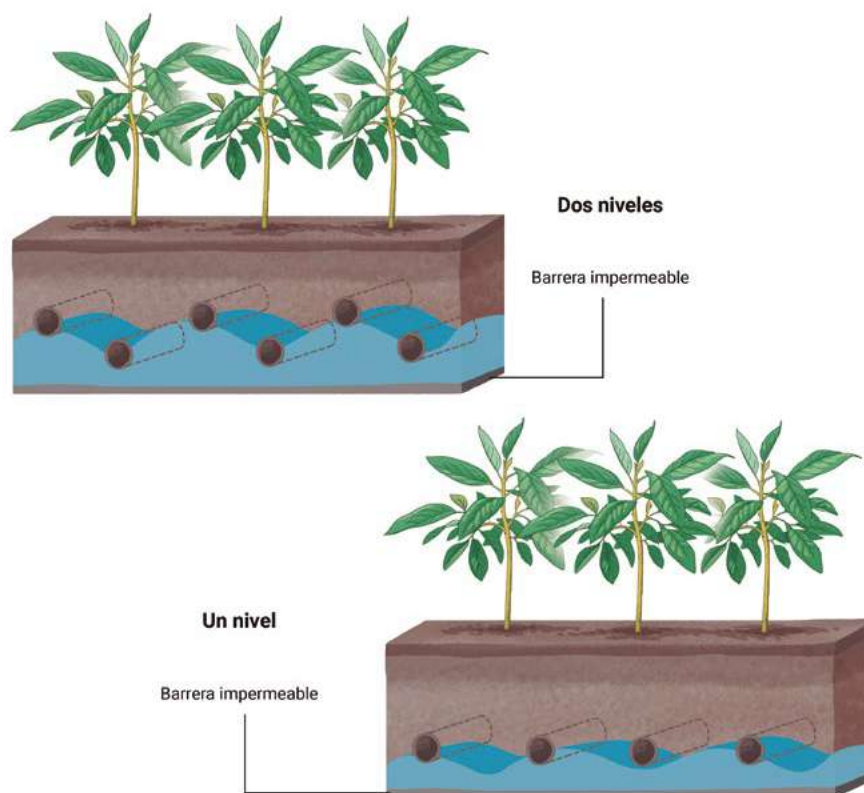


Fuente: Elaboración propia.

Drenajes topo o túneles

Este tipo de drenajes consisten en la construcción de galerías subterráneas de aproximadamente 7 cm de diámetro, las cuales favorecen el movimiento del agua en el interior del suelo y, por tanto, la evacuación de los excesos de humedad y la regulación del nivel freático. Este tipo de drenajes se utiliza especialmente en suelos con altos contenidos de arcillas y con un drenaje natural pobre. En la figura 69, se muestran los tipos de drenaje topo y su funcionalidad.

| Figura 69. Ejemplo de drenajes topo.



Fuente: Elaboración propia.

Camellones

Los camellones son estructuras agrícolas en las que se acumula tierra en línea para formar montículos en los que se establecen los cultivos y de esta forma airear las raíces de las plantas (figura 70). Generalmente se utilizan en cultivos establecidos en zonas planas y la altura y la dimensión del camellón se definen en función de las condiciones propias del sitio de plantación.

Siga estas recomendaciones para la construcción de camellones:

1. Tener en cuenta la distancia de siembra del cultivo y construir los camellones de manera tal que se conserve el marco de la plantación.
2. Medir y marcar el tamaño (ancho y largo) del camellón.
3. Apilar el suelo dentro del área demarcada.
4. Los camellones se hacen por lo general de una altura aproximada de 10 a 20 cm (incluso de 30 cm si el suelo tiene altos contenidos de arcilla) y 1 m de ancho. El largo depende del tamaño de la hilera o lote.



Figura 70. Camellón usado para establecimiento de aguacate en zonas productoras.



Fuente: Elaboración propia.

