



Zonas aptas para aguacate Hass en el departamento del Cauca. Guía para la planificación de cultivos

Diana Lucía Correa Moreno
Editora



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



Gobernación
del Cauca



Zonas aptas para aguacate Hass en el departamento del Cauca. Guía para la planificación de cultivos

Diana Lucía Correa Moreno

Luis Carlos Grajales Guzmán

Sebastián Polo Carrera

Lina Vanessa Garavito Morales

Carlos Eduardo Ospina Parra

María Casamitjana Causa

Andrés Felipe Rodríguez Vásquez

Francisco José Sánchez Marín

Edinson Castillo López

Zonas aptas para aguacate Hass en el departamento del Cauca: guía para la planificación de cultivos. / Editora : Diana Lucía Correa Moreno. -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2023.

240 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)
Incluye referencias bibliográficas, gráficos y fotografías.

ISBN: 978-958-740-694-8

ISBN e-Book: 978-958-740-695-5

1. *Persea americana* 2. Factores edáficos 3. Análisis del suelo 4. Mejora de suelos 5. Relaciones planta suelo 6. Cultivo 7. Cauca (Colombia). I. Correa Moreno, Diana Lucía (Editora).

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”, con código BPIN 2018000100010, 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: Libro de análisis

Primera edición, noviembre de 2023

Preparación editorial:

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Líder editorial: Astrid Verónica Bermúdez

Edición: Felipe Solano Fitzgerald

Diseño de colección: María Cristina Rueda Traslaviña

Diseño y diagramación: Mónica Cabiati Daza

Ilustraciones: Juan Felipe Martínez Tirado

Impresión: DGP Editores S. A. S.

Impreso en Bogotá, Colombia, noviembre de 2023

Printed in Bogotá

Citación sugerida: Correa-Moreno, D. L. (Ed.). (2023). *Zonas aptas para aguacate Hass en el departamento del Cauca. Guía para la planificación de cultivos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA.

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

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



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

Tabla de contenido

Agradecimientos	17
Introducción	19
Capítulo I. Valoración de la oferta biofísica en áreas con potencial para aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	24
Introducción	25
Metodología	26
Distribución de geoformas a escala semidetallada (1:25.000) en zonas con potencial para cultivos de aguacate Hass	34
Caracterización de unidades de suelos presentes en el territorio	42
Coberturas de la tierra y uso actual	58
Referencias.....	65
Capítulo 2. Fertilidad y requerimientos edáficos para aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	66
Introducción	67
Metodología.....	68
Fertilidad de suelos en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca	76
Contenido de nutrientes en frutos de aguacate Hass en zonas productoras del Cauca.....	101

Factores edafoclimáticos que influyen en el desarrollo del aguacate Hass.....	105
Requerimientos edafoclimáticos para aguacate Hass en zonas productoras del departamento del Cauca.....	115
Referencias	121
Capítulo III. Aspectos socioeconómicos del sistema de producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca	126
Introducción	127
Metodología.....	128
Sistema socioproductivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca	131
Cadena productiva de aguacate Hass en el departamento del Cauca	154
Conclusiones	158
Referencias	158
Capítulo IV. Zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca (1:25.000)	160
Introducción	161
Metodología.....	163
Zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass en municipios del departamento del Cauca (1:25.000)	183
Referencias	233
Los autores	236

Lista de figuras

Figura 1.1. Delimitación de áreas municipales para valorar la oferta biofísica en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	28
Figura 1.2. Distribución de pisos térmicos en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	29
Figura 1.3. Distribución de perfiles de suelos descritos en el área de estudio.	31
Figura 1.4. Procesamiento de información cartográfica e imágenes RapidEye para clasificar las coberturas y el uso del suelo en la zona de estudio.	33
Figura 1.5. Unidades de paisaje presentes en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca. a	35
Figura 1.6. Distribución de unidades de paisaje en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	36
Figura 1.7. Distribución de unidades de relieve en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	40
Figura 1.8. Distribución de unidades de formas de terreno en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	41
Figura 1.9. Unidades cartográficas de suelos en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	43

Figura 1.10. Relación <i>paisaje (formas de terreno)</i> - <i>suelo</i> en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	46
Figura 1.11. Perfiles característicos descritos en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	52
Figura 1.12. Grupos de perfiles característicos según variables químicas. Análisis clúster	57
Figura 1.13. Distribución de coberturas de la tierra en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	60
Figura 1.14. Coberturas predominantes en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	61
Figura 1.15. Distribución de coberturas asociadas a territorios agrícolas en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	62
Figura 1.16. Tipo de coberturas agrícolas predominantes en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca. a. Mosaico de pastos y cultivos; b. Monocultivo de café.....	62
Figura 1.17. Distribución de áreas de bosques en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	63
Figura 1.18. Tipo de coberturas naturales en áreas de bosques en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	63
Figura 1.19. Distribución de coberturas a nivel municipal en zonas con potencial para aguacate Hass en el departamento del Cauca.	64
Figura 2.1. Distribución de sitios de muestreo en zonas de cultivo de aguacate Hass. Los números corresponden al código de las fincas en el proyecto.....	70
Figura 2.2. Sitios de muestreo para determinar la fertilidad del suelo en áreas de producción de aguacate.	71
Figura 2.3. Muestreo de suelos en campo y procesamiento de muestras en laboratorio.	72

Figura 2.4. Validación de información de requerimientos biofísicos del cultivo mediante ejercicio participativo en municipios de ejecución del proyecto.....	75
Figura 2.5. Aspecto de perfiles de suelos característicos en sistemas de producción de aguacate Hass distribuidos sobre unidades cartográficas predominantes en la zona.	77
Figura 2.6. Comportamiento de las variables químicas en las unidades de suelos con cultivos de aguacate Hass que fueron evaluadas.	80
Figura 2.7. Análisis clúster para diferenciar los sitios evaluados según las variables químicas.....	84
Figura 2.8. Comportamiento de variables orgánicas en unidades de suelos evaluadas en cultivos de aguacate Hass.	88
Figura 2.9. Comportamiento de variables físicas en unidades de suelos evaluadas en cultivos de aguacate Hass.	94
Figura 2.10. Comportamiento de la conductividad hidráulica (k) en unidades de suelos en cultivos de aguacate Hass.....	97
Figura 2.11. Análisis clúster para diferenciar los grupos de sitios de cultivo evaluados según variables físicas.....	98
Figura 2.12. Análisis clúster para diferenciar los grupos de sitios de cultivo evaluados según contenido de nutrientes en frutos.	103
Figura 2.13. Comportamiento de variables climáticas en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	110
Figura 2.14. Factores de ubicación de los cultivos en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	112
Figura 2.15. Factores edáficos que se deben considerar en requerimientos del cultivo en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca	113

Figura 2.16. Nivel de categorización de variables ambientales que influyen en el comportamiento productivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca (% participantes).	116
Figura 2.17. Percepción de los encuestados sobre las variables que influyen en el comportamiento productivo del aguacate Hass en el departamento del Cauca.	120
Figura 3.1. Talleres de diagnóstico para levantar la información primaria con productores de aguacate en Toribío, Morales y Timbío	130
Figura 3.2. Esquema metodológico de la caracterización del sistema de producción de aguacate Hass en municipios priorizados.	130
Figura 3.3. Talleres de validación de la información primaria recopilada en zonas productoras de aguacate Hass en Piendamó, Caldon, Sotar y Popayán.	131
Figura 3.4. Ubicación de zonas productoras en los municipios de influencia del proyecto.	133
Figura 3.5. Características de la infraestructura asociada a sistemas de producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca.	135
Figura 3.6. Disponibilidad de servicios públicos en municipios analizados en el departamento del Cauca.	136
Figura 3.7. Tamaño de área de cultivo en los municipios analizados en el departamento del Cauca.	139
Figura 3.8. Rango de edad de productores del cultivo en municipios analizados en el departamento del Cauca.	139
Figura 3.9. Nivel de escolaridad de productores del cultivo en municipios analizados en el departamento del Cauca.	140
Figura 3.10. Características del manejo del cultivo en sistemas de producción de aguacate en el departamento del Cauca.....	143

Figura 3.11. Tipo de riego utilizado para el cultivo de aguacate Hass en los municipios analizados en el departamento del Cauca.	144
Figura 3.12. Tipo de fertilización utilizado para el cultivo en los municipios analizados en el departamento del Cauca.	146
Figura 3.13. Calidad de aguacate Hass cosechado.....	147
Figura 3.14. Principal destino de la producción para el cultivo en los municipios analizados en el departamento del Cauca.	148
Figura 3.15. Fuentes de información sobre el cultivo de aguacate consultadas por los productores que participaron en el proyecto.....	149
Figura 3.16. Estrategias de transferencia y vinculación tecnológica con actores de la cadena de aguacate Hass en Caldon, Sotar y Timbío. ..	154
Figura 3.17. Estructura y actores de la cadena de valor del sistema productivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca.	157
Figura 4.1. Ejercicio participativo de cartografía para identificar el TUT en los municipios priorizados.	165
Figura 4.2. Validación de información de zonas aptas para aguacate Hass en municipios del Cauca.	182
Figura 4.3. Características del tipo de utilización de la tierra (TUT) para aguacate Hass en municipios del Cauca.....	184
Figura 4.4. Zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass (1:25.000) en los municipios priorizados del departamento de Cauca. Aptitud integrada (socioeconómico y biofísico).....	187
Figura 4.5. Aptitud biofísica para el cultivo de aguacate Hass (1:25.000) en municipios priorizados del departamento de Cauca.	191
Figura 4.6. Aptitud biofísica para el cultivo de aguacate Hass (1:25.000) en municipios priorizados del departamento de Cauca.	193
Figura 4.7. Aptitud climática para el cultivo de aguacate Hass en municipios priorizados del departamento de Cauca: Condiciones climáticas, temperatura, precipitación y brillo solar.....	194



Figura 4.8. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Condiciones de enraizamiento	197
Figura 4.9. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Disponibilidad de oxígeno.....	200
Figura 4.10. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass según condiciones de laboreo: pedregosidad, pendiente y textura.	202
Figura 4.11. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Susceptibilidad a pérdida de suelos	205
Figura 4.12. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Disponibilidad de humedad	208
Figura 4.13. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Disponibilidad de nutrientes	211
Figura 4.14. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Toxicidad por saturación de aluminio.	215
Figura 4.15. Aptitud de criterios socioecosistémicos para zonificación de aguacate.....	217
Figura 4.16. Aptitud de criterios de susceptibilidad fitosanitaria para zonificación de aguacate Hass.	218
Figura 4.17. Aptitud socioeconómica para el cultivo de aguacate Hass en municipios priorizados del departamento del Cauca.	221
Figura 4.18. Aptitud de criterios de la dimensión económica para zonificación de aguacate Hass. Condiciones de desarrollo, mano de obra y comercio y oportunidades de venta.	223
Figura 4.19. Aptitud de criterios de la dimensión sociocultural para zonificación de aguacate Hass. Apoyo institucional.	226
Figura 4.20. Aptitud de criterios de la dimensión sociocultural para zonificación de aguacate Hass. Organización.....	227

Figura 4.21. Aptitud de criterios de la dimensión sociocultural para zonificación de aguacate Hass. Seguridad y mantenimiento.	228
Figura 4.22. Aptitud de criterios de la dimensión sociocultural para zonificación de aguacate Hass. Multifuncionalidad.	229
Figura 4.23. Aptitud de criterios de la dimensión tecnológica para zonificación de aguacate Hass. Balances tecnológicos en la producción primaria e infraestructura tecnológica	231

Lista de tablas

Tabla 1.1. Distribución y origen de unidades geomorfológicas identificadas en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca. Leyenda geomorfológica escala 1:25.000	37
Tabla 1.2. Subgrupos taxonómicos presentes en unidades cartográficas de suelos identificadas en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca	44
Tabla 1.3. Características morfológicas de algunos perfiles característicos de suelos descritos en zonas con potencial para aguacate Hass.	49
Tabla 1.4. Distribución porcentual de fracciones granulométricas en perfiles característicos identificados en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca	51
Tabla 1.5. Propiedades químicas de suelos en perfiles característicos identificados en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	55
Tabla 1.6. Tipos de coberturas de la tierra y uso actual según Corine Land Cover en zonas de influencia del proyecto	59

Tabla 2.1. Descripción de unidades de muestreo para analizar la fertilidad de suelos	69
Tabla 2.2. Valores de las características químicas evaluadas en cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca	78
Tabla 2.3. Valores de materia orgánica, carbono y nitrógeno evaluados en cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca.....	87
Tabla 2.4. Características físicas evaluadas en cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca	91
Tabla 2.5. Estimación del contenido de nutrientes en frutos de cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca	102
Tabla 2.6. Valores referentes de requerimientos edafoclimáticos del cultivo de aguacate para diferentes regiones productoras	107
Tabla 2.7. Consolidado de requerimientos edáficos del cultivo ajustados a condiciones de las zonas productoras del departamento del Cauca	118
Tabla 3.1. Principales características socioeconómicas asociadas al cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca	134
Tabla 3.2. Principales características productivas asociadas al manejo del cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca	145
Tabla 3.3. Escala de tipificación de productores de aguacate Hass en los municipios analizados en el departamento del Cauca	151
Tabla 4.1. Criterios y variables evaluados en la dimensión biofísica y ambiental	167
Tabla 4.2. Criterios y variables evaluados en la dimensión socioeconómica y tecnológica.	173
Tabla 4.3. Categorías para evaluar la aptitud de criterios y variables biofísicas y socioeconómicas.....	176

Tabla 4.4. Rangos de aptitud y exclusiones para aptitud biofísica para aguacate Hass en municipios priorizados en el departamento del Cauca.....	177
Tabla 4.5. Principales características asociadas al tipo de utilización de la tierra (TUT) en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca.	185
Tabla 4.6. Distribución de categorías de aptitud integrada para el cultivo de aguacate Hass en área de evaluación del departamento del Cauca	188
Tabla 4.7. Distribución de subcategorías de aptitud integrada para el cultivo de aguacate Hass en área de evaluación del departamento del Cauca	189
Tabla 4.8. Distribución de categorías de aptitud biofísica para el cultivo de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) cv. Hass en el área evaluada en el departamento del Cauca	190
Tabla 4.9. Distribución de áreas con aptitud socioeconómica para aguacate Hass en la zona de estudio.....	220



Agradecimientos

Los autores y La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA agradecen al Sistema General de Regalías, a la Gobernación del Cauca y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, por la financiación con recursos públicos de esta publicación mediante el proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca”. Asimismo, a los agricultores de los municipios de ejecución y equipo técnico de los centros de investigación Palmira y La Selva de AGROSAVIA, que apoyaron actividades de investigación, vinculación y validación en el departamento del Cauca, y permitieron generar este documento.



Introducción

El área de cultivo de aguacate Hass (*Persea americana* cv. Hass) en Colombia se ha expandido en los últimos años debido a que se ha convertido en una de las cadenas productivas agrícolas de mayor importancia económica en el país (Quiceno-Rico et al., 2019). A esto se suma el hecho de que las diferentes regiones donde se ubican las zonas de producción cuentan con condiciones agroclimáticas diversas y favorables para su desarrollo (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2016).

Sin embargo, al igual que para muchos otros frutales, en Colombia no se tienen en cuenta los componentes de la función productiva (genotipo, ambiente y la interacción genotipo-ambiente) para cultivar aguacate, a pesar de que el conocimiento de estos factores permitiría entender con más precisión la respuesta de la especie a las condiciones tropicales en las que actualmente se aprovecha en el país.

Desconocer que estos factores influyen sobre todos los aspectos del crecimiento del aguacate y determinan la magnitud con la que se expresa su potencial genotípico (Gandolfo, 2008) puede tener un efecto en la productividad y eficiencia del cultivo. En el caso de Colombia, a pesar de que tiene ventajas comparativas en relación con la oferta medioambiental requerida para alcanzar el potencial productivo de la especie, se ha identificado una brecha en los rendimientos de la producción en comparación con otros países productores.

Si bien varios estudios en el país han identificado las condiciones edafoclimáticas en las cuales el cultivo muestra un mejor comportamiento productivo y de calidad de fruta (Bernal-Estrada, 2017; Jines-León & Eitzinger, 2021; Rondon-Salas et al., 2020), aún es necesario realizar investigación básica para mejorar las condiciones de cultivo en ambientes con características específicas, así como desarrollar tecnologías adecuadas al medio colombiano con bases científicas y tecnológicas de la agricultura moderna, las cuales han acusado exitosos cambios en los países desarrollados (Bernal-Estrada, 2016).

La zonificación de los sectores agropecuarios debe tener un enfoque interdisciplinario e incorporar la información socioecosistémica y socioeconómica relacionada con la competitividad de las áreas, así como tener en cuenta criterios de política y gobernabilidad.

En este contexto, los estudios de zonificación constituyen un instrumento de planificación para las áreas rurales que facilita la identificación de áreas geográficas con características físicas, biológicas, humanas, socioeconómicas e institucionales aptas para un uso determinado, las cuales pueden ser interpretadas en términos de objetivos para la gestión agrícola (Unidad de Planificación Agropecuaria [UPRA], 2013).

La zonificación de los sectores agropecuarios debe tener un enfoque interdisciplinario e incorporar la información socioecosistémica y socioeconómica relacionada con la competitividad de las áreas, así como tener en cuenta criterios de política y gobernabilidad. También es importante que sea aplicada siguiendo los lineamientos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés).

Específicamente, este libro presenta las características biofísicas y socioeconómicas de áreas productoras y potenciales de las zonas aptas para aguacate Hass (escala semidetallada 1:25.000) en once municipios del departamento del Cauca (Colombia): Cajibío, Caldono, Caloto, Corinto, El Tambo, Morales, Piendamó, Popayán, Sotará, Toribío y Timbío (figura 1). Aplicando la metodología de

evaluación de tierras y zonificación, describe y analiza información sobre las condiciones de suelos, paisajes y clima, requerimientos del cultivo y variables socioeconómicas que determinan la competitividad del sector y la cadena productiva. Esta información contribuye a establecer las limitantes del cultivo y la tecnología que se necesita para la planificación de nuevas áreas y el mejoramiento de la productividad y competitividad del sistema de producción a nivel regional.

Se trata de un trabajo asociado a los resultados del proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca”, financiado por el Sistema General de Regalías y la Gobernación del Cauca y ejecutado por AGROSAVIA. Puntualmente, se sintetizan los hallazgos del “Producto 1: Valoración de la oferta biofísica y caracterización socioeconómica de sistemas de producción de aguacate para la identificación de nichos productivos y tecnología requerida en el desarrollo de cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca”.

Los cuatro capítulos del libro, que corresponden a diferentes fases del proyecto de investigación, abordan la oferta biofísica en áreas con potencial, la fertilidad y los requerimientos edáficos, los aspectos socioeconómicos del sistema de producción y la descripción de las zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca. De esta manera, el libro constituye una guía para la planificación y el manejo sostenible del cultivo que contribuye a disminuir las brechas tecnológicas identificadas para el cultivo en el departamento del Cauca.

Referencias

Bernal-Estrada, J. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55435>

- Gandolfo, S. (2008). *Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Producción Vegetal]. Repositorio institucional. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3441/tesisUPV2868.pdf>
- Quiceno-Rico, J. M., Londoño-Chica, S., Mora-Gaviria, G. A., Ricardo Molina, A., Morales-García, B. L., & Pássaro Carvalho, C. (2019). Diagnóstico de aspectos productivos y ambientales en el cultivo de aguacate Hass del Oriente Antioqueño. *Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño*, 45-63. <https://doi.org/10.23850/26652447/5/1/2767>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios. Caso norte del departamento del Cauca*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36460/Ver_documento_36460.pdf?sequence=1&isAllowed=y





CAPÍTULO I

Valoración de la oferta biofísica en áreas con potencial para aguacate Hass en el departamento del Cauca

Diana Lucía Correa Moreno
Andrés Felipe Rodríguez Vásquez
Sebastián Polo Carrera



Introducción

La sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola hace referencia a la capacidad que tienen para mantener su productividad a pesar de las perturbaciones económicas y naturales, externas o internas. Esta sostenibilidad está en función de características naturales del sistema y de las presiones e intervenciones que sufre, las cuales pueden ser sociales, económicas y técnicas (Martínez-Castillo, 2009).

En este sentido, la sostenibilidad depende de las características del capital natural del sistema de producción agrícola, del tipo de presiones o amenazas a las que es sometido y de la capacidad de recuperación para mantener su productividad a través del tiempo. Por lo tanto, conocer sus características biofísicas (suelos y clima) constituye uno de los pilares para realizar una planificación eficiente que permita soportar un tipo de producción específica y conducir hacia el desarrollo sostenible del territorio.

Colombia cuenta con gran potencial para ampliar y desarrollar nuevas áreas para la producción de aguacate Hass, pues se calcula que serían aproximadamente tres millones de hectáreas (Fonseca, 2018).

Colombia cuenta con gran potencial para ampliar y desarrollar nuevas áreas para la producción de aguacate Hass, pues se calcula que serían aproximadamente tres millones de hectáreas (Fonseca, 2018). Sin embargo, el desconocimiento de la oferta biofísica y de las características socioeconómicas de las zonas productoras de aguacate ha ocasionado que se adopten

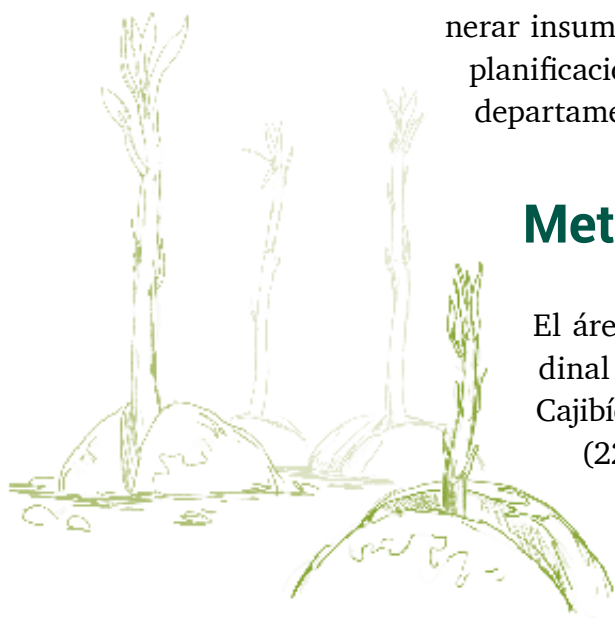
y apliquen modelos tecnológicos de otras latitudes, los cuales no son sostenibles y tienen poca congruencia con la oferta ambiental y demanda real de los cultivos en el país.

Una de las limitantes identificadas en el departamento del Cauca es el bajo índice de productividad por unidad de área respecto al promedio de Colombia: mientras en el departamento se reportan rendimientos de 5,9 toneladas de aguacate Hass por hectárea ($t. ha^{-1}$), el promedio nacional alcanza las $10 t. ha^{-1}$ (Agronet, 2020). Esto se debe a las malas prácticas agrícolas y a que los programas de fomento de nuevas áreas terminan siendo deficientes cuando no tienen en cuenta la oferta de los recursos naturales para la toma de decisiones ni para la formulación de nuevos proyectos productivos.

En este capítulo se presentan resultados de investigación correspondientes a la valoración de la oferta biofísica en zonas actuales y potenciales en once municipios priorizados del departamento del Cauca. Específicamente, se describe la geomorfología a nivel de formas de terreno en escala 1:25.000 y se detalla tanto la morfología como las propiedades químicas y físicas de perfiles característicos de suelos. El objetivo de esta información es generar insumos que sirvan como herramienta de decisión para la planificación y el desarrollo de cultivos de aguacate Hass en el departamento.

Metodología

El área de análisis se encuentra ubicada en la cota altitudinal entre 1.000 y 4.200 m s. n. m. de los municipios de Cajibío (80,3 % del área municipal), Caldono (64 %), Caloto (22,9 %), Corinto (22,5 %), El Tambo (17,5 %), Morales (46,6 %), Piendamó (66,3 %), Popayán (89,3 %), Sotará (42,3 %), Toribío (36,3 %) y Timbío (84,3 %) (figura 1.1).



Esta área tiene una extensión aproximada de 283.514,5 ha (9,6 % del departamento), localizada en el suroccidente colombiano, entre el flanco occidental de la cordillera Central y el flanco oriental de la cordillera Occidental. Forma parte de la cuenca alta del río Cauca, una de las principales arterias fluviales del país y de interés ambiental y económico debido a su enorme potencial para proporcionar servicios ambientales y su biodiversidad, pero también por su fragilidad ecosistémica.

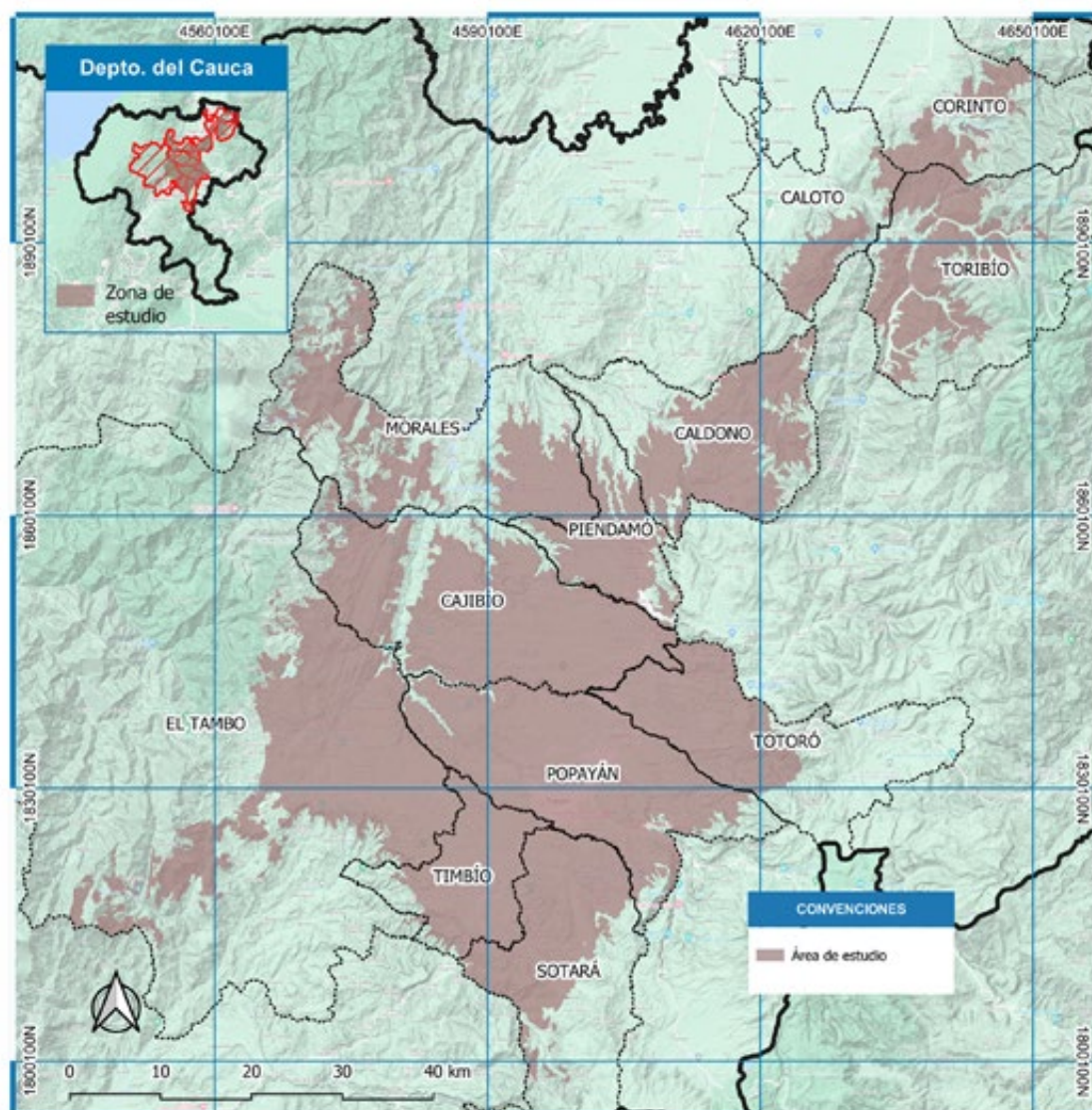
Gran parte de los centros urbanos de los municipios se concentran en posiciones planas, en donde se encuentra el mayor porcentaje de la población y la mejor infraestructura, a diferencia de las zonas rurales, que tienen menor número de habitantes y altos niveles de necesidades básicas insatisfechas.

Los pisos térmicos predominantes corresponden a frío (41 % del área) y medio (templado, 59 %), con provincias húmedas. Se destacan los climas medios muy húmedos con precipitaciones que varían entre 2.000 y 4.000 mm/año, y los climas fríos húmedos con lluvias entre 1.000 y 2.000 mm/año (figura 1.2). Las condiciones encontradas en el ambiente climático húmedo han originado una marcada actividad de procesos de formación de suelos como iluviación, lixiviación, lavado, entre otros, además de que favorecen la generación de vegetación abundante, lo cual ha contribuido a la acumulación de materia orgánica (MO) en el suelo (AGROSAVIA, 2022).

La zona presenta régimen de lluvias bimodal, con una temporada seca muy marcada hacia los meses de junio, julio y agosto, y una temporada lluviosa principal en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Análisis detallados del comportamiento climático indican una mayor variabilidad del clima en algunos sitios, en los cuales, por ejemplo, las lluvias disminuyen entre los meses de enero y febrero, y aumentan entre marzo y mayo, lo cual puede afectar el desarrollo de actividades agropecuarias.

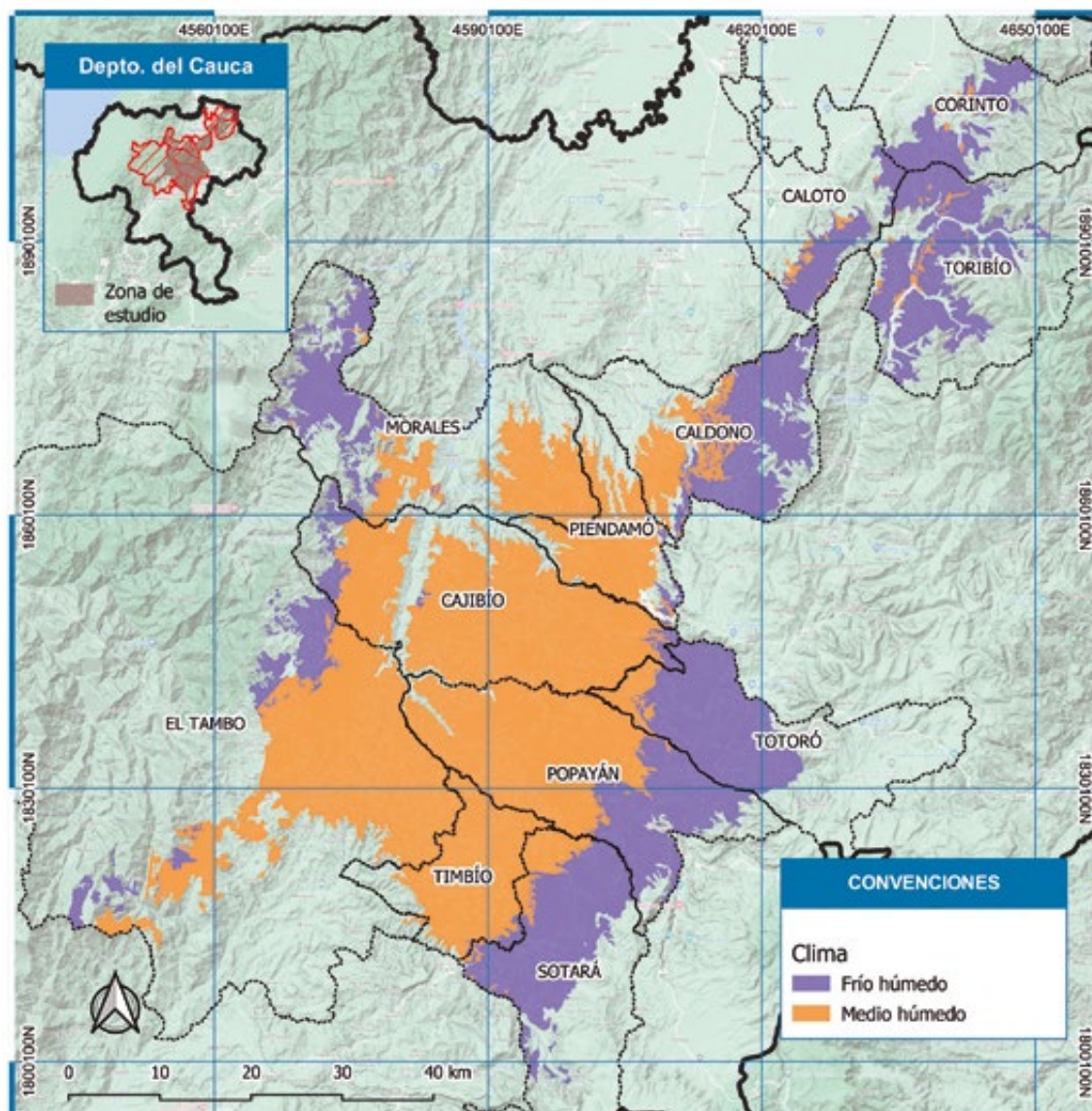


Figura 1.1. Delimitación de áreas municipales para valorar la oferta biofísica en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.2. Distribución de pisos térmicos en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de geomorfología y suelos

El análisis geomorfológico se realizó según el sistema Zink a nivel de forma del terreno (escala 1:25.000). Para esto se utilizó información básica secundaria correspondiente a materiales litológicos, sistemas morfogénicos colombianos, geomorfología del departamento del Cauca e información de sensores remotos (DEM Alos Palsar 12.5 m, imágenes ESRI, 0.3 m Digital Globe).

A partir de estos insumos se generaron datos morfométricos de modelo de sombras, pendientes, longitud de la pendiente, índice topográfico de humedad y curvaturas. Mediante fotointerpretación en SIG, se delinearon geoformas utilizando criterios morfogenéticos, morfométricos y morfocronológicos. Las geoformas se clasificaron a nivel de forma del terreno y se elaboró cartografía a escala 1:25.000.

Se elaboraron 27 calicatas en diferentes sitios de la topografía con diferencias geológicas y geomorfológicas representativas del territorio.

Para caracterizar los suelos, se analizaron perfiles característicos identificados a partir del estudio general de suelos 1:100.000 (IGAC, 2009) asociados a unidades geomorfológicas. Esta información fue corregida y modificada para conocer el patrón de distribución de los suelos y sus características. Además, se realizó

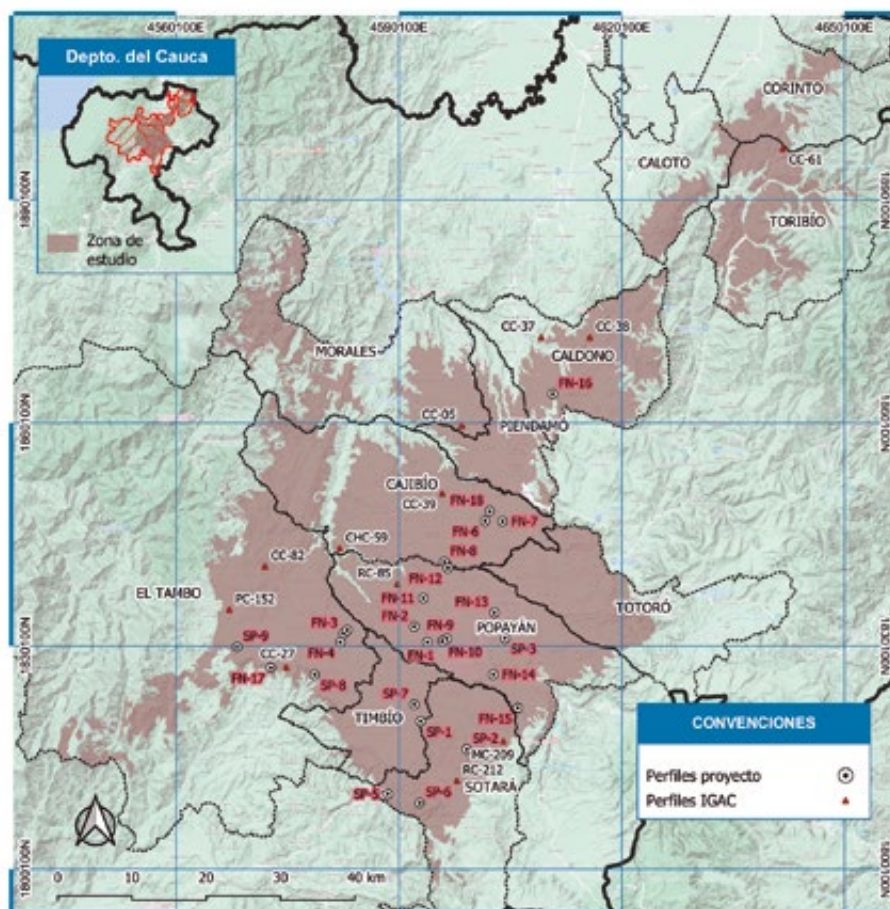
verificación mediante recorridos en campo para ubicar unidades resultantes a una mayor escala, a partir de las unidades taxonómicas identificadas en estudio previo (1:100.000) compuestas principalmente por asociaciones.

Se seleccionaron sitios representativos de la topografía predominante para describir los perfiles característicos de suelo mediante elaboración de calicatas (figura 1.3). Específicamente, se elaboraron 27 calicatas distribuidas en zonas cuya geología, geomorfología y/o estudio de suelos presentan diferencias, además, para

cada perfil de suelo se describieron las características morfológicas y se tomaron muestras de suelo de cada horizonte para analizar las propiedades químicas en laboratorio.

De acuerdo con la información recopilada y el análisis espacial de los datos, se ajustaron los mapas y la leyenda de geomorfología a escala 1:25.000. Finalmente, se realizó análisis estadístico descriptivo y multivariado de las características químicas entre 0 cm y 20 cm para establecer tendencias y grupos de suelos con propiedades similares de fertilidad.

Figura 1.3. Distribución de perfiles de suelos descritos en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

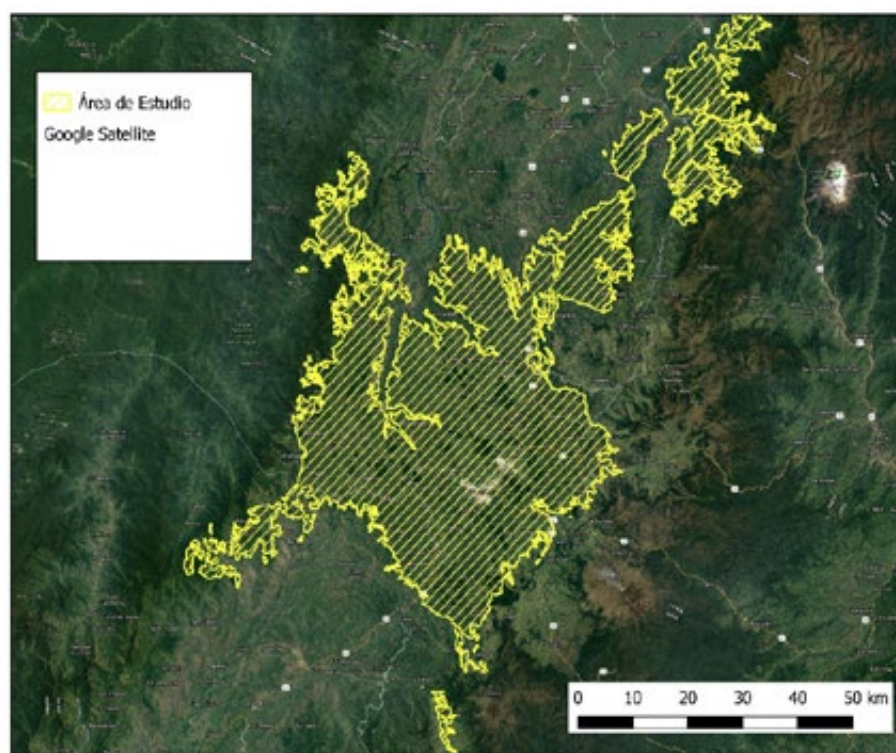
Análisis de coberturas y uso actual de la tierra

El análisis de coberturas y uso del suelo se realizó utilizando información vector y ráster de imágenes disponibles RapidEye del año 2010, con el objetivo de corroborar y mejorar la interpretación de las imágenes del sensor Sentinel 2. El área de trabajo fue cubierta por cortes de imágenes del sensor, especialmente el B, y se realizó la corrección atmosférica y reproyectada al sistema magna sirgas (figura 1.4).

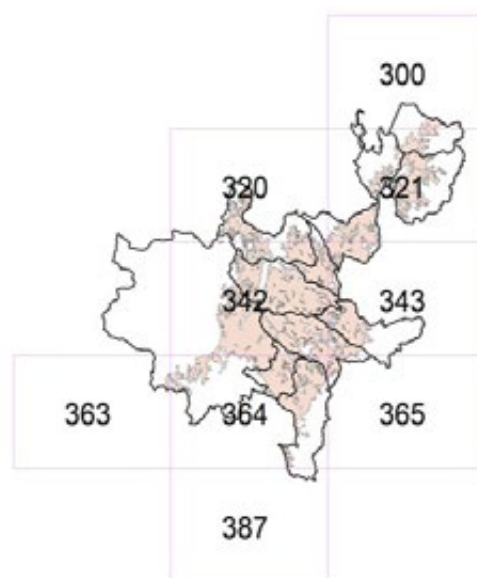
Esta información se complementó con datos vectoriales de cuencas hídricas y de vías a partir de registros disponibles de la zona. Asimismo, se consultaron esquemas y planes básicos de ordenamiento territorial, suministrados por instituciones como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), AGROSAVIA y la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). Otros insumos utilizados fueron capas de municipios, ubicación de coberturas agrícolas suministrada por AGROSAVIA y metodología de coberturas Corine Land Cover (CLC) de años anteriores.