Siembra en terrazas

Las terrazas consisten en la formación de terraplenes en sitios de alta pendiente y se disponen de manera transversal a la pendiente (figura 71). Son construcciones muy efectivas para evitar la pérdida del suelo por erosión porque disminuyen la escorrentía superficial y permiten la infiltración del agua. Para construir las terrazas debe considerar lo siguiente:

1. Identifique el grado de pendiente del terreno: establezca el punto más alto del lote y a partir de allí ubique la separación de las terrazas.
2. Realice las terrazas transversalmente al sentido de la pendiente.
3. Tenga en cuenta que las dimensiones dependen del cultivo, el marco de plantación (distancia de siembra) y la facilidad para las labores agrícolas. En el cultivo de aguacate Hass suelen construirse terrazas por árbol.
4. Haga mantenimiento a las terrazas para disminuir los riesgos de deslizamientos y establezca cultivos, como pastos, que permitan el sostenimiento del talud.



Figura 71. Tipos de terrazas utilizadas para disminuir el riesgo de erosión en los suelos de ladera.



Fuente: Elaboración propia.

Consideraciones finales

El manejo de la fertilización basado en el IBN para la producción de aguacate Hass es una herramienta que ayuda a los productores a tomar decisiones basadas en criterios técnicos y que contribuye al mejoramiento paulatino de la tecnificación del cultivo para la obtención de mayores beneficios.

En los municipios productores de aguacate Hass del Cauca, el cultivo se desarrolla sin sistemas de riego o mecanismos para aportar agua adicional a las plantas. Por lo tanto, durante los períodos secos, que se ha evidenciado coinciden con etapas críticas como la floración y el cuajado de frutos, es esencial garantizar suficiente humedad en el suelo para evitar el estrés de las plantas y proteger la producción.

Con la implementación de un sistema de riego es posible incrementar la producción del cultivo de aguacate Hass por lo menos en 23% aplicando la lámina correcta, lo cual se verá traducido en mejores ganancias para los productores y mejor calidad de la fruta, aún más teniendo en cuenta la apuesta exportadora que tiene este producto.

El uso de la plataforma tecnológica TECNOHASS permitirá a los productores y asistentes técnicos tener una herramienta ajustada a las condiciones de producción del departamento del Cauca para tomar decisiones en el manejo eficiente del recurso hídrico y la fertilización. Esto es posible gracias a que, por una parte, genera una programación de riego que apunta a la aplicación oportuna de riego, el momento y frecuencia apropiada, lo que a su vez permite disminuir la dependencia del cultivo a las precipitaciones y hacer el cultivo más resiliente ante la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

Por otra parte, genera planes de fertilización que tienen en cuenta las propiedades específicas del suelo, la extracción de nutrientes y el índice de balance de nutrientes (IBN).



Referencias

Agencia Japonesa de Cooperación Internacional [JICA]. (2015). *Guía práctica para cosechar el agua de lluvia* (K. Hirozumi, Ed.). Agencia Japonesa de Cooperación Internacional [JICA]. https://www.jica.go.jp/Resource/project/ecuador/001/materials/ku57pq000011cym2-att/water_harvest_sp.pdf

Agronet. (2022). Base agrícola EVA de 2019 a 2021. Agronet. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>

Anguiano, C. J., Alcántar, J. J., Toledo, B. R., Tapia, L. M., Vidales-Fernández, J. A., & Alcántar, R. J. (2007). *Caracterización edafoclimática del área productora de aguacate de Michoacán, México* [Ponencia]. Proceedings VI World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile. <https://www.avocadosource.com/wac6/es/Extenso/3c-112.pdf>

Boldingh, H. L., Alcaraz, M. L., Thorp, T. G., Minchin, P. E. H., Gould, N., & Hormaza, J. I. (2016). Carbohydrate and boron content of styles of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) flowers at anthesis can affect final fruit set. *Scientia horticulturae*, 198, 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.011>