Figura 1.4. Procesamiento de información cartográfica e imágenes RapidEye para clasificar las coberturas y el uso del suelo en la zona de estudio. a. Delimitación del área de estudio en imágenes disponibles RapidEye 2010; b. Numeración de planchas de suelos IGAC escala 1:100.000 utilizadas.



a.



b.

Fuente: Elaboración propia.

Distribución de geoformas a escala semidetallada (1:25.000) en zonas con potencial para cultivos de aguacate Hass

La gran variedad de materiales parentales en zonas con potencial para cultivos de aguacate Hass permite la presencia de diversas geoformas, entre las cuales son comunes las unidades de paisajes de montaña (35,3 % del total del área), altiplanicie (42,5 %) y lomerío (22,2 %) (figuras 1.5 y 1.6). Estas geoformas, de origen estructural y erosional, se han formado a partir de depósitos volcánicos, rocas metamórficas e ígneas y sedimentos.

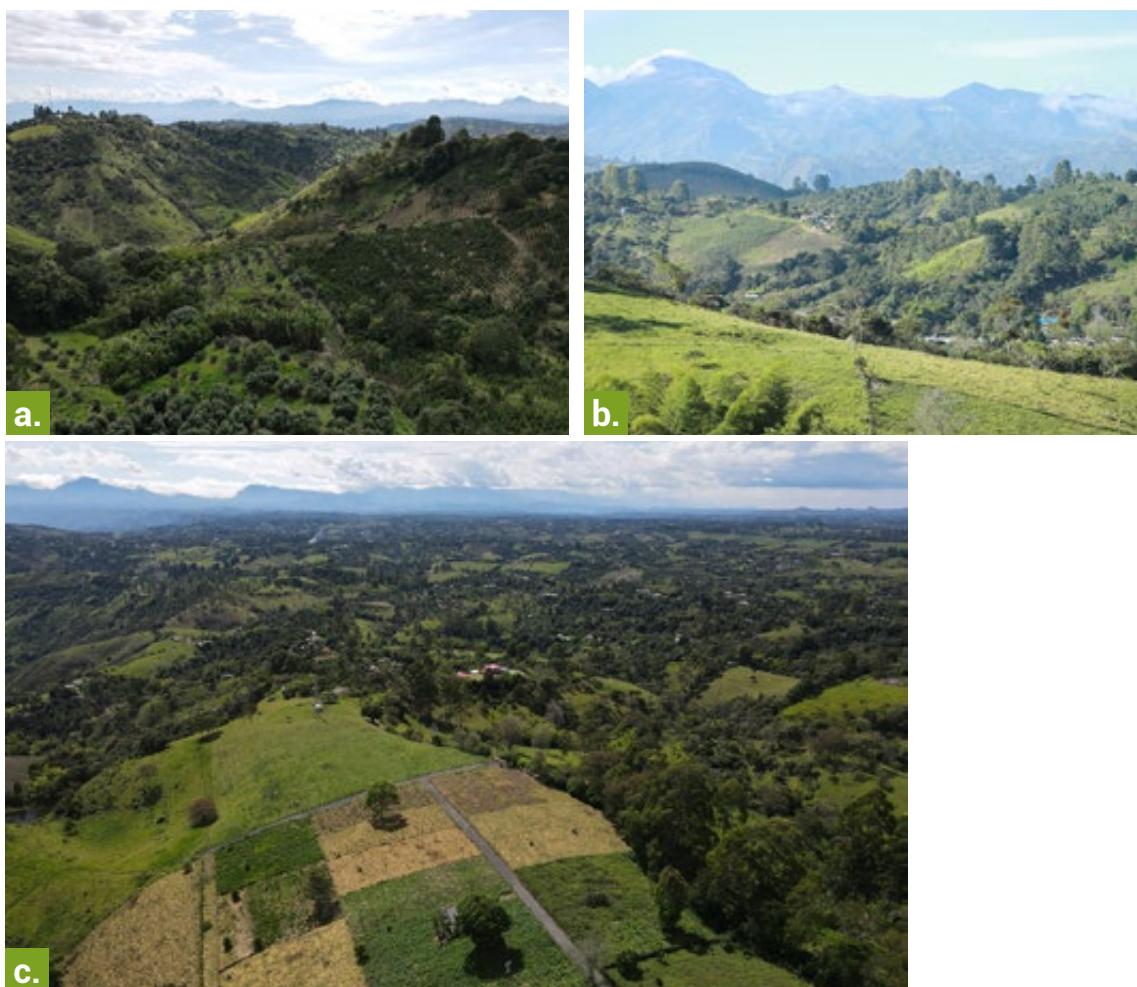
Estas zonas se distribuyen principalmente sobre las unidades de relieve correspondientes a cañada, cañones, colinas, crestón, espinazo, filas y vigas, lomas, plano de inundación y volcán (figura 1.7). De estas unidades de relieve, la de mayor cobertura corresponde a lomas, la cual alcanza un área total de 100.090 ha (35,3 % del área), seguida de filas y vigas, con un área total de 84.915 ha (29,9 %).

Las unidades de forma de terreno características corresponden principalmente a laderas, cima, escarpe, vega y bajo (figura 1.8). De estas unidades, la de mayor cobertura corresponde a ladera, con un área total de 160.079 ha (56,5 %), seguida de cimas y laderas, que cubren un área total de 63.942,5 (22,6 %) (figura 1.8 y tabla 1.1).

Como consecuencia de la amplia variedad de formas de terreno en el área, los cambios en la topografía se aprecian a través de la distribución de pendientes (figura 1.7). No obstante, en la zona predominan pendientes ligeramente escarpadas en aproximadamente el 52,7 % del área, que se encuentran próximas a sitios de vocación y protección forestal y en zonas de páramos. Tan solo

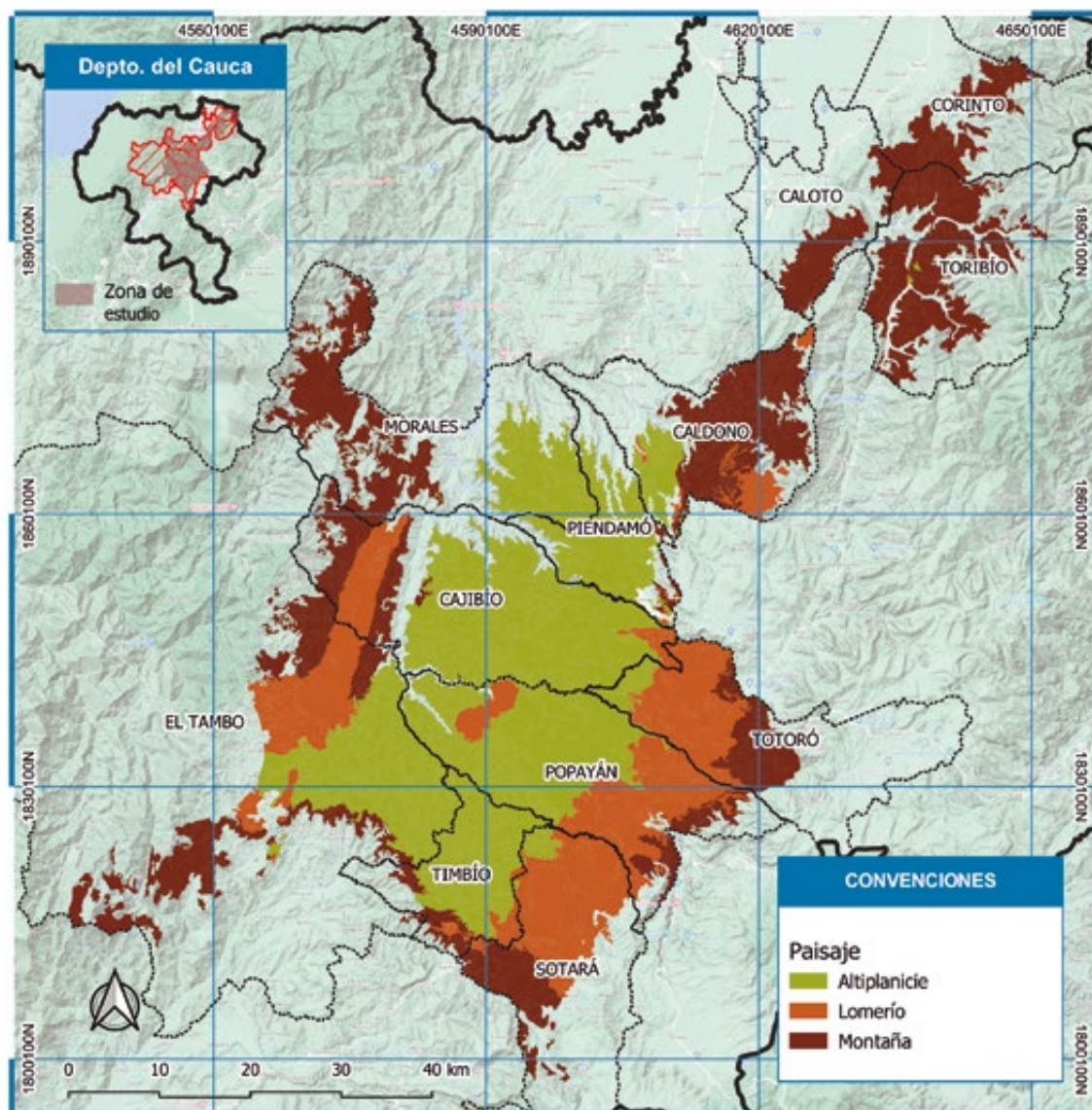
el 0,87% corresponde a zonas planas a ligeramente planas (pendiente 0% al 7%).

Figura 1.5. Unidades de paisaje presentes en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca. a Montaña (M); b. Lomerío (L); c. Altiplanicie (A).



Fotos: Franklin Barrios.

Figura 1.6. Distribución de unidades de paisaje en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.1. Distribución y origen de unidades geomorfológicas identificadas en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca. Leyenda geomorfológica escala 1:25.000

Clima	Paisaje	Relieve	Forma del terreno	Material parental	Unidad geomorfológica	Área unidad geomorfológica	
						ha	%
Frio húmedo	Lomerío	Lomas	Ladera	Cenizas volcánicas/Ígneas	LLLi-F	30.651,7	10,8
				Cenizas volcánicas/metamórficas	LLLm-F	5.955,0	2,1
				Sedimentarias	LLLS-F	3.519,0	1,2
	Montaña	Espinazo	Escarpe Ladera	Sedimentarias	MEEs-F	1.456,8	0,5
				Sedimentarias	MELs-F	1.699,7	0,6
		Filas y vigas	Escarpe	Cenizas volcánicas/metamórficas	MFEm-F	30.690,6	10,8
				Cenizas volcánicas/Ígneas	MFLi-F	24.473,3	8,6
				Cenizas volcánicas/metamórficas	MFLm-F	15.026,6	5,3
		Lomas	Escarpe Ladera	Sedimentarias	MLEs-F	1.108,4	0,4
				Sedimentarias	MLLS-F	1.548,7	0,5



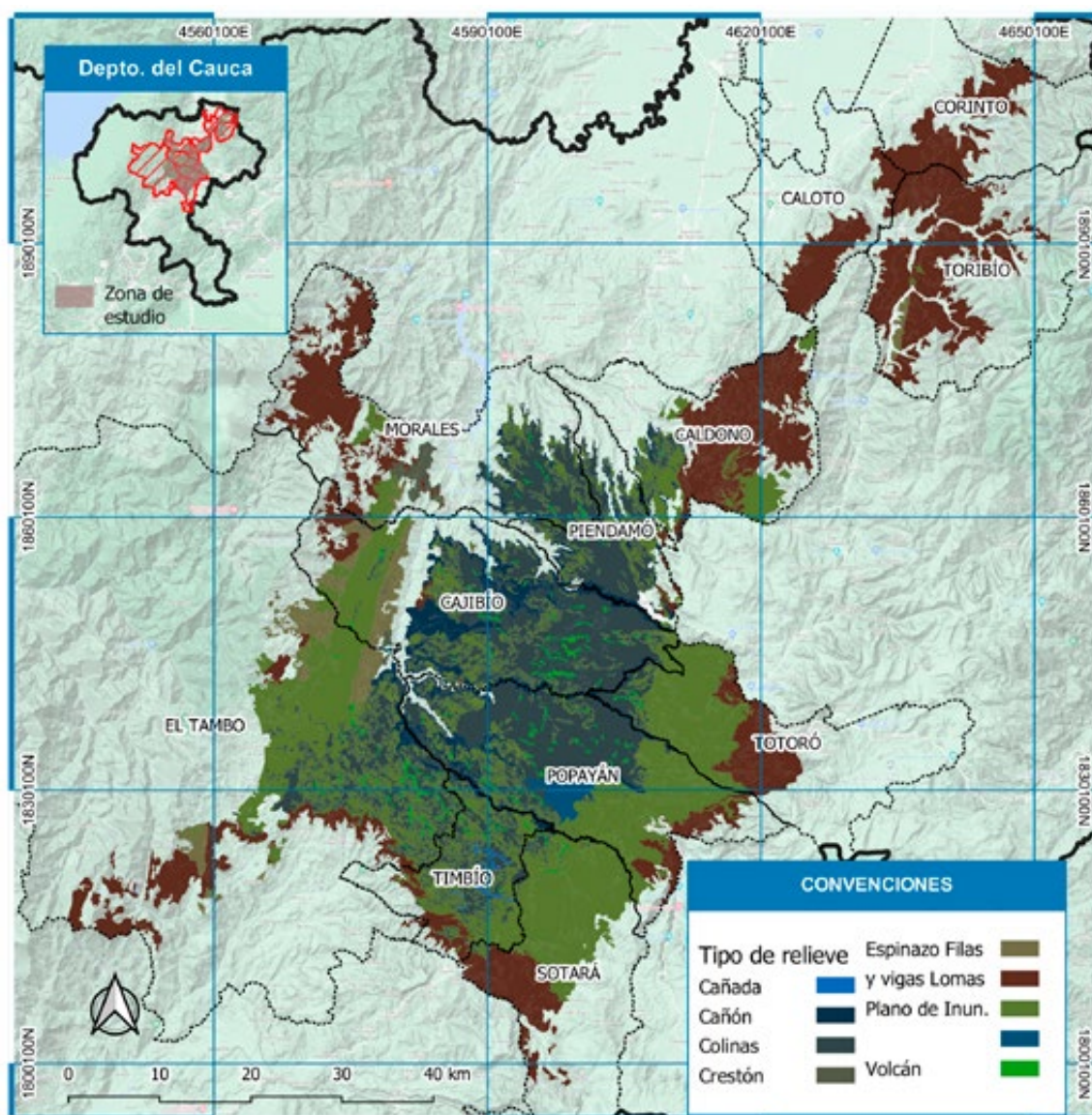
Clima	Paisaje	Relieve	Forma del terreno	Material parental	Unidad geomorfológica	Área unidad geomorfológica	
						ha	%
Medio húmedo	Altiplanicie	Cañada	Bajo	Materiales orgánicos y sedimentos aluviales	ACBo-M	392,3	0,1
		Cañón	Escarpe	Cenizas metamórficas/ígneas	AQEi-M	5.741,9	2,0
			Ladera	Cenizas volcánicas/ Sedimentos coluvio aluviales	AQLi-M	9.309,5	3,3
			Vega		AQVd-M	848,8	0,3
		Colinas	Cimas y laderas	Ígneas	ACCi-M	61.576,0	21,7
		Lomas	Ladera	Cenizas volcánicas/ígneas	ALLi-M	37.733,9	13,3
		Plano de Inundación	Vega	Sedimentos aluviales	APVd-M	2.083,4	0,7
		Volcán		Sedimentos aluviales medios	AVVd-M	2.830,9	1,0
		Colinas	Cimas y laderas	Cenizas volcánicas/ígneas	LCCi-M	1.440,0	0,5
				Cenizas volcánicas/ Sedimentarias	LCCs-M	926,5	0,3
	Lomerío	Lomas	Ladera	Rocas ígneas	LBLi-M	2.158,7	0,7
			Escarpe	Sedimentarias	LLEs-M	396,6	0,1
		Lomas	Ladera	Cenizas metamórficas/ígneas	LLLS-M	10.918,9	3,8
				Cenizas volcánicas/ígneas	LLLi-M	6.673,9	2,3
		Volcán	Vega	Depósitos coluvio aluviales	LVVd-M	226,3	0,1

Clima	Paisaje	Relieve	Forma del terreno	Material parental	Unidad geomorfológica	Área unidad geomorfológica	
						ha	%
	Montaña	Crestón	Escarpe	Sedimentarias	MKEs-M	955,6	0,3
			Ladera		MKLs-M	884,1	0,3
		Espinazo	Escarpe		MEEs-M	4.342,4	1,5
			Ladera		MELs-M	1.636,6	0,6
		Filas y Vigas	Escarpe	Cenizas volcánicas/Ígneas	MFEi-M	8.419,6	2,9
			Ladera	Rocas ígneas	MFLi-M	1.659,0	0,6
				Rocas metamórficas (esquistos)	MFLm-M	4.646,1	1,6
		Lomas	Ladera	Cenizas volcánicas/Ígneas	MLLi-M	577,1	0,2
				Sedimentarias	MLLs-M	1.007,3	0,4
					Área total	283.515,2	99,4

Fuente: Elaboración propia.

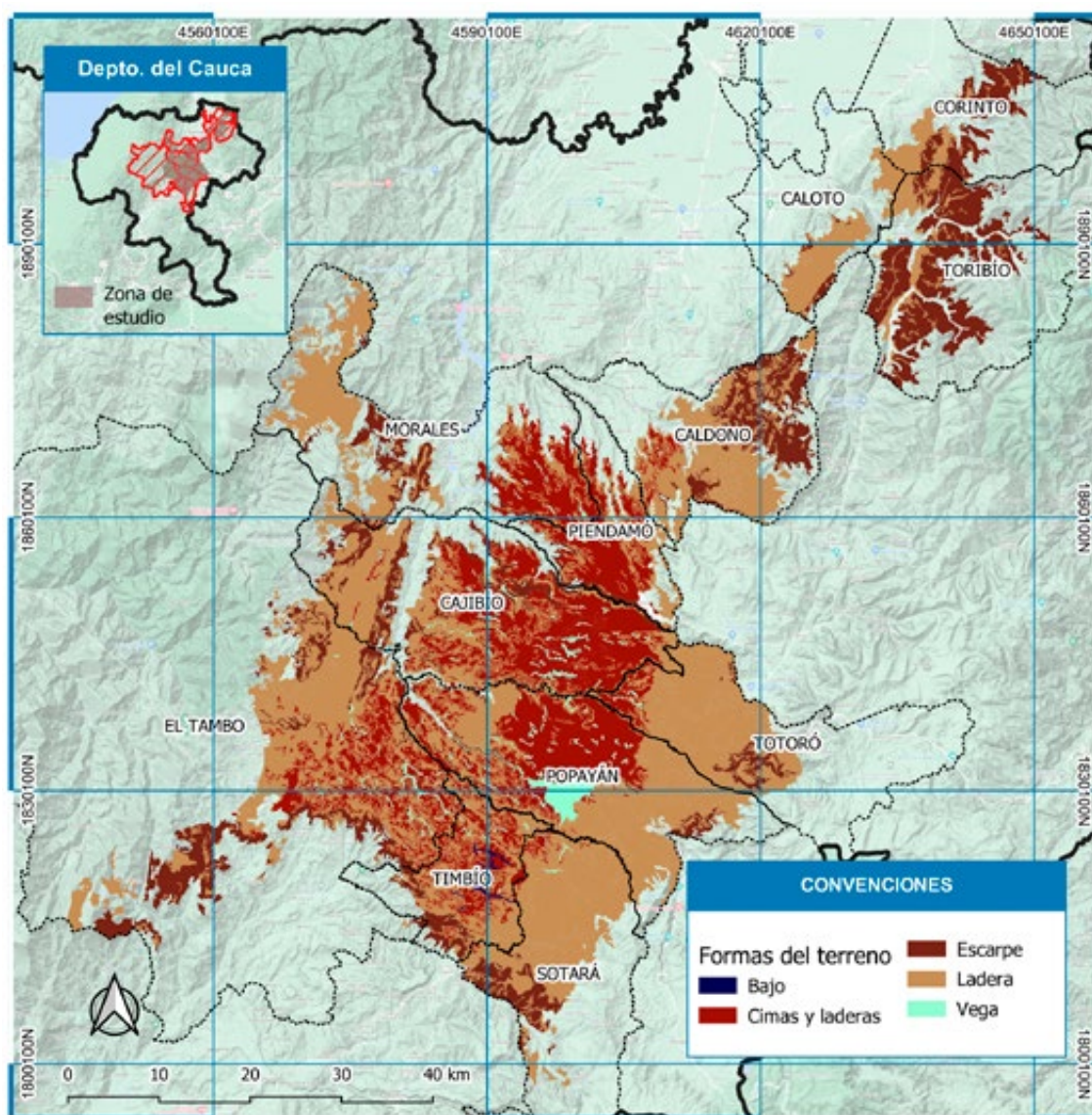


Figura 1.7. Distribución de unidades de relieve en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.8. Distribución de unidades de formas de terreno en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de unidades de suelos presentes en el territorio

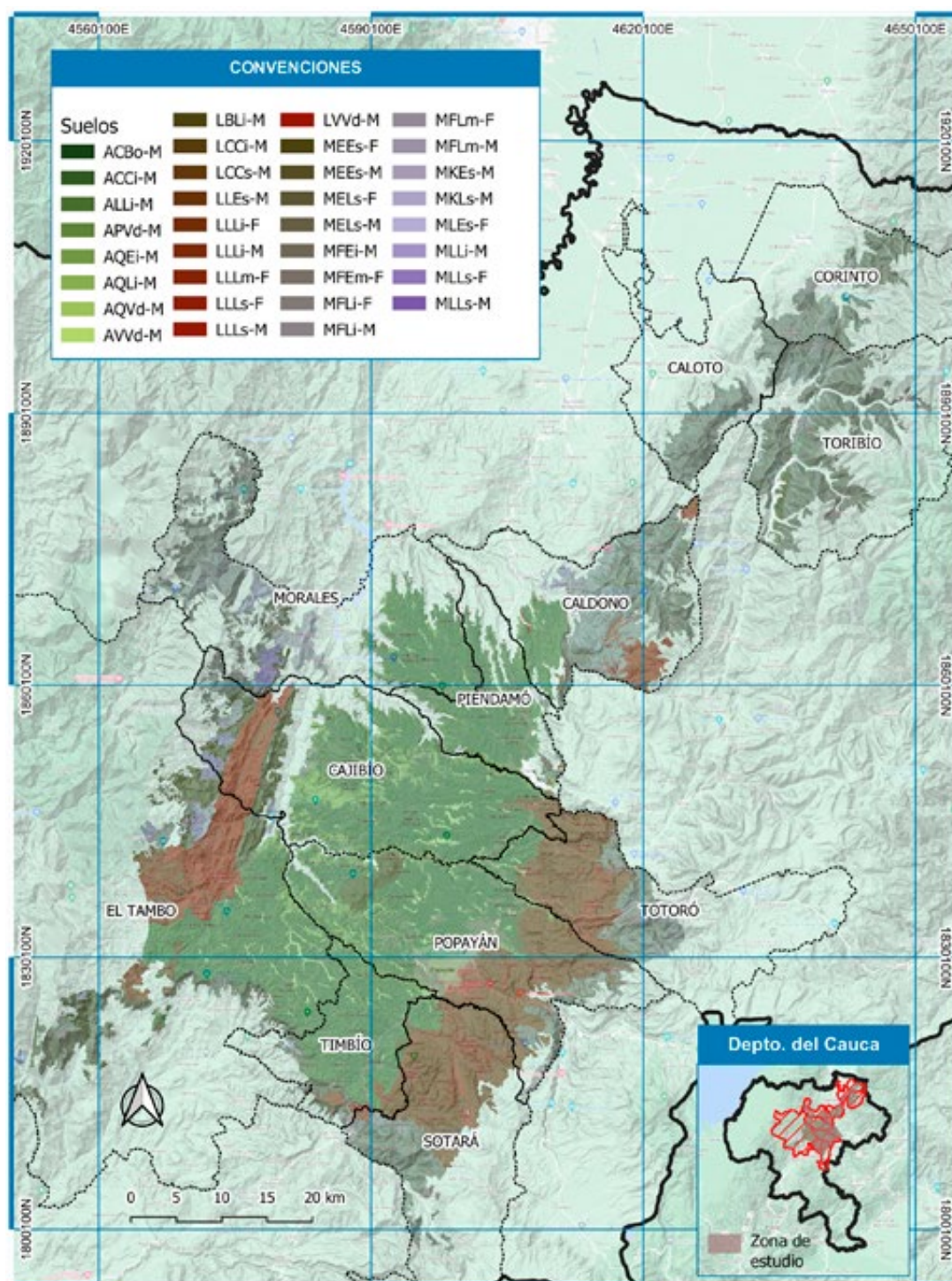
En el área se distribuyen en mayor frecuencia suelos de los órdenes Andisol e Inceptisol, producto de materiales parentales predominantes como depósitos de cenizas volcánicas y rocas metamórficas e ígneas, del régimen de humedad del suelo (que corresponde a condiciones údicas) y de las condiciones climáticas encontradas en alturas por encima de los 1.600 m s. n. m. (figura 1.9).

El orden Andisol ocupa el 19,3% y se ubica generalmente en las zonas montañosas y de altiplanicie de clima frío y medio húmedo. Son comunes los subgrupos Typic Hapludands, Typic Fulvudands, y Typic Melanudands. La unidad taxonómica Typic Hapludands se distribuye en el 50% de los sitios de muestreo, principalmente en los municipios de Popayán, Corinto, Timbío, Sotaró, El Tambo y Cajibío, sobre las formas de terreno laderas, y cimas y laderas (figura 1.10 y tabla 1.2).

Los Inceptisoles se presentan en el 75,2% del área y se localizan en las laderas y escarpes de montaña, así como en vegas de altiplanicies, principalmente en zonas de origen aluvial como vallecitos y planos de inundación. Son característicos los subgrupos Typic Humudepts, Typic Dystrudepts, Oxic Dystrudepts, Andic Humudepts y Typic Humaquepts (figura 1.10 y tabla 1.2).

La presencia de estos órdenes de suelo dominantes en la zona, así como la leyenda geomorfopedológica generada a escala 1:25.000 y validada en campo corroboran la relación *paisaje (formas de terreno) - suelo*, la cual determina las principales condiciones edáficas que se deben tener en cuenta para planificar actividades agropecuarias en el territorio (figura 1.10).

Figura 1.9. Unidades cartográficas de suelos en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.2. Subgrupos taxonómicos presentes en unidades cartográficas de suelos identificadas en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca

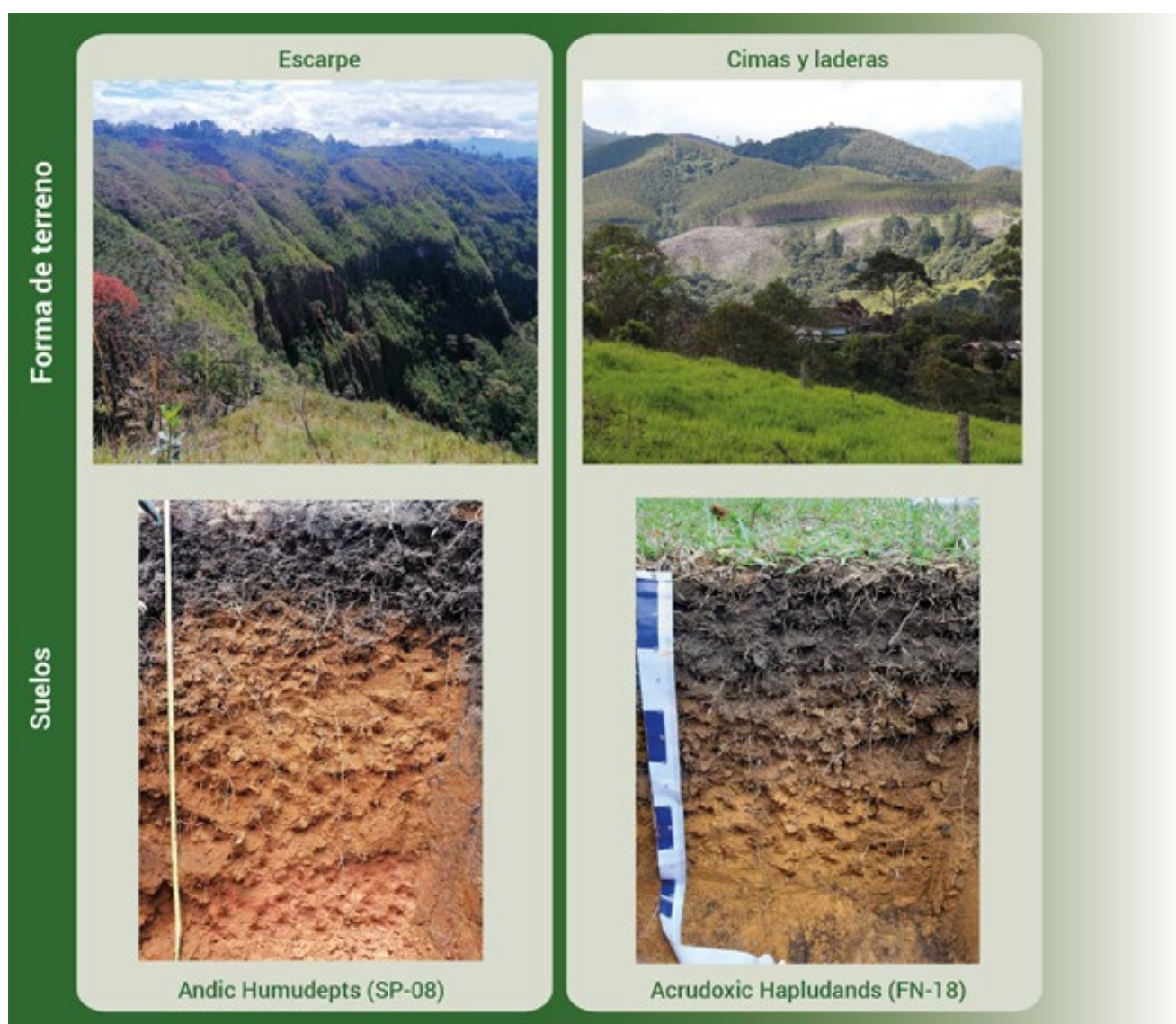
Clima	Paisaje	Unidad forma de terreno	Perfil	Subgrupos taxonómicos presentes en unidades cartográficas de suelos (UCS)	Área UCS	
					ha	%
Frío húmedo	Lomerío	LLLj-F	MC-209	Typic Hapludands, medial, isotérmica; Andic Dystrudepts, franca fina, isotérmica; Acrudoxic Melanudands, medial, isotérmica; Acrudoxic Hapludands, medial, isotérmica; Acrudoxic Hapludands, medial, isotérmica	3.0651,7	10,8
		LLLm-F	SP-02	Typic Melanudands, medial, isotérmica	5.955,0	2,1
		MFEEm-F	CC-61	Typic Hapludands	30.690,6	10,8
	Montaña	MFLi-F	FN-15, SP-06	Acrudoxic Melanudands, medial, isotérmica; Acrudoxic melanudands, medial, isotérmica	24.473,3	8,6
		MFLm-F	CC-38	Typic Fulvudands	15.026,6	5,3
		MLEs-F	CC-38	Typic Fulvudands	1.108,4	0,4
Medio húmedo	Altiplanicie	ACBo-M	SP-07	Fibric Haplowassists, euica, isotérmica	392,3	0,1
		AQEi-M	FN-12	Acrudoxic Melanudands, medial, isotérmica	5.741,9	2,0
		AQLi-M	FN-08	Andic Humudepts, franca gruesa, isotérmica	9.309,5	3,3
		AQVd-M	FN-01	Aquic Hapludands, medial, isotérmica	848,8	0,3
		ACCi-M	FN-07, FN-11, FN-13, FN-18; FN-3	Typic Hapludands, medial, isotérmica; Andic Dystrudepts, franca fina, isotérmica; Acrudoxic Melanudands, medial, isotérmica; Acrudoxic Hapludands, medial, isotérmica	61.576,0	21,7

Clima	Paisaje	Unidad forma de terreno	Perfil	Subgrupos taxonómicos presentes en unidades cartográficas de suelos (UCS)	Área UCS	
					ha	%
	Montaña	ALLi-M	FN-02, FN-05, FN-16	Typic Hapludands, medial isotérmica; Typic Hapludands, medial, isotérmica; Andic Dystrudepts, franca fina, isotérmica	37.733,9	13,3
		APVd-M	FN-09, FN-10	Andic Humudepts, franca fina, isotérmica; Andic Humudepts, franca gruesa, isotérmica	2.083,4	0,7
		AVVd-M	FN-04, FN-06	Fluventic Humaquepts, franca fina, isotérmica; Aquandic Humaquepts, franca fina, isotérmica	2.830,9	1,0
		LCCi-M	SP-01	Typic Hapludands, medial isotérmica	1.440,0	0,5
		LCCs-M	SP-09	Acrudoxic Melanudands, medial, isotérmica	926,5	0,3
		LBLi-M	RC-85	Oxic Dystrudepts	2.158,7	0,7
	Lomerío	LLLi-M	FN-14	Acrudoxic Hapludands, medial, isotérmica	6.673,9	2,3
		LVVd-M	SP-03	Fluventic Humudepts, franca fina, isotérmica	226,3	0,1
		MFEi-M	SP-08	Andic Humudepts, franca gruesa, isotérmica	8.419,6	2,9
		MFLi-M	FN-17	Typic Dystrudepts, franca fina, isotérmica	1.659,0	0,6
		MFLm-M	SP-04, SP-05	Pachic Humudepts, franca fina, isotérmica; Alic Hapludands, medial, isotérmica	4.646,1	1,6
		MLLi-M	CC-37	Typic Dystrudepts	577,1	0,2

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1.10. Relación *paisaje (formas de terreno)* - *suelo* en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.





Fuente: Elaboración propia.
Fotos: Sebastián Polo



Condiciones físicas de los perfiles de suelos característicos

En general se presenta una alta variedad en sus características morfológicas, como profundidad del horizonte A, profundidad efectiva y drenaje, de acuerdo con la forma de terreno sobre las cuales se distribuyen. Son suelos profundos, que no presentan limitantes en superficie, constituidos con horizontes que pueden alcanzar un espesor mayor a 30 cm, y una profundidad efectiva superior a 80 cm (figura 1.11 y tabla 1.3).

El horizonte superficial se caracteriza porque tiene colores en húmedo que van desde pardo a negro, asociados a epipedones úmbricos con altos contenidos de materia orgánica en el suelo. Se identifican colores que van desde el pardo muy oscuro (10YR 2/2) a pardo amarillento (10YR 5/6) en los subgrupos Typic Hapludands (LLLi-M – FN-14; AVVd-M – FN-05) y Andic Humudepts (AQLi – FN-08), ubicados en zonas de altiplanicie, lomerío y vallecitos. Los colores negros 10YR 2/1 y 7.5 YR 2/0 se identifican en los subgrupos Acrudoxic Melanudands (AQEi-M; FN-12), Typic Melanudands (LLLm-F – SP-02), Typic Fulvudands (MFLm-F – CC38) y Typic Hapludands (MFEm-F – CC-61; LLLi-F – MC-209) (figura 1.11 y tabla 1.3).

Los suelos presentan estructura en bloques subangulares de tipo finos a muy finos, medios y fuertes; la consistencia en húmedo es friable, mientras que en estado mojado fluctúa entre ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; no pegajosa y no plástica; pegajosa y ligeramente plástica; y ligeramente pegajosa y no plástica (figura 1.11 y tabla 1.3).

Tabla 1.3. Características morfológicas de algunos perfiles característicos de suelos descritos en zonas con potencial para aguacate Hass.

ucs	Perfil	Taxonomía	Horizontes	Prof_ efectiva (cm)	Características del horizonte superficial							Macroorganismos
					Espesor (cm)	Color húmedo	Textura tacto	Estructura	Consistencia	Poros	Raíces	
ACCI-M	FN-07	Typic Hapludands	0 - 20 cm Ap / 20 - 50 Bw / 50 - 80 Bw2 / 80 - 130X Bw3	130	Ap_0 - 20	Pardo fuerte (7.5YR 5/8)	FL	BSba_Finos y medios, fuertes	Hum: Friable; Mo: Li_pegajosa y Li_plástica	Mu_Fl_Me	Fre_Finas - gruesas, vivas	Fre_actividad
ALLI-M	FN-02	Typic Hapludands	0 - 17 cm Ap / 17 - 48 Bw / 48 - 82 Bw2 / 82 - 120X Bw3	120	Ap_0 - 17	Pardo oscuro (10YR 3/3)	F	BSba_Finos y medios, fuertes	Hum: Friable; Mo: No pegajosa y no plástica	Mu_Fl_Me	Mu_Finas - muy finas, vivas	Fre_actividad
AOEI-M	FN-12	Acruoxic Melanudands	0 - 50 cm Ap / 50 - 86 Bw / 86 - 120x Bw2	120	Ap_0 - 50	Negro (10YR 2/1)	F	BSba_Finos y medios, fuertes	Hum: Friable; Mo: Li_pegajosa y Li_plástica	Mu_Fl_Me	Mu_Finas; Muy_finas, vivas	Fre_actividad
AOLI-M	FN-08	Andic Humudepts	0 - 22 cm Ap / 22 - 47 Bw / 47 - 85 Bw2	85	Ap_0 - 22	Pardo muy oscuro (10YR 2/2)	FL	BSba_Finos y medios, fuertes	Hum: Friable; Mo: Li_pegajosa y Li_plástica	Mu_Fl_Me	Fre_finas - Muy finas, vivas	Fre_actividad
LLLI-F	MC-209	Typic Hapludands	00 - 15 cm Oi / 15 - 30 A / 30 - 50 Bw / 50 - 70 C1 / 70 - 153 C2	153	Oi_0 - 15	Negro (7.5 YR 2/0)	FA_Gr	Gra_fina, moderada	Hum: Friable; Mo: No pegajosa y no plástica	Mfi_Me	Mu_Muy finas	Mu_actividad
LLLI-M	FN-14	Acruoxic Hapludands	0 - 37 cm Ap / 37 - 78 Bw / 78 - 120x Bw2	120	Ap_0 - 37	Pardo muy oscuro (10YR 2/2)	F	BSba_Finos y medios, fuertes	Hum: Friable; Mo: Li_pegajosa y Li_plástica	Mu_MFi	Mu_finas; Muy finas, vivas	Fre_actividad
LLLM-F	SP-02	Typic Melanudands	0 - 40 cm A / 40 - 73 / 73 - 110 2Ab / 110-120X 2BC	120	A_0 - 40	Negro (10YR 2/1)	FL	BSba_finos y muy finos, fuertes	Hum: Friable; Mo: Li_pegajosa y Li_plástica	Mu_Me	Mu_medias - finas, vivas	Mu_actividad
MFEM-F	CC-61	Typic Hapludands	00 - 16 cm Ap / 16 - 65 Bw1 / 65 - 120 Bw2 / 120 - 150 C	150	Ap_0 - 16	Negro (10YR2/1)	F	BSba_Gra_finos y medios, moderados	Hum: Friable; Mo: Li_pegajosa, Li_plástica	Mu_Me; Fre_Fi	Mu_medias - gruesas, vivas	Mu_actividad



ucs	Perfil	Taxonomía	Horizontes	Prof_ efectiva (cm)	Características del horizonte superficial							
					Esesor (cm)	Color húmedo	Textura tacto	Estructura	Consistencia	Poros	Raíces	Macroorganismos
MFLm-F	CC38	Typic Fulvudands	1 – 16 cm Ap / 16 – 65 Bw1 / 65 - 120 Bw2 / 120 - 150 C	151	Ap_0 – 17	Negro (10YR2/1)	F	BSba_Gra_ finos y medios, moderados	Hum: Friable; Mo: Li_pegajosa, Li_plástica	Mu_Me; Fre-Fi	Mu_ medias - gruesas, vivas	Mu_ actividad
APVd-M	FN-09	Andic Humudepts	0 – 26 cm Ap / 26 – 51 Bw / 51 – 79 Bw2 / 79 – 120x Bw3	120	Ap_0 – 26	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2)	FARL	BSba_Finos y medios, fuertes	Hum: Friable; Mo: Pegajosa y Li_plástica	Mu_Fi_ Me	Mu_ Finas - muy finas, vivas	Fre_ actividad
AVVd-M	FN-05	Typic Hapludands	0 - 20 cm Ap / 20 – 38 Ab / 38 – 65 2Bw / 65 – 115X 2Bw2	115	Ap_0 – 20	Pardo amarillento (10YR 5/6)	F	BSba_Finos y medios, fuertes	Hum: Friable; Mo: Li_ pegajosa y no plástica	Mu_Fi_ Me	Fre_ finas, vivas	Fre_ actividad
LVDd-M	SP-03	Fluventic Humudepts	0 – 24 cm Ap / 24 – 60 A / 60 – 105 Bw / 105-120X C	120	Ap_0 – 24	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2)	FL_Gr 10 %	Gra_ finos y muy finos, fuertes	Hum: Friable; Mo: Li_pegajosa y Li_plástica	Mu_Fi_ Me	Fre_ medias - finas, viva	Fre_ actividad

Textura: F: Franco; L: Limoso; Ar: Arcilloso; A: Arenoso; Gr: Gravilla. **Estructura:** BSba: Bloques subangulares; Gra: Granular. **Consistencia:** Hum: Húmedo; Mo: Mojado; Li: Ligeramente. **Poros - raíces - macroorganismos:** Mu: Muchos - muchas; Fi: Finos; Mfi: Muy finos; Me: Medios; Fre: Frecuente. **UCS:** unidades cartográficas de suelos

Textura: F: Franco; L: Limoso; Ar: Arcilloso; A: Arenoso; Gr: Gravilla. **Estructura:** BSba: Bloques subangulares; Gra: Granular. **Consistencia:** Hum: Húmedo; Mo: Mojado; Li: Ligeramente. **Poros- raíces - macroorganismos:** Mu: Muchos - muchas; Fi: Finos; Mfi: Muy finos; Me: Medios; Fre: Frecuente. **UCS:** unidades cartográficas de suelos

Fuente: Descripción perfiles característicos suelos_Proyecto.

Por observación se identifican fácilmente muchos y frecuentes poros finos y medianos, en concordancia con tipos de texturas predominantes y la acción de organismos como plantas y macrofauna del suelo. Al respecto, es evidente la

actividad biológica, dada la frecuente presencia de muchas raíces finas y medianas, vivas, y de buen aspecto y distribución en el horizonte, así como la actividad de macrofauna como lombrices, escarabajos, hormigas, entre otros, considerados ingenieros del suelo. Esta macrofauna contribuye a la formación de canales a través de los cuales hay movimiento permanente de agua y aire en el suelo (figura 1.11 y tabla 1.3).

En general, los suelos del área son de textura franca, lo cual da una condición particular de suelos sueltos y friables, producto de la distribución porcentual de las fracciones granulométricas, en donde las arenas se presentan en mayor proporción (62,6 %) frente a limos (24,5 %) y arcilla (12,8 %) (tabla 1.4). Es común encontrarse horizontes con clases texturales: Franco Limoso (FL), Franco Arenosa (FA), Franco Arcillo Limosa (FARL) y Franco Arcilloso (FAR). En algunos se encuentra presencia de gravas no mayor al 10 % (Typic Hapludands LLLi-F – MC-209; Fluventic Humudepts LVVd-M – SP-03).

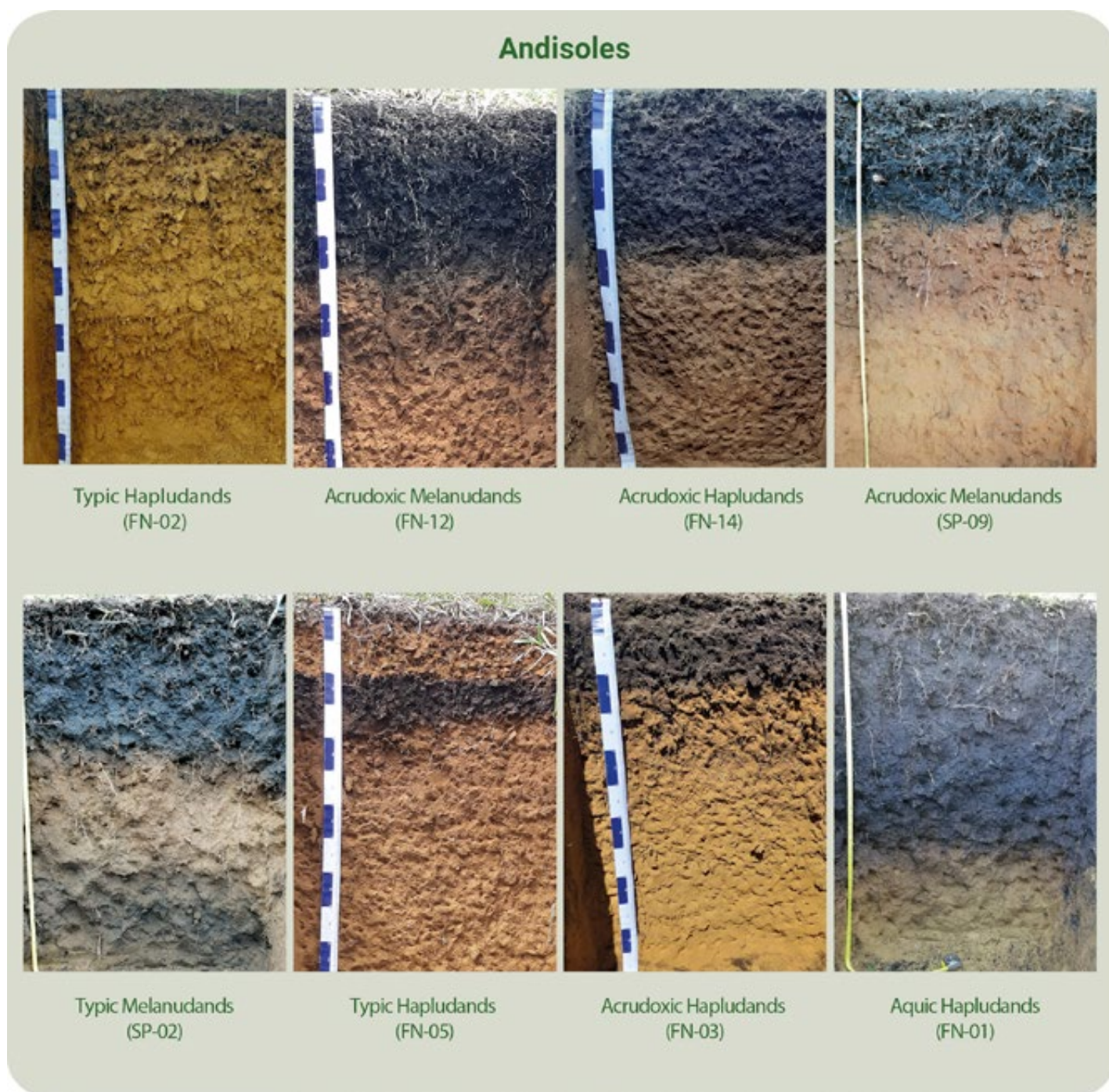
Tabla 1.4. Distribución porcentual de fracciones granulométricas en perfiles característicos identificados en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca

Fracción granulométrica	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación estándar	CV (%)
Arena	40,9	62,6	76,0	9,4	15,0
Limo	16,7	24,5	30,9	4,1	16,6
Arcilla	1,7	12,8	28,2	9,9	76,8

CV: Coeficiente de variación.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.11. Perfiles característicos descritos en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Inceptisoles



Andic Humudepts
(FN-08)



Andic Humudepts
(FN-09)



Andic Humudepts
(FN-10)



Andic Humaquepts
(FN-06)



Andic Dystrudepts
(FN-11)



Andic Dystrudepts
(FN-16)



Fluventic Humudepts
(SP-03)



Fluventic Humaquepts
(FN-04)

Fuente: Elaboración propia.
Fotos: Sebastián Polo y Fredy Nieves.

Condiciones químicas de perfiles de suelos característicos

Producto de los procesos de formación del suelo condicionados por el tipo de material parental y el clima en la zona de evaluación, los suelos se caracterizan por tener una fertilidad química media. Esta condición determina la aptitud del suelo para su uso en actividades agropecuarias, como es el caso del establecimiento de cultivos de aguacate Hass, que tiene una alta demanda de nutrientes para su productividad.

En general, los suelos poseen pH extremadamente a muy fuertemente ácido. Esta condición restringe la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes, como se pudo establecer dadas las bajas concentraciones de fósforo (P) y bases intercambiables como Calcio (Ca), potasio (K) y magnesio (Mg), indispensables para el desarrollo y la producción de los cultivos.

Estos suelos presentan contenidos altos de carbono orgánico (% CO) y, en consecuencia, nitrógeno (N) disponible, así como alta capacidad de intercambio catiónico (CIC). Esto se corrobora por la alta correlación que se encontró entre el % CO y la CIC (0,87; $p < 0,05$), así como por la correlación de este con la saturación de acidez intercambiable (SAI) (0,50; $p < 0,05$), que evidencia un comportamiento típico de formación de complejos de materia orgánica y cenizas volcánicas, predominantes en suelos del orden Andisol (tabla 1.5).

De acuerdo con estas características químicas, se identificaron cinco grupos de suelos con propiedades similares y que permiten definir zonas diferenciales para aptitud química (figura 1.12):

1. El primer grupo de suelos está constituido principalmente por la unidad taxonómica Acrudoxic Melanudands, y tiene como

característica principal el alto % CO y N, y CIC como indicador de alta fertilidad.

2. El segundo grupo está constituido por suelos del orden Inceptisol, como las unidades taxonómicas Andic Humudepts y Fluventic Humudepts, entre otras, caracterizados por un alto porcentaje de SAI, considerado limitante aún para cultivos tolerantes (figura 1.12).
3. El tercer grupo está conformado por suelos con un porcentaje de SAI limitante para cultivos moderadamente tolerantes, alta CIC y moderada saturación de bases totales (SBT).
4. El cuarto grupo tiene como característica principal suelos con alto contenido de Ca, lo cual puede estar asociado al tipo de material parental de sedimentos aluviales.
5. El quinto grupo se encuentra constituido por un solo tipo de suelo con alta saturación de bases intercambiables como Ca y Mg, principalmente, y con una condición de amplia deficiencia

de K, como lo muestran las relaciones Mg / K, Ca / K y (Ca + Mg) / K (figura 1.12).

Tabla 1.5. Propiedades químicas de suelos en perfiles característicos identificados en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca

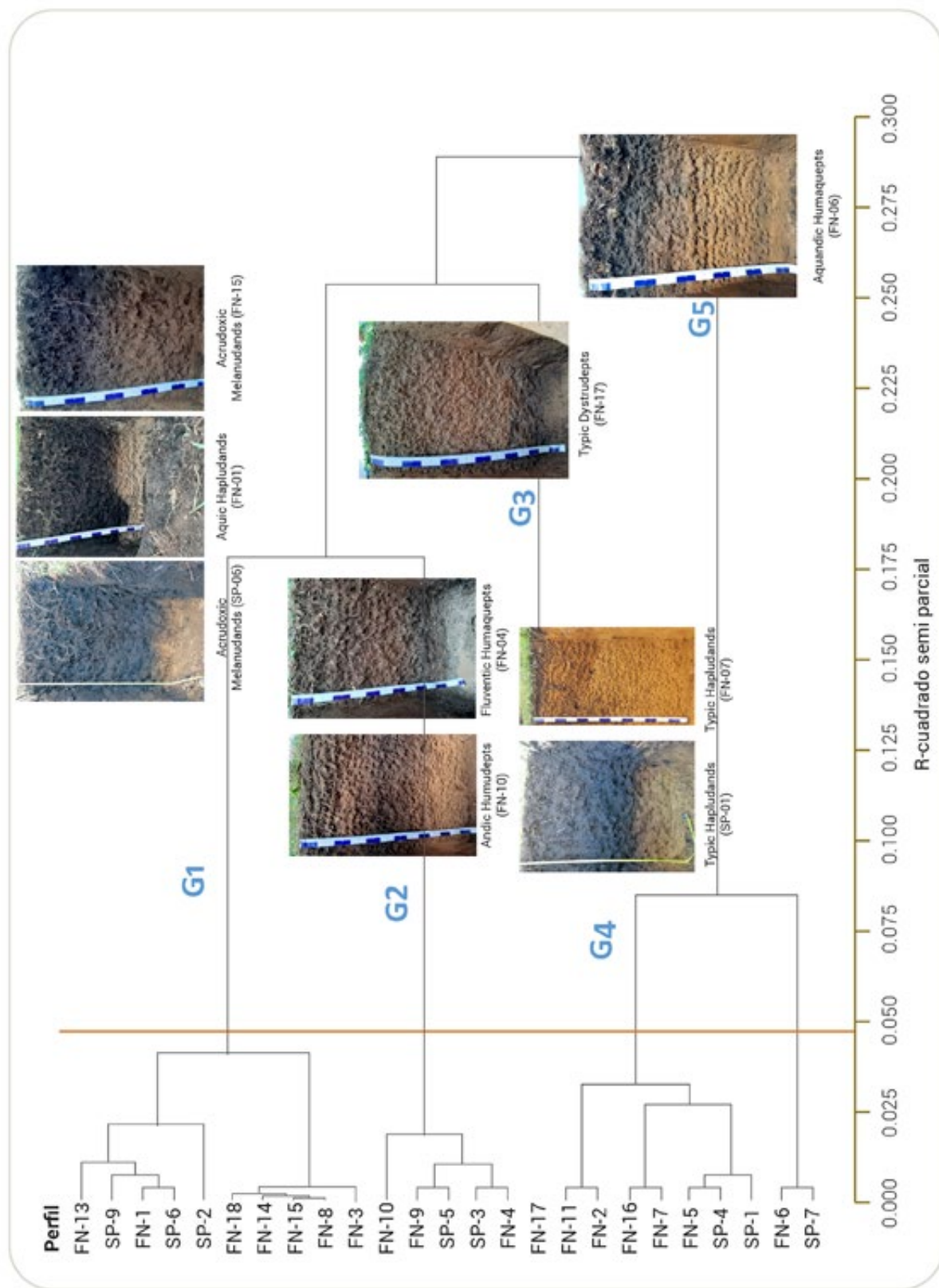
Variables	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación estándar	cv (%)
pH	4,8	5,1	5,7	0,2	4,6
Acidez intercambiable (cmol(+)/kg)	0,4	1,2	3,8	0,7	57,4
SAI (%)	4,2	38,3	79,3	21,7	56,5
Carbono orgánico (%)	0,9	5,8	13,9	3,3	56,8
Nitrógeno total (%)	0,0	0,7	1,4	0,4	60,3
Relación C/N	5,9	13,1	108,5	20,0	152,6
Fósforo disponible (mg/kg)	2,6	3,4	10,5	1,8	53,0
CICE (cmol (+) Kg ⁻¹)	0,9	4,1	10,6	2,6	63,0
CIC (cmol (+) Kg ⁻¹)	11,1	36,8	57,4	12,2	33,0

Variables	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación estándar	cv (%)
Ca (cmol (+) Kg ⁻¹)	0,1	1,9	6,0	1,8	96,7
Mg (cmol (+) Kg ⁻¹)	0,1	0,7	4,1	0,8	122,4
K (cmol (+) Kg ⁻¹)	0,1	0,4	1,6	0,3	85,0
Na (cmol (+) Kg ⁻¹)	0,0	0,1	0,2	0,0	53,5
Bases totales (cmol (+) Kg ⁻¹)	0,2	3,0	10,2	2,6	86,8
Saturación de bases (%)	0,4	10,1	55,6	11,7	116,3
Ca/Mg	0,7	3,1	13,8	2,9	91,4
Mg/K	0,3	2,6	24,2	4,6	177,9
Ca/K	0,4	7,0	34,1	8,2	116,5
(Ca + Mg)/K	0,8	9,7	58,2	12,3	126,8

SAI: saturación de acidez intercambiable; CICE: capacidad de intercambio catiónico efectiva;
CIC: capacidad de intercambio catiónico. CV: coeficiente de variación

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.12. Grupos de perfiles característicos según variables químicas. Análisis clúster



Coberturas de la tierra y uso actual

En la actualidad, al menos el 50 % del territorio evidencia intervención por actividades antrópicas, principalmente asociadas al sector agropecuario, que corresponde a 142.831,8 ha distribuidas en todos los municipios evaluados. Las áreas naturales representan tan solo el 47,19 %, con una extensión aproximada de 133.607 ha, las cuales se encuentran en avance progresivo de fragmentación. Esto pone en riesgo gran parte de la biodiversidad y los recursos naturales que caracterizan esta zona del país (figuras 1.13 y 1.14).

Las zonas agrícolas corresponden principalmente a mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales (22,8 %), entre los cuales es representativo para la zona el cultivo de café (2,1 %) por su importancia económica. Se destacan también por su mayor extensión las áreas dedicadas a la ganadería, representadas en pastos enmalezados, pastos limpios y mosaicos de pastos con áreas naturales, que en total alcanzan una extensión aproximada de 78.139,3 ha (27,6 %) (figuras 1.15 y 1.16; tabla 1.6).

Las zonas correspondientes a bosques y áreas seminaturales están distribuidas por gran parte del territorio, de manera que forman corredores biológicos y zonas de protección y amortiguamiento de fuentes hídricas. Estas áreas están representadas por las coberturas bosque denso, arbustos, vegetación secundaria, y bosque de galería y ripario, que constituye la mayor cobertura (36,7 %). En este grupo se encuentran también las tierras desnudas o degradadas, que alcanzan 3,6 % (figuras 1.17 y 1.18; tabla 1.6).

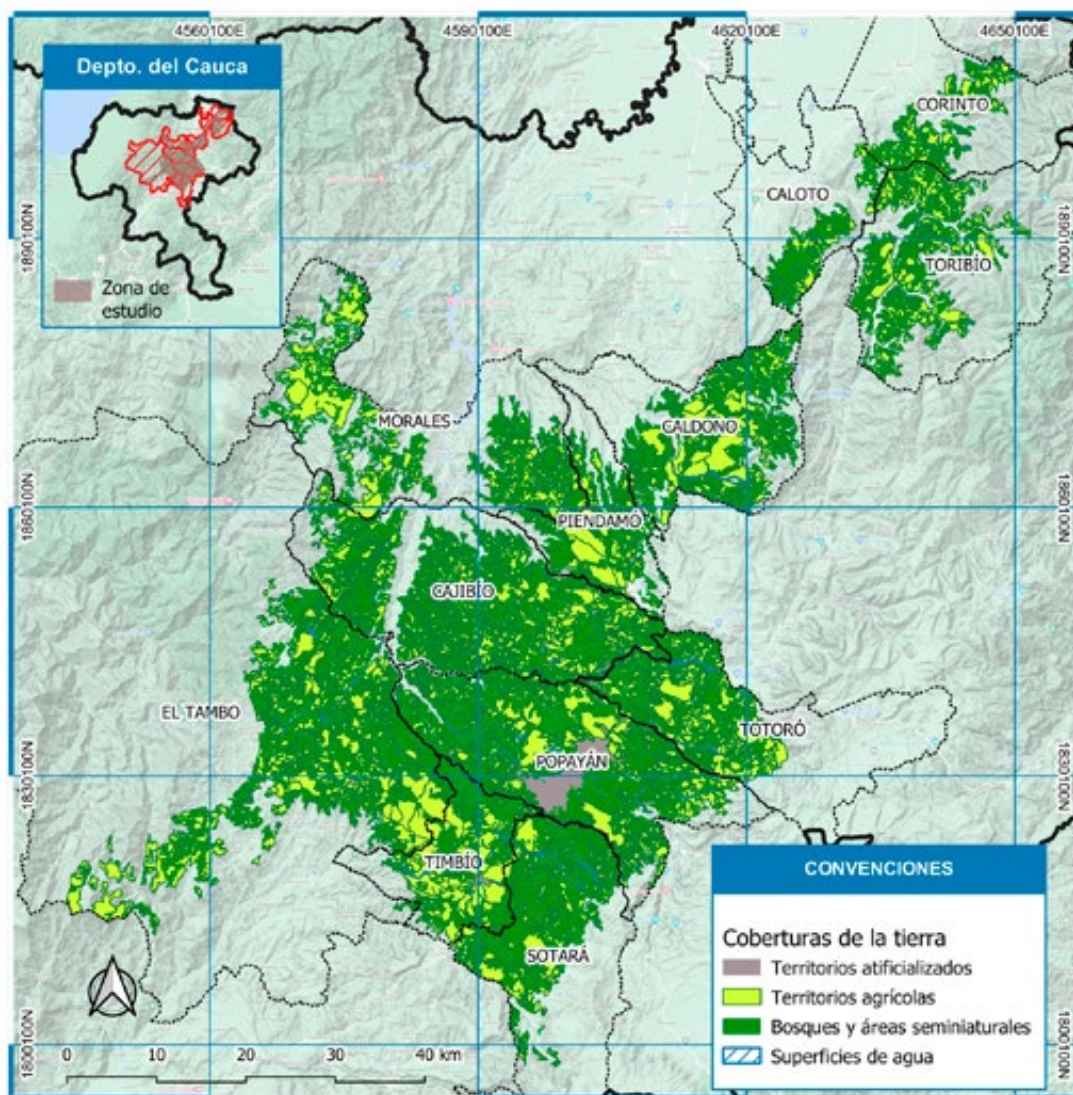
Tabla 1.6. Tipos de coberturas de la tierra y uso actual según Corine
Land Cover en zonas de influencia del proyecto

Tipo de cobertura	CLC	Nivel de cobertura	Area cobertura	
			ha	%
Territorios artificializados	111	Tejido urbano continuo	3.623,5	1,3
	121	Zonas industriales o comerciales	180,5	0,1
	122	Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	1.847,4	0,7
	124	Aeropuertos	103,1	0,04
		Total territorios artificializados	5.754,5	2,0
Territorios agrícolas	225	Cultivos confinados	19,7	0,0
	231	Pastos limpios	29.203,1	10,3
	233	Pastos enmalezados o enrastrados	47.104,1	16,6
	241	Mosaico de cultivos	10,8	0,004
	242	Mosaico de pastos y cultivos	51.769,7	18,3
	243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	6.776,3	2,4
	244	Mosaico de pastos con espacios naturales	1.832,1	0,6
	2222	Café	6.116,0	2,2
		Total territorios agrícolas	142.831,8	50,4
Bosques y áreas seminaturales	314	Bosque de galería y/o ripario	104.129,4	36,8
	315	Plantación forestal	12.788,4	4,5
	322	Arbustos	3.430,7	1,2
	323	Vegetación secundaria o en transición	12,8	0,005
	333	Tierras desnudas o degradadas	10.320,4	3,6
	335	Zonas glaciares y nivales	0,0040	0,0
	31111	Bosque denso alto de tierra firme	2.925,1	1,0
	321111	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	0,5	0,0002
		Total bosques y áreas seminaturales	133.607,2	47,2
Superficies de agua	511	Ríos	703,4	0,2
	512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	36,4	0,01
		Total superficies de agua	739,8	0,3
Total área			283.115,8	100,0

CLC: códigos según Corine Land Cover.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.13. Distribución de coberturas de la tierra en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.14. Coberturas predominantes en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca. a. Territorios agrícolas y bosques; b. Territorios artificializados.



Fotos: Diana Lucía Correa

Figura 1.15. Distribución de coberturas asociadas a territorios agrícolas en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



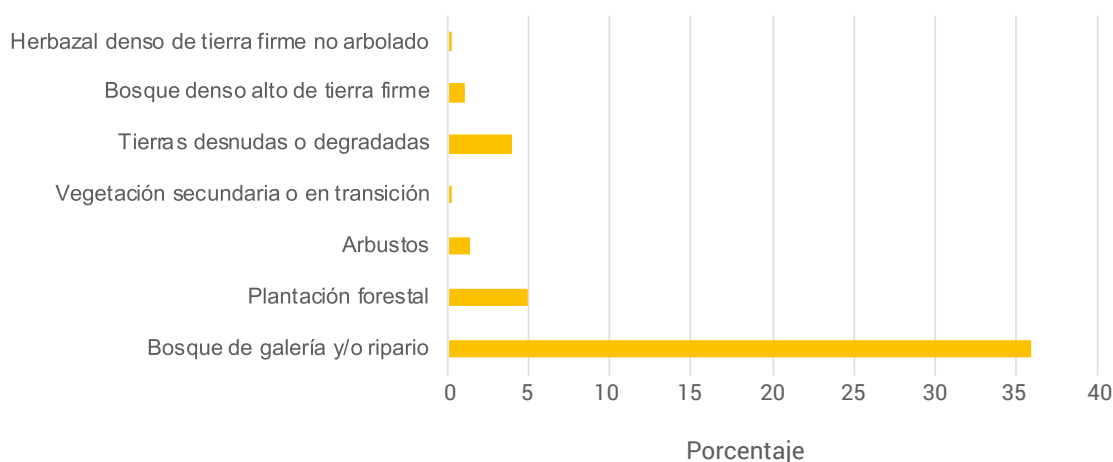
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.16. Tipo de coberturas agrícolas predominantes en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca. a. Mosaico de pastos y cultivos; b. Monocultivo de café.



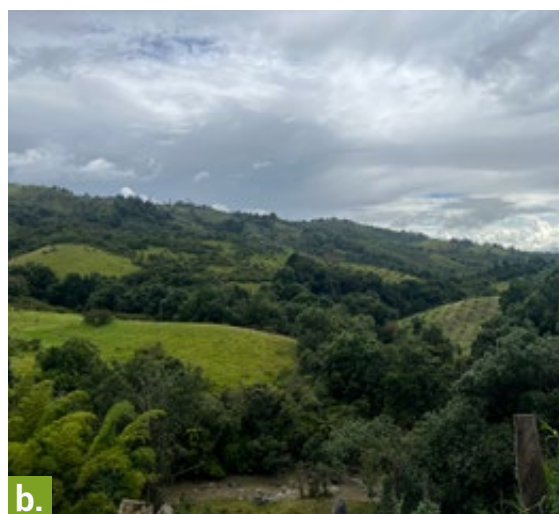
Fotos: Frank Barrios y Diana Lucía Correa Moreno

Figura 1.17. Distribución de áreas de bosques en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

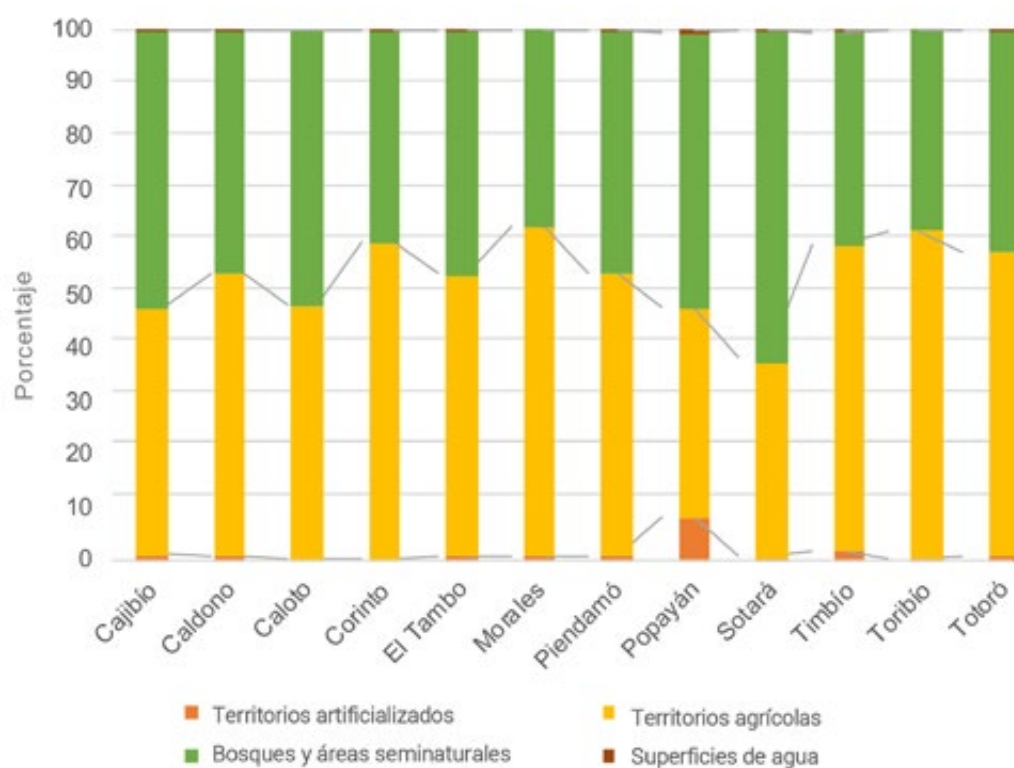
Figura 1.18. Tipo de coberturas naturales en áreas de bosques en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca. a. Bosque plantado; b. Bosque galería o ripario.



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno

A nivel municipal se observa que los territorios agrícolas destacan principalmente en los municipios de Morales, El Tambo, Corinto, Timbío y Toribío. Por su parte, El Tambo, Caloto y Sotaró conservan áreas importantes de zonas de bosque y seminaturales. En esta misma categoría, Popayán y Cajibío tienen áreas de bosques por encima del 50 % del área municipal y como actividad económica de importancia se destacan las plantaciones forestales, que en la zona analizada alcanzan el 4,5 % dentro de la tipología de bosques (figura 1. 19).

Figura 1.19. Distribución de coberturas a nivel municipal en zonas con potencial para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Referencias

- Agronet (2020). *Comparativo de área, producción, rendimiento y participación departamental por cultivo*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/paginas/home.aspx?cod=1>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. (2022). Cuarto informe técnico “Producto 1. Valoración de la oferta biofísica y caracterización socioeconómica de sistemas de producción de aguacate para la identificación de nichos productivos y tecnología requerida en el desarrollo de cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca”. Proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para el mejoramiento de la productividad y calidad de aguacate Hass” [Documento de trabajo, Palmira, AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira].
- Fonseca, F., Aguilar, D., Siachoque, R., Urbina, J., Otero, J., Páramo, G., & García, E. (2018). *Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). https://upra.gov.co/es-co/Publicaciones/Zonas_aptas_aguacatehass.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2009). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: Departamento del Cauca: Escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Martínez-Castillo, R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. *Revista Tecnología en Marcha*, 22(2), 23-39. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/114
- Polo-Carrera, S. (2020). Caracterización edafoclimática a escala 1:25.000 de sistemas de producción de aguacate Hass en once municipios del departamento del Cauca. Proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el Departamento del Cauca” [Informe técnico, AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira].
- Unidad de Planificación Agropecuaria [UPRA]. (2014). Consolidación de la metodología de evaluación de tierras para zonificación con fines agropecuarios a escala semidetallada (1:25.000). <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11438/8489?mode=full>



CAPÍTULO 2

Fertilidad y requerimientos edáficos para aguacate Hass en el departamento del Cauca

Diana Lucía Correa Moreno
Luis Carlos Grajales Guzmán
Francisco José Sánchez Marín
Edinson Castillo López

Introducción

El aguacate cultivar (cv.) Hass se ha destacado en los últimos años como uno de los frutales más cultivados y distribuidos en el mundo, debido principalmente a su productividad, calidad nutricional y potencial agroindustrial, así como a la capacidad de adaptación de la especie a diversas condiciones ambientales (Bost et al., 2013; Crane et al., 2013). En este sentido, las plantaciones de este cultivar se han expandido, sobre todo, en tres zonas climáticas: 1) climas templados y semiáridos como en Israel, Perú y Chile; 2) climas subtropicales como en Sudáfrica, México y Australia, y 3) climas tropicales como en Brasil, Indonesia y Colombia (Wolstenholme, 2013).

La producción de aguacate cv. Hass en las diversas zonas climáticas registra una marcada diferencia en la expresión fisiológica y la productiva del cultivo establecido, por un lado, en zonas tropicales como Colombia y, por otro, en las zonas de producción ubicadas en regiones intertropicales y subtropicales, donde las condiciones de clima y suelo poseen mayor uniformidad, lo cual se refleja en un comportamiento productivo de la especie más estable (Ramírez-Gil et al., 2023; Wolstenholme, 2013). Esta respuesta diferencial está enmarcada sobre todo por la compleja interacción entre la especie y el ambiente tropical, que abarca diversos gradientes de clima y características del suelo, lo cual resalta la importancia de generar estrategias para el manejo del cultivo que estén adaptadas a condiciones tropicales, con un clima dinámico y heterogéneo, que difieren de las demás regiones de producción en el mundo (Ramírez-Gil et al., 2023).

En Colombia, el aguacate cv. Hass ha tenido una expansión del área cultivada considerable debido a la dinámica del mercado global de este frutal y a las condiciones agroclimáticas favorables para el desarrollo del cultivo (Quiceno-Rico et al., 2019). Las zonas de producción en el país se encuentran distribuidas en la región altoandina, donde predomina el régimen de lluvias bimodal, con dos periodos de lluvia alternado con épocas de bajas precipitaciones y variaciones de temperatura asociadas al gradiente altitudinal. En este escenario se ha logrado establecer que el comportamiento productivo del cultivar es influido por factores como la precipitación, la humedad relativa, la altitud y la temperatura del aire (Bernal-Estrada et al., 2020; Ramírez-Gil et al., 2023).

Con el fin de mejorar la productividad y la competitividad en las zonas productoras del departamento del Cauca estudiadas, el objetivo de este capítulo es generar el conocimiento necesario, en conjunto con la comunidad beneficiaria, sobre los requerimientos edáficos del cultivo de aguacate Hass, ajustados a las condiciones de los sistemas productivos de once municipios del departamento del Cauca, en función también de las condiciones que predisponen la fertilidad de los suelos de estas zonas de producción y de aquellas que limitan o favorecen la respuesta productiva y de calidad de la fruta del cultivar.

Metodología

Con el objetivo de establecer los requerimientos edáficos del cultivar y la capacidad que tienen los suelos estudiados para suplirlos, se analizó la información recopilada en campo sobre las características edáficas (químicas, físicas y biológicas) de acuerdo con la metodología de evaluación de tierras (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2013).

Caracterización edáfica en zonas productoras

El muestreo de suelos se realizó en los predios con cultivos de aguacate Hass pertenecientes a los productores que fueron identificados en la caracterización socioeconómica del proyecto. Específicamente, se ubicaron lugares en las unidades cartográficas de suelos representativas descritas en el capítulo anterior, de las cuales la unidad ACCi-M (Typic Hapludands) tiene la mayor extensión (57.333 ha), con distribución en las unidades de paisaje altiplanicie y lomerío (figura 2.1). El muestreo de suelos se realizó en 34 sistemas productivos localizados en los municipios de Cajibío, El Tambo, Morales, Piendamó, Popayán, Sotará y Timbío, ubicados en un rango altitudinal de entre 1.600 y 1.980 m s. n. m. Las unidades taxonómicas sobre las cuales se encuentran ubicados los sitios corresponden principalmente a Typic Hapludands, Typic Melanudands y Typic Humudepts (tabla 2.1).

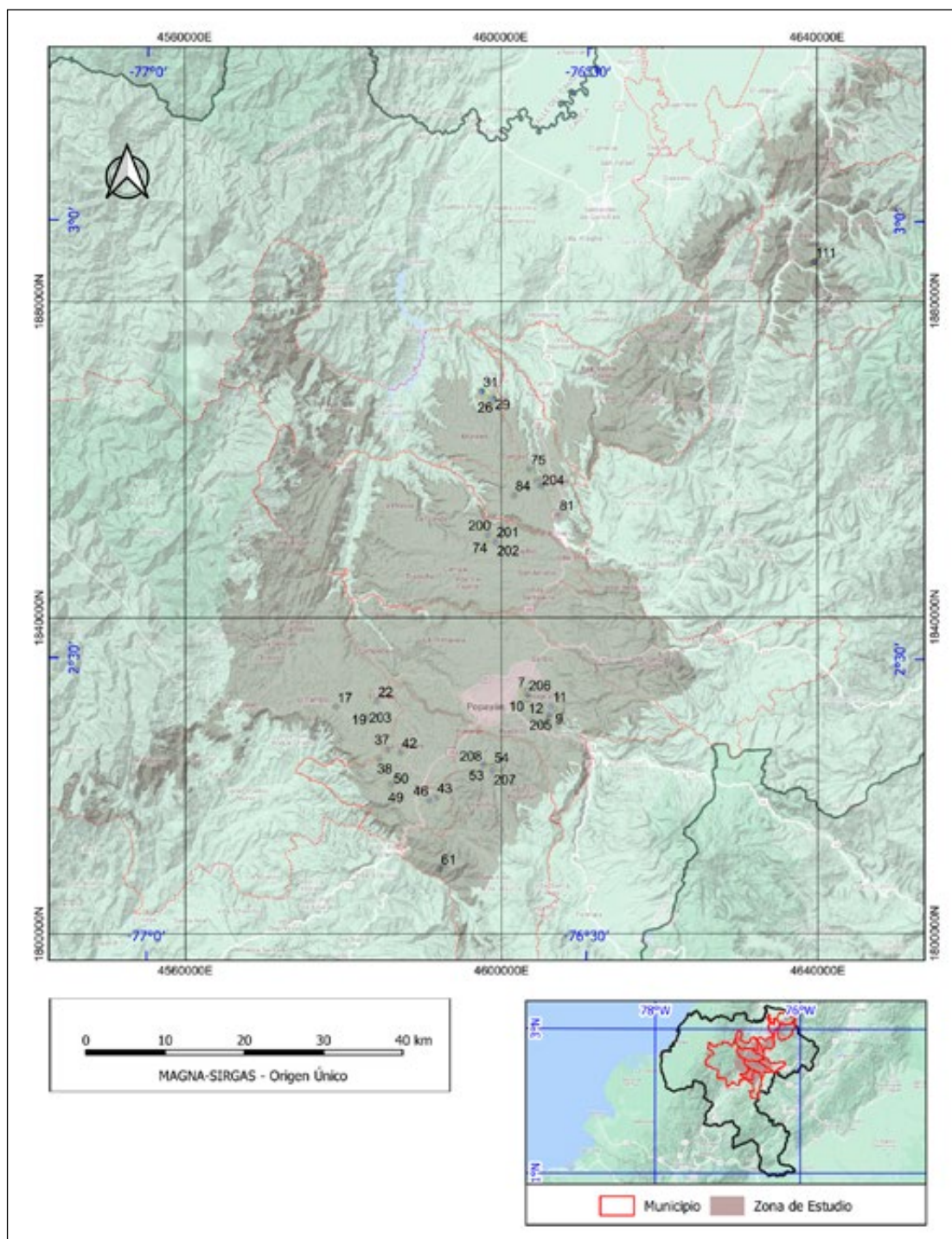
Tabla 2.1. Descripción de unidades de muestreo para analizar la fertilidad de suelos

Unidad cartográfica de suelos (UCS)	Perfil característico	Componente pedológico principal	N.º sitios muestreo	Ubicación sitios muestreo (m s. n. m.)
ACCi-M	FN-07	Typic Hapludands	8	1.600 – 1.800
AQEI-M	FN-12	Acrudoxic Melanudands	1	
ALLi-M	FN-02	Typic Hapludands	13	
LLLi-F	MC-209	Typic Hapludands	9	1.800 – 1.980
LLLi-M	FN-14	Acrudoxic Hapludands	1	
LLLm-F	SP-02	Typic Hapludands	1	
LVVd-M	SP-03	Melanudands Humudepts	1	

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar la fertilidad química se tomaron muestras compuestas a 20 cm de profundidad y se evaluó contenido de carbono, pH, aluminio intercambiable, fósforo, bases intercambiables, elementos menores y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (figura 2.2).

Figura 2.1. Distribución de sitios de muestreo en zonas de cultivo de aguacate Hass. Los números corresponden al código de las fincas en el proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2. Sitios de muestreo para determinar la fertilidad del suelo en áreas de producción de aguacate.



Fotos: Luis Carlos Grajales Guzmán

Para tomar las muestras disturbadas se elaboraron cajuelas de 50 cm x 50 cm x 50 cm y se emplearon cilindros a dos profundidades (0 cm – 15 cm; 15 cm – 30 cm). Con el material recolectado se analizaron las variables físicas relacionadas con el enraizamiento del cultivo y

el movimiento y almacenamiento de agua, como textura, densidad aparente y real, porosidad, conductividad hidráulica y coeficientes de humedad para estimar la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua aprovechable (AA) (figura 2.3).

Figura 2.3. Muestreo de suelos en campo y procesamiento de muestras en laboratorio. a. Ubicación de puntos de muestreo; b. Colecta de muestra con barreno; c. Descripción de características del suelo; d. Colecta de muestras en cajuelas; e. Toma de muestras inalteradas para estimación de variables físicas; f. Procesamiento de muestras en laboratorio para análisis químicos.



Fotos: Harold Rodríguez, Edinson Castillo, Luis Carlos Grajales y Diana Lucía Correa Moreno.

Asimismo, con el propósito de establecer la relación entre la fertilidad del suelo y la productividad del cultivo, se tomaron muestras de frutos en cada huerto para analizar el contenido de nutrientes y estimar la capacidad de extracción del cultivo en las condiciones de los suelos evaluados.

Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y análisis multivariado para identificar los grupos con características similares y variables indicadoras de la fertilidad del suelo.

Validación de requerimientos edafoclimáticos de aguacate Hass en zonas productoras

La validación de requerimientos del cultivo se realizó con el fin de establecer las características de suelos y clima de la región que se perciben como de mayor influencia en la productividad del cultivo de aguacate Hass, considerando aspectos técnicos y la experiencia en campo de los productores. Específicamente, se utilizó la metodología descrita por Ríos-Gallego et al. (2013) para determinar y cualificar los principales requerimientos del cultivo en las actividades que se describen a continuación.

Revisión bibliográfica para documentar los principales requerimientos del cultivo

Se consolidó información secundaria sobre fisiología, desarrollo del cultivo y requerimientos edafoclimáticos en diferentes zonas de producción de aguacate Hass en el mundo y en el contexto nacional.

Esta revisión permitió establecer el comportamiento de la especie y la variedad en las regiones de origen (Barrientos & López, 1998) el desarrollo en áreas de cultivo en zonas templadas y tropicales de acuerdo con los registros disponibles sobre los departamentos del Eje Cafetero, y la respuesta del cultivo a prácticas de manejo

como la fertilización y el riego con base en investigaciones realizadas en Colombia (Dorado-Guerra et al., 2017; Rebolledo & Dorado, 2017; Quiceno et al., 2019; Bernal-Estrada et al., 2020; Ramírez-Gil et al., 2023).

Consulta a productores y expertos para determinar los requerimientos del cultivo en la región

Se consultó mediante encuestas a productores, técnicos y expertos cuáles son las principales características de clima y suelos que influyen en la productividad del cultivo en las zonas productoras del departamento y el país para establecerlas mediante consenso y priorización en escala 1 a 9.