Carr, M. (2013). The water relations and irrigation requirements of avocado (*Persea americana* Mill.): A review. *Experimental Agriculture*, 49(2), 256-278. <https://doi.org/10.1017/S0014479712001317>

Carrasco-Jiménez, J., & Mora, D. (2011). *Técnicas de conservación de suelos y aguas: zanjas de infiltración* [Boletín informativo n.º 45]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA], Chile. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/4546>



- Castaño-Zapata, J., & Leal, J. M. (2018). Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate (*Persea americana* Miller), causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Temas Agrarios*, 23 (2). <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1297>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2017). *Plan de manejo agroclimático integrado del sistema productivo de aguacate (Persea americana Mill.) var. Hass. Municipio de El Tambo, Cauca*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/37304>
- Díaz, F. (2017). *Importancia del manejo del riego en el cultivo de aguacate*. Agencia de Extensión Agraria de Breña Alta. <https://www.canalagrariolapalma.com/pdf/Aguacate%20importancia%20del%20manejo%20del%20riego.pdf>
- Dorado, D., Grajales, L. C., & Rebolledo, A. (2017). *Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (Persea americana) variedad Hass*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/14/12/115-1?inline=1?inline=1>
- Erazo-Mesa, E., Ramírez-Gil, J. G., Sánchez, A. E. Avocado cv. (2021). Hass needs water irrigation in tropical precipitation regime: evidence from Colombia. *Water*, 13, 1942. <https://doi.org/10.3390/w13141942>
- Estrada, M. A., Nikolskii, I., Etchevers, J. D., Gavi, F., Palacios, O. L., Palma, J. D., & Mendoza, J. D. (2004). Influencia del tipo de drenaje en el aprovechamiento de nitrógeno por la caña de azúcar. *Terra latinoamericana*, 22(1), 81–89. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311208009.pdf>
- Fondo de Cooperación Técnica [FonCT], & Insituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [iica]. (2016). *Tecnologías de cosecha, almacenamiento y uso de agua para la agricultura familiar del Chaco de Argentina, Bolivia y Paraguay*. Insituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/2540>

- Fonseca, F., Aguilar, D., Siachoque, R., Urbina, J., Otero, J., Páramo, G., García, E., Yucumá, Y., García, L., Escobar, C., Gómez, J., Rodríguez, L., Ayala, J., Porras, A., Enciso, F., Acosta, C., Camacho, A., & 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].
- Gazit, S., & Degani, C. (2007). Biología reproductiva. En A. Whaley, B. Schaffer, & B. Wolstenholme (Eds.), *El palto, botánica, producción y usos* (pp. 103-131). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Grajales-Guzmán, L. C. (2017). *Uso racional del agua de riego en cultivo de aguacate Hass (Persea americana) en tres zonas productoras de Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/62000/2017-Luis_Carlos_Grajales_Guzman.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. https://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2014.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2022). *Estudio Nacional del agua 2020*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM].
- Jaramillo, D.F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence>
- Kourgialas, N., & Dokou, Z. (2021). Water management and salinity adaptation approaches of Avocado trees: A review for hot-summer Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 252, 106923. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106923>