Se utilizó estadística descriptiva para hacer la categorización general de las variables y establecer los rangos de requerimientos del cultivo ajustados a las condiciones de las zonas productoras en el departamento del Cauca, de tal manera que se pudieran definir las áreas aptas para el cultivo en las condiciones locales.

Validación del consolidado de requerimientos edafoclimáticos del cultivo de aguacate Hass

Mediante un ejercicio participativo se validó la información obtenida sobre los requerimientos del cultivo de aguacate Hass (Corpoica, 2015) en los municipios de Timbío, Tambo, Sotaró, Cajibío, Piendamó y Morales. Esto se complementó con una actividad práctica con agricultores para reconocer las características del suelo que influyen en el desarrollo del cultivo (figura 2.4).

Figura 2.4. Validación de información de requerimientos biofísicos del cultivo mediante ejercicio participativo en municipios de ejecución del proyecto. a. Presentación de requerimientos biofísicos priorizados; b. Selección de variables y rangos óptimos; c. Ejercicio práctico para reconocer las propiedades del suelo; d. Estimación de textura al tacto; e. Identificación de rangos de pH y fertilidad en ejercicio teórico; f. Día de campo con grupo de productores de aguacate Hass.



Fotos: Lina Garavito, Luis Carlos Grajales Guzmán y Diana Lucía Correa Moreno.

Fertilidad de suelos en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca

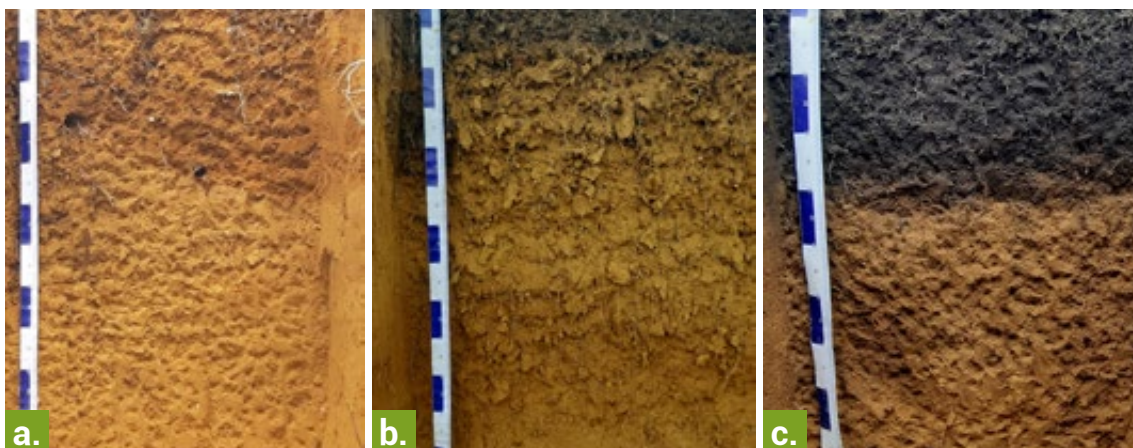
La fertilidad del suelo es el resultado de la interacción entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como de la influencia de prácticas de manejo que condicionan el ciclaje y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Además de considerar la capacidad del suelo para suministrar elementos esenciales, la fertilidad está relacionada con las condiciones necesarias para que las plantas se desarrollen de manera adecuada, como la humedad, profundidad efectiva, aireación, drenaje, contenido de materiales orgánicos y carbono, entre otros (Lemus et al., 2010). Por tal razón, es importante identificar y manejar los factores que pueden limitar o favorecer la nutrición y, por ende, la productividad y sostenibilidad de los cultivos.

En zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca, las características que determinan la fertilidad del suelo están influidas principalmente por el clima, el relieve y el material parental. Gran parte de los sitios analizados corresponden a suelos del orden Andisol, derivados de cenizas volcánicas predominantes en la región, las cuales confieren características particulares en cuanto a sus propiedades y determinan su potencial para las actividades productivas (figura 2.5).

Al respecto, algunos autores manifiestan que la presencia de materiales no cristalinos o cenizas volcánicas y humus en los andisoles genera propiedades químicas y físicas particulares, como predominio de carga variable, alta capacidad de retención de agua, alta retención de fosfatos, baja densidad aparente, alta friabilidad y formación de agregados de suelos estables (Dahlgren et al., 2004; Sánchez & Rubiano, 2015).

Figura 2.5. Aspecto de perfiles de suelos característicos en sistemas de producción de aguacate Hass distribuidos sobre unidades cartográficas predominantes en la zona. a. ACCi_M_Typic Hapludands (FN-07); b. ALLi_M_Typic Hapludands (FN-02); c. LLLi_M_Acrudoxic Hapludands (FN-14).



Fuente: Elaboración propia

En este apartado se describen algunas características de los principales suelos donde están las mayores áreas de producción de aguacate, pues estas pueden influir en el rendimiento, la calidad de la fruta y la productividad del cultivo en la región.

Fertilidad química

La fertilidad química es la capacidad que tiene el suelo de suministrar los nutrientes, en las cantidades requeridas y en las proporciones adecuadas, para permitir el crecimiento y la producción de los cultivos, sin que se presenten limitantes por disponibilidad o por exceso y toxicidad. Entre las propiedades químicas del suelo que tienen mayor influencia en la disponibilidad de los nutrientes, así como en la eficiencia del uso de fertilizantes y correctivos aplicados al suelo, se encuentran la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el pH, que determina el grado de acidez o alcalinidad del suelo.

En términos generales, en las zonas de cultivo se observan suelos con una tendencia a niveles de acidez que pueden ser limitantes

para el desarrollo de las plantas, dado que se afecta la disponibilidad de nutrientes indispensables para procesos como la floración y fructificación en aguacate Hass (figura 2.6). En las condiciones evaluadas, el pH se encuentra entre 4,9 y 5,8, fluctuando de muy fuertemente ácido a moderadamente ácido, rango que se encuentra por debajo del óptimo para el desarrollo de aguacate Hass (tabla 2.2).

En esta condición, los suelos presentan baja disponibilidad de bases intercambiables y, en consecuencia, se afecta la CIC, que determina la fertilidad actual del suelo (figura 2.6 y tabla 2.2). En este sentido, elementos como el calcio (Ca) favorecen el aumento del pH a medida que se incrementa su contenido en el suelo, bien sea por disponibilidad natural o por aplicación de enmiendas cálcicas aportadas en el cultivo, tal como indica la relación entre estas variables ($r = 0,35$; $p < 0,05$).

De esta forma, se encuentra que el contenido de bases como el Ca puede fluctuar entre 0,4 y 8,2 centimoles por kilogramo (cmol/kg), con un promedio de 2,1, que lo cataloga como bajo; el magnesio (Mg) fluctúa entre 0,19 y 2,0 cmol/kg, con un promedio de 0,6, considerado bajo para este elemento, y el potasio (K) fluctúa entre 0,1 y 0,9 cmol/mg, considerado entre muy bajo a alto en algunos sitios, y con un promedio de 0,3, siendo bajo para los suelos evaluados (tabla 2.2).

Tabla 2.2. Valores de las características químicas evaluadas en cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Variables químicas	Rango				Promedio	
pH	4,95	MFA	5,85	MdA	5,3	FA
Conductividad eléctrica (dS/m)	0,1	MB	0,95	B	0,32	B
Fósforo (P) (mg/kg)	1,29	MB	8,71	B	3,71	MB
CICE (cmol (+)/kg)	1,39	MB	11,07	M	4,18	MB
Calcio (Ca) (cmol (+)/kg)	0,48	B	8,29	A	2,15	B
Magnesio (Mg) (cmol (+)/kg)	0,19	MB	2,02	M	0,67	B

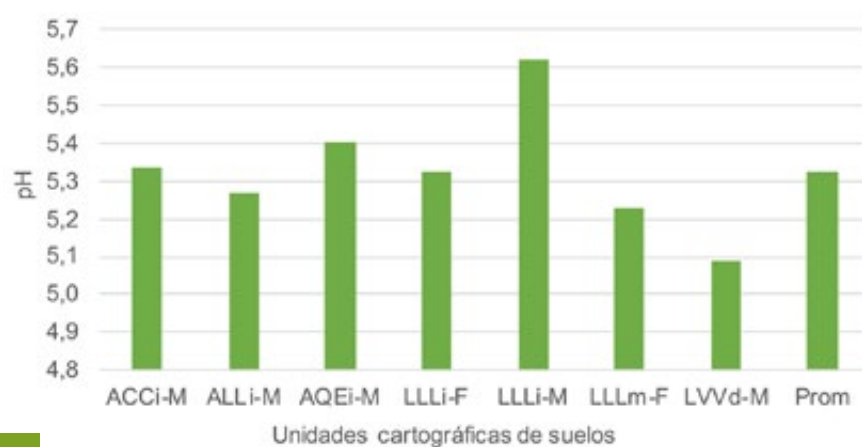
Variables químicas	Rango				Promedio	
Potasio (K) (cmol (+)/kg)	0,11	MB	0,96	A	0,38	MB
Azufre (S) (mg/kg)	2,06	B	28,79	A	12,02	M
Boro (B) (mg/kg)	0,01	MB	0,96	A	0,12	MB
Manganeso (Mn) (mg/kg)	1,13	B	17,01	A	6,31	M
Cobre (Cu) (mg/kg)	1	MB	4,35	A	2,46	M
Zinc (Z) (mg/kg)	1	MB	5,22	M	1,82	MB
Hierro (Fe) (mg/kg)	76,38	M	241,68	A	116,6	A
Materia orgánica (g/100g)	4,36	B	23,1	A	14,14	A
Carbono total (g/100g)	2,56	M	16,61	MA	10,13	MA
Carbono orgánico (g/100g)	2,53	---	13,4	---	8,07	---
Nitrógeno total (g/100g)	0,22	---	1,22	---	0,63	---
Relación C : N	9,56	---	28,33	---	13,33	---

CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva; MFA: Muy fuertemente ácido; MdA: Moderadamente ácido; FA: Fuertemente ácido; MB: Muy bajo; B: Bajo; M: Medio; A: Alto; MA: Muy alto

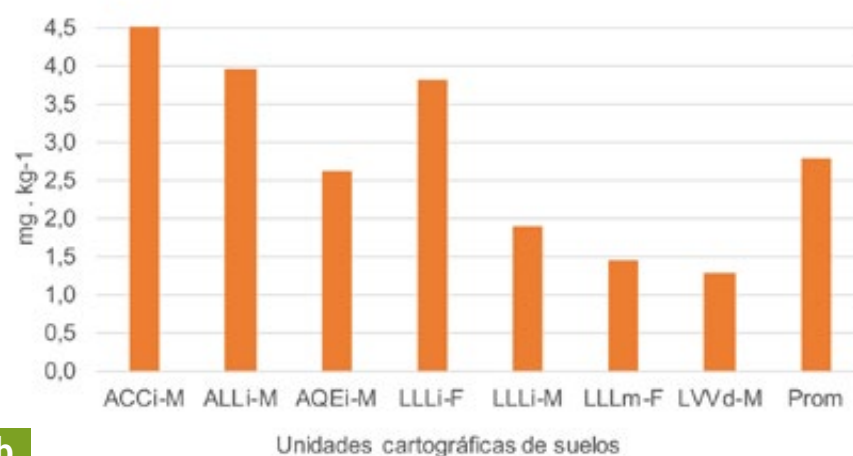
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1995).

En cuanto a las unidades de suelos predominantes, se observa un comportamiento $Ca > Mg > K$, lo cual puede atribuirse a una disminución de la acidez intercambiable por actividades como el encalado en el cultivo. Asimismo, se presentan ligeramente mayores contenidos de cationes intercambiables como Mg y K en la unidad LLLi-F, respecto al contenido en las unidades ubicadas en altiplanicie (ACCi-M y ALLi-M) (figura 2.6). En contraste, en la unidad LVVd-M se presentaron contenidos bajos de bases intercambiables y micronutrientes como boro (B) y zinc (Zn) relacionados con el bajo pH (5,0, muy fuertemente ácido). Sin embargo, aunque se ajustan a la generalidad de la zona, estos resultados no resultan concluyentes respecto a condiciones particulares de las unidades de suelos en condiciones de lomerío, por comprender un número muy bajo de cultivos para evaluación (figura 2.6).

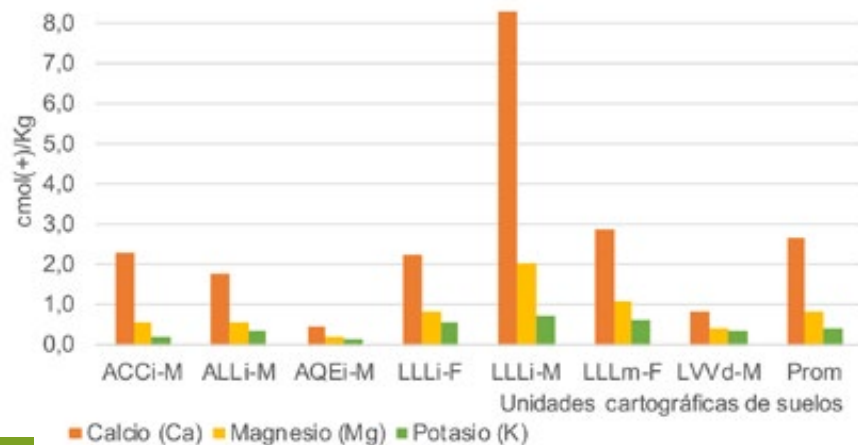
Figura 2.6. Comportamiento de las variables químicas en las unidades de suelos con cultivos de aguacate Hass que fueron evaluadas. a. Nivel de PH; b. Contenido de fósforo; c. Contenido de bases intercambiables; d. Contenido de micronutrientes.



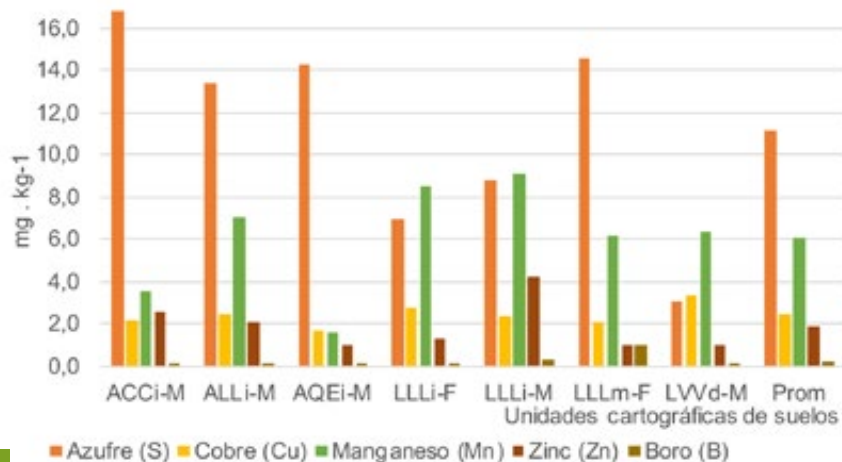
a.



b.



c.



d.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con este comportamiento, se considera que existe alta respuesta por parte de los suelos de la región a la aplicación de enmiendas para mejorar el pH y la fertilidad, lo cual debe considerarse en los planes de manejo del suelo con miras a aumentar la productividad del cultivo de aguacate Hass. Esto se atribuye, además, a la alta correlación ($p < 0,05$) que se presenta entre la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), con bases

intercambiables como Ca ($r = 0,90$), Mg ($r = 0,90$) y K ($r = 0,56$), las cuales se presentan en contenidos bajos en la región, y en consecuencia reflejan poca fertilidad de los suelos sobre los cuales se encuentran los cultivos de aguacate Hass (figura 2.7).

Como factor crítico para el cultivo y otras actividades agropecuarias en la zona se reportan los rangos para fósforo (P). Los valores estimados están por encima de $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, catalogados como bajos, dada la alta retención de P que se presenta en suelos derivados de cenizas volcánicas, y un grado de acidez que limita su disponibilidad para las plantas, en razón de su abundante contenido de aluminio y hierro activo (tabla 2.2 y figura 2.6).

De acuerdo con la posición de las unidades cartográficas, se observan menores contenidos de P, que fluctúa entre 1,2 y $1,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ para las posiciones de lomerío, respecto a las ubicadas en altiplanicie, en donde fluctúa entre 2,6 y $4,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, considerado aún muy bajo para ambas situaciones (figura 2.6).

De acuerdo con las características químicas encontradas, se identificaron siete grupos de fincas con propiedades similares, los cuales permitieron definir zonas diferenciales de aptitud química y recomendaciones de manejo.

En los suelos con cultivos de aguacate Hass es evidente el predominio del azufre (S) respecto a boro (B), zinc (Zn), manganeso (Mn) y cobre (Cu), mientras que los valores de hierro (Fe) se encuentran en rangos considerados muy altos, lo cual se atribuye a los complejos de hierro que se forman

con un pH ácido. Para las condiciones evaluadas, se confirma esta tendencia dada la correlación ($p < 0,05$) entre el pH y las variables Fe ($r = -0,49$) y Mn ($r = -0,41$), elementos que aumentan su disponibilidad en el suelo a pH bajo.

Dependiendo del material de origen, el contenido y la disponibilidad de microelementos en la región sigue la relación $S > Mn > Cu > Zn > B$, con valores desde muy bajos a medios. El S fluctúa entre 2,0 y $28,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, considerado entre bajo a alto, con un

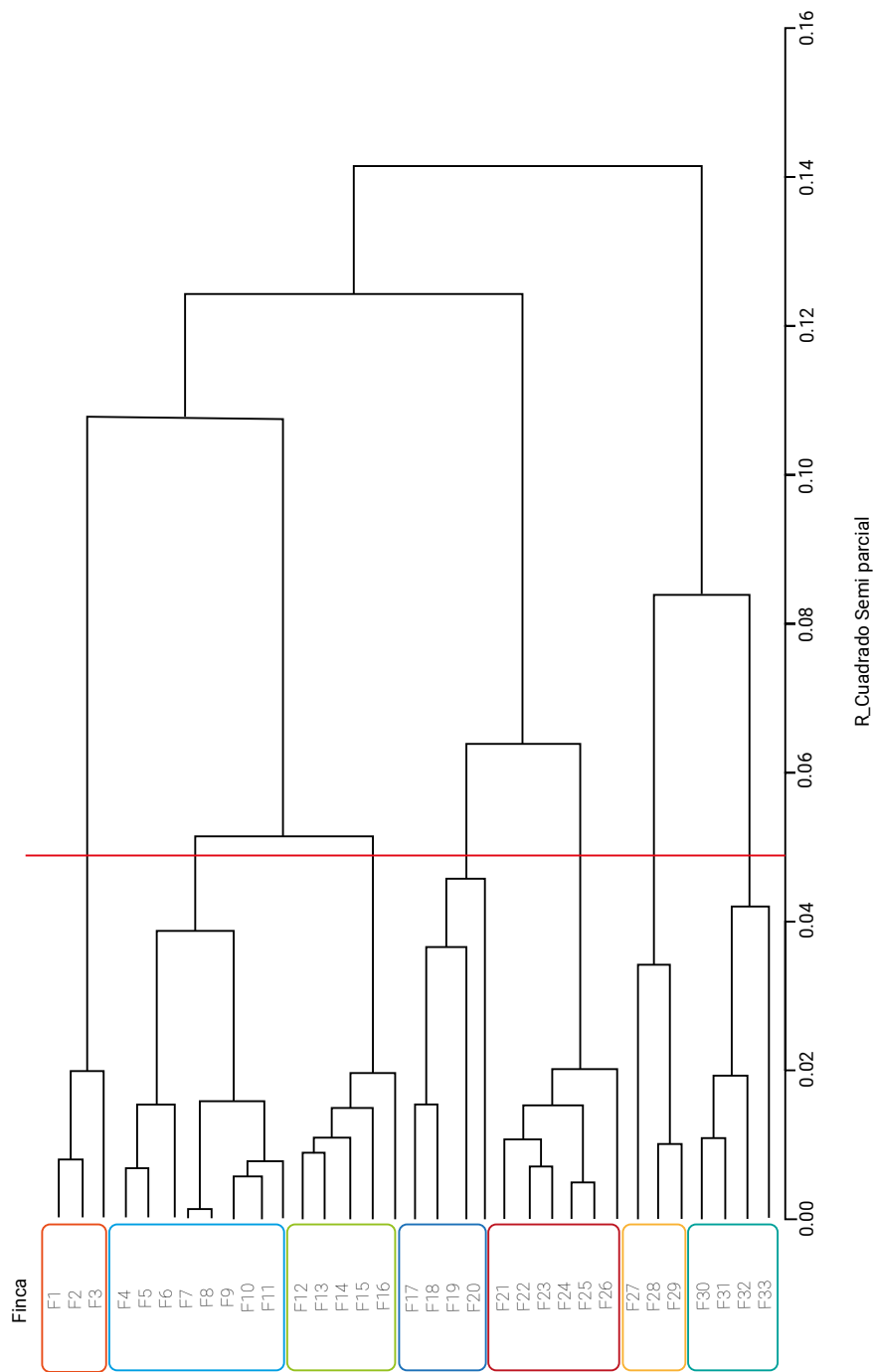
promedio de 12,0, que se clasifica como medio para suelos de la zona; el B y el Zn alcanzan contenidos muy bajos, con promedios de 0,1 y 1,8 mg.kg⁻¹, respectivamente, mientras que los valores de Mn y Cu se encuentran en contenidos medios, con valores de 6,3 y 2,4 mg . kg⁻¹, respectivamente (figura 2.6 y tabla 2.2).

De acuerdo con estas características químicas, se identificaron siete grupos de fincas con propiedades similares, los cuales permitieron definir zonas diferenciales de aptitud química y recomendaciones de manejo (figura 2.7). Específicamente, las variables que determinan la diferenciación de los sitios son las bases intercambiables y los microelementos, pues estos aspectos pueden ser críticos para la fertilidad actual si entre las prácticas de cultivo no se procura el mejoramiento de la acidez, representada en pH bajos y asociada a factores de formación del suelo, como el material parental, y a complejos de aluminio y materia orgánica que favorecen esa tendencia a la acidez (figuras 2.7 y 2.8).

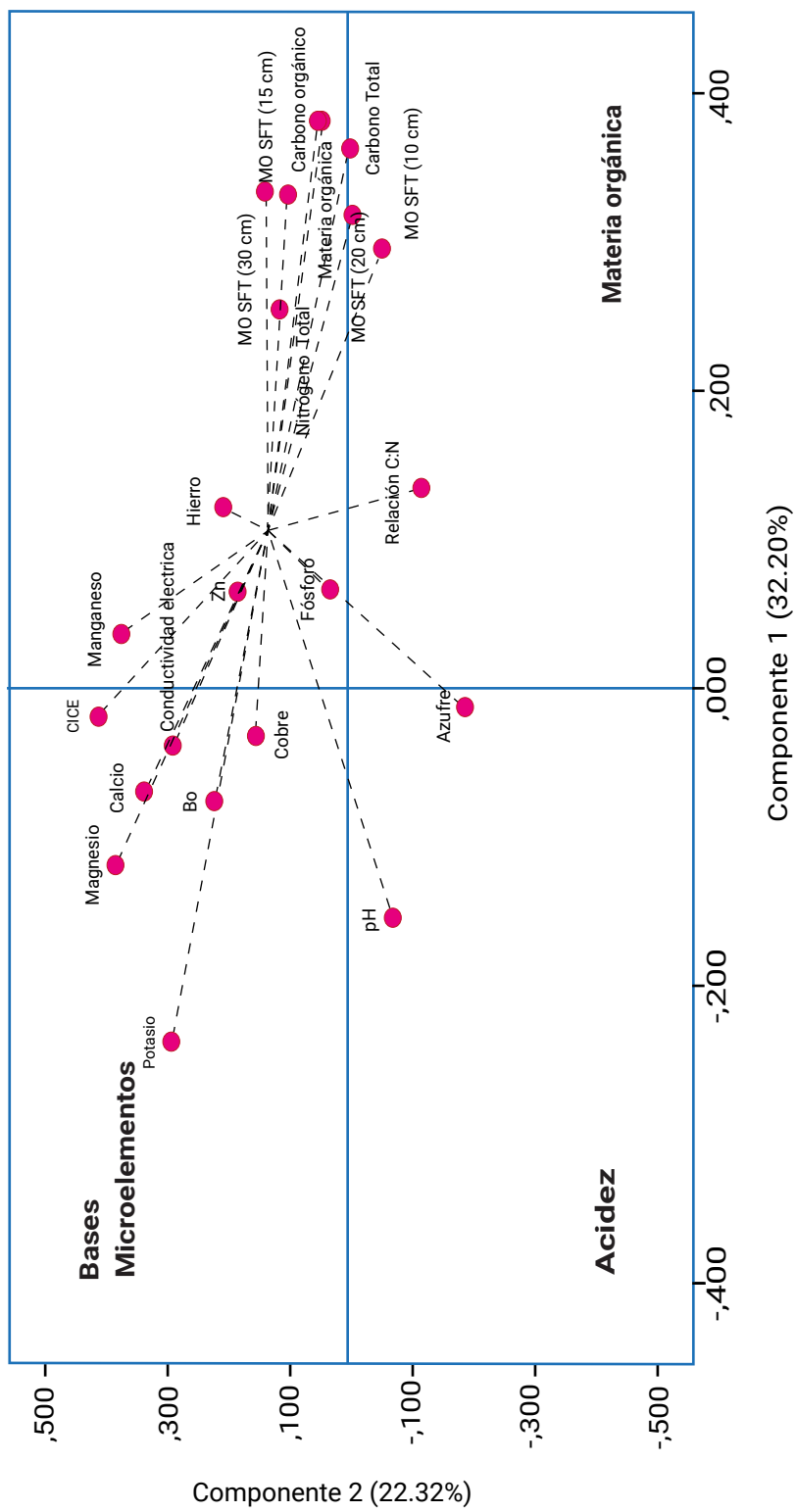


Figura 2.7. Análisis clúster para diferenciar los sitios evaluados según las variables químicas. a. Dendograma de grupos de cultivos con características similares; b. Componentes principales de variables que diferencian grupos.

a.



b.



Fuente: Elaboración propia.

Fertilidad biológica

La fertilidad biológica hace referencia al conjunto de características o propiedades del suelo que resultan de la actividad de macro- y microorganismos, la cual favorece la disponibilidad de nutrientes y el ambiente físico para que las plantas se desarrollen. Específicamente, la mineralización de la materia orgánica (MO), que constituye el principal proceso bioquímico que ocurre en el suelo, consiste en que la actividad de los organismos presentes en el suelo libera los nutrientes que están contenidos en los materiales orgánicos depositados en el terreno. Por lo tanto, el contenido de MO y C en el suelo constituyen los principales indicadores de esta fertilidad.

En las condiciones evaluadas, los contenidos de (MO) y C del suelo presentan comportamiento característico de suelos de montaña derivados de cenizas volcánicas, en los cuales el clima y el material parental determinan la acumulación y la mineralización de MO en el suelo.

De acuerdo con esto, se observó que la fracción orgánica tiene contenidos que fluctúan entre 4,3 % y 23,1 %, con un promedio de 14,1 %, considerado alto para condiciones de clima frío. Este comportamiento se refleja además en el nivel de carbono total (CT), que alcanza valores promedios de 10,1 %, catalogado como muy alto, mientras que el carbono orgánico (CO) que se concentra en el suelo representa el 80 % de la fracción orgánica, con valores promedio de 8 % (tabla 2.3).

Por su parte, el contenido de CO en las diferentes unidades de suelos se considera alto. El valor más alto se registra en la unidad LVVd-M (10 %), seguido de las unidades de mayor cobertura ACCi-M (8,7 %) y ALLi-M (8,8 %). Asimismo, el nitrógeno total (NT), con un promedio de



0,63 %, fluctúa entre 0,2 % y 1,2 %, presentándose mayor disponibilidad en la unidad LVVd-M (0,86 %), seguida de la unidad AQEi-M (0,83 %), mientras que la unidad de suelos con menor disponibilidad de NT corresponde a LLLm-F (0,53 %) (figura 2.8).

Tabla 2.3. Valores de materia orgánica, carbono y nitrógeno evaluados en cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Variables	Rango				Promedio	
Materia orgánica	4,4 %	M	23,1 %	A	14,1 %	A
Carbono total	2,6 %	M	16,6 %	MA	10,1 %	MA
Carbono orgánico	2,5 %	M	13,4 %	MA	8,1 %	A
Nitrógeno total	0,2 %	M	1,2 %	MA	0,6 %	MA
Relación C : N	9,6 %	A	28,3 %	MA	13,3 %	A

B: bajo; M: medio; A: alto; MA: muy alto.

Fuente: IGAV (1995).

La relación carbono/nitrógeno (C / N), indicadora de la tasa de mineralización de la MO, permite estimar que en gran parte de los suelos evaluados se presenta una tasa que se sitúa en el rango 8,5 % – 11,5 %, estimado alto para un suelo cuando hay una compensación entre el N liberado al suelo y su contenido de carbono. Valores por encima de este rango indican que existe una acumulación de carbono como fuente energética que no ha sido asimilada por los microorganismos por su baja actividad y que, en consecuencia, hay poco nitrógeno disponible en el suelo en formas asimilables por la planta; en este rango se encuentran las unidades de suelos ACCi-M (15,1 %) y ALLi-M (15,6 %) (figura 2.8).

Figura 2.8. Comportamiento de variables orgánicas en unidades de suelos evaluadas en cultivos de aguacate Hass. a. Contenido de materia orgánica; b. Distribución de contenidos de carbono y nitrógeno; c. Relación carbono / nitrógeno.



Fuente: Elaboración propia.

Algunos autores reportan que la tasa de acumulación y mineralización de MO en suelos de origen volcánico como los encontrados depende también de la disponibilidad de compuestos de minerales amorfos (Sadeghian, 2007; Sánchez & Rubiano, 2015). Estos materiales, mediante complejos con aluminio, estabilizan la MO y la protegen de la acción microbiana, razón por la cual se encuentran altos contenidos en el suelo. Se debe tener en cuenta que la formación masiva de complejos órgano-minerales amorfos es independiente de la vegetación y está regida exclusivamente por el clima y el material mineral.

Como un efecto directo de la actividad microbiana en el suelo, los contenidos de MO presentan correlación positiva entre el CO (0,98 %), CT (0,88 %) y el NT ($r = 0,64$), que aumentan sus contenidos a partir de aportes orgánicos y procesos de mineralización con influencia directa del clima predominante. Por el contrario, el K presentó correlación inversa con la MO ($r = -0,38$).

Sin embargo, Jaramillo (1999) manifiesta que los altos contenidos de MO en suelos derivados de cenizas volcánicas no garantizan un suministro adecuado de los nutrimentos almacenados, debido a que su mineralización es supremamente lenta y la mayor parte de ella se encuentra como MO fresca o muy poco alterada.

Las variables de tipo orgánico en las diferentes profundidades evaluadas hacen una contribución importante para la agrupación de fincas con características similares (figura 2.7). Además, estas variables se diferencian claramente de aquellas asociadas a la fertilidad química del suelo, como los macro- y micronutrientes disponibles, y de variables relacionadas con la acidez característica de estos suelos.

Fertilidad física

La fertilidad física está relacionada con las propiedades del suelo que proporcionan un ambiente propicio para el soporte y la nutrición de las plantas. Estas propiedades favorecen la oxigenación y aireación del suelo, el movimiento y acumulación de agua, la disponibilidad y movilidad de nutrientes, y el desarrollo y anclaje de raíces.

Entre estas propiedades se encuentra la textura o proporción de partículas, la estructura, la densidad, la porosidad, la conductividad hidráulica y la retención de humedad. En conjunto, se debe buscar que estas características tengan una proporcionalidad adecuada en el suelo, para garantizar que se realicen procesos químicos y biológicos que influyen en la nutrición y el desarrollo de cultivos como el aguacate Hass.

A partir de la caracterización física se estableció que, en general, en la zona de estudio existen factores que condicionan la acumulación de humedad y el movimiento de agua en el suelo, así como la susceptibilidad del suelo a sufrir procesos de degradación como la erosión.

En estas condiciones, la fracción mineral predominante corresponde a las arenas, seguida de la fracción limo y arcillas, siguiendo la tendencia arena (A) (57 %) > Limo (L) (34,1 %) > arcilla (Ar) (8,8 %). Las arenas fluctúan entre 47 % y 64,7 %, de 0 cm a 15 cm, y entre 45,6 % y 71,8 %, de 15 cm a 30 cm. La fracción limo alcanza valores entre 27,6 % y 42,8 %, de 0 cm a 15 cm, y entre 21,5 % y 43,8 %, de 15 cm a 30 cm. Valores menores de la fracción arcilla en estos suelos fluctúan entre 5,8 % y 16,9 %, de 0 cm a 15 cm, y entre 4,9 % y 14,7 %, de 15 cm a 30 cm. Para las fracciones limo y arcilla se observa en promedio un contenido ligeramente mayor en los primeros 15 cm superficiales (tabla 2.4).

La proporción de partículas se asocia a las clases texturales franco (F) y franco arenosa (FA), de amplia distribución en la zona de

estudio, lo cual confiere características particulares a los suelos asociados (figura 2.9 y tabla 2.4).

Tabla 2.4. Características físicas evaluadas en cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Variables físicas		Profundidad 0 cm - 15 cm			Profundidad 15 cm - 30 cm		
		Rango		Promedio	Rango		Promedio
Arena	%	47,0	64,7	55,8	45,6	71,8	58,3
Arcilla	%	5,8	16,9	9,6	4,9	14,7	8,1
Limo	%	27,6	42,8	34,6	21,5	43,8	33,6
Densidad aparente	(g/cm ³)	0,5	1,0	0,7	0,5	1,0	0,7
Densidad real	(g/cm ³)	1,9	2,3	2,1	2,0	2,4	2,2
Retención humedad (0,3 bar)	%	42,4	56,2	49,8	45,7	57,2	50,8
Retención humedad (15,0 bar)	%	37,1	53,1	45,4	42,0	53,9	46,9
Agua aprovechable	%	5,3	3,1	4,4	3,6	3,3	3,8
Conductividad hidráulica	(cm/h)	0,3	33,5	10,6	0,5	25,1	8,4
Macroporos	%	18,4	33,6	24,8	13,7	34,8	24,8
Mesoporos	%	3,1	7,0	4,4	2,8	4,9	3,8
Microporos	%	37,1	53,1	45,4	42,0	53,9	46,9
Porosidad total	%	69,4	79,0	74,7	70,5	81,2	75,6

Fuente: Elaboración propia.

Como rasgo característico de suelos del orden Andisol, las áreas de cultivo presentan densidad real (D_r) por debajo de 2,4 g/cm³, fluctuando entre 1,9 y 2,3 g/cm³, en profundidad de 0 cm a 15 cm, y entre 2,0 y 2,4 g/cm³, en profundidad de 15 cm a 30 cm. Asimismo, el comportamiento de la densidad aparente (D_a) obedece a un rasgo típico de esta clase de suelos, con valores que fluctúan entre 0,5 y 1 g/cm³ en ambas profundidades de evaluación.

Como indicadores de procesos de degradación del suelo, los valores observados reflejan la fragilidad y susceptibilidad que pueden presentar estos suelos a procesos de degradación por adensamiento,

compactación y erosión si no se aplican medidas de conservación para el desarrollo de actividades agropecuarias.

En este sentido, reconocer las características intrínsecas de cada tipo de suelo permite detectar alteraciones que pueden conducir a su degradación. Específicamente, en el grupo de suelos evaluados, los menores valores para D_a y D_r en la profundidad de 0 cm a 15 cm se presentan en las unidades AQEi-M (0,50 y 1,94 g/cm³, respectivamente) y LLLm-F (0,60 y 1,91 g/cm³), mientras que los mayores valores se encontraron en las unidades LLLi-F (0,71 y 2,12 g/cm³) y ALLi-M (0,70 y 2,15 g/cm³). En términos generales,

Reconocer las características intrínsecas de cada tipo de suelo permite detectar alteraciones que pueden conducir a su degradación.

en la profundidad de 0 cm a 30 cm fluctúan valores para D_a entre 0,60 y 0,73 g/cm³, y para D_r entre 2,14 y 2,19 g/cm³ (figura 2.9), encontrando los mayores valores para las unidades de suelos LLLm-F y ACCi-M.

Estas propiedades, además, determinan el volumen y la distribución del espacio poroso, el cual fluctúa entre 74,2 % y 75,8 % en promedio para cada profundidad. La distribución de poros sigue la relación microporos (46,5 %) > macroporos (25,1 %) > mesoporos (4,4 %), lo cual condiciona procesos de oxigenación, y acumulación y movimiento de agua en el suelo, dada la predominancia de microporos en estos suelos (tabla 2.4).

La unidad de suelos con mayor porosidad total entre 0 cm y 30 cm corresponde a AQEi-M (79 %) como consecuencia de la D_a baja encontrada en estas condiciones. Por el contrario, sin considerarse limitante para las plantas, la menor porosidad se registra en la unidad LVVd-M (69 %) (figura 2.9).

En relación con la clase textural, los suelos evaluados presentan alta retención de humedad: a capacidad de campo (CC) (0,3 bar) se encontró un rango de entre 42,3 % y 57,2 %, mientras que para punto de marchitez permanente (PMP) (0,15 bar) fluctúa entre

37 % y 53,9 %. Para ambas condiciones de humedad es mayor en la profundidad de 15 cm a 30 cm (tabla 2.4).

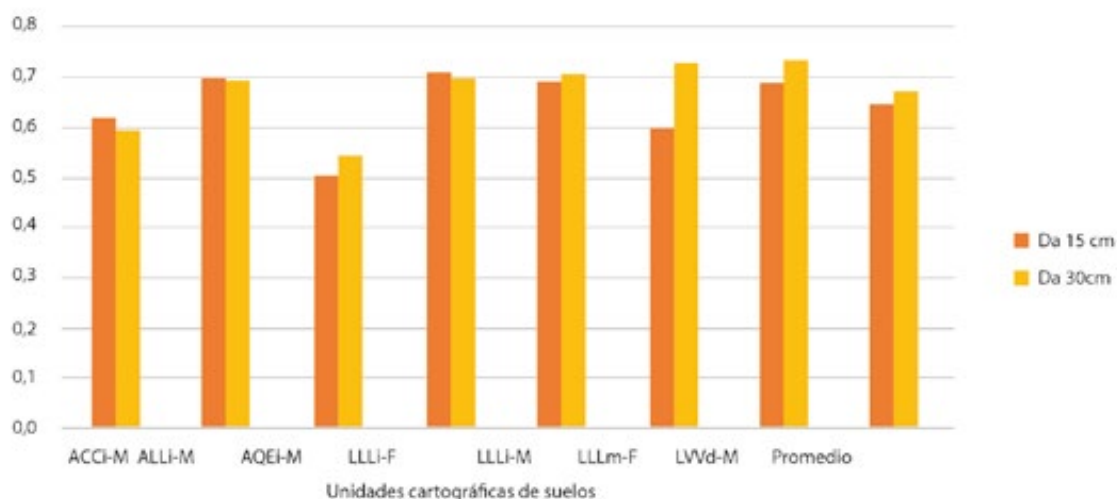
De acuerdo con la diferencia en estas dos condiciones de humedad, se hallaron bajos porcentajes de agua aprovechable (AA), que en promedio no superan el 5 %, y que en consecuencia constituye una limitante para la disponibilidad de agua para los cultivos en la región (tabla 2.4). Se observan valores ligeramente mayores en los primeros 15 cm (4,51 %), a diferencia de la profundidad de 15 cm a 30 cm, con un promedio de 3,91 %, lo cual permite inferir el papel que tiene la MO en la retención de humedad y la disponibilidad de agua para las plantas en la capa superficial del suelo.

En este sentido, la porosidad cumple una función importante, pues aunque se encuentra en un rango de entre 69,4 % y 81,2 %, permitiría que el agua pueda moverse fácilmente a través del drenaje natural. Sin embargo, la distribución de la porosidad indica que gran parte es retenida en los microporos, en los cuales no queda agua fácilmente disponible para que las raíces de la planta la tomen (figura 2.9 y tabla 2.4).

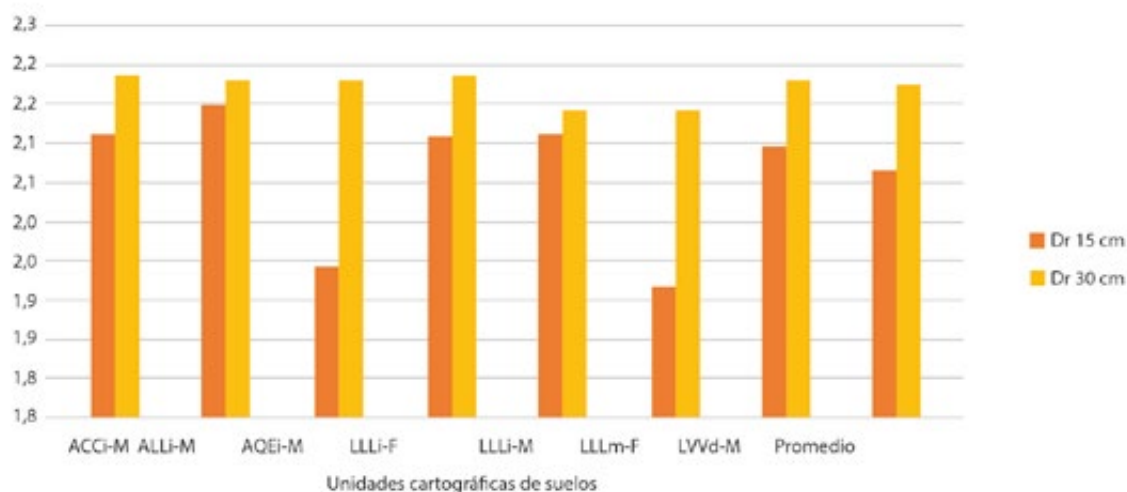
Las unidades de suelo que presentan mayor porcentaje de agua aprovechable corresponden a LLLm-F y LLLi-M para profundidades de 0 cm a 15 cm y 15 cm a 30 cm, respectivamente. Mientras que los suelos sobre la unidad LVVd-M y AQEi-M tienen bajos porcentajes de agua aprovechable en ambos estratos evaluados. Sin embargo, se encontró que las unidades de mayor distribución en zonas productoras (ACCi-M y ALLi-M) evidencian porcentajes en promedio de 4,58 % y 3,82 % para las dos profundidades, lo cual ratifica la necesidad de implementar estrategias a largo plazo para favorecer los procesos de acumulación y disponibilidad de agua para los cultivos.

La conductividad hidráulica, que indica el movimiento de agua a través del perfil del suelo, se categoriza entre moderadamente alta a alta, en relación con el tipo de textura predominante, situación que se considera positiva en términos de drenaje del suelo.

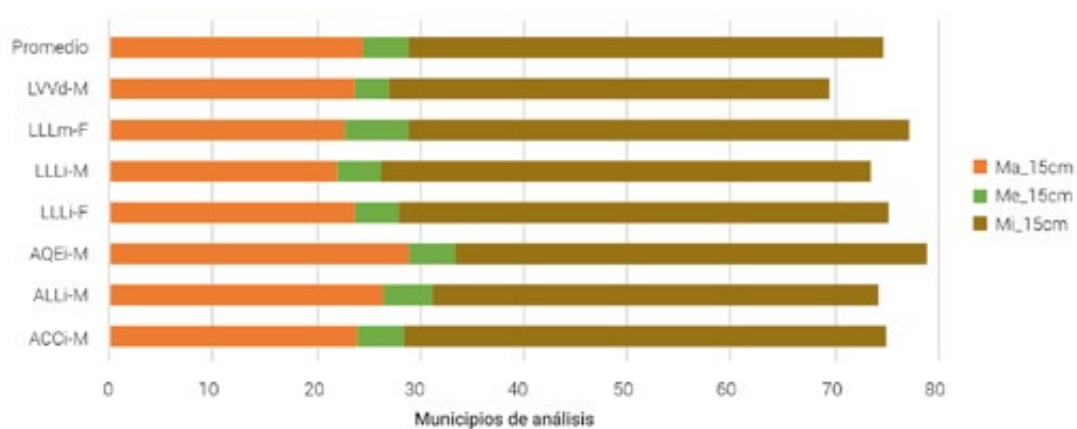
Figura 2.9. Comportamiento de variables físicas en unidades de suelos evaluadas en cultivos de aguacate Hass. a. Densidad aparente; b. Densidad real; c y d. Distribución de poros; e y f. coeficientes de humedad.



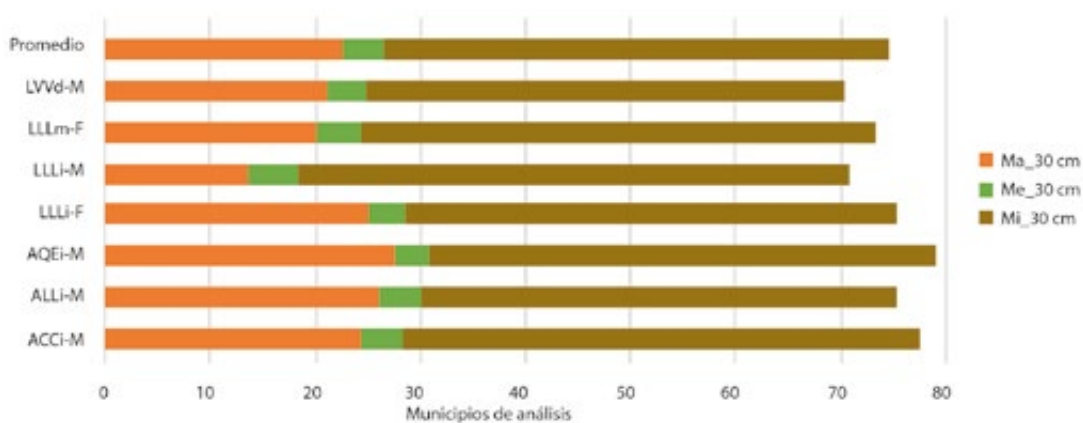
a.



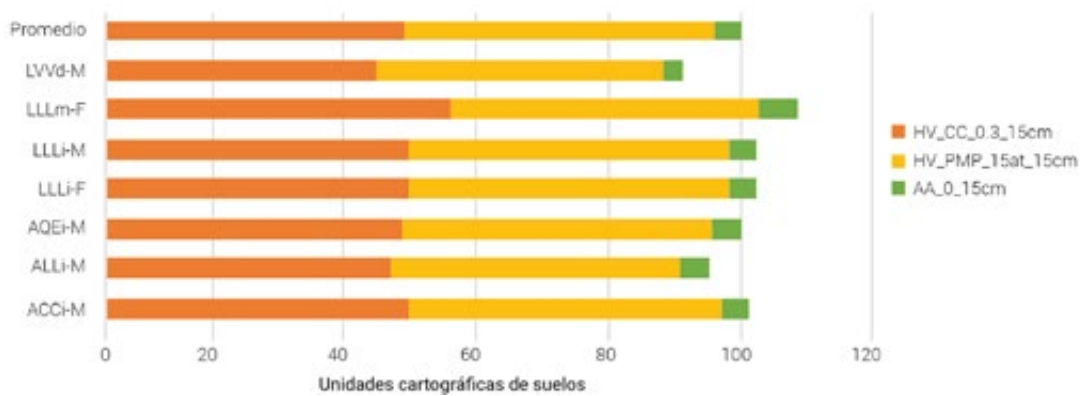
b.



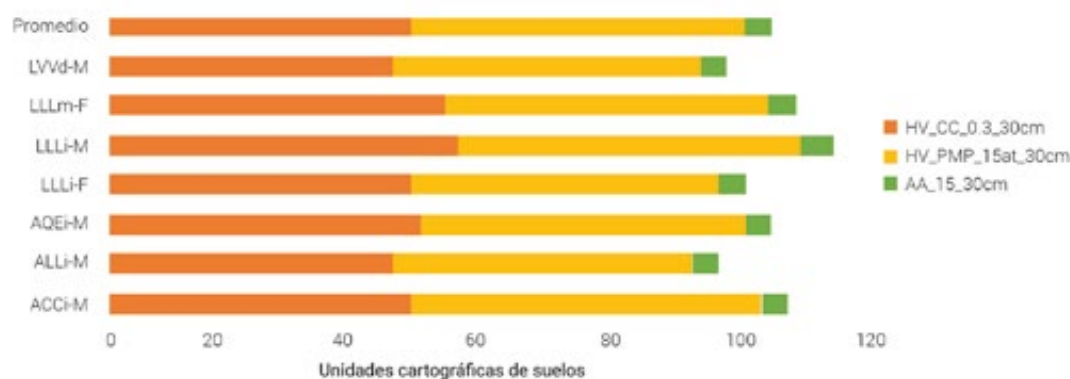
c.



d.



e.



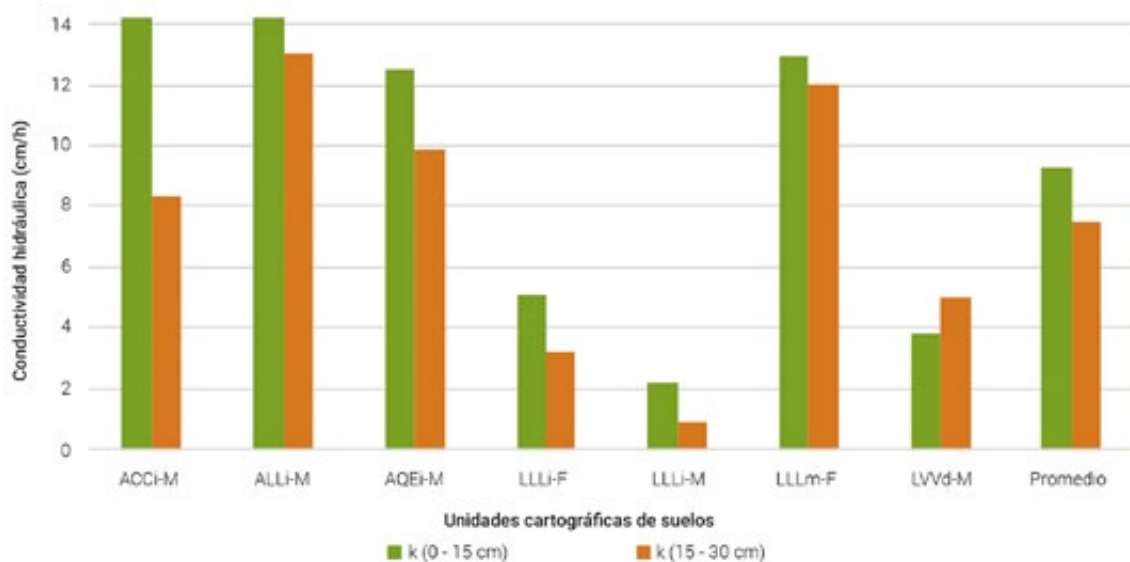
f.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, la alta tasa de movimiento en el perfil del suelo disminuye la capacidad de retención de humedad en periodos prolongados, lo cual constituye una condición limitante en periodos de déficit o baja precipitación en la zona (tabla 2.4).

Aunque valores por encima de 3,6 cm/h son considerados altos, los mayores rangos en esta categoría en ambas profundidades se presentan para la unidad ALLi-M (14,21 y 13,0 cm/h). Esta condición se encontró también para la unidad ACCi-M en los primeros 15 cm (14,18 cm/h), lo cual permite afirmar que gran parte del territorio tiene una marcada tendencia a drenar rápidamente el agua que puede llegar por precipitación o riego complementario y, en consecuencia, disminuir la cantidad de agua y nutrientes que se pueden acumular en el perfil del suelo (figura 2.10).

Figura 2.10. Comportamiento de la conductividad hidráulica (k) en unidades de suelos en cultivos de aguacate Hass.

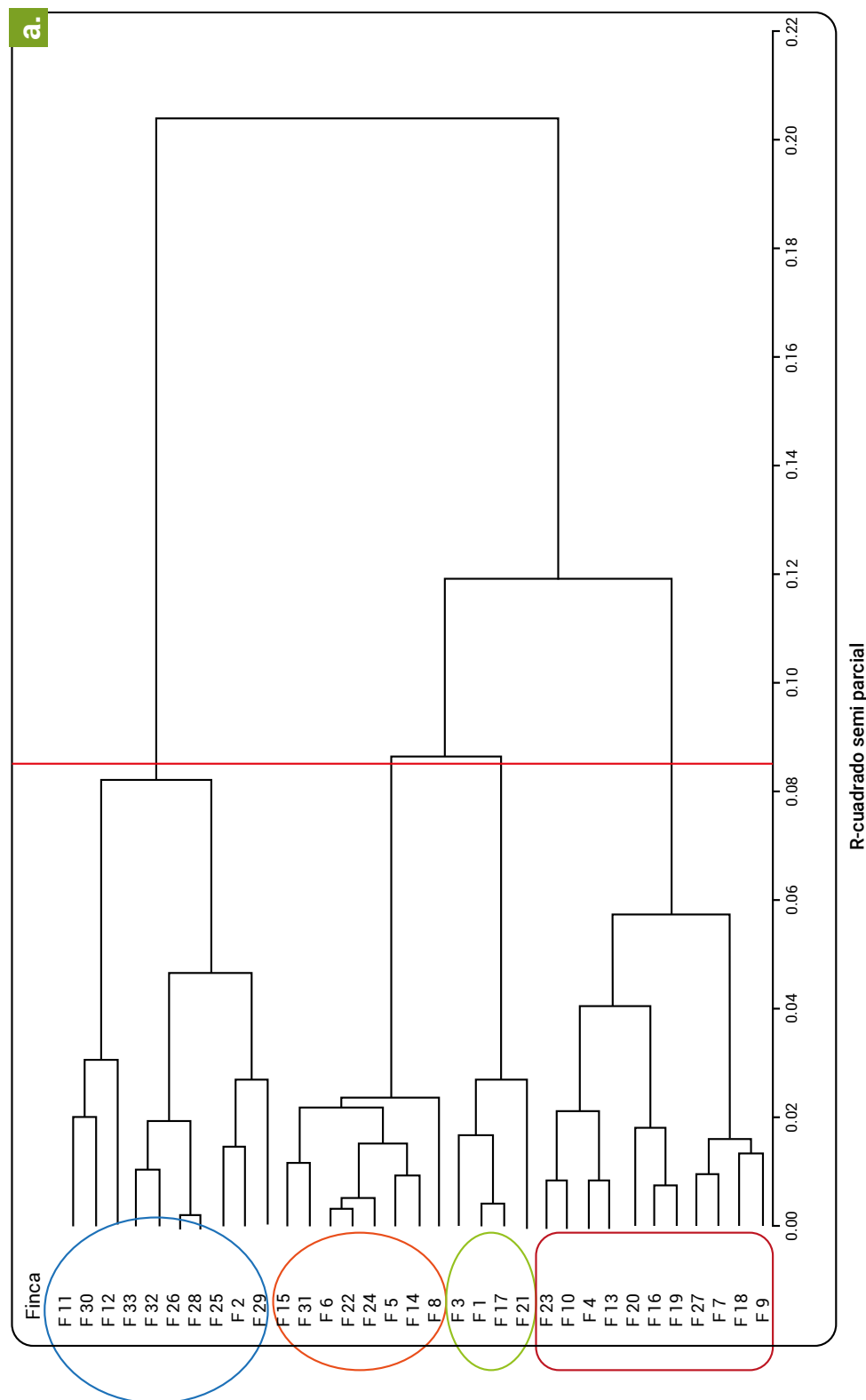


Fuente: Elaboración propia.

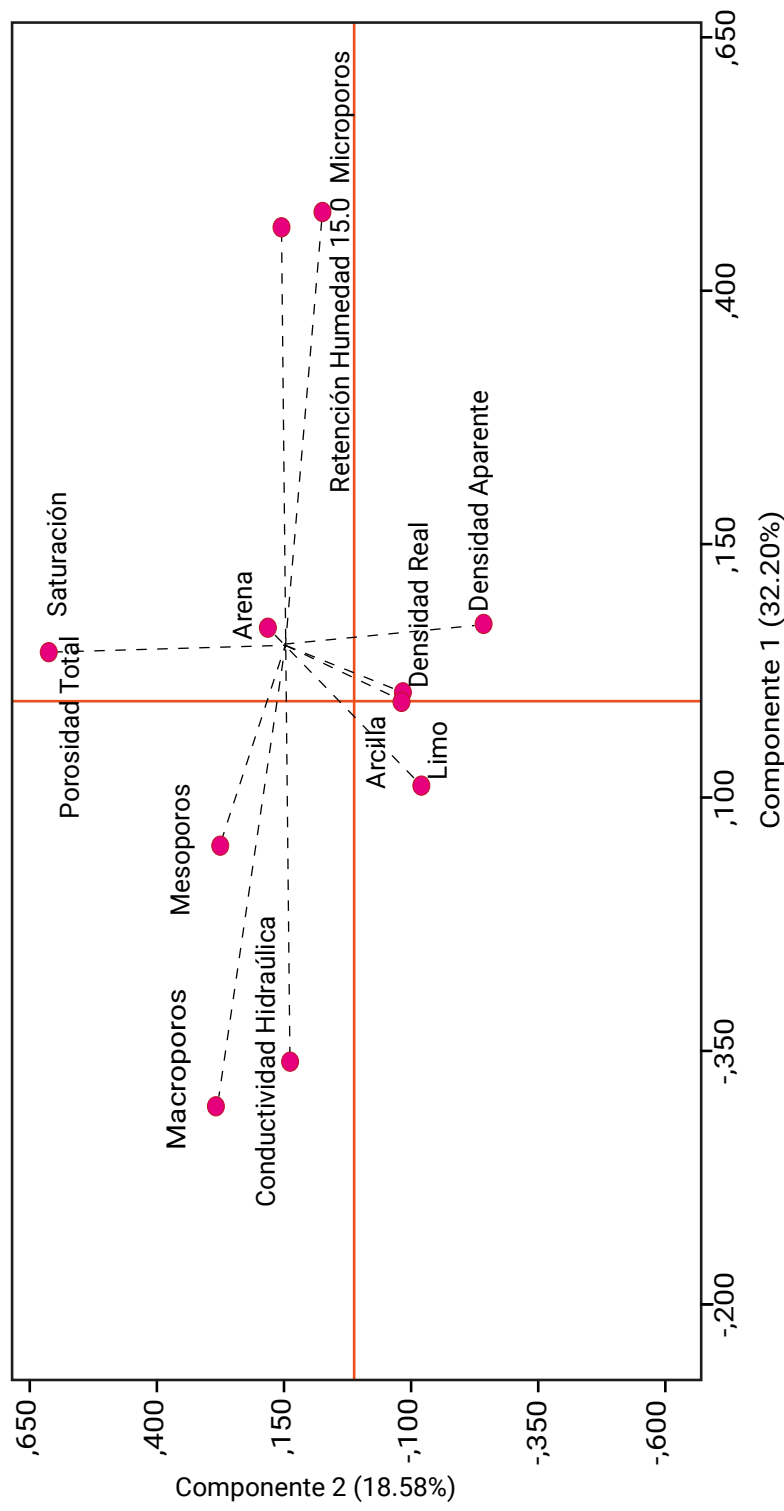
En estas condiciones, la conductividad hidráulica es influida por el grado de adensamiento o volumen poroso disponible según la relación con la $\Delta\alpha$ ($r = -0,36$). Mientras que, en relación con la disponibilidad de humedad del suelo, tanto a CC como a PMP, variables como la conductividad hidráulica ($r = -0,56$), macroporos ($r = -0,75$) y microporos ($r = 0,96$) influyen en la capacidad de retención de humedad en el suelo en las condiciones encontradas en la zona.

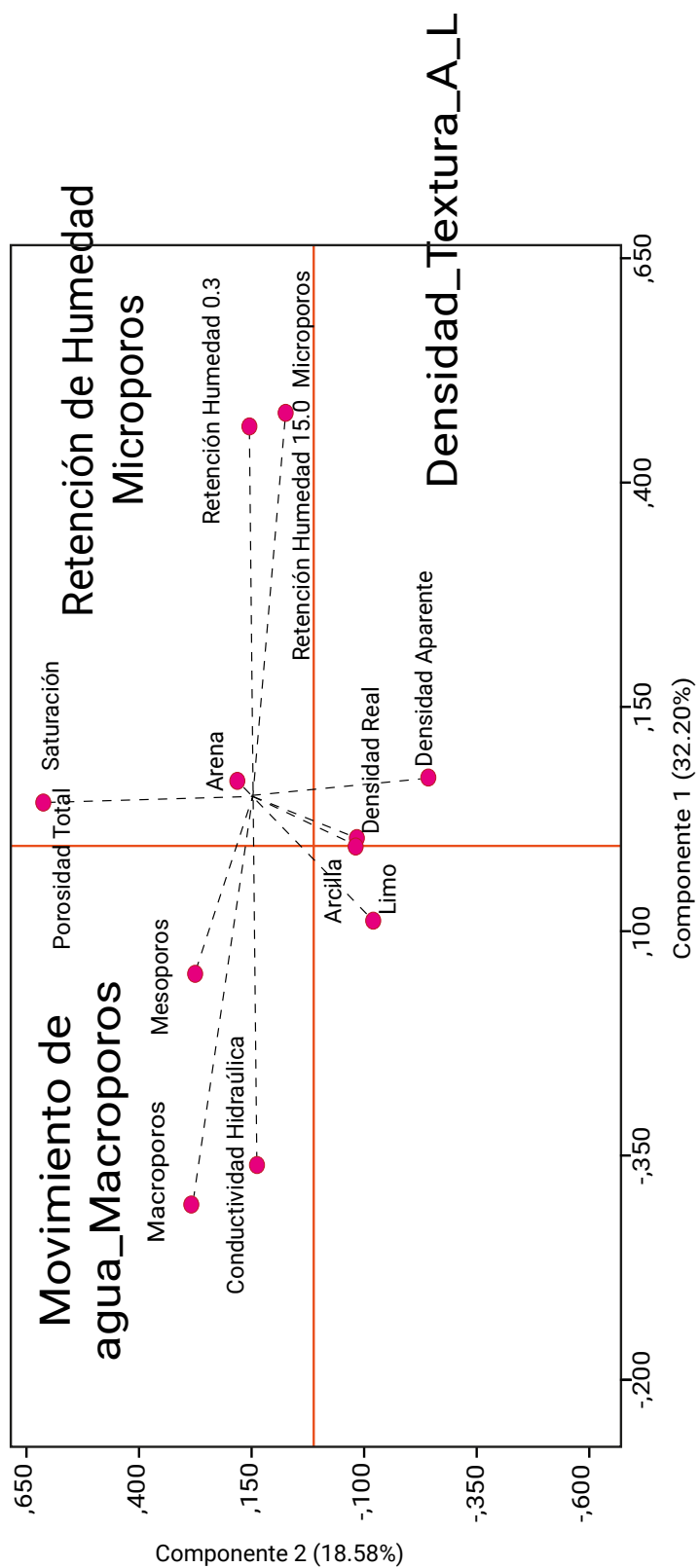
Específicamente, en la zona de cultivos se identifican cuatro grupos de fincas con propiedades físicas similares que permiten definir áreas diferenciales para aptitud física y recomendaciones de manejo (figura 2.11).

Figura 2.11. Análisis clúster para diferenciar los grupos de cultivo evaluados según variables físicas. a. Grupos de cultivos con características físicas similares, profundidad de 0 cm a 15 cm; b. Variables físicas que diferencian grupos de fincas, profundidad de 0 cm a 15 cm; c. Grupos de cultivos con características físicas similares, profundidad de 15 cm a 30 cm; d. Variables físicas que diferencian grupos de fincas, profundidad de 15 cm a 30 cm.



b.





Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las tendencias en los suelos presentes en el territorio, la clasificación de las fincas evaluadas se realiza con base en las variables que determinan el movimiento y la acumulación de agua en el suelo, así como en las condiciones de oxigenación, de vital importancia para el cultivo de aguacate Hass.

En este sentido, la diferenciación de los sitios se determinó principalmente a partir de estas variables: la conductividad hidráulica, los mesoporos y los macroporos, en función del movimiento de agua en el suelo; la retención de humedad y los microporos, como indicadores de disponibilidad de agua para las plantas; y la densidad y la textura, como indicadores de condiciones adecuadas de volumen poroso que determinan la aireación, el drenaje del suelo y la susceptibilidad a degradación, como proceso que se puede presentar en gran parte de los sitios evaluados (figura 2.11).

Contenido de nutrientes en frutos de aguacate Hass en zonas productoras del Cauca

La estimación del contenido de nutrientes en los diferentes cultivos evaluados permitió establecer que los microelementos B, Fe, Mn y Z se acumulan porcentualmente en mayor proporción que los macronutrientes. Específicamente, alcanzan porcentajes que fluctúan entre 14,8 % y 25,37 %, siendo el B el elemento de mayor concentración. Por su parte, los macroelementos N y K alcanzan en promedio valores de 1 % y 1,4 %, mientras que el P, el Ca y el Mg presentan valores por debajo del 1 % (tabla 2.5).

Estas observaciones determinan la necesidad de adicionar fuentes de elementos menores como el B en los planes de fertilización del cultivo, dados los contenidos bajos en gran parte de los suelos evaluados en zonas productoras.

Tabla 2.5. Estimación del contenido de nutrientes en frutos de cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca

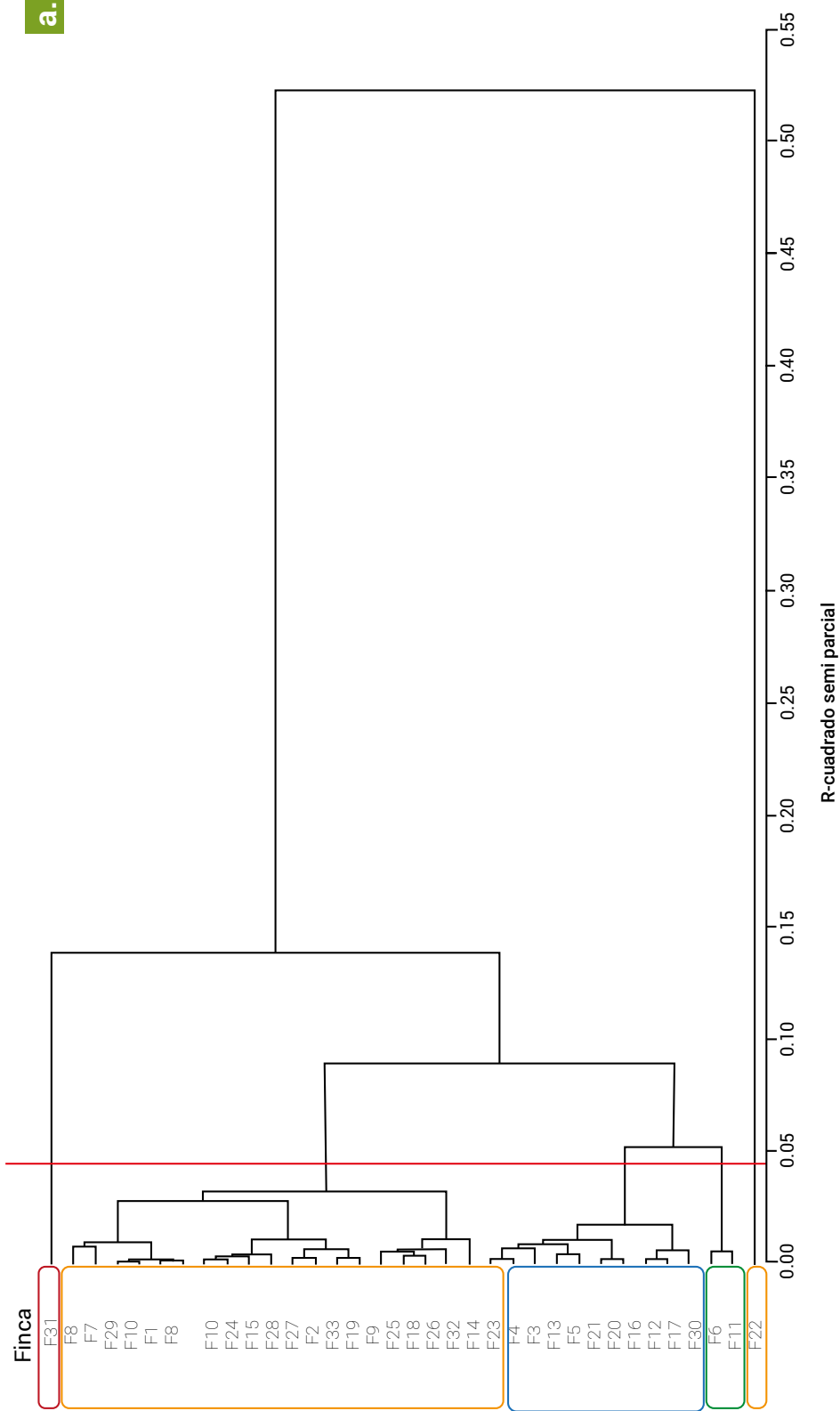
Elemento	Contenido en frutos (%)		
	Rango		Promedio
Nitrógeno (N)	0,79	2,52	1,04
Fósforo (P)	0,09	0,19	0,13
Potasio (K)	0,94	1,88	1,42
Calcio (Ca)	0,06	0,95	0,11
Magnesio (Mg)	0,07	0,28	0,10
Azufre (S)	0,06	0,21	0,09
Hierro (Fe)	0,82	69,53	21,67
Cobre (Cu)	0,27	10,58	7,43
Manganeso (Mn)	0,33	151,93	14,87
Zinc (Z)	0,69	24,34	17,39
Boro (B)	1,49	52,88	25,37

Fuente: Elaboración propia.

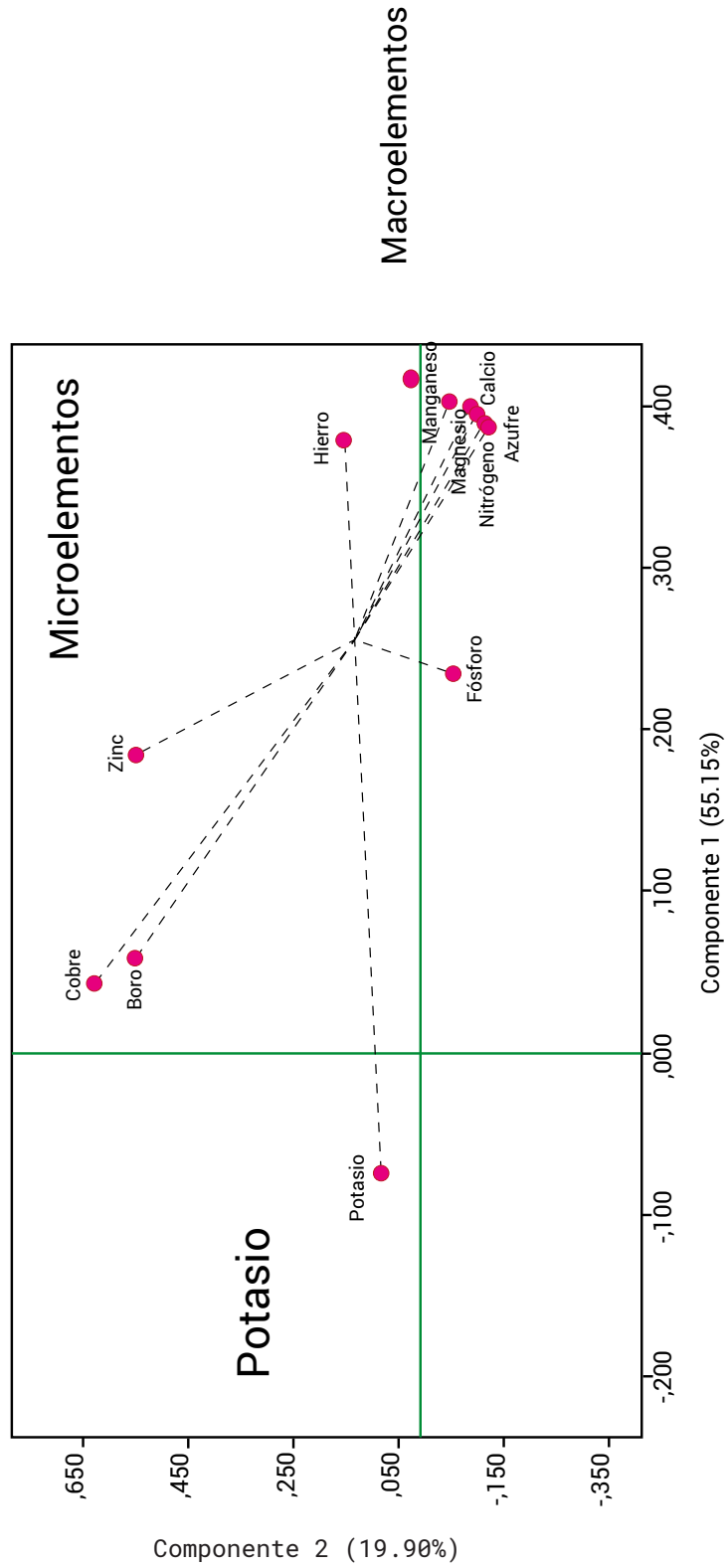
De acuerdo con estos hallazgos sobre el contenido de nutrientes en frutos, se identificaron cinco grupos de fincas con propiedades similares, las cuales permiten definir zonas diferenciales en cuanto a la calidad de la fruta y las recomendaciones de manejo nutricional del cultivo (figura 2.12a).

Las variables que determinan la diferenciación de los sitios corresponden a macroelementos como Ca, Mg y N, en una agrupación, y K para un segundo grupo, y los microelementos Cu, Z y B en un tercer agrupamiento (figura 2.12b).

Figura 2.12. Análisis clúster para diferenciar los grupos de sitios de cultivo evaluados según contenido de nutrientes en frutos. a. Grupos de cultivos con características físicas similares; b. Variables que diferencian los grupos.



b.



Factores edafoclimáticos que influyen en el desarrollo del aguacate Hass

La capacidad productiva del cultivo de aguacate Hass depende de múltiples factores, entre estos las características edafoclimáticas donde se establecen los huertos (Intagri, 2019). Por lo tanto, conocer los requerimientos de clima y suelo del cultivo es fundamental para definir prácticas de manejo que se adapten a cada región y, de esta forma, evitar que se adopten y apliquen modelos tecnológicos foráneos que no sean acordes con la oferta ambiental ni la demanda real de los cultivos en la región. Dado que los factores medioambientales influyen sobre todos los aspectos del crecimiento del aguacate y determinan la magnitud con la que se expresa su potencial genotípico (Gandolfo, 2008), la situación descrita puede originar una respuesta desfavorable del cultivar en cuanto a bajos rendimientos y calidad del fruto.

En Colombia, para el cultivo de aguacate, al igual que para muchos otros frutales, no se tienen en cuenta los componentes de la función productiva (genotipo, ambiente y la interacción genotipo x ambiente), aún cuando el conocimiento de estos factores permitiría entender con más precisión la respuesta de la especie a las condiciones tropicales en las que actualmente se aprovecha este frutal en el país.

De acuerdo con Mora et al. (2015), el éxito en la producción de un cultivo perenne se debe principalmente a la respuesta productiva de la especie a factores ambientales climáticos y edáficos, asociados al potencial genético del cultivar. Sin embargo, la presencia o ausencia de uno o más de estos factores puede limitar o potenciar el desarrollo del sistema productivo, por lo cual es fundamental que cuando se vaya a establecer una plantación de aguacate Hass, se identifiquen los requerimientos edafoclimáticos del cultivo, así como asociarlos a la oferta ambiental local, para conocer cuál es el potencial de la zona para producir aguacate Hass, los procesos de adaptabilidad y la respuesta productiva del cultivo.



Bernal-Estrada (2016) evaluó la influencia de siete condiciones climáticas, entre 1.340 y 2.420 m s. n. m., sobre el desarrollo, el rendimiento y la calidad del fruto en huertos de aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia. Este estudio ratifica que el cultivar debe ser establecido en zonas con climas desde los 1.700 hasta los 2.400 m s. n. m., pues se encontró que el rendimiento es mayor por encima de los 1.770 m s. n. m. ($13,9 \text{ t/ha}^{-1}$), mientras que en altitudes mayores a 2.000 m s. n. m. el peso de los frutos es superior y se obtiene la categoría extra (190 g). Lo anterior sugiere que las ventajas comparativas que presenta Colombia en relación con la oferta medioambiental requerida para alcanzar el potencial productivo de la especie deben ser aprovechadas para superar la brecha en los rendimientos que se presenta en comparación con otros países productores.

Por esta razón, a partir de las características particulares de algunas de las regiones productoras de aguacate Hass en países ubicados en diferentes latitudes, se identificó cuáles son los rangos adecuados de los requerimientos edafoclimáticos del cultivo. En la tabla 2.6 se describen los factores que influyen sobre el comportamiento productivo del cultivar de acuerdo con las condiciones de cada país productor, entre los cuales se encuentran factores de ubicación (altitud y pendiente), climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y brillo solar) y edáficos (pH, profundidad efectiva, textura, materia orgánica, entre otros).

Específicamente, en Colombia se evidencia que en las zonas de producción existe una diferenciación de sistemas productivos, dado que los rangos de aptitud de las variables identificadas difieren entre regiones, como se evidencia entre Valle y Antioquia (tabla 2.6). Por esta razón es necesario hacer un análisis integral de la relación de variables y procesos propios en cada localidad, de tal manera que los resultados permitan tomar decisiones adecuadas respecto a la planificación y el manejo del cultivo.

Tabla 2.6. Valores referentes de requerimientos edafoclimáticos del cultivo de aguacate para diferentes regiones productoras

Factor ambiental	Variable	Zona productora aguacate hass								
		República Dominicana (1)	Honduras (2)	Costa Rica (3)	México (4)	Perú (5)	Colombia (6)	Colombia (7)	Colombia (Antioquia) (8)	Colombia (Valle) (9)
		Valor o rango óptimo								
Suelo	Altitud (m s. n. m)	700 - 1600	1500 - 2500	1200 - 1800	1600 - 2200	800 - 2500		1600 - 2100	1700 - 2200	
	pH	6,5 - 7,5	5,5 - 7	5,5 - 7	6,5	5,6 - 6,5	5,5 - 6,5		5,5 - 7,5	5,5 - 6,5
	Profundidad efectiva (m)		0,8 - 1	> 1,5	0,8 - 1	> 1	> 1	> 1	> 0,5	> 1
	Textura		F, FA, FAAr	F	F	FA	F, FA, FArA, FArL, FAr, FL, L	F, FA, AF		F, FA, AF
	Materia orgánica (%)	2,5 - 5	2,5 - 5	> 10			> 5		> 6	
Clima	Salinidad (dS/m)	< 2			< 3					
	Drenaje					Bien drenado	Bien drenado	Bien drenado	Bien drenado	
	Régimen de humedad						Údico		Ústico - údico	
	Pendiente (%)	< 15			2 - 15.		≤ 25	0 - 25	1 - 20.	0 - 12
	Temperatura (°C)	13 - 40	14 - 24	18 - 25	20 - 25	20 - 25	15 - 18	18 - 20	14 - 27	18 - 20
	Precipitación (mm.año ⁻¹)		1200 - 1800	1500	665 - 2200	1200	1000 - 2200	1500 - 2000	665 - 2000	1500 - 2000
	Brillo solar (h.día ⁻¹)						≥ 5	> 8	4 - 5,5	
	Humedad relativa		70 - 80	> 60	57 - 63			60 - 70	50 - 80	67 - 75

(1) Bisonó Pérez & Hernández (2008); (2) Alfonso Bartoli (2008); (3) Garbanzo (2013); (4) Anguiano et al. (2007); Garrido (2013); (5) CEDEPAS, (2009); (6) Fonseca et al (2018); (7) Lozano García et al (2013); (8) Rondón et al (2020); (9) Jines & Eitzinger (2021).

Fuente: Elaboración propia.

Factores climáticos

El aguacate es cultivado principalmente en tres zonas climáticas distintas: 1) los climas frescos, semiáridos y con lluvias predominantes en invierno, como California, Chile e Israel; 2) los climas subtropicales húmedos, con lluvias predominantes en verano, como en México, Sudáfrica y el este de Australia, y 3) los climas tropicales y semitropicales con veranos lluviosos, como en Brasil, Florida e Indonesia (Wolstenholme, 2013).

Las zonas productoras de aguacate en Colombia presentan grandes variaciones en altitud, radiación solar, humedad relativa, temperatura y precipitación, entre otros factores, lo cual proporciona una gran variación en la respuesta de los cultivares en cuanto a comportamiento agronómico, productividad, rendimiento y calidad de fruta (Bernal-Estrada & Díaz-Diez, 2020).

Sin embargo, no se conoce la información sobre las condiciones en las que se desarrolla el cultivo en Colombia, las cuales son muy diferentes a las de las zonas mencionadas por Whiley y Schaffer (1994). Este vacío de conocimiento trae como consecuencia que se adopten prácticas de otras latitudes, las cuales deben ser validadas, con el consecuente riesgo de que haya pérdidas del cultivo, inversión y tiempo de producción. Por esta razón, es importante y urgente hacer investigación básica que busque mejorar las condiciones del cultivo en los ambientes específicos que caracterizan las diferentes regiones productoras de aguacate Hass en Colombia (Bernal-Estrada & Díaz-Diez, 2020).

Con este propósito, a continuación se relacionan los principales factores que influyen en los requerimientos de clima para la producción de aguacate Hass y que se deben considerar para establecer y desarrollar los cultivos

Precipitación

El rango óptimo de precipitación para desarrollar el cultivo de aguacate Hass se encuentra entre 1.000 y 2.000 mm/año, distribuidos uniformemente en el año (Bernal-Estrada & Díaz-Diez, 2020; Narváez-Cerón, 2010).

En zonas productoras identificadas en el departamento del Cauca, se estima un promedio acumulado de lluvias de 1.933,9 mm/año, lo cual permite inferir sobre la alta disponibilidad de agua para el cultivo en la región. Sin embargo, es necesario que se analice la distribución de lluvias en el año, con el fin de establecer periodos críticos por exceso o déficit hídrico que puedan afectar el desarrollo y la producción del cultivo (figura 2.13a).

Temperatura

El aguacate Hass requiere temperaturas que fluctúen entre los 15 °C y los 18 °C, aunque el cultivo puede adaptarse a temperaturas de hasta 10 °C, rango en el cual la planta realiza sus procesos fisiológicos para obtener frutos de buena calidad (Bernal-Estrada & Díaz-Diez, 2020; Miranda, 2012; Narváez-Cerón, 2010). Para condiciones del departamento del Cauca, se tienen temperaturas medias entre los 16,8 °C y los 17,5 °C, así como un rango entre máximas y mínima promedio de 21,7 °C a 12,7 °C (figura 2.13b).

Brillo solar

Esta variable climática influye tanto sobre las coberturas vegetales del suelo como sobre los cultivos, en sus procesos de fotosíntesis, formación de hojas y estructura física de la planta.