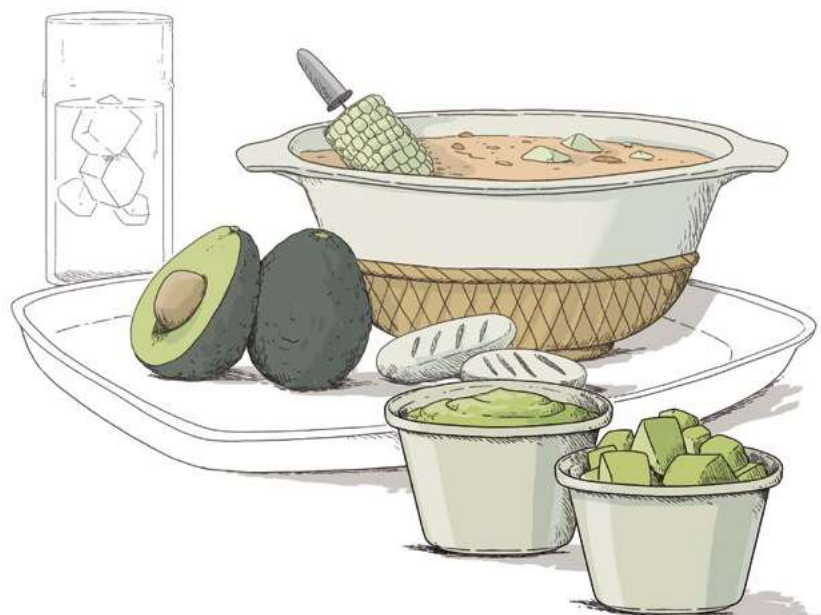
- Marschner, P. (2011). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
- Minchin, P. E. H., Thorp, T. G., Boldingh, H. L., Gould, N., Cooney, J. M., Negm, F. B., & Brown, P. (2012). A possible mechanism for phloem transport of boron in 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(1), 23-28. <https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512825>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura]. (2021). Cadena productiva aguacate. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura]. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2018). *Guía para el uso eficiente y ahorro del agua: Una visión colectiva para el uso sostenible y responsable del agua*, Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/4.-Anexo-4-Guia-Uso-Eficiente.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2010). *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua Bolivia. (2021). *Cartilla 7. Uso eficiente del agua en agricultura*. Ministerio de Medio Ambiente y Agua Bolivia. <https://agua.org.mx/biblioteca/cartilla-7-uso-eficiente-del-agua-agricultura/>
- Moreno C, A., & Fischer, G. (2016). Efectos del anegamiento en los frutales: Una revisión. *Temas Agrarios*, 19(1), 106-123. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.729>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2019). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019. United Nations Publications. https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf

- Osorio, A., & Burgos, M. (2012). *Riego en mandarinos y paltos: Resultados de investigaciones en el Valle del Río Limarí* [Boletín INIA n.º 240]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA]. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7513/Bolet%C3%ADn%20INIA%20N%C2%B0%20240?sequence=1&isAllowed=y>
- Ospina, C. E., Garavito, L. V., & Correa, D. L. (2023). Cadena de valor aguacate Hass: procesos interinstitucionales hacia la exportación en Cauca, Colombia. *rivar* (Santiago), 10(28), 235-252. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-49942023000100235
- Papendick, R. I., & Campbell, G. S. (2015). *Theory and Measurement of Water Potential*. SSSA Special Publications. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub9.c1>
- Rebolledo, A., & Burbano, R. A. (2023). Nutrient Balance in Hass Avocado Trees as a Tool to Optimize Crop Fertilization Management. *Agronomy*, 13(8), 1956. <https://doi.org/10.3390/agronomy13081956>
- Rebolledo, A., & Dorado, D. Y. (2017). *Criterios para la definición de planes de fertilización en el cultivo de aguacate Hass con un enfoque tecnificado*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7402384>
- Rodríguez, O., Guerra, E., Rodríguez, V., Henríquez, M., Mendoza, B., Sánchez, A., & Rodríguez, Z. (2012). Rangos de CIC determinada con NH_4Cl según pH y contenido de arcilla [Ponencia]. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. https://www.engormix.com/agricultura/analisis-suelo/rangos-cic-determinada-nh4cl_a31135/
- Romoleroux, M. (2022, 28 de abril). Cauca: aguacate, una alternativa en la sustitución de cultivos. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cauca-aguacate-una-alternativa-en-la-sustitucion-de-cultivos-668284>