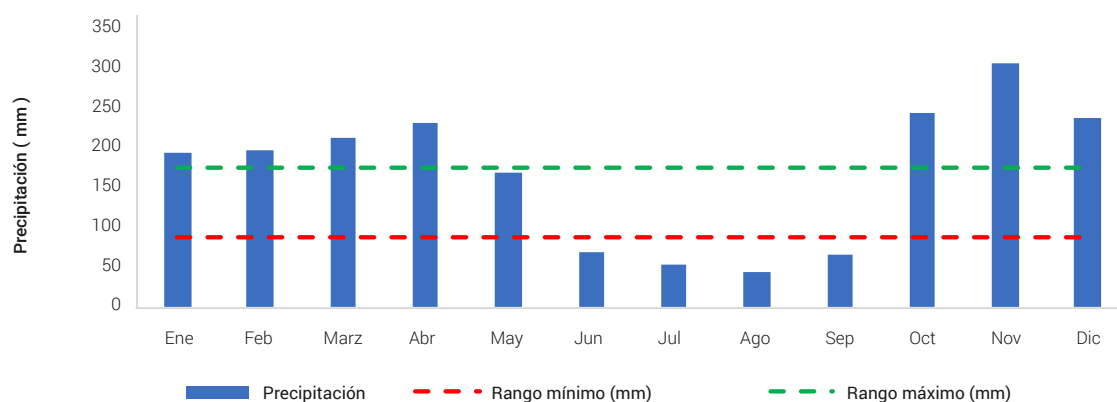
El aguacate se considera una planta altamente heliófila que presenta óptimos resultados con más de 2.000 horas luz/año⁻¹ (5,4 h luz/día⁻¹), de modo que los lotes para la producción comercial deben estar ubicados en áreas de elevada luminosidad. Sin embargo, un exceso de radiación produce quemaduras en las ramas



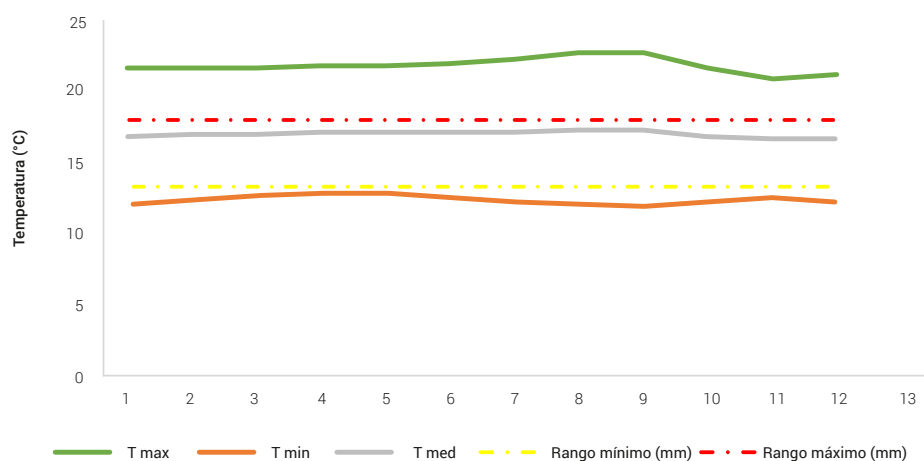
y golpe de sol en el fruto (Fisher & Ordúz, 2012; Fonseca et al., 2018; Miranda, 2012; Saavedra et al., 2012).

Para aguacate Hass se considera que un brillo solar superior a 5 horas día/sol⁻¹ es apropiado para un adecuado desarrollo, crecimiento y producción del cultivo (Bernal-Estrada & Díaz-Diez, 2020; Bancoldex, 2015) (figura 2.13b).

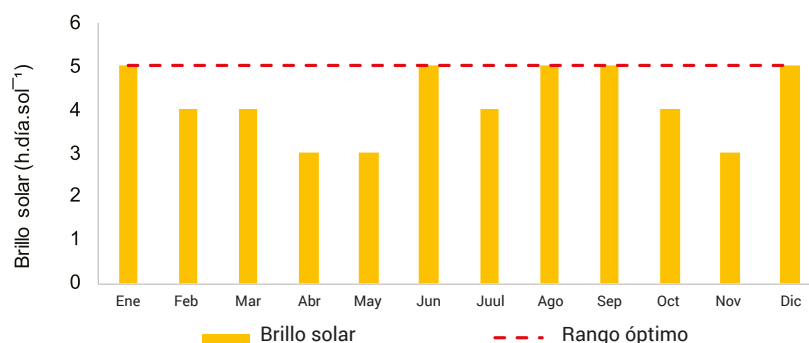
Figura 2.13. Comportamiento de variables climáticas en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca. a. Precipitación promedio anual (mm/mes); b. Temperatura mínima, máxima y media promedio anual; c. Brillo solar promedio por día.



a.



b.



C.

Fuente: Elaboración propia.

Factores de ubicación de los cultivos

En este apartado se describen los factores de ubicación de los cultivos en relación con aspectos como la altitud y la pendiente según el relieve, los cuales influyen en las características del clima y de los suelos requeridas para el cultivo de aguacate Hass (figura 2.14).

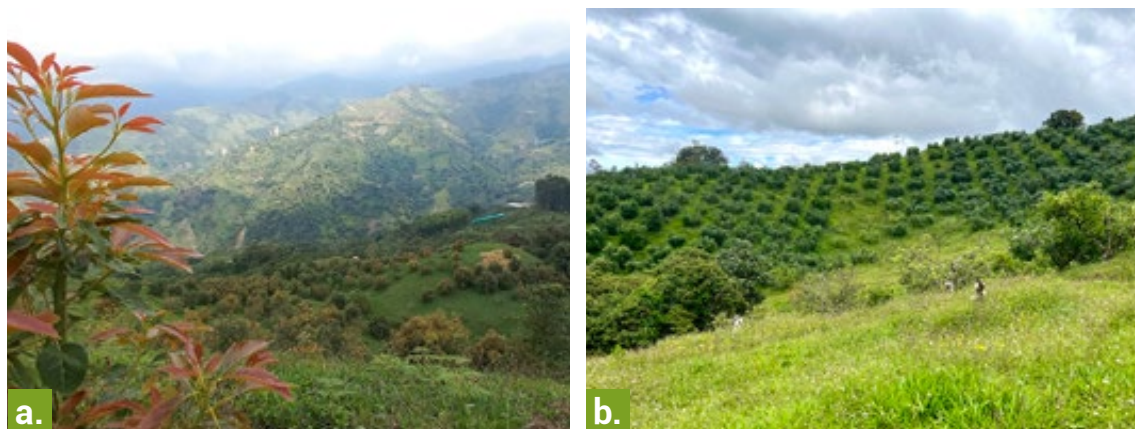
Altitud

De esta variable dependen la precipitación, la temperatura del aire y el contenido de MO en el suelo, entre otros. Para que el cultivar exprese su potencial productivo, se debe considerar una altitud entre los 1.800 y los 2.000 m s. n. m.

Pendiente del terreno

Para establecer cultivos de aguacate Hass se considera como óptimo inclinaciones con valor menor a 25 % y aceptable entre 25 % y 50 %.

Figura 2.14. Factores de ubicación de los cultivos en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca. a Gradiente de altitud; b. Pendiente del terreno.



Fotos: Luis Carlos Grajales Guzmán y Diana Lucía Correa

Factores edáficos

El desarrollo exitoso y sostenible de un cultivo de aguacate Hass requiere prestar especial atención a factores edáficos, sobre todo a los que tienen relación con la salud del sistema radicular, la humedad, la aireación, la disponibilidad de nutrientes y la fertilidad del suelo (Martín, 2022).

El aguacate se adapta a una gran gama de suelos, desde los arenosos hasta los arcillosos, siempre y cuando posean un buen drenaje interno, factor que es de vital importancia (Bernal-Estrada & Díaz-Diez, 2020; Galán-Saúco, 1990). Específicamente, los suelos con texturas francas, franco arenosas, franco limoso y franco arcillo arenosas bien drenados se consideran apropiados para establecer y producir el cultivo a escala comercial, ya que evitan encharcamientos y excesos de humedad que afectan su productividad y sanidad (figura 2.15).

Figura 2.15. Factores edáficos que se deben considerar en requerimientos del cultivo en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca. a. Texturas livianas: F, FA y FAr; b. Profundidad efectiva: > 1 m; c. Drenaje interno bueno: evitar suelos con drenaje imperfecto o encharcados; d. Contenido de materia orgánica: > 5 %.



Fotos: Luis Carlos Grajales Guzmán, Fredy Neira y Sebastián Polo y Diana Lucía Correa.

El régimen de humedad adecuado del suelo es el údico, ya que representa las mejores condiciones para el cultivo porque mantiene su humedad durante todo el año, dada su alta capacidad de retención y movilidad del agua a través de los poros del suelo.

El régimen de humedad adecuado del suelo es el údico, ya que representa las mejores condiciones para el cultivo porque mantiene su humedad durante todo el año, dada su alta capacidad de retención y movilidad del agua a través de los poros del suelo. In-

directamente, este régimen de humedad indica buena distribución de las lluvias en la región, mientras que el régimen ústico indica que, en alguna época del año, la humedad debe suministrarse por medio de algún sistema de riego (Fonseca et al., 2018; Miranda, 2012).

La profundidad efectiva ideal para el desarrollo de las raíces del aguacate Hass es aquella mayor o igual a 1 m. A profundidades menores, y dependiendo del tipo de textura, se requiere prestar especial atención a problemas de crecimiento deficiente del sistema radical, atrofiamiento, dificultades de anclaje y reducción del crecimiento del árbol (Miranda, 2012; Saavedra et al., 2012).

El rango de pH óptimo para el desarrollo del aguacate Hass es de 5,6 - 6,5, es decir, suelos entre moderadamente a ligeramente ácidos (Bernal-Estrada & Díaz-Díez, 2020). Esta condición determina la disponibilidad de elementos para la nutrición del cultivo, pero también la alta concentración de iones como el Al y Fe, que pueden resultar limitantes para el desarrollo de las plantas, de manera que se considera como valor óptimo para el cultivo de aguacate una saturación de Al ≤ 15 %.

El aguacate Hass se desarrolla adecuadamente en suelos con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) ≥ 10 cmol/kg suelo⁻¹. No obstante, y como resultado del pH y la capacidad de intercambio catiónico, se deben verificar los contenidos de P, micronutrientes y bases intercambiables como Ca, Mg y K para garantizar su disponibilidad y que puedan ser absorbidas por el cultivo en sus diferentes estados de desarrollo.

Finalmente, respecto al contenido de MO en el suelo, se consideran adecuados para la producción de aguacate niveles superiores al 5 %. La MO tiene gran importancia en procesos bioquímicos y físicos que se dan en el suelo porque contribuye a la disponibilidad de nutrientes, la estructura física del suelo, la retención de humedad y aireación, así como en la actividad microbiana.

Requerimientos edafoclimáticos para aguacate Hass en zonas productoras del departamento del Cauca

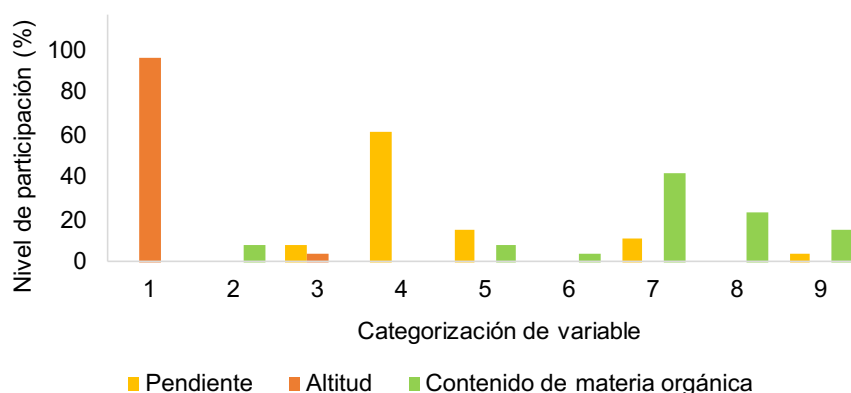
Para conocer el potencial productivo de una zona geográfica, es necesario evaluar los requerimientos mínimos para el establecimiento, desarrollo y producción del aguacate Hass. Por esta razón, a partir de un ejercicio participativo con productores del departamento del Cauca y expertos, se consolidaron los principales factores edafoclimáticos que influyen en el comportamiento productivo del cultivar y se definieron los requerimientos en el contexto local como una herramienta para la planificación y el manejo sostenible del cultivo.

El análisis de la percepción sobre los requerimientos edáficos permitió establecer la similitud en la visión de productores y expertos en relación con los factores más relevantes o que representan una mayor restricción para el cultivo. De esta manera, aspectos como la altitud (m s. n. m.), la textura del suelo, el drenaje y la pendiente del terreno son considerados de importancia porque están ligados al movimiento y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

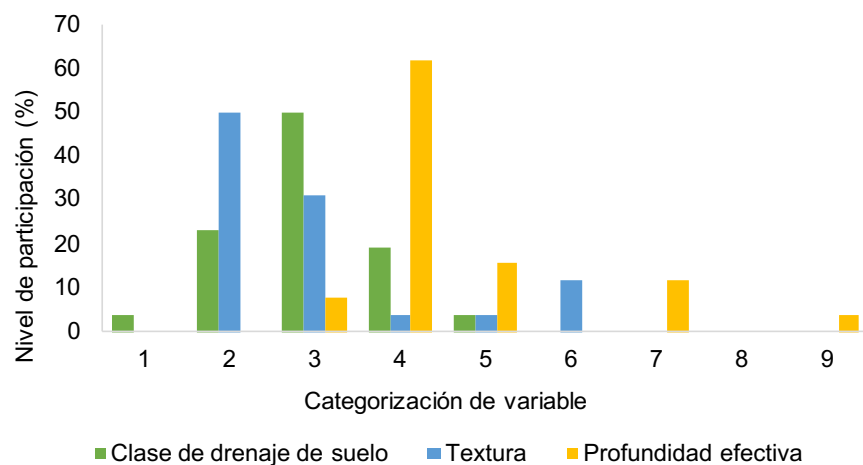
En cuanto a las variables químicas del suelo, se considera que el pH es el de mayor importancia, seguido por los contenidos de MO. De acuerdo con esta percepción, los participantes en el ejercicio concuerdan en que la MO es un factor en el cual se puede intervenir, de manera que si se encontrara algún tipo de limitación en los

contenidos en el suelo, esta se puede aportar durante el desarrollo del cultivo y mejorar la condición (figura 2.16).

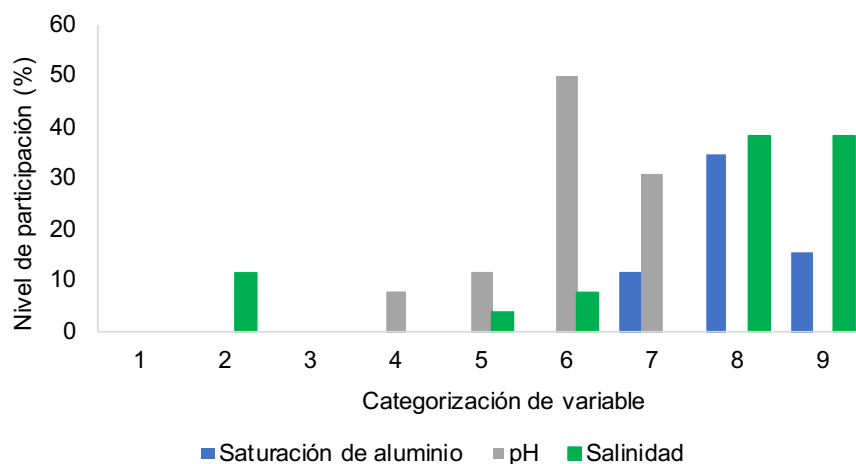
Figura 2.16. Nivel de categorización de variables ambientales que influyen en el comportamiento productivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca (% participantes). a. Factores de ubicación de los cultivos; b. Factores edáficos; c. Factores químicos del suelo.



a.



b.



C.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a variables como la saturación de Al y la salinidad, en general los productores no relacionan efectos sobre el comportamiento productivo del aguacate Hass, sin embargo, los expertos los consideran como limitantes para la producción del cultivar, especialmente si se desconocen sus efectos y no se manejan estas condiciones en el suelo.

De acuerdo con los expertos consultados y autores como Carreño y Chaparro-Giraldo (2013), en suelos ácidos (pH 4,5 – 5,5) el Al puede ser soluble y móvil, condición que facilita el ingreso a la raíz y limita su crecimiento, lo cual, a su vez, afecta la absorción de agua y de nutrientes esenciales para la planta. Respecto a la salinidad, aunque se asocia a suelos alcalinos (pH > 7,5 – 8) que son poco factibles de encontrar en las zonas productoras, los expertos señalan que el mal manejo de la fertilización y del suelo puede incrementar los contenidos de sales solubles, de allí que sea importante tener en cuenta este factor porque el aguacate Hass es una especie bastante susceptible a suelos con estas características (Castro et al., 2015).

A partir de la información recopilada, la percepción de los productores y los expertos en el cultivo, comparada con los estudios reportados en la bibliografía, se identificaron las variables de

mayor importancia y sus rangos como insumo para determinar los requerimientos del cultivo e identificar las zonas con aptitud para el sistema productivo de aguacate Hass en las condiciones específicas del departamento de Cauca (tabla 2.7). De esta manera y en orden de importancia, se destacan las siguientes variables:

1. **Altitud:** influye directamente en las condiciones climáticas.
2. **Textura del suelo:** relacionada con la capacidad de drenaje, la retención de humedad y la aireación del suelo.
3. **Drenaje del suelo:** vinculada principalmente con la susceptibilidad de las plantas de aguacate al exceso de humedad e incidencia de patógenos de la raíz.
4. **pH del suelo:** variable que incide sobre la disponibilidad de los nutrientes.
5. **Pendiente del terreno:** facilita o limita las condiciones de la zona para el laboreo y el drenaje del suelo.

Tabla 2.7. Consolidado de requerimientos edáficos del cultivo ajustados a condiciones de las zonas productoras del departamento del Cauca

Categoría	Factor	Rango de aptitud					
		Óptimo		Moderado		Restringido	
1	Altitud (m s. n. m.)	1.800	2.000	1.700	2.300	< 1.500	> 2.500
2	Textura (gruesa, fina, media)	Franco arenoso, franco limoso, limoso, franco, franco arcillo arenoso		Franco arcilloso, franco arcillo limoso; arenoso, arenoso franco		Arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso	
3	Clase de drenaje del suelo (clase)	Bien drenado		Moderadamente a imperfectamente drenado		Pobrementemente a muy pobrementemente drenado	
4	Pendiente (%)	0	25	25	50	50	75
5	pH (reacción)	5,5	6,5	5,0 - 5,5	6,6 - 7,3	< 5,0	> 7,3
6	Profundidad efectiva del suelo (cm)	1	150	50	100	0	25
7	Contenido de materia orgánica (%)	> 5		2	5	< 2	
8	Salinidad (ds/m)	< 2		2	4	> 4	
9	Saturación de aluminio (%)	0	15	15	30	>30	

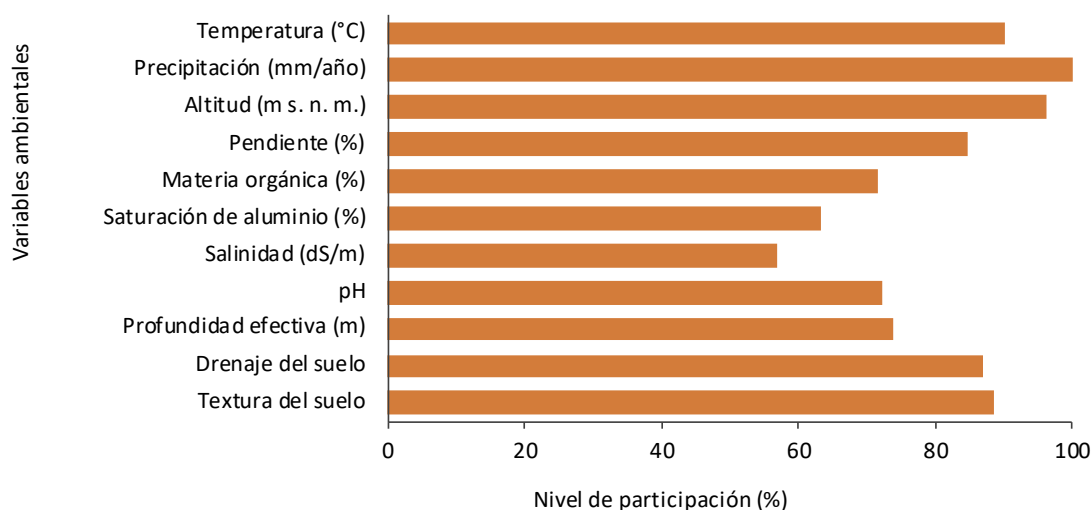
Fuente: elaboración propia.

Estos resultados de la aproximación a los requerimientos edáficos del cultivo de aguacate Hass coinciden con lo reportado por el trabajo de Intagri (2019), en el cual se consultó a diversos expertos para definir y establecer rangos óptimos de variables de suelo y clima, como profundidad efectiva, temperatura, precipitación, pH del suelo, textura, materia orgánica y salinidad. Asimismo, los resultados se relacionan con la información de los requerimientos edafoclimáticos para el cultivo reportados en diferentes zonas productoras del cultivo en Colombia y otros países de América (Bisonó & Hernández, 2008; Fonseca et al., 2018; Garbanzo-Solís, 2011; Garrido-Ramírez, 2013; Jines-León & Eitzinger, 2021; Rondón-Salas et al., 2020).

De acuerdo con los resultados de la validación, los participantes eligieron la altitud como la variable que más influye en el comportamiento productivo del aguacate Hass (96,2 % de los participantes), dado que se considera un factor asociado a variables climáticas como la temperatura y la precipitación, así como con algunas características del suelo como el contenido de MO, pH y drenaje del suelo. Otro factor biofísico importante es la pendiente (84,6 % de las respuestas), por su relación con procesos de formación de suelos, el drenaje y la erosión (figura 2.17).



Figura 2.17. Percepción de los encuestados sobre las variables que influyen en el comportamiento productivo del aguacate Hass en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a variables de suelo, los encuestados afirman que la textura y el drenaje del suelo tienen mayor relevancia para el cultivo (88,5 % y 86,9 % de las respuestas, respectivamente). Entre las características químicas, señalan que el pH (72,3 %) es el más influyente en el comportamiento del cultivo, seguido del contenido de MO (71,5 %), la saturación de aluminio (63,1 %) y la salinidad (56,9 %). En cuanto a los factores climáticos, escogieron a la precipitación como la variable de mayor importancia, con el 100 % de las respuestas, seguido por la temperatura con el 90 %.

Con los resultados de la consolidación y validación de los requerimientos edafoclimáticos del cultivo ajustados a las condiciones actuales del sistema productivo en la región, se fundamenta la metodología para identificar los nichos productivos o las zonas aptas para el sistema productivo de aguacate Hass en las condiciones del departamento del Cauca. Asimismo, la aproximación a los requerimientos del cultivo permitirá que los productores, con acompañamiento técnico, puedan ajustar las prácticas de manejo agronómico a las condiciones locales de producción, lo cual

conducirá, en un mediano plazo, a un mejoramiento de los rendimientos y la calidad de la fruta.

Referencias

- Alfonso-Bartoli, J. (2008). *Manual técnico del cultivo del aguacate Hass* (Persea americana L.). Fundación Hondureña de Investigación. <https://www.avocadosource.com/books/AlfonsoJose2008.pdf>
- Anguiano-Contreras, J., Coria-Avalos, V. M., Ruiz-Corral, J. A., Chávez-León, G., & Alcántar-Rocillo, J. J. (2007). Caracterización edáfica y climática del área productora de aguacate Persea americana cv. "Hass" en Michoacán, México. *Proceedings VI World Avocado Congress* (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate, Viña del Mar, Chile, 12 – 16 de noviembre). https://www.avocadosource.com/wac5/papers/wac5_p323.pdf
- Bancoldex. (2015). *Documento final de conclusión de la metodología, memorias técnicas y mapas por aptitud de uso para cultivos comerciales del aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000*. Bancoldex.
- Barrientos-Priego, A. F., & López-López, L. (1998). Historia y genética del aguacate. En *Memoria 1988* (pp. 33-51). Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. https://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex_1998/cictamex_1998_33-51.pdf
- Bernal-Estrada, J. A., & Díaz-Diez, C. A. (Eds.). (2020). Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate (2.^a ed.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Bernal-Estrada, J. A., Tamayo-Vélez, A. de J. & Díaz-Diez, C. A. (2020). Dynamics of Leaf, Flower and Fruit Abscission in Avocado cv. Hass in Antioquia, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14, 324-333. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i3.10850>
- Bernal-Estrada, J. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55435>

- Bisonó, S. M., & Hernández, J. R. (2008). *Guía tecnológica sobre el cultivo del aguacate*. Consejo Nacional de Competitividad. <http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/handle/123456789/656>
- Bost, J. B., Smith, N. J., & Crane, J. H. (2013). History, Distribution and Uses. En B. A. Schaffer, B. N. Wolstenholme, & A. W. Whiley (Eds.), *The Avocado: Botany, Production and Uses* (pp. 10-30), CABI. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9781845937010.0000>
- Carreño, A., & Chaparro-Giraldo, A. (2013). Tolerancia al aluminio en especies vegetales: mecanismos y genes. *Universitas Scientiarum*, 18(3), 283-310. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC18-3.taev>
- Castro, M., Fassio, C., Cautin R., & Ampuero, J. (2015). UCV7, portainjerto de aguacate tolerante a salinidad. *Rev. Fitotec. Mex.*, 38(1), 85-92. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v38n1/v38n1a11.pdf>
- Centro Ecuménico de Promoción y Acción Social Norte [CEDEPAS]. (2009). *Bondades y manejo básico del palto*. Cedepas. <https://www.cedepas.org.pe/content/bondades-y-manejo-t%C3%A9cnico-de-palto>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. (2015). Producto 2: Mapas de zonificación de la aptitud agroclimática e identificación de nichos productivos por eventos de variabilidad climática para Cacao (Mercaderes), Aguacate (Tambo) y Pasturas (Patía). Departamento del Cauca. Proyecto Reducción del Riesgo y Adaptación Al Cambio Climático. Fondo Adaptación – CORPOICA. [Documento técnico]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA
- Crane, J. H., Douhan, G., Faber, B. A., Arpaia, M. L., Bender, G. S., Balardi, C. F., & Barrientos-Priego, A. F. (2013). Cultivars and Rootstocks. En B. Schaffer, B. N. Wolstenholme, & A. W. Whiley (Eds.), *The Avocado: Botany, Production and Uses* (2nd ed.; pp. 200-233). CABI Publishing.
- Dahlgren, R. A., Saigusa, M., & Ugolini, F. C. (2004). *The nature, properties and management of volcanic soils*. *Advances in Agronomy*, 82(3), 113-182. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)82003-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)82003-5)
- Dorado-Guerra, D., Grajales-Guzmán, L. C., & Rebolledo-Roa, A. (2017). *Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (Persea americana) variedad Hass* (1.a ed.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/14/12/115-1?inline=1?inline=1>

- Fisher, G., & Ordúz-Rodríguez, J. (2012). Ecofisiología en frutales. En G. Fisher (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 54-72). Produmedios.
- Fonseca, F., Aguilar, D., Siachoque, R., Urbina, J., Otero, J., Páramo, G., & García, E. (2018). *Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). https://upra.gov.co/es-co/Publicaciones/Zonas_aptas_aguacatehass.pdf
- Galán-Saúco, V. (1990). Aguacate. En *Los frutales tropicales en los subtrópicos. I. Aguacate, mango, litchi y longan* (pp. 25-58). Ediciones Mundi-Prensa. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios. Metodología a escala general (1:100.000)*. UPRA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36447>
- Gandolfo, S. (2008). *Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Producción Vegetal]. Repositorio institucional. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3441/tesisUPV2868.pdf>
- Garbanzo-Solís, M. (2011). *Manual de aguacate: Buenas prácticas del cultivo variedad Hass* (2da ed.). Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-4259.pdf>
- Garrido-Ramírez, E. (2013). Áreas potenciales para el cultivo de Aguacate (*Persea americana* L.) cultivar “Hass” en el Estado de Guerrero, México. *Agro Productividad*, 6(5). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/484>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (1995). *Suelos de Colombia: Origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. IGAC.
- Intagri. (2019). Requerimientos de suelo y clima del cultivo de aguacate [Folleto]. https://www.intagri.com/public_files/56.-Requerimientos-de-Suelo-y-Clima-del-Cultivo-de-Aguacate.pdf#:~:text=Requerimientos%20ed%C3%A1ficos%20Materia%20org%C3%A1nica.%20El%20cultivo%20de%20aguacate,que%20presenta%20el%20aguacate%20a%20la%20as%1Fxia%20radi
- Jines León, A., & Eitzinger, A. (2021). *Identificación de las zonas de ladera aptas para el cultivo de aguacate Hass en el territorio del Valle del Cauca*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80866>

- Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Sepúlveda, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C., & Celedón, J. M. (2010). *El cultivo del palto* [Boletín INIA, n.º 129]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7333?&locale-attribute=es>
- Martín, M., Álvarez, O., Martínez-Ferri, E., Moreno-Ortega, G., Moreno Pérez, A., Pliego, C., Palacios, M., & Lorite, I. (2022). *Consideraciones en el diseño de un proyecto de aguacate sostenible*. AGBAR. <https://agbaragriculture.com/wp-content/uploads/2022/07/EstudioIFAPAAgbarAgricultureDEF.pdf>
- Miranda, D. (2012). Establecimiento de huertos frutícolas. En G. Fischer (Ed.), *Manual para la producción de frutales del trópico* (pp. 99-119). Produmedios.
- Mora, F., Muñoz, R., Meza, V., & Fonseca, W. (2015). Factores edáficos que influyen en el crecimiento de *Vochysia guatemalensis* en la región Huetar Norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 71-89. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i1.19547>
- Narváez-Cerón, F. V. (2010). *Manejo técnico para la producción de aguacate (Persea americana Mill.) variedad Hass en la meseta de Popayán* [Tesis de pregrado, Universidad del Cauca]. Repositorio Unicauca. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/744/MANEJO%20T%C3%89CNICO%20PARA%20LA%20PRODUCCI%C3%93N%20DE%20AGUACATE%20HASS%20EN%20LA%20MESETA%20DE%20POPAY%C3%81N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quiceno-Rico, J. M., Londoño-Chica, S., Mora-Gaviria, G. A., Ricardo Molina, A., Morales-García, B. L., & Pássaro Carvalho, C. (2019). Diagnóstico de aspectos productivos y ambientales en el cultivo de aguacate Hass del Oriente Antioqueño. *Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño*, 45-63. <https://doi.org/10.23850/26652447/5/1/2767>
- Ramírez-Gil, J. G., Henao-Rojas, J. C., Díaz-Díez, C. A., Peña-Quñones, A. J., León, N., Parra-Coronado, A., & Bernal-Estrada, J. A. (2023). Phenological Variations of Avocado cv. Hass and their Relationship with Thermal Time under Tropical Conditions. *Heliyon*, 9(9), e19642. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19642>
- Rebolledo-Roa, A., & Dorado-Guerra, D. Y. (2017). *Criterios para la definición de planes de fertilización en el cultivo de aguacate Hass con un enfoque tecnificado* (1.a ed.). Corporación Colombiana de

Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7402384>

- Ríos-Gallego, G., Franco, G., Sandoval-Arana, A. P., Vásquez Gallo, L. A., & García-Lozano, J. (2013). Atlas: *Zonificación de las tierras para el uso del cultivo de aguacate Cv. Hass en Colombia* [Boletín técnico]. Corpoica. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12606>
- Rondón-Salas, T., Builes-Gaitán, S., Casamitjana-Causa, M., Duque-Ríos, M., Rodríguez-León, A. K., Vega-Marín, C., Ruiz, D., Rodríguez-Yzquierdo, G. A. (2020). Perspectiva del ordenamiento productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia. En J. A. Bernal-Estrada, & C. A. Díaz-Díez (Eds.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 715-756). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/162/153/1130-1?inline=1>
- Saavedra, R., H. Vásquez., & E. Mejía, E. (2012). Aguacate (*Persea americana* Mill.). En G. Fisher (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 319-348). Produmedios.
- Sadeghian, S. (2009). La materia orgánica en agroecosistemas cafeteros de Colombia. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 72-99). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0003_4
- Sánchez Espinosa, J. A., & Rubiano Sanabria, Y. (2015). Procesos específicos de formación en andisoles, alfisoles y ultisoles en Colombia. *Revista EIA*, 12(2), 85-97. <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/709>
- Unidad de Planificación Agropecuaria [UPRA]. (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios. Metodología a escala general (1:1.00.000)*. UPRA
- Whiley, A. W., & Schaffer, B. (1994). Avocado. En B. Schaffer, & P. C. Andersen (Eds.), *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops: Subtropical and Tropical Crops* (pp. 165-197). CRC Press.
- Wolstenholme, B. N. (2013). Ecology: climate and soils. En B. Schaffer, B. N. Wolstenholme, & A. W. Whiley, *The Avocado: Botany, Production and Uses* (pp. 86-117). CABI. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9781845937010.0000>



CAPÍTULO III

Aspectos socioeconómicos del sistema de producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Carlos Eduardo Ospina Parra
Diana Lucía Correa Moreno
Lina Vanessa Garavito Morales

Introducción

El cultivo de aguacate cv. Hass (*Persea americana* Mill) se ha posicionado como uno de los más importantes y promisorios para Colombia y la región, a tal punto que en el año 2018 el país fue el tercer productor en relación con el área cosechada y la producción (Sicex, 2021). Gracias a iniciativas institucionales y empresariales que promueven su establecimiento con miras al mercado internacional, el área sembrada se ha multiplicado en los últimos años: entre 2007 y 2020 pasó de 17.657 ha a 93.045 ha, con una producción de 638.591 t . año⁻¹ y un rendimiento promedio de 10 t . ha⁻¹ (Agronet, 2020).

Se calcula que alrededor del 25 % del área sembrada de aguacate en el país corresponde a la variedad Hass y el resto a variedades verdes o criollas. La producción se concentra en los departamentos de Tolima, Antioquia, Caldas, Santander, Bolívar y Valle del Cauca (86 %), principalmente en zonas con tradición agrícola de sistemas cafeteros y frutícolas, lo cual ha generado una competencia por recursos productivos, como mano de obra, tierra y, en algunos casos, el agua (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2020).

Colombia cuenta con un gran potencial para ampliar y desarrollar nuevas áreas de producción de aguacate: en el año 2011 se estimó que el área apta para el cultivo de Hass era 776.992 ha (Vásquez,

Se calcula que alrededor del 25 % del área sembrada de aguacate en el país corresponde a la variedad Hass y el resto a variedades verdes o criollas.

2011) y, posteriormente, una zonificación de uso de suelo realizada en 2017 calculó cerca de 3'304.222 ha aptas para el cultivo, de las cuales 587.534 ha presentaban aptitud alta. De estas áreas, el departamento del Cauca aporta 469.628 ha, principalmente en los municipios de Popayán (28.138 ha), El Tambo (20.795 ha) y Caldono (15.241 ha) (Fonseca et al., 2018).

Además, el Cauca se caracteriza por su gran oferta agroecológica para desarrollar actividades agropecuarias, así como por su diversidad étnica (indígenas y afrodescendientes) y disponibilidad de recursos naturales. No obstante, los conflictos por la tenencia de las tierras y el uso del suelo, la presencia de grupos ilegales y los cultivos de uso ilícito han generado una gran complejidad social (Gamarra, 2007; Rendón, 2018; Tose et al., 2019). En este contexto, cabe resaltar que en los últimos quince años se han incrementado las acciones institucionales, gubernamentales y de cooperación internacional en torno al cultivo, lo cual se refleja en el aumento del área sembrada, que pasó de 16 ha en el año 2007 a 889 ha en el 2018 (Agronet, 2020).

En este capítulo se presenta la caracterización social, económica y productiva del sistema de aguacate en los municipios de Caloto, Caldono, Morales, El Tambo, Piendamó, Popayán, Sotaró, Timbío, Toribío y Cajibío. Específicamente, se describen los principales factores que determinan el desempeño del sistema de producción, así como los elementos y actores que constituyen la cadena de valor de factor en el departamento con miras a los procesos de exportación de la fruta.

Metodología

La caracterización del sistema de producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca se realizó a partir de la información primaria sobre grupos de agricultores de cada municipio, la cual se recogió con el fin de establecer las características socioeconómicas de los sistemas de producción tipo del departamento, así

como identificar factores biofísicos y tecnológicos que influyen en la competitividad del cultivo en el departamento (figuras 3.1 y 3.2). Con este objetivo se utilizó una metodología mixta que combinó herramientas cuantitativas y cualitativas, como encuestas, grupos focales y talleres interactivos.

Se aplicaron instrumentos físicos y digitales usando un sistema de respuesta interactiva (Turning Point®), en el cual cada productor plasmó sus percepciones sobre los criterios definidos en la metodología de evaluación de tierras (Unidad de Planeación Rural Agropecuaria [UPRA], 2014). En total se recopiló información sobre 98 variables cualitativas y cuantitativas del sistema de producción, las cuales estaban estructuradas en cuatro componentes: 1) información general del sistema, 2) aspectos sociales y económicos de las familias productoras, 3) tecnología local de producción y 4) asistencia técnica y transferencia de tecnología. Posteriormente se validaron los resultados de manera conjunta entre los participantes (figura 3.3).

Para analizar los datos se elaboraron tablas de frecuencia de las variables y se complementó con la información contenida en la bitácora de las discusiones realizadas en torno a los resultados en cada taller. De esta manera se establecieron categorías emergentes de tipo cualitativo, las cuales robustecieron el análisis cuantitativo.

La información fue analizada con el enfoque de la teoría general de sistemas (TGS) para identificar la tecnología local de producción y las limitantes tecnológicas del sistema para atender el mercado de exportación (Escobar & Berdegue, 1990). Finalmente, la información se agrupó por clúster jerárquico, con lo cual se identificaron grupos principales de los productores de aguacate Hass del departamento del Cauca.

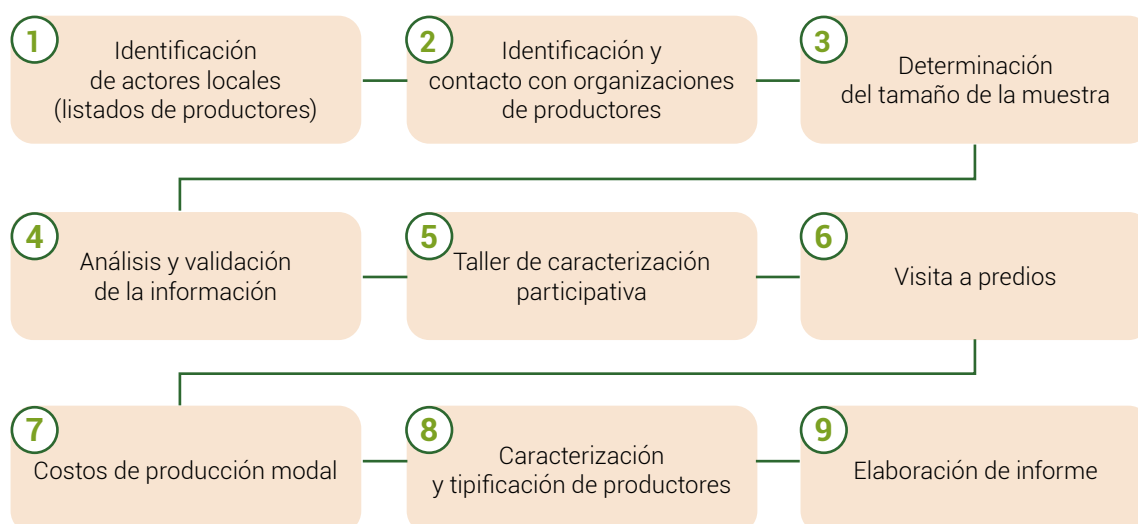


Figura 3.1. Talleres de diagnóstico para levantar la información primaria con productores de aguacate en Toribío (a), Morales (b) y Timbío (c).



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno

Figura 3.2. Esquema metodológico de la caracterización del sistema de producción de aguacate Hass en municipios priorizados.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3. Talleres de validación de la información primaria recopilada en zonas productoras de aguacate Hass en Piendamó (a), Caldono (b), Sotará (c) y Popayán (d).



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno

Sistema socioproductivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca

En esta sección se describen los aspectos más relevantes del sistema de producción de aguacate en el departamento del Cauca, incluyendo las condiciones de vida de los productores y sus familias, así como el tipo de mercado hacia el cual se dirige la producción.

Condiciones generales del sistema

Las áreas de cultivo en los municipios evaluados se encuentran ubicadas en un rango altitudinal de 1.200-2.300 m s. n. m, y la gran mayoría de cultivos se han establecido en la franja 1.700-1.900

m s. n. m. En los municipios de Caloto y Caldono algunos cultivos se ubican en las zonas más bajas, mientras que en Toribío y Sotará están por encima de 1.900 m s. n. m. (figura 3.4).

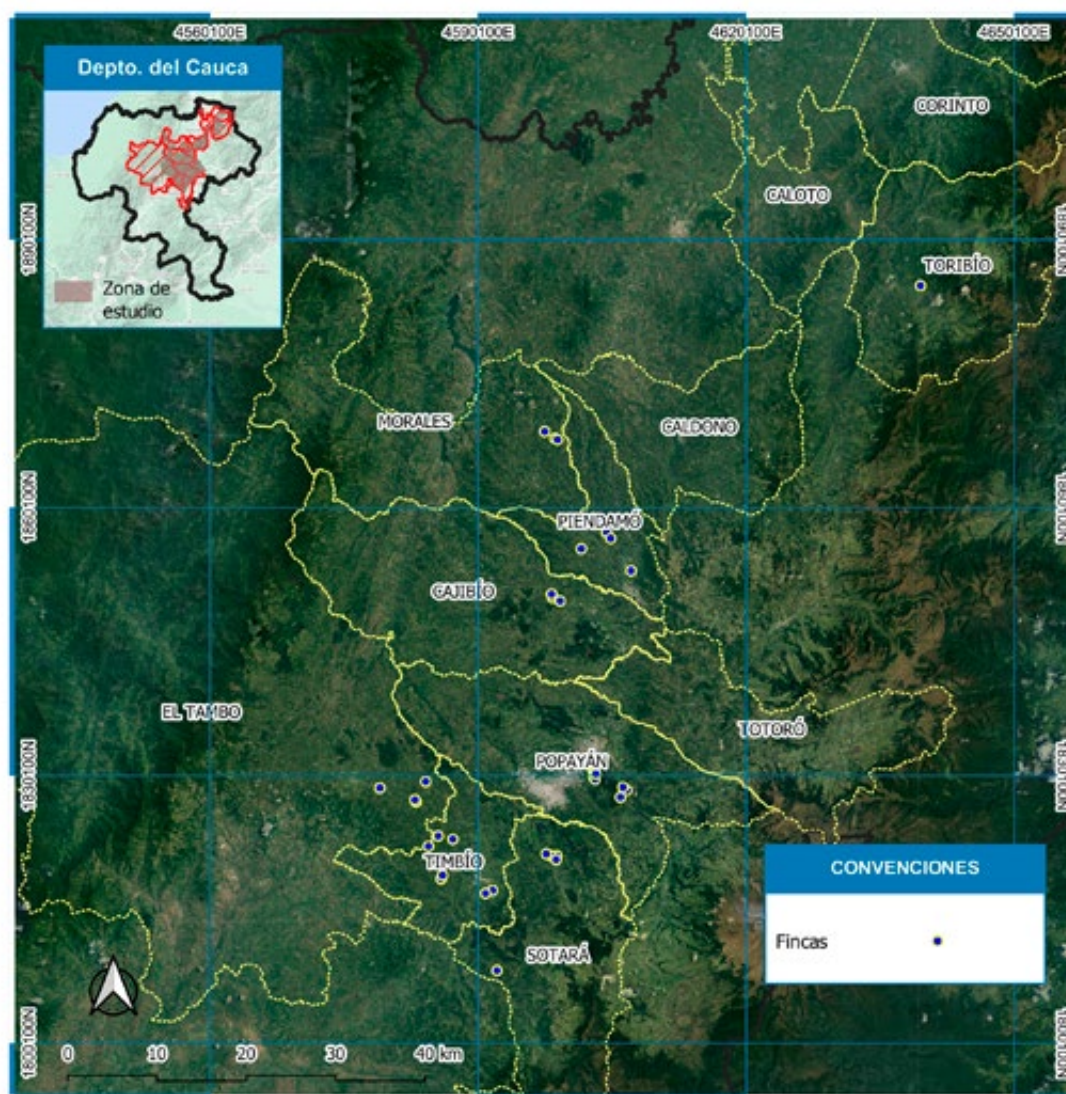
La dispersión de los cultivos en cada municipio se asocia a la topografía de la zona y a la cercanía con centros poblados que facilitan la comercialización del producto. Específicamente, en Morales, donde los agricultores consideran al río Cauca como un referente espacial para dividir el territorio en zonas con cultivo de aguacate Hass, se encontró que la mayoría está en el costado oriental del municipio, entre el río y el límite perimetral con Piendamó.

A diferencia de otros municipios, en Piendamó los cultivos están dispersos en toda su área, de tal manera que gran parte de sus veredas (45) tienen algún sitio de producción de aguacate Hass. En Cajibío los agricultores sitúan las zonas productoras al costado oriental del municipio, en veredas adyacentes a la cabecera municipal. En particular, la vereda La Venta y las fincas cercanas al casco urbano son las zonas con mayor presencia de productores.

Por su parte, en Timbío los cultivos predominan en gran parte del área de influencia del río Timbío (80 %), en los distritos Samboní (sur) y Las Guacas (norte), y solo algunos se distribuyen en los distritos El Placer y La Cabaña. A pesar de encontrarse en un rango altitudinal de 1.700-2.000 m s. n. m, los productores mencionan que la zona es especialmente susceptible a las heladas, con pérdidas que pueden estar entre 2 t . ha⁻¹ y 6 t . ha⁻¹.

Finalmente, el municipio de Toribío se caracteriza por tener una amplia dispersión de cultivos, que se encuentran en las veredas La María, La Julia, Culebrero, Gargantillas, El Congo, Natalia, San Julián, San Diego, Vichiqui, El Naranjo, Manzano, Sesteadero, Ullucos, La Primicia, El Tablazo, La Calera y La Playa.

Figura 3.4. Ubicación de zonas productoras en los municipios de influencia del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Infraestructura y servicios básicos

En general, se identificó que la infraestructura de vías y servicios básicos es precaria, salvo en los municipios cercanos a Popayán, como El Tambo, Timbío, Piendamó y Morales, condición que emerge como una de las principales limitantes para la exportación. En este sentido, el mejoramiento técnico en los cultivos de

aguacate en los municipios priorizados debe ir acompañado de una dotación adecuada de infraestructura pública para la producción y comercialización en mercados nacionales e internacionales.

Aunque más de la mitad de los productores encuestados manifiestan que viven en la finca o predio donde siembran el aguacate (56 %), lo cual facilita la administración del cultivo y genera un mayor vínculo con las actividades productivas que se desarrollan en el predio, no cuentan con vías pavimentadas que les faciliten el transporte y la comercialización, no solo del producto final de la cosecha, sino también de insumos y demás elementos para la actividad productiva (tabla 3.1).

Tabla 3.1. Principales características socioeconómicas asociadas al cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Variables del sitio	Clase - Porcentaje de huertos (%)				
Tenencia de la tierra	Propia (81)	Arrendada (4)	Colono (10)	Otro (5)	
Lugar de vivienda	Finca (56)	Vereda (29)	Cabecera municipal (13)		
Tradición productiva	Aguacate (81)	Café (19)			
Vías de acceso	Pavimentada (10)	Sin pavimentar (80)	Camino de herradura (6)		
Acceso a crédito	Entidad financiera estatal (56)	Instituciones privadas (8)	Amistades particulares (5)	No tiene (30)	NS/NR (1)
Disponibilidad de mano de obra	Abundante (22)	No hay disponibilidad (71)	Escasa (7)	-	-
Fuentes de ingreso	Venta de productos agrícolas (63)	Venta de productos pecuarios (6)	Actividades no propias de la agricultura (31)		
Mano de obra	Contratada permanente (6)	Contratado temporal (31)	Familiar (28)	Mixta (32)	Otra (2)
Servicio de asistencia técnica	Cuenta con asistencia técnica (85)	No cuenta con asistencia técnica (15)			
Edad del agricultor	18 a 65 años (68)	< 18 años (26)	> 65 años (6)	-	-
Destino de la producción	Exportación (53)	Mercado local (6)	Mercado regional (9)	Nacional (10)	Otro (22)

NS/NR: no sabe, no responde.

Fuente: Elaboración propia.

Las vías principales para el acceso a los predios productores corresponden a vías sin pavimentar (80 %) (tabla 3.1). En municipios en donde se encuentran vías pavimentadas (10 %), la cobertura máxima puede alcanzar el 30 %, como es el caso de los municipios de Popayán (33 %), El Tambo (27 %), Morales (17 %), Timbío (14 %) y Caloto (8 %). En municipios como Toribío, dadas las condiciones topográficas de las zonas de cultivo, las vías corresponden principalmente a caminos de herradura, los cuales tienen una representatividad del 55 % (figura 3.5).

Figura 3.5. Características de la infraestructura asociada a sistemas de producción de aguacate Hass en el departamento del Cauca. a. Topografía ondulada; b. Vías de acceso; c. Vivienda familiar y otras actividades; d. Arreglo del cultivo asociado y monocultivo.

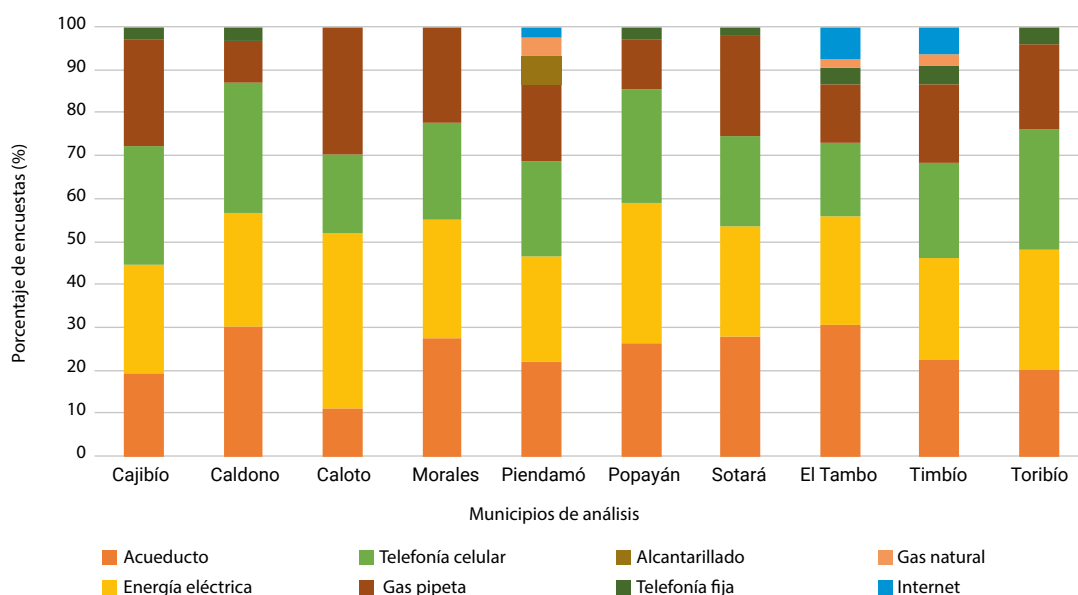


Fotos: Alejandra Angarita, Diana Lucía Correa Moreno y Franklin Barrios.

De acuerdo con los pobladores de los municipios priorizados, esta condición afecta la producción y la calidad del aguacate, pues el estado de las vías, sobre todo en época de lluvias, puede afectar los procesos de poscosecha, lo cual disminuye los precios que pagan los comercializadores de la región.

Para la zona se observa cierta heterogeneidad en el acceso a servicios públicos entre municipios. En particular, la electricidad (80 %), el acueducto (70 %) y el cubrimiento de redes para uso de celular (66 %) son los que tienen mayor cobertura. Los agricultores de Caloto, Piendamó y Toribío presentan bajo acceso a servicios de acueducto y electricidad, además de que en esta zona todavía es deficiente el acceso al sistema de alcantarillado (2 %) e internet en el hogar (9 %) (figura 3.6).

Figura 3.6. Disponibilidad de servicios públicos en municipios analizados en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al servicio de salud, se identificó que hay alta cobertura, lo cual se relaciona en parte al régimen subsidiado, que asume la atención de acuerdo con los principios de universalidad del Estado colombiano (68 %), a diferencia del régimen contributivo (28 %). Esto además corrobora la informalidad del empleo rural y constituye una desventaja para el sector, dado que la afiliación al sistema contributivo es uno de los requisitos para acceder a algunas de las certificaciones nacionales e internacionales para exportar la fruta.

Aspectos sociales y económicos de los productores

El sistema de producción de aguacate Hass en municipios del Cauca se caracteriza por que está establecido principalmente en predios menores a 6 ha (79 %). Las áreas menores a 1 ha se concentran en los municipios de Caldon, Popayán, Toribío y Caloto, mientras que las áreas por encima de 4 ha se ubican en los municipios de Cajibío (60 %), Morales (50 %), El Tambo (45 %), Timbío (49 %) y Sotará (82 %), municipio en el cual la inversión para el establecimiento de cultivos de aguacate Hass con áreas mayores a 8 ha tiene un continuo avance y mayor nivel de tecnificación de la producción.

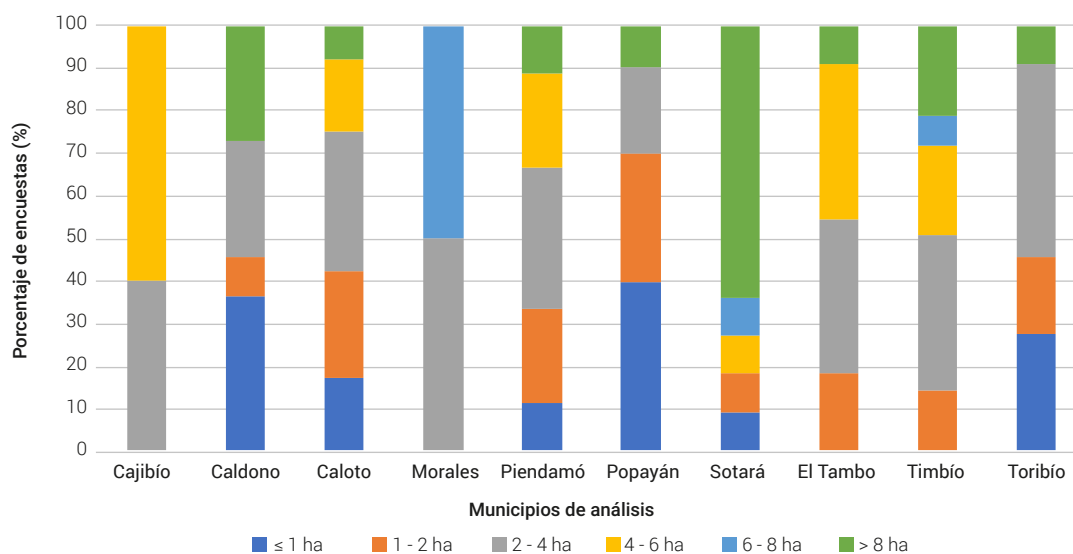
En las condiciones del Cauca, el cultivo se distribuye principalmente en áreas propias (81 %) y en otros tipos de tenencia de la tierra, como colonos (10 %) y alquiler (4 %), como es el caso de los municipios de Caldon, Caloto, Timbío y Toribío (figura 3.7). La condición de propiedad se explica por el tipo de producción a largo plazo de cultivos permanentes, mientras que las otras formas de tenencia obedecen a arreglos entre administradores del cultivo y los propietarios de los predios, pero son poco comunes para este tipo de explotaciones. También cabe mencionar que la región refleja una problemática común en los espacios rurales de Colombia y es la falta de legalización o formalización de predios rurales, lo cual dificulta obtener las certificaciones que permiten acceder a mercados internacionales.

En algunos predios el aguacate comparte espacio en aparcería u otros arreglos (19 %), diversificado con cultivos de café, cítricos, maíz, plátano, pastos, yuca, fríjol, maracuyá y hortalizas, los cuales son estratégicos para la seguridad alimentaria y los ingresos complementarios en municipios como Toribío, El Tambo y Morales. Por el contrario, en Piendamó, El Tambo, Toribío y Cajibío se conserva la tradición cafetera, tanto que en algunas épocas del año el café y el aguacate compiten por la mano de obra disponible en la región, la cual es cada vez más escasa.

La trayectoria y experiencia identificada de los productores es un gran activo para procesos de transferencia y vinculación de tecnología, pues los productores tienen una experiencia agropecuaria superior a 25 años en el cultivo de café y de 15 años en aguacate. Teniendo en cuenta que el cultivo de aguacate Hass es reciente en el país y en el Cauca, la experiencia específica oscila entre 4 y 11 años. Los productores con mayor experiencia se encuentran en Cajibío y Morales, mientras que en Caldon, Caloto y Toribío están los de menor trayectoria.

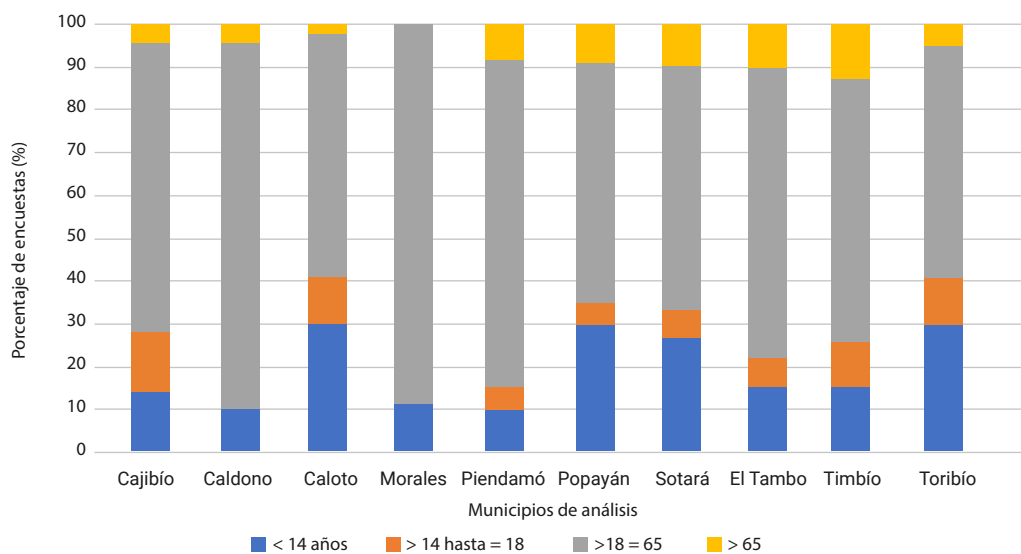
Esta experiencia se respalda con una población que se encuentra en edades entre 18 y 65 años (68 %), con capacidad para tomar decisiones civiles y trabajar en actividades agropecuarias, frente a una población por debajo de los 18 años (26 %) (figura 3.8). Específicamente, los municipios de Caldon, Morales y Piendamó tienen mayor población por encima de los 18 años, mientras que la población de agricultores más jóvenes se encuentra en los municipios de Toribío, Cajibío, Caloto, Sotar y Timbío, en donde se registra la participación de hijos de productores en dichas actividades.

Figura 3.7. Tamaño de área de cultivo en los municipios analizados en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8. Rango de edad de productores del cultivo en municipios analizados en el departamento del Cauca.

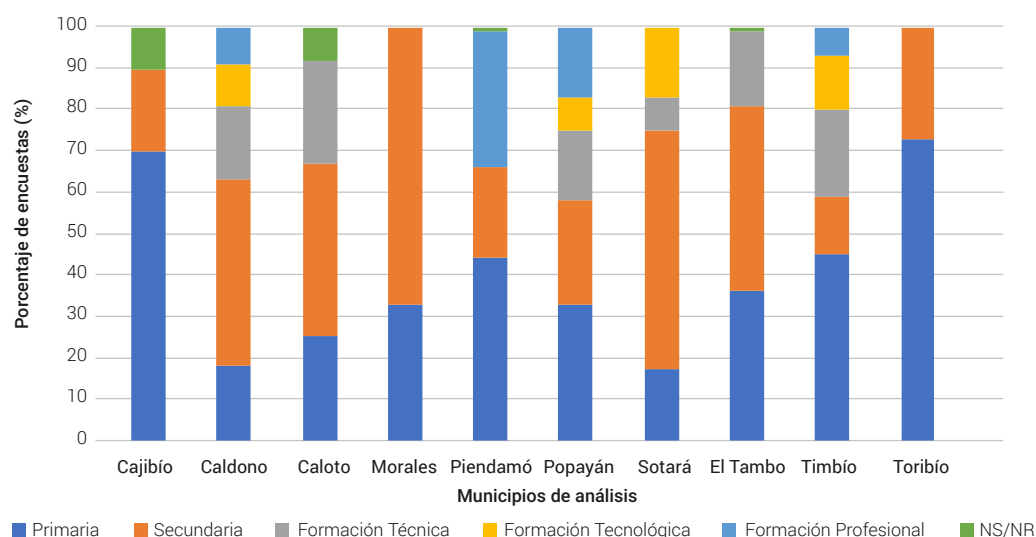


Fuente: Elaboración propia.

Gran parte de los agricultores cuentan con grado de escolaridad en básica primaria o secundaria (74 %), y tan solo una pequeña fracción de la población tiene estudios de tipo técnico o tecnológico (16 %) y universitarios (8 %). Esta característica, que es clave para la toma de decisiones técnicas, se relaciona con la edad de los productores y el acceso de los municipios a instituciones de educación, como se refleja en Caldono, Timbío, Popayán y Sotará, en donde se registra formación hasta nivel tecnológico y universitario (figura 3.9).

La venta de productos agrícolas sigue siendo la principal fuente de ingresos de los productores de aguacate (69 %), la cual combinan con la venta de su fuerza laboral en otros predios, las actividades pecuarias y otros ingresos, como salarios o pensiones. En la zona aún no se identifican actividades emergentes como la venta de servicios comerciales, lo cual evidencia la importancia que mantienen las actividades agropecuarias. También se identifican los cultivos de uso ilícito, los cuales tienen influencia en parte de los municipios evaluados.

Figura 3.9. Nivel de escolaridad de productores del cultivo en municipios analizados en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Como fuentes de financiación, cerca del 70 % de los productores acceden a crédito bancario para apalancar las actividades del sistema de aguacate. Los agricultores cuentan con crédito de tipo estatal (Banco Agrario) (56 %), de diferentes entidades privadas (8 %) y de amistades o personas particulares (5 %) para realizar préstamos de inversión en la producción. El 30 % de los productores no utiliza o no tiene acceso a crédito, en la mayoría de los casos por falta de activos como soporte para su gestión ante entidades crediticias.

El aguacate es un cultivo muy demandante en mano de obra, por tanto es necesario complementar el trabajo familiar contratando personas externas según las labores agronómicas. Sin embargo, en la región la mano de obra es escasa (70 %), en parte debido a la minería ilegal y los cultivos de uso ilícito, entre otras actividades prohibidas que alteran el valor real de los jornales y su costo de oportunidad. En este contexto, los productores emplean

mano de obra mixta (32 %), contratan temporalmente por labores específicas (31 %), utilizan solo mano de obra familiar (28 %) o realizan un contrato permanente, sin que sea exclusivo para el cultivo de aguacate (6 %).

Tecnología local de producción

Manejo del cultivo y comercialización

La variedad Hass es predominante en los predios de los productores consultados, quienes tienen como objetivo principal la comercialización internacional o la exportación (85 %). No obstante, en el patronaje se identificó un gran desconocimiento sobre las especies (54 %), situación que se presenta en gran parte de las zonas productoras de aguacate en el país. Se destaca que un porcentaje importante del material vegetal ha sido suministrado por proyectos institucionales, como sucede en Popayán y Toribío (80 %), mientras que en otros casos, como Morales (80 %) y El Tambo (70 %), ha

sido adquirido directamente por el agricultor en sitios de producción de la región.

En la zona se tienen dos tipos de arreglos del cultivo: asociado con otros cultivos (50 %), como café, plátano y cítricos con algún tipo de planificación, distancia y siembra debidamente establecida, y arreglos en monocultivo (44 %), los cuales se encuentran en avance en zonas de los municipios de Timbío (55 %), Sotará (85 %) y Popayán (60 %) (figura 3.10).

La disponibilidad y uso del agua es una de las limitantes que se identificó en los municipios intervenidos, especialmente el manejo de los productores durante las épocas secas. Además, la falta de estrategias para almacenar el agua (solo el 40 % maneja alguna estrategia) y de infraestructura de riego para el cultivo constituyen uno de los principales desafíos para la producción durante el año.

Al respecto, gran parte de los productores manifiestan que no cuentan con la infraestructura de almacenamiento o riego (75 %) para consumo productivo durante las épocas de escasez, mientras que un número muy bajo tiene algún sistema de riego (23 %), como aspersión (8,4 %), gravedad (7,5 %) y goteo (5 %) (figura 3.11).

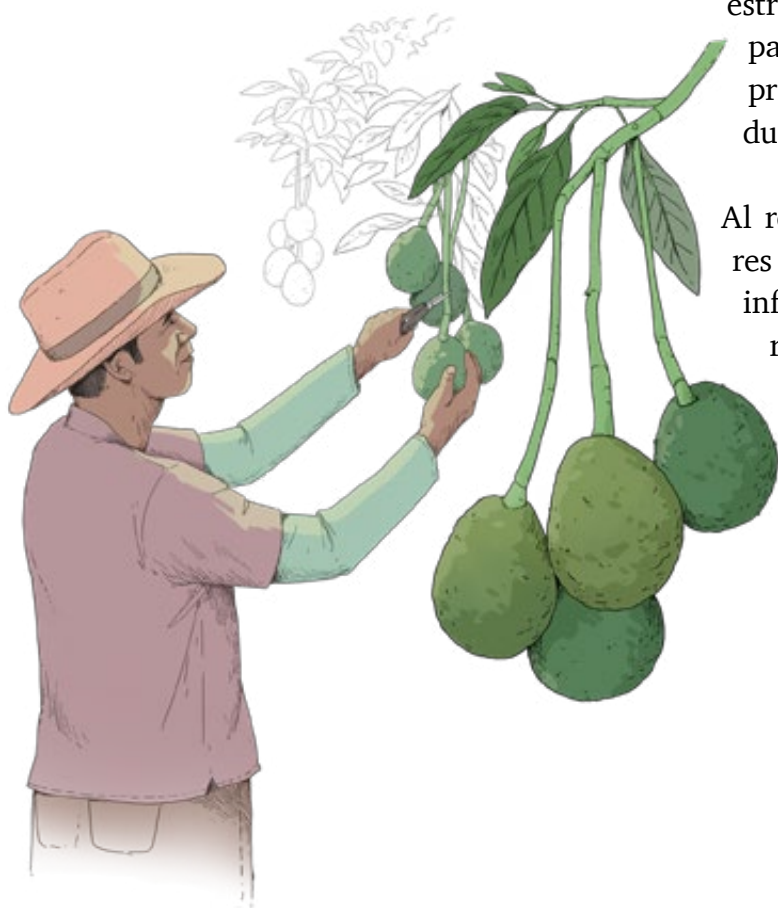
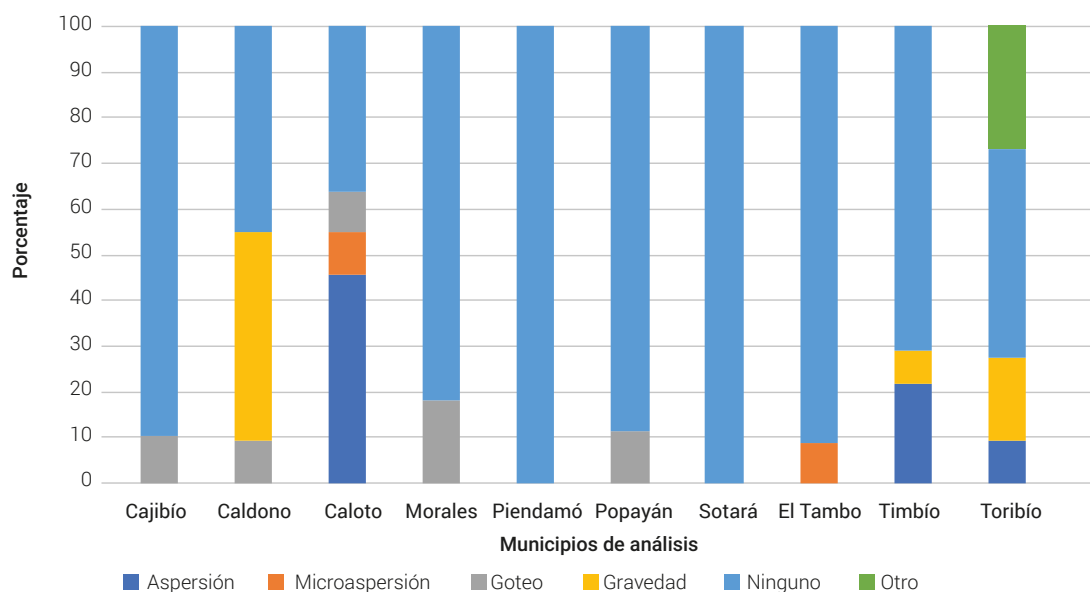


Figura 3.10. Características del manejo del cultivo en sistemas de producción de aguacate en el departamento del Cauca. a. Material vegetal; b. Propagación de semilla; c. Arreglo asociado con café; d. Plántulas para siembra; e y f. Arreglo del cultivo asociado y monocultivo.



Fotos: Alejandra Angarita, Diana Lucía Correa Moreno y Frank Barrios

Figura 3.11. Tipo de riego utilizado para el cultivo de aguacate Hass en los municipios analizados en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que gran parte de los productores fertilizan su cultivo de aguacate (98 %), muchos no utilizan los análisis de suelos (60 %) como una herramienta para definir las fuentes y dosis de fertilizante requeridas en un plan de fertilización (tabla 3.2).

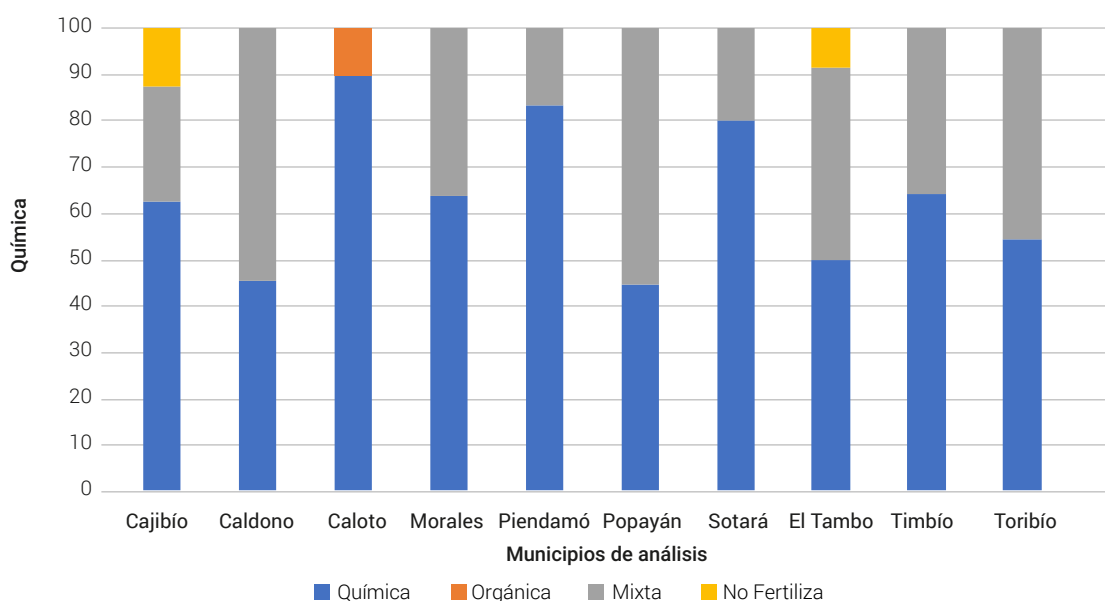
Aun así, en la mayoría de los cultivos se utilizan productos de síntesis química (63 %), sobre todo en los municipios de Popayán y Morales, o fertilización mixta (32 %), es decir, con fertilizantes y abonos orgánicos, lo cual se observa en mayor proporción en los municipios de Piendamó (55,6 %), Caldono (54,5 %) y Toribío (45,5 %) (figura 3.12).

Tabla 3.2. Principales características productivas asociadas al manejo del cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca

Manejo del cultivo	Clase - Porcentaje de huertos (%)				
Origen del material	Producido (1)	Comprado (50)	Suministrado (40)		
Patrón sembrado	Hass (92)	Criollo (7)	NS/NR (1)		
Arreglo de siembra	Asociado (50)	Monocultivo (44)	Disperso (6)		
Pendiente del terreno	Plana (7)	Ondulada (76)	Pendiente (22)		
Análisis del suelo	Realiza análisis de suelos (40)	No realiza análisis de suelos (60)			
Fertilidad del suelo	Química (63)	Orgánica (3)	Mixta (32)	No fertiliza (2)	
Tipo de sistema de riego	Aspersión (8,4)	Microaspersión (4,1)	Goteo (5)	Gravedad (7,5)	Ninguno u otros (75)
Estrategias de almacenamiento de agua	Cuenta con estrategias (40)	No cuenta con ninguna estrategia (55)	No necesita almacenamiento de agua (5)		
Estimulación	Hace estimulación (6)	No hace estimulación (94)			
Control de arvenses	Mecánico (80)	Químico (10)	Manual (2)	Otro (7)	
Podas	Hace podas (70)	No hace podas (30)			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.12. Tipo de fertilización utilizado para el cultivo en los municipios analizados en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Entre las principales limitantes que restringen el acceso al mercado y afectan los rendimientos de los cultivos en el departamento del Cauca se encuentran los problemas fitosanitarios. Las plagas que más inciden en el cultivo según los productores son: trips (*Heliothrips haemorrhoidalis* Bouché) (83 %), pega pega (*Platynota* sp.) (76 %) y monalonion (*Monalonion velezeangeli* Carvalho y Costa) (72 %). Por su parte, las enfermedades de mayor incidencia son: antracnosis (*Glomerella cingulata* (Stoneman) Spauld & Schrenk) (5 %), pudrición del fruto (*Rhizopus stolonifer* (Ehrenb: Fr.) Vuill) (57 %) y lenticelosis o mancha negra de la cáscara (55 %). Tales problemas fitosanitarios afectan sobre todo la calidad del fruto y, por consiguiente, el acceso al mercado.

Para el cultivo de aguacate Hass, el control de arvenses es una de las labores que más peso tienen en la estructura de costos durante los primeros años. En la región este manejo se realiza en rotación de manera mecánica con guadaña (80 %), manual con machete (10 %) y, en última instancia, con herbicidas químicos. El manejo

de arvenses resulta más eficiente cuando el aguacate se da en asociación con otras especies, como el café y el plátano, o en esquemas de utilización de coberturas vegetales para proteger y conservar el suelo.

El principal destino de la producción del aguacate es el canal de la exportación (53 %), especialmente en los municipios de Cajibío, Caldon, Caloto, El Tambo y Toribío. Sin embargo, gran porcentaje de la producción no alcanza los estándares de calidad requeridos por las empresas comercializadoras o empacadoras, por lo cual se destina al mercado nacional (10 %), como sucede en Morales (100 %), y al mercado regional (9 %), hacia las ciudades de Popayán, Cali y Pasto, como es el caso de Timbío (50 %) (figura 3.13).

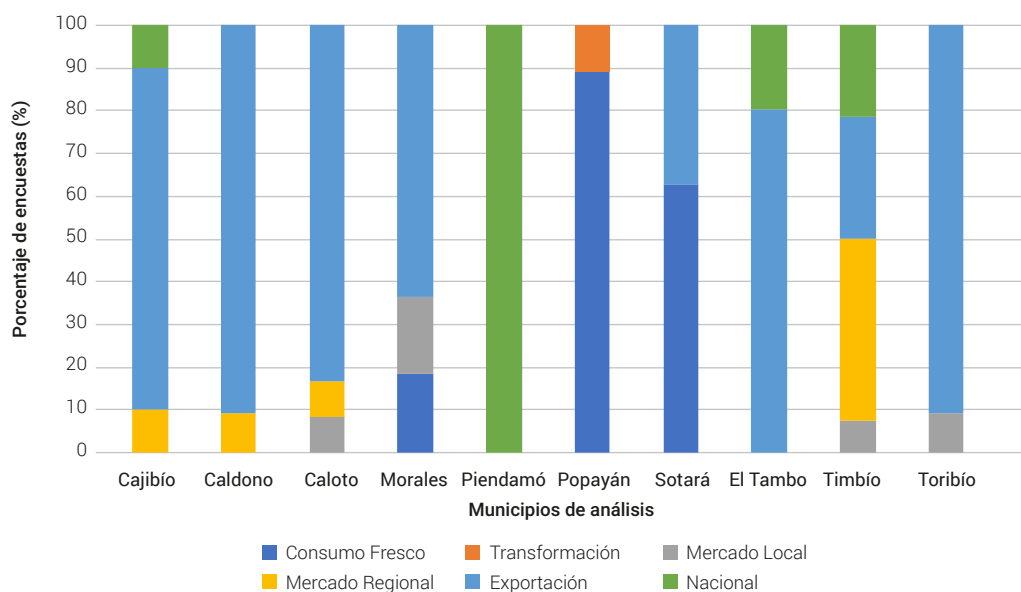
Figura 3.13. Calidad de aguacate Hass cosechado. a. y b. Fruta para mercado de exportación y nacional; c y d. Fruta para descarte por problemas de manejo del cultivo.



Fotos: Alejandra Angarita, Diana Lucía Correa Moreno y Franklin Barrios

Además, se identificó que en los municipios de Popayán, Piendamó, Sotaró y Timbío, el destino de la producción es más diversificado, pues combinan el mercado local, regional y nacional (figura 3.14).

Figura 3.14. Principal destino de la producción para el cultivo en los municipios analizados en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

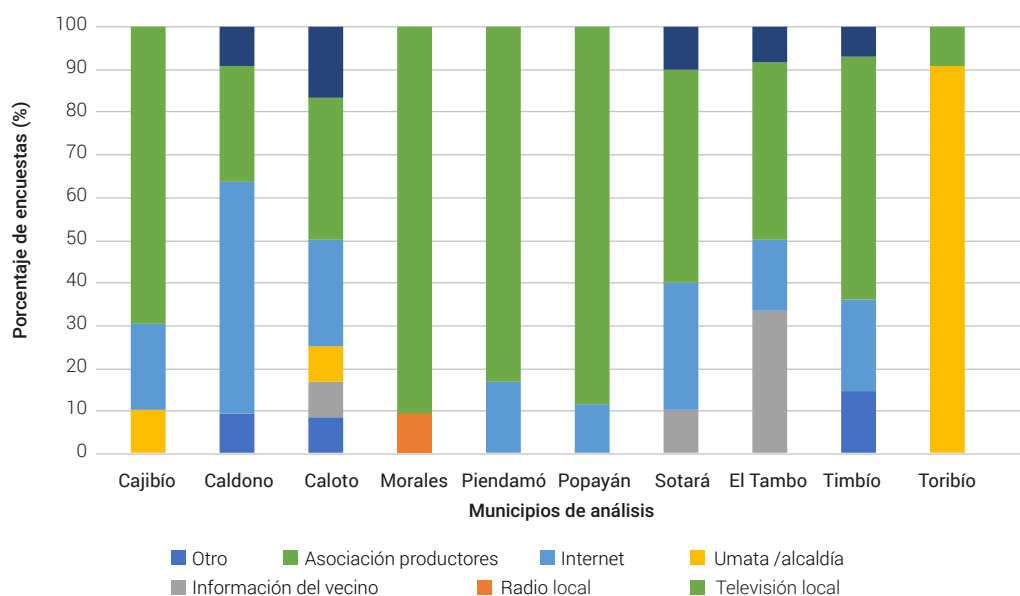
Asistencia técnica y transferencia de tecnología

El servicio de asistencia técnica a productores de aguacate es relativamente alto (85 %). En particular, los productores cuentan con asistencia técnica (no especializada) para sus cultivos o actividades pecuarias, es decir, reciben la visita o acompañamiento de asistentes técnicos provenientes de casas comerciales, Asofrucol, el Comité de Cafeteros, la Cámara de Comercio, el Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena), la OIM, entre otros, según se reporta. Cabe señalar que este indicador es alto con respecto a los reportes nacionales sobre los predios que se benefician con

algún tipo de asistencia técnica (15 % - 20 %), lo cual evidencia el carácter institucional formal que ha caracterizado la producción de aguacate en el Cauca, ya que ha sido introducida y promovida por diferentes iniciativas interinstitucionales.

En un aspecto relacionado, se encontró que las fuentes de información que consultan los productores sobre diferentes temas relacionados con el aguacate corresponden, en orden de importancia, a la asociación de productores de aguacate de cada municipio (48 %), recursos de internet (20 %), la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (Umata) o la alcaldía municipal (11 %), y televisión local, el vecino u otro productor (5 %) (figura 3.15).

Figura 3.15. Fuentes de información sobre el cultivo de aguacate consultadas por los productores que participaron en el proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Para municipios como Toribío, la principal fuente de información es la alcaldía y en Caldono el internet. Se resaltan las fuentes humanas como principal medio, aun cuando emergen nuevos

recursos como el internet. Además, aunque la radio es uno de los principales medios de comunicación en los espacios rurales, en esta investigación no aparece como una fuente de información, al menos en temas relacionados con el aguacate.

Tipificación de los productores

Los productores de aguacate Hass en el departamento del Cauca se pueden categorizar en tres grupos principales: 1) pequeños-medianos con baja capacidad de tecnificación, 2) pequeños-medianos con alta capacidad de tecnificación y diversificación económica, y 3) productores de gran escala con amplia diversificación económica y productiva (tabla 3.3).

A partir de esta clasificación, se evidenció una presencia considerable de productores pequeños-medianos (alrededor de 6 en cada 10 casos), los cuales tienen una capacidad de mejora tecnológica bastante limitada. Su posición de desventaja económica y educativa hace que los procesos de transferencia de conocimiento de técnicas productivas sea un reto considerable.

Por esta razón, con este grupo se debe hacer una implementación especial de sistemas sociales de apropiación, de manera que se generen los cambios culturales suficientes para garantizar que la adopción de las nuevas prácticas se mantenga a través del tiempo. A su vez, este segmento de productores requiere una caracterización sociocultural en profundidad que permita construir estrategias de apoyo y compra comunitaria de producción para mejorar la perspectiva de ingresos en el mediano plazo. Su apuesta de mercado a mediano plazo es de escala local y de escala regional a futuro.

Asimismo, se encuentra otro segmento que contiene a productores pequeños-medianos (aproximadamente 36,9 %), quienes enfrentan condiciones favorables en términos de educación y acceso a crédito.