Rosecrance, R., Faber, B., & Lovatt, C. (2012). Patterns of nutrient accumulation in 'Hass' avocado fruit. *Better Crops*, 96(11), 12-13. [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/F2E59118B155B269062579AC005AE171/\\$FILE/Better%20Crops%202012-1%20p.12-13.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/F2E59118B155B269062579AC005AE171/$FILE/Better%20Crops%202012-1%20p.12-13.pdf)

Salinas, D., Cruz, A., Peraza, A. Y., Calderón, C. L., Sandoval, E., Martínez, J. C., Cuadras, J. E., Romero, J. L., Castro, M. L., & Magallanes, M. A. (2021). *Manual para el establecimiento del Cultivo de aguacate en la zona centro norte de Sinaloa*. Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa [Codesin]. https://codesin.mx/file/4/128_Manual%20del%20Aguacate%20-%202017%2011%202021%20.pdf_1637099646.pdf

Yzarra, W. & López, F. 2017. *Manual de observaciones fenológicas*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi]. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>



Los autores

Ronal Arturo Burbano Díaz

Profesional de apoyo a la investigación,
Dirección Centro de Investigación Palmira

rburbano@agrosavia.co

<https://orcid.org/0009-0009-0067-9491>

Ingeniero agrónomo, MSc. en Ciencias Agrarias - Fisiología de Cultivos, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Posee una amplia experiencia en investigación de sistemas agrícolas de frutales tropicales y cultivos forestales (aguacate, cítricos y eucalipto). Sus investigaciones se centran en la fisiología de cultivos en áreas como la nutrición vegetal, la respuesta al estrés hídrico en ambientes tropicales y las interacciones planta-hospedero.

Adriana Katherine Rodríguez-León

arodriguezl@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, con experiencia en las áreas de ecofisiología y fitopatología en cultivos de palma de aceite, pasifloras, aguacate Hass y cultivos de clima frío moderado. Ha estado vinculada en proyectos de investigación en Cenipalma, la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá) y AGROSAVIA, en los centros de investigación La Selva y Palmira.



Luis Carlos Grajales Guzmán

Investigador Máster,
Dirección Centro de Investigación Palmira
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.

Alexander Rebolledo Roa

Investigador Ph. D.,
Dirección Centro de Investigación Palmira
arebolledor@agrosavia.co
<https://orcid.org/0009-0006-6484-6699>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira y Ph.D. en Biología Vegetal con énfasis en fisiología vegetal de la Universidad Politécnica de València (España). Sus trabajos de investigación profundizan en el estudio de los factores externos (edafoclimáticos) e internos (relación fuente-sumidero, contenido mineral y hormonal endógeno, relaciones hídricas, etc.) que determinan el comportamiento productivo de especies frutales (cítricos, aguacate y pitaya) en diferentes zonas productoras del país. Ha sido profesor del área de fisiología vegetal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Actualmente se desempeña como investigador Ph.D. en AGROSAVIA.

Este manual contiene información de referencia sobre aspectos generales del cultivo de aguacate y sobre prácticas de manejo agronómico que se basan en el diagnóstico de las limitantes del cultivo y la descripción de tecnologías disponibles de fertilización y riego. En particular, se enfatiza en la necesidad de conocer el estado nutricional del suelo y de la planta, las condiciones fisicoquímicas del suelo y los parámetros climáticos predominantes de cada zona productora, los cuales pueden afectar los requerimientos hídricos y nutricionales del cultivo.

Con este propósito, se documentan estudios de caso enfocados en pequeños y medianos productores para facilitar los procesos de adopción tecnológica y avanzar en el cambio técnico que contribuya a la disminución de la brecha tecnológica identificada para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca. El manual contiene criterios y recomendaciones técnicas para el manejo tecnificado del cultivo de aguacate Hass, presentadas y esquematizadas de manera sencilla y en un lenguaje accesible.

ISBN: 978-958-740-665-8



AGROSAVIA
EDITORIAL