Tabla 3.3. Escala de tipificación de productores de aguacate Hass en los municipios analizados en el departamento del Cauca

Tipo de productor	Descriptoros
Productores pequeños-medianos con limitaciones para tecnificación [G3] (60,9 %) 	Productores con dedicación de área en aguacate hasta 2 hectáreas. Nivel educativo usual de primaria completa y entre uno y tres años de educación secundaria. Estos productores tienen una alta dependencia financiera con respecto a su producción agropecuaria. Su producción de aguacate se encuentra en terrenos de condiciones topográficas relativamente favorables y tienen buen acceso a asistencia técnica específica para el cultivo, pero su nivel técnico es limitado. Se presenta un mayor esquema de producción como cultivo asociado, además de una alta limitación en el uso de sistemas de riego. La tierra de sus fincas es principalmente propia, por lo que tienen facilidad de acceso a crédito.
Productores pequeños-medianos con alta capacidad de tecnificación [G1] (36,9 %) 	Productores con dedicación de área en aguacate hasta 3,5 hectáreas. Nivel educativo usual de secundaria completa. Estos productores han logrado diversificar su economía, por lo cual su dependencia financiera a la producción agropecuaria es baja. Su producción de aguacate se encuentra en terrenos de condiciones topográficas relativamente favorables y tienen buen acceso a asistencia técnica específica para el cultivo. Su nivel tecnológico es más avanzado, lo cual evidencia una más amplia dedicación a sistemas de producción de monocultivo, a pesar de que también cuentan con limitación de acceso a sistemas de riego (aunque con más presencia que en productores menos tecnificados). La tierra de sus fincas es principalmente propia, por lo cual tienen facilidad de acceso a crédito.

Tipo de productor	Descriptoros
 Productores de gran escala [G2] (2,2 %)	Productores de gran escala, con tamaños medios dedicados a la producción de aguacate que fácilmente superan las 4 o 5 hectáreas. Nivel educativo usual de secundaria completa, con uno o dos años de formación adicional en educación terciaria. Estos productores han logrado diversificar su economía, por lo cual su dependencia financiera a la producción agropecuaria es baja. Su producción de aguacate se encuentra en terrenos de condiciones topográficas siempre favorables y aunque tienen buen acceso a asistencia técnica específica para el cultivo, esta tiende a ser opcional dado que tienen mejor capacidad técnica de entrada. Su ventaja productiva se revela en su dedicación completa a esquemas de monocultivo, pero precisamente por su gran escala se caracterizan por una ausencia sistemática de mecanismos de riego en sus lotes (se opera por escala antes que por rendimiento). Dada su dinámica económica diferente y diversificada, la tenencia de la tierra es propia y titulada o en otro tipo de arreglo de manejo, y el acceso a crédito se da por entidades estatales o simplemente no se hace uso de financiación por vía de crédito.

Fuente: Elaboración propia.

Fotos: Alejandra Angarita, Diana Lucía Correa Moreno y Luis Carlos Grajales Guzmán

Este tipo de productores está en mejor posición para hacer una rápida asimilación de recomendaciones productivas de mediana complejidad, así como para mantener la adopción de dichas prácticas en la medida en que estas les generen un cambio observable y significativo de resultados en productividad y/o ingresos. Asimismo, las estrategias dirigidas a conectar a los productores con mercados internacionales son muy viables con este tipo de agricultores, siempre que se recurra al trabajo colaborativo para aprovechar las ventajas de las redes consolidadas a través de las asociaciones productivas.

Finalmente, si bien el segmento de grandes productores (aproximadamente 2,2 %) cuenta con facilidades financieras para implementar tecnologías avanzadas, se encontró que también tiene restricciones de economía de escala. Debido a su estructura diversificada, sumado al tamaño de sus capacidades productivas, puede hacer un mejor aprovechamiento de aumentos productivos por mecanismos extensivos. Este grupo, más allá de la provisión de conocimientos de técnicas productivas, necesita la exploración apropiada de incentivos que los disuada de hacer uso de producción intensiva sostenible, antes que de producción extensiva en uso del suelo y con uso ineficiente de insumos químicos y recursos hídricos.

Estos hallazgos evidencian que las estrategias de vinculación tecnológica deben hacer un manejo diferenciado de aproximación a los diferentes tipos de productores (figura 3.16). Es importante tener una mejor exploración de las redes sociales de conocimiento de los productores, así como de las redes que caracterizan la cadena de valor productiva del cultivo, tanto a escalas regionales y nacionales, como también de alcance internacional. Lo anterior, acompañado de estudios de patrones socioculturales, permitirá que la adopción de prácticas mejoradas y sostenibles para el cultivo del aguacate Hass en el departamento del Cauca se mantenga a través del tiempo, lo cual es precisamente una de las principales metas de los programas de investigación agronómica en países en desarrollo.

Si bien el segmento de grandes productores (aproximadamente 2,2 %) cuenta con facilidades financieras para implementar tecnologías avanzadas, se encontró que también tiene restricciones de economía de escala. Debido a su estructura diversificada, sumado al tamaño de sus capacidades productivas, puede hacer un mejor aprovechamiento de aumentos productivos por mecanismos extensivos.

Figura 3.16. Estrategias de transferencia y vinculación tecnológica con actores de la cadena de aguacate Hass en Caldono (a), Sotará (b) y Timbío (c).



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno y Franklin Barrios

Cadena productiva de aguacate Hass en el departamento del Cauca

En la cadena de valor de aguacate Hass en el departamento del Cauca se identificó que existe una amplia variedad de actores institucionales y que en los últimos años se han dinamizado debido al auge exportador en la región y en varias zonas del país, lo cual se ha apalancado en el creciente interés por la fruta en países de Norteamérica y Europa.

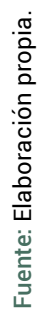
Los procesos de exportación han propiciado dos fenómenos en la cadena: por una parte, la organización y avance en el desarrollo

tecnológico de los sistemas de producción y, por otra, acuerdos institucionales con el propósito de alcanzar una mayor producción y fruta de mejor calidad para el mercado internacional y nacional. Asimismo, los canales de comercialización para consumo interno han tomado importancia y se han diversificado debido al aumento de la demanda y el consumo nacional.

De acuerdo con la trayectoria del cultivo en la región, la cadena se encuentra en plena formación, caracterizada por procesos consolidados de organización, fomento a la producción y crecimiento, y con potencial para procesos de exportación y actividad agroindustrial. En particular, se identificaron cinco eslabones productivos que confluyen según los canales de comercialización: 1) proveedores de insumos /servicios, 2) producción primaria, 3) comercialización, 4) transformación y 5) consumo (figura 3.17).

1. *Provisión de insumos y servicios*: eslabón conformado por actores locales y regionales que prestan servicios o proveen bienes a los diferentes eslabones de la cadena. Su papel es estratégico en la medida en que responde a las demandas de otros actores.
2. *Producción primaria – aguacate*: este eslabón agrupa productores asociados, cooperativas, productores no agremiados y otras figuras organizativas, como las llamadas *organizaciones de segundo piso*, las cuales reúnen a grupos de base de productores.
3. *Comercialización (nacional – exportación)*: representa los actores que condicionan las normas o reglas de juego para el flujo de la cadena de valor de aguacate en Cauca, por lo cual tienen incidencia sobre otros eslabones y actores identificados. Lo constituyen emparadoras o *packing house*, grandes superficies y supermercados, plazas de mercado, autoservicios e intermediarios primarios y secundarios. Es de resaltar que son pocas las labores poscosecha que se realizan en la finca: la selección y clasificación son las más reportadas, seguido del empaque en canastillas; algunos productores manifiestan hacer lavado y almacenamiento de la fruta.

4. *Agroindustria rural – transformadores*: aunque son pocos los actores dedicados a procesos agroindustriales de aguacate, la fruta destinada a este canal es cada vez mayor. En la región se identifican agroindustrias que tienen su sede principal en los departamentos del Valle del Cauca y Antioquia, las cuales procesan el aguacate en productos como guacamole, salsas y aceites, principalmente, y los comercializan en el mercado nacional.
5. *Consumidores*: en este eslabón encontramos los actores hacia los cuales se dirige finalmente la producción. Dependiendo de las oportunidades de mercado, corresponde a consumidores locales, regionales e internacionales. La mayor parte de la producción de aguacate obtenida en el Cauca se consume como fruta en fresco en el mercado de plaza y supermercados en el Cauca, Valle del Cauca, Nariño, el Eje Cafetero y Bogotá. Por su parte, el mercado de exportación se ubica principalmente en países de Europa como Holanda, Bélgica y Alemania, y recientemente en Estados Unidos.



Conclusiones

Se concluye que el sistema de producción de aguacate en los once municipios del departamento del Cauca analizados es heterogéneo y disperso, con diferentes grados de tecnificación y articulación al mercado nacional e internacional. Se identificaron diferencias entre municipios que no se deben a su ubicación o cercanía a los centros de comercialización, sino a las prácticas agronómicas que implementan, la certificación y los registros de exportación, así como al acompañamiento institucional de los procesos que han impulsado el cultivo en el departamento.

Referencias

- Agronet (2020). *Comparativo de área, producción, rendimiento y participación departamental por cultivo*. [Base de datos]. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/paginas/home.aspx?cod=1>
- Bartoli, J. A. (2008). *Manual técnico del cultivo del aguacate Hass* (Persea americana L.). Fundación Hondureña de Investigación.
- Escobar, G., & Berdegue, J. (Eds.). (1990). *Tipificación de sistemas de producción agrícola*. Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción. <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/e701e047-a66f-443d-977c-fa48ab741b61/content>
- Fonseca, F., Aguilar, D., Siachoque, R., Urbina, J., Otero, J., Páramo, G., & García, E. (2018). *Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). https://upra.gov.co/es-co/Publicaciones/Zonas_aptas_aguacatehass.pdf
- Gamarra, J. (2007). La economía del departamento del Cauca: concentración de tierras y pobreza. *Documentos de Trabajo sobre Economía Regional*, 95. <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-95.pdf>
- Jaramillo-Salazar, C. A. (1997). *Tipificación de productores y caracterización de la tecnología utilizada en la explotación del cultivo de arroz en el municipio de Villavicencio, Meta* [Tesis de Maestría,

Pontificia Universidad Javeriana]. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6527/1/213.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020). Cadena productiva de aguacate. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Unidad de Planificación Agropecuaria [UPRA]. (2014). *Consolidación de la metodología de evaluación de tierras para zonificación con fines agropecuarios a escala semidetallada (1:25.000)*. <http://biblioteca-digital.agronet.gov.co/handle/11438/8489?mode=full>

Vásquez Gallo, L. (2011). *Caracterización biofísica y socioeconómica del sistema de producción de aguacate cv. Hass en los departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda y Quindío*. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13547>



CAPÍTULO IV

Zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca (1:25.000)

Diana Lucía Correa Moreno

Andrés Felipe Rodríguez

Sebastián Polo

María Casamitjana



Introducción

La evaluación de la tierra es un proceso que permite identificar y valorar los usos específicos que se adaptan a las características propias de las zonas evaluadas y se constituye en una herramienta importante para la planificación, pues su objetivo principal es la gestión mejorada del uso sostenible de la tierra para beneficio de la sociedad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2007).

La metodología de evaluación de tierras con propósitos de zonificación agropecuaria a escala detallada y semidetallada (1:100.000 - 1:25.000), generado por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), tiene como eje de aplicación los principios y fundamentos del esquema de evaluación de tierras, los cuales se abordan en términos de cinco dimensiones: biofísica, ambiental, económica, sociocultural y tecnológica, asociados a las características particulares de un Tipo de Utilización de Tierra (TUT) (UPRA, 2013).

El componente biofísico determina la aptitud del territorio (subcomponentes edáficos y climáticos) para soportar el tipo de producción.

El componente biofísico determina la aptitud del territorio (subcomponentes edáficos y climáticos) para soportar el tipo de producción. La dimensión ambiental considera criterios relacionados con la biodiversidad de los ecosistemas, la disponibilidad del recurso hídrico para actividades productivas en el territorio, la amenaza por fenómenos naturales (inundaciones, deslizamientos,





sequías, heladas, etc.) y riesgo de erosión en la zona de análisis (UPRA, 2014).

El componente socioeconómico evalúa la competitividad o capacidad operativa del territorio para que se desarrolle la actividad productiva, de tal forma que se pueda determinar su eficiencia para la producción. Con este propósito se consideran variables como la infraestructura vial, la cercanía a zonas urbanas y la disponibilidad de mano de obra. La dimensión sociocultural se basa en la participación de los habitantes en organizaciones, la distribución de la tierra, etc.

Finalmente, la dimensión tecnológica considera la disponibilidad o el acceso a tecnología y la intensidad de insumos, así como su optimización en las diferentes etapas del proceso productivo, que permitan maximizar los recursos (UPRA, 2014).

Esta información sirve de soporte para comprender diversos aspectos necesarios en la planificación del desarrollo del sector rural: 1) establecer una medida sobre el potencial productivo de las diferentes zonas; 2) correlacionar los factores socioeconómicos con los recursos naturales, 3) proporcionar una base para la planificación agrícola y 4) proporcionar una base para que se pongan en marcha nuevas políticas de desarrollo que contemplen cambios estructurales. En general, al delimitar las zonas aptas o núcleos de producción se señalan las áreas que tienen un gran potencial para el desarrollo y que pueden responder en un plazo muy breve a un fuerte impulso de los medios técnicos y financieros disponibles (Organización de los Estados Americanos [OEA], 2017).

El proyecto de ley que crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuario (SNIA) plantea que las actividades de ciencia, tecnología e innovación (CTi) tienen un papel fundamental frente al uso eficiente del suelo y la reconversión productiva agropecuaria. Esta última se define como una estrategia de manejo de los sistemas agropecuarios que integra y direcciona de manera ordenada las acciones necesarias para lograr el uso eficiente del suelo y del agua e incrementar la sostenibilidad y la competitividad. En

este sentido, las estrategias buscan reducir de manera integral los conflictos de uso del territorio teniendo en cuenta las dimensiones biofísicas, ecosistémicas, sociales, económicas, culturales y científico-tecnológicas.

Específicamente, en este capítulo se presenta el resultado de la evaluación de tierras a escala semidetallada (1:25.000) que se realizó para identificar las zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass en municipios del departamento del Cauca. Además, la información cartográfica que se generó sobre los criterios evaluados contribuye no solo a establecer las limitantes que tiene el territorio para desarrollar cultivo, sino también a tomar decisiones sobre la planificación de nuevas áreas, el mejoramiento de la productividad mediante la adopción de tecnologías acordes al contexto local y la competitividad del sistema de producción de aguacate Hass en la región.

Metodología

La identificación de zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass se realizó aplicando la metodología de evaluación de tierras con fines de zonificación agropecuaria a escala semidetallada (1:25.000) (UPRA, 2014). La aplicación de este modelo metodológico tiene como eje los principios y fundamentos del esquema de evaluación de tierras, cuyos pilares son el enfoque socioecosistémico y el enfoque de competitividad (FAO, 2007).

Como se señaló en la introducción, estos enfoques son abordados en términos de las dimensiones biofísica, ambiental, económica, sociocultural y tecnológica, asociadas a las características físicas y socioeconómicas del TUT analizado, que en este caso es el sistema de producción de aguacate Hass en las condiciones de los municipios priorizados en el departamento del Cauca (Colombia).

La evaluación de zonas aptas a escala 1:25.000 se realizó en un área delimitada entre 1.400 y 2.200 m s. n. m. de los municipios



de Cajibío, Caldone, Caloto, Corinto, El Tambo, Morales, Piendamó, Popayán, Sotará y Timbío, con una cobertura total para análisis de 283.515 ha. Como base del estudio se tomó la información disponible de zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass a escala 1:100.000 (UPRA, 2018).

El modelo metodológico (UPRA, 2014) fue alimentado con dos fuentes: por una parte, información secundaria de instituciones de carácter nacional y regional, y, por otra, información primaria que se recogió durante el reconocimiento de campo y en ejercicios participativos en municipios de influencia, los cuales fueron realizados en el marco del proyecto Aguacate Regalías Cauca.

Esta información permitió establecer características particulares del sistema de producción de aguacate Hass y del contexto biofísico actual en zonas del departamento del Cauca. Así mismo, hizo posible contar con una aproximación a la zona de estudio, a la definición del TUT aguacate Hass, a la aptitud biofísica y socioeconómica, y a la identificación de zonas aptas para el cultivo como producto final de la metodología empleada. En el siguiente apartado se describen las actividades realizadas para obtener los subproductos y el producto final.

Definición del Tipo de Utilización de la Tierra para aguacate Hass

La definición del TUT en los municipios priorizados en el departamento del Cauca se hizo con la información recopilada en el diagnóstico participativo, que incluyó talleres y recorridos de campo con productores, asistentes técnicos y actores locales. Estos ejercicios permitieron definir los tipos y las características particulares de los sistemas de producción de aguacate identificados en los municipios priorizados, los cuales se describieron en el capítulo anterior.

En estas actividades también se identificaron los requerimientos físicos, ambientales, socioeconómicos, culturales y tecnológicos, así

como también las actividades indispensables para definir el nivel tecnológico local y las alternativas de manejo del cultivo, de acuerdo con las necesidades y las condiciones de los productores y su territorio. Este insumo constituyó la base para alimentar la descripción del TUT para aguacate Hass como complemento a la identificación de zonas aptas para el cultivo en la región (figura 4.1).

Figura 4.1. Ejercicio participativo de cartografía para identificar el TUT en los municipios priorizados.



Fotos: Diana Lucía Correa Moreno y Lina Garavito

Análisis de la aptitud biofísica para el cultivo de aguacate Hass

La aptitud biofísica a escala 1:25.000 se realizó considerando los principios y fundamentos del esquema de evaluación de tierras, las directrices y guías de la evaluación de tierras para agricultura, y el enfoque por etapas paralelas de integración y análisis de los componentes físico, socioeconómico y ecológico (FAO, 1976, 1984, 1985, 2007; UPRA, 2014, 2019).

Estos fundamentos permiten comparar las demandas del cultivo con la oferta natural de un territorio. Por lo tanto, es necesario determinar los requerimientos edafoclimáticos y ambientales específicos del cultivo, así como definir las cualidades y las características de la tierra asociadas a estos requerimientos.

El análisis de la aptitud biofísica (factores físicos + socio-ecosistémicos) se hizo con base en 23 variables, las cuales fueron agrupadas de acuerdo con 10 criterios asociados a los subcomponentes clima, suelos, relieve y amenazas sanitarias para satisfacer los requerimientos del cultivo (tabla 4.1), como sugiere el *Estudio de cultivo comercial de aguacate Hass, identificación de zonas aptas en Colombia, escala 1:100.000* (Fonseca et al., 2018). La información que da cuenta de las variables proviene de las fuentes secundarias y el trabajo de campo realizado en el marco del proyecto Aguacate Hass Cauca (AGROSAVIA, 2020), como se describe a continuación (tabla 4.1):

1. La cartografía y leyenda de geomorfología a nivel de formas de terreno (1:25.000), clima y suelos (AGROSAVIA, 2020), fueron elaboradas con los siguientes insumos: análisis de materiales litológicos (Servicio Geológico Colombiano [SGC]); análisis de sistemas morfogénicos colombianos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]); geomorfología del estudio general de suelos del departamento del Cauca (1:100.000); adquisición de sensores remotos (DEM Alos Palsar 12,5 m, Imágenes

ESRI, 0.3 m Digital Globe); sistema de clasificación climática para suelos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2014), y análisis espacial de la normal climática oficial de las estaciones meteorológicas de la zona (IDEAM, 2020).

2. La descripción de los perfiles de suelos característicos se basó en el estudio general de suelos 1:100.000 (IGAC, 2009). La información fue corregida para conocer el patrón de distribución y sus características morfológicas y químicas (AGROSAVIA, 2020).
3. La cartografía y leyenda de cobertura de la tierra (1:25.000) (AGROSAVIA, 2020) se elaboraron con base en los siguientes insumos: mapa de coberturas generado a partir de imágenes de Landsat 8 TM y el mapa de coberturas de la zona norte generada por la Corporación Regional del Cauca (CRC, 2017).
4. También se emplearon los registros oficiales de la presencia de plagas cuarentenarias en municipios del departamento del Cauca (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2015).

Tabla 4.1. Criterios y variables evaluados en la dimensión biofísica y ambiental

Criterio	N.º de variable	Variables	Descripción de la variable: indicador / fuente de consulta
Capacidad de laboreo: facilidad o dificultad que un terreno presenta en su preparación o adecuación para establecer un cultivo.	A1.1	Pendiente	Porcentaje de inclinación (%), grados sexagesimales o centesimales (°). Modelo digital de elevación. Datos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A1.2	Pedregosidad	Fase de pedregosidad. Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A1.3	Textura	Clase textural: proporción en porcentaje (%) de arena, limo y arcilla. Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).

Criterio	N.º de variable	Variables	Descripción de la variable: indicador / fuente de consulta
Condiciones de enraizamiento: características físicas del suelo que permiten el desarrollo óptimo de las raíces de las plantas y la formación adecuada de los frutos (UPRA, 2018).	A2.1	Profundidad efectiva	Profundidad efectiva (cm). Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A2.2	Pedregosidad	Fase de pedregosidad. Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A2.3	Textura	Clase textural: proporción en porcentaje (%) de arena, limo y arcilla. Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
Disponibilidad de humedad: capacidad que tienen los suelos de almacenar agua aprovechable para las plantas en cantidades suficientes para su desarrollo (UPRA, 2018).	A3.1	Régimen de humedad	Clase régimen de humedad del suelo: ústico, údico, arídico, ácuico y perácuico (UPRA, 2018). Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A3.2	Textura	Clase textural: proporción en porcentaje (%) de arena, limo y arcilla. Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A3.3	Pendiente	Porcentaje de inclinación (%). Modelo digital de elevación. Datos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
Disponibilidad de oxígeno: cualidad que indica las condiciones de aireación del suelo (UPRA, 2018).	A4.1	Susceptibilidad a inundaciones	Frecuencia y duración de las inundaciones o encharcamientos. Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A4.2	Drenaje natural	Nivel de drenaje. Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).

Criterio	N.º de variable	Variables	Descripción de la variable: indicador / fuente de consulta
Disponibilidad de nutrientes: grupo de variables que inciden en el aporte y almacenamiento de los nutrientes y está relacionada directamente con los contenidos en el suelo de los elementos mayores y menores, esenciales para el desarrollo (UPRA, 2018).	A5.1	Reacción del suelo (pH)	Reacción del suelo (pH) (acidez o alcalinidad). Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A5.2	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	CIC (Céntimo carga por kilogramo – cmolc/kg^{-1}). Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A5.3	Saturación de bases	Porcentaje bases (%). Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A5.4	Carbono orgánico	Carbono orgánico del suelo (%). Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
Toxicidad por sales, sodio y aluminio: expresa las concentraciones de elementos que pueden llegar a ser tóxicos, como los micronutrientes (Fe, Mn, Cl, Zn y Ni), las sales (cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, nitratos), la saturación de sodio y la saturación de aluminio (UPRA, 2018).	A6.2	Saturación de aluminio	Porcentaje de aluminio intercambiable (%). Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
Susceptibilidad a pérdida de suelos: grado o nivel de vulnerabilidad de las tierras a ser afectadas por los agentes erosivos y movimientos en masa. Por consiguiente, integra las variables que causan o que originan dichas pérdidas (UPRA, 2018).	A7.1	Fases por erosión	Erosión actual. Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A7.2	Susceptibilidad a movimientos en masa	Susceptibilidad a movimientos en masa (%). Estudio de suelos (IGAC, 2006). Datos de perfiles característicos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
	A7.3	Pendiente	Porcentaje de inclinación (%). Modelo digital de elevación. Datos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).

Criterio	N.° de variable	Variables	Descripción de la variable: indicador / fuente de consulta
Clima: conjunto de las condiciones meteorológicas de un espacio geográfico específico. Se caracteriza mediante las estadísticas de un periodo extenso de las variables o elementos climáticos referentes al estado de la atmósfera en dicho espacio (UPRA, 2018).	B1.1	Temperatura media	Grados centígrados (°C). Reclasificado según tipo de uso, referencias a investigación y consenso entre expertos y productores. IDEAM (2020).
	B2.1	Precipitación	mm de precipitación/año IDEAM (2020).
	B3.1	Brillo solar	Horas luz/día IDEAM (2020).
Relieve: conjunto de variables asociadas a la topografía y el paisaje que definen, entre otros, el nivel tecnológico, la posibilidad de mecanización, los microclimas, entre otras (UPRA, 2018).	C1.1	Pendiente	Porcentaje de inclinación (%). Modelo digital de elevación. Datos del proyecto (AGROSAVIA, 2020).
Riesgo fitosanitario: conjunto de las principales condiciones ambientales (temperatura, exceso hídrico y drenaje) y epidemiológicas (municipios reportados) que aumentan la probabilidad y explican el riesgo de inoculación, infección, propagación, infestación y daños causados por organismos fitopatógenos y fitófagos en cultivos comerciales de aguacate variedad Hass (UPRA, 2018).	D1.1	Temperatura asociada a <i>P. cinnamomi</i>	Grados centígrados (°C). Reclasificado según el tipo de uso, referencias a investigación y consenso entre expertos. IDEAM, 2020.
	D1.2	Drenaje natural asociado a <i>P. cinnamomi</i>	Nivel de drenaje. IDEAM (2020).
	D1.3	Exceso hídrico asociado a <i>P. cinnamomi</i>	mm de precipitación/año IDEAM (2020).
	D1.4	Humedad relativa asociada a <i>P. cinnamomi</i>	Porcentaje (%) IDEAM (2020).
	D1.5	Plagas cuarentenarias Reporte ICA	Reporte de plagas cuarentenarias en los municipios. ICA.

Criterio	N.º de variable	Variables	Descripción de la variable: indicador / fuente de consulta
Socioecosistémico: considera la biodiversidad, los bienes y servicios ecológicos vinculados estrechamente con los sistemas sociales, donde el hombre, la sociedad y su cultura, como componentes centrales de los ecosistemas, modelan y se adaptan a los cambios en la naturaleza.	E.1.1	Cambio de cobertura	Coberturas de la tierra. Cobertura de la tierra, escala 1:25.000. Corporación Autónoma Regional del Cauca (CARC, 2017).

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de la aptitud socioeconómica para el cultivo

El análisis de la aptitud socioeconómica consiste en evaluar la competitividad de los territorios, lo cual permite clasificar los municipios como unidad de análisis a partir del índice de competitividad estimado (IC). Esta medida compara los diferentes aspectos de competitividad entre municipios para definir las debilidades y fortalezas relativas de cada uno. Esto hace posible establecer sectores críticos susceptibles de mejora para el desarrollo y la competitividad de las regiones (UPRA, 2018).

Con esta herramienta se pueden identificar los requerimientos de infraestructura física, logística y tecnológica, así como las condiciones multidimensionales de los municipios productores de aguacate Hass para que desarrollen su producción y el sector sea competitivo. En este escenario, se asume que una vez se alcance un nivel óptimo de competitividad, esta debe reflejarse en mejores condiciones de vida para las comunidades que dependen directamente y para aquellas relacionadas con esta actividad agrícola.

En términos de la evaluación de aptitud socioeconómica para aguacate Hass, la competitividad se expresa en la capacidad de un

municipio evaluado (o región) para generar las condiciones de producción que promuevan el desarrollo sostenible de esta actividad agrícola (UPRA, 2018). De acuerdo con este enfoque, el análisis de aptitud socioeconómica se realizó considerando criterios y variables asociados a los subcomponentes socioeconómico y tecnológico (tabla 4.2). En total se integraron en el análisis 25 variables en 10 criterios afines con las dimensiones económica, sociocultural y tecnológica (UPRA, 2014), para determinar la competitividad en cada municipio de evaluación (tabla 4.2).

Para evaluar las variables y los criterios se utilizó la información que obtuvo el proyecto Aguacate Hass Cauca mediante encuestas en talleres participativos en los diez municipios en que se ejecutó

(Ospina, 2020). Esta información constituyó la base para tener una aproximación del territorio a escala local y elaborar la matriz de criterios con sus respectivas variables de evaluación. Adicionalmente, se colectó información secundaria en entidades gubernamentales oficiales para algunas variables con datos de tipo regional (tabla 4.2).

Para estudiar los criterios socioeconómicos y tecnológicos se eligió el municipio como unidad de análisis. Además, se estableció el índice de competitividad con el complemento de promedios simples para obtener un solo índice por criterio y homogeneizar así los resultados.

Asimismo, el procesamiento de las variables se hizo mediante la transformación de información cualitativa a cuantitativa, para lo cual se categorizó de manera binaria entre 0 (no posee la variable) y 1 (posee la variable).

Este procedimiento se realizó con el objetivo de generalizar las variables, los criterios y los lineamientos definidos en cada componente, de manera que fuera posible representarlos espacialmente en el modelo cartográfico definido para la zonificación.

Para estudiar los criterios socioeconómicos y tecnológicos se eligió el municipio como unidad de análisis. Además, se estableció el índice de competitividad con el complemento de promedios simples para obtener un solo índice por criterio y homogeneizar así los resultados. De esta manera se clasifican los municipios de

acuerdo con un índice de competitividad en tres rangos de aptitud competitiva: aptitud alta (A1), aptitud moderada (A2) y aptitud marginal o baja (A3) (tabla 4.2).

Tabla 4.2. Criterios y variables evaluados en la dimensión socioeconómica y tecnológica.

Criterio	Variables	Descripción de la variable: indicador / fuente de consulta
Apoyo institucional: acceso a la oferta institucional como apoyo para las actividades productivas.	Acceso a líneas de crédito	Municipios. Existencia de créditos realizados en el territorio FINAGRO-ICR CNA. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
	Iniciativas apoyadas por oferta institucional	Municipios. Existencia de asistencia técnica y programas institucionales. Minagricultura, Minambiente y CAR, gremios. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
Balance tecnológico en la producción primaria: capacidades identificadas en sistemas agrícolas para la tecnificación de actividades involucradas en la producción primaria.	Establecimiento del cultivo	Municipio. Predios con estrategias para manejo del agua, la nutrición y el cultivo. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
	Labores culturales	Municipio. Predios con labores culturales. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
	Manejo nutricional	Municipio. Predios con manejo nutricional. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
	Manejo sanitario	Municipio. Predios con monitoreo y control fitosanitario. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
Conectividad: facilidad para conectar el territorio con los centros de consumo (UPRA, 2014).	Vías de acceso a la finca	Municipio. Predios con vías de acceso. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
	Distancia a vía pavimentada	Municipio. Distancia del predio a vía pavimentada (km). Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).

Criterio	Variables	Descripción de la variable: indicador / fuente de consulta
Infraestructura tecnológica: expresa los factores de tipo tecnológico con los que cuenta el territorio en función de la infraestructura para la transformación y agregación de valor (UPRA, 2014).	Infraestructura para el acopio	Municipio. Existencia de bodegas, tanques de almacenamiento y silos para acopio. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
	Infraestructura para la agroindustria	Municipio. Existencia de secadores, desmotadores, trapiches, beneficiaderos u otras dotaciones de infraestructura. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
Mano de obra: mano de obra disponible para desarrollar la actividad productiva (UPRA, 2014).	Disponibilidad de mano de obra para actividades agropecuarias	Municipio. Predios con disponibilidad de mano de obra. DANE, Mineducación. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
	Disponibilidad de mano de obra calificada	Municipio. Predios con mano de obra calificada. Asistencia técnica. Nivel de escolaridad productores. DANE, Mineducación. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
Multifuncionalidad: conjunto de funciones alternativas, no agropecuarias desempeñadas en el territorio (UPRA, 2014).	Función paisajística	Municipio. Predios con tipo de paisaje o cultivo diferente. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
	Aprovechamiento de recursos específicos	Municipio. Predios con acciones o actividades del cultivo para la conservación de los recursos específicos. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
Organización: evalúa la disposición y participación de actores locales en trabajar colectivamente para la búsqueda de un objetivo común (UPRA, 2014).	Participación en organizaciones	Municipio. Predios que forman parte de organizaciones o gremios. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
	Capacidad de realización o ejecución de proyectos	Municipio. Predios que forman parte de proyectos o reciben apoyo del Estado. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
Seguridad y mantenimiento de la ruralidad: mantenimiento del medio rural y territorio poblado (UPRA, 2014).	Seguridad	Municipio. Registro de factores de violencia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Criterio	Variables	Descripción de la variable: indicador / fuente de consulta
Condiciones de desarrollo: evalúa la satisfacción de necesidades humanas y condiciones de vida que pueden afectar el uso de la tierra (UPRA, 2014).	Condiciones de vida del productor	Municipio. Necesidades básicas insatisfechas (NBI). DANE. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).
Comercio y oportunidades de venta: existencia de demanda intermedia o final en el territorio.	Oportunidades de venta	Municipio. Predios con acuerdos de compra. Encuestas del proyecto en los municipios (AGROSAVIA, 2020).

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de la aptitud integrada para el cultivo de aguacate Hass

Los insumos para evaluar la aptitud integrada fue la información procesada de los componentes biofísico y socioeconómico, de acuerdo con la metodología definida por la UPRA (2014, 2018). Específicamente, se siguieron estas etapas:

Definición de rangos de aptitud y exclusiones técnicas

Se tomaron como referencia las categorías descritas por UPRA (2018), clasificándolas en cuatro rangos de aptitud de acuerdo con los requerimientos del cultivo: aptitud alta (A1), aptitud moderada (A2), aptitud marginal o baja (A3) y no apta (NA) (tabla 4.3).

Tabla 4.3. Categorías para evaluar la aptitud de criterios y variables biofísicas y socioeconómicas

Categoría aptitud		Descripción aptitud biofísica / socioeconómica
Alta	A1	Zonas con las mejores condiciones desde el punto de vista biofísico y socioeconómico.
Media	A2	Zonas con limitaciones moderadas de tipo biofísico o socioeconómico.
Baja	A3	Zonas con fuertes limitaciones de tipo biofísico o socioeconómico, las cuales podrían adecuarse con grandes inversiones o el desarrollo de nuevas tecnologías.
No apta	NA	Zonas con restricciones físicas y socioecosistémicas que, en la actualidad, imposibilitan el desarrollo de la actividad.

Fuente: Elaboración propia.

Los rangos de aptitud para cada variable y criterio fueron definidos a partir de los requerimientos del cultivo consolidados para el proyecto Aguacate Hass Cauca (AGROSAVIA, 2021). Para esto se consultaron fuentes secundarias y se dialogó con expertos, información que fue validada en ejercicios participativos, como es el caso de los requerimientos edafoclimáticos (tabla 4.4).



Tabla 4.4. Rangos de aptitud y exclusiones para aptitud biofísica para aguacate Hass en municipios priorizados en el departamento del Cauca

Subcomponente	Criterio	Variable	Unidad dimensional de la variable	Rangos de aptitud			Exclusión técnica
				A1	A2	A3	
Climático		Altitud**	m s. n. m.	1.800 - 2.000	1.700 - 1.800; 2.000 - 2.300	< 1.500 - > 2.500	N1
	Condiciones climáticas	Temperatura media	°C anual ⁻¹	≥ 15 - < 18	≥ 18 - ≥ 20	≥ 13 - ≥ 15	
		Precipitación total	mm . año ⁻¹	≥ 1.000 - ≤ 2.000	> 2.000 - < 3.000	≥ 500 - < 1.000 ; ≥ 3.000 - < 2.000	
		Brillo solar medio diario anual	horas sol. día ⁻¹	≥ 5	≥ 3 - < 5	< 3	
Edáfico	Capacidad de laboreo	Pendiente**	%	≤ 25	> 25 - ≤ 50	> 50 - ≤ 75	> 75
		Textura**	Cualitativo	F, FL, FA, FAFA, FARL	FAR, ArA, ArL, L	A, AF, Ar	NA
		Pedregosidad	Cualitativo	Sin fase de pedregosidad	NA	Con fase de pedregosidad	NA
	Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva**	cm	> 100	≥ 50 - ≤ 100	< 50	< 40
		Textura**	Cualitativo	F, FL, FA, L, FAR, FARL, FAR	ArA, ArL, AF	Ar, A	NA



Subcomponente	Criterio	Variable	Unidad dimensional de la variable	Rangos de aptitud			Exclusión técnica
				A1	A2	A3	
		Pedregosidad	Cualitativo	Sin fase de pedregosidad	NA	Con fase de pedregosidad	NA
	Disponibilidad de humedad	Régimen de humedad	Cualitativo	Údico	Ústico	NA	Árido, ácuico y perácuico
		Textura**	Cualitativo	Ar, ArA, ArL, Far, FAra, FAraL, F	FA, L, FL	A, AF	NA
		Temperatura del suelo***	°C . anual ⁻¹	≥ 14 - ≤ 18	18 - 22	> 22	> 30
	Disponibilidad de oxígeno	Susceptibilidad a inundaciones	Cualitativo	No hay	Ocasionales	NA	Frecuentes y muy frecuentes
		Drenaje natural**	Cualitativo	Bien drenado y excesivo	Moderado	Imperfecto	Pobre, muy pobre y pantanoso
	Disponibilidad de nutrientes	Acidez (pH)**	pH	5,5 - 6,5	5,0 - 5,4 y 6,6 - 7,3	< 5,0 y > 8,0	< 4,0 y > 8,4
		Saturación de bases	%	> 35	≥ 10 - ≤ 35	< 10	NA
		Carbono orgánico	%	> 1,70 - ≤ 10; andisoles > 1,70 - ≤ 15	> 0,50 - ≤ 1,70; > 10; andisoles > 15	< 0,50; histosoles	
		Capacidad de intercambio catiónico	cmol. kg suelo ⁻¹	> 20	≥ 10 - ≤ 20	< 10	NA

Subcomponente	Criterio	Variable	Unidad dimensional de la variable	Rangos de aptitud			Exclusión técnica
				A1	A2	A3	
	Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Salinidad o sodicidad**	dS. m ⁻¹	≤ 2	> 2 - ≤ 4	> 4 - ≤ 8	> 8
			PSI (% sodio intercambiable)	≤ 10	> 10 - ≤ 15	NA	> 15
		Saturación de aluminio**	%	≤ 15	15 - 30	> 30	NA
	Susceptibilidad a la pérdida de suelos	Pendiente**	%	≤ 25	> 25 - ≤ 50	> 50 - ≤ 75	> 75
		Erosión actual	Cualitativo	No hay; ligera	Moderada	NA	Severa; muy severa
Fitosanitario		Susceptibilidad a movimientos en masa	Cualitativo	Muy baja; baja	Media	Alta; muy alta	NA
	Riesgo fitosanitario	Municipios reportados (plagas control oficial)	Reporte ICA	Negativos *	NA	Positivos **	NA
		Temperatura (<i>P. cinnamomi</i>)	°C	< 24	24 - 28	> 28	NA
		Drenaje natural (<i>P. cinnamomi</i>)	Nivel de drenaje	Bien drenado	Excesivo y moderado	Imperfecto, pobre y muy pobre	NA



Subcomponente	Criterio	Variable	Unidad dimensional de la variable	Rangos de aptitud			Exclusión técnica
				A1	A2	A3	
		Exceso hídrico (<i>P. cinnamomi</i>)	mm	≤ 500	> 500 - ≤ 1.500	> 1.500	NA
		Humedad relativa***	%	≥ 50 - ≤ 80	NA	≤ 50 ; ≥ 80	NA

** Información validada mediante consulta a productores de aguacate Hass en el departamento del Cauca y expertos en el cultivo.

Fuente: Modificado de UPRA (2018).

Las exclusiones técnicas y condicionantes legales de acuerdo con la normatividad vigente corresponden a restricciones de carácter cultural, socioecosistémico y biofísico, que involucra la presencia de zonas de jurisdicción especial, resguardos indígenas, áreas naturales y ecosistemas estratégicos identificados en el territorio.

Análisis multicriterio

Para cada juego de criterios biofísicos o socioeconómicos se realizó un análisis multicriterio en matriz de proceso analítico jerárquico (método AHP). En concreto, se aplicó ponderación de factores a partir de la asignación de juicios de comparación por pares a criterios en el mismo nivel jerárquico, utilizando la escala Saaty con un rango de 1 a 9.

La información de los criterios considerados se combinó realizando una suma lineal ponderada, en la cual se aplicaron los pesos calculados para cada criterio. Esta clasificación permitió definir en cada criterio rangos de aptitud diferencial: aptitud alta (A1), aptitud moderada (A2), aptitud marginal o baja (A3) y no apta (NA).

Análisis espacial de datos y elaboración de cartografía temática

El análisis espacial de datos formó parte de las diferentes fases de la evaluación, desde la consecución y organización de la información, la normalización y estandarización de los datos para obtener los mapas de variables y criterios, hasta la aplicación del método jerárquico para generar el mapa final de aptitud integrada del cultivo.

La cartografía temática por variable y criterio se generó a partir de la categorización que se definió en la fase anterior y mediante operaciones de álgebra de mapas. Los mapas de zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass en municipios priorizados se elaboraron integrando la información en un modelo cartográfico de aptitud de criterios socioeconómicos y biofísicos. Finalmente,



para el análisis espacial de los datos se utilizaron herramientas de QGIS V3.22 para generar las salidas cartográficas temáticas y el mapa de aptitud integrada para aguacate Hass en los municipios de estudio.

Esta información fue validada en los talleres participativos que se realizaron en los municipios evaluados, los cuales contaron con la participación de productores y asistentes técnicos, con quienes se socializó la cartografía generada y se discutió sobre aspectos técnicos relacionados con el análisis (figura 4.2).

Figura 4.2. Validación de información de zonas aptas para aguacate Hass en municipios del Cauca.



Fotos: Lina Garavito y Diana Lucía Correa.

Zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass en municipios del departamento del Cauca (1:25.000)

Tipo de utilización de la tierra para aguacate Hass en municipios del Cauca

El tipo de utilización de la tierra (TUT) para los municipios de ejecución del proyecto se define como “un sistema de producción de aguacate Hass en monocultivo o asociado, de agricultura familiar, en avance progresivo de tecnificación direccionado a mercados de exportación y nacional” (figura 4.3).

Variables como el área, el acceso a servicios básicos y créditos, la disposición y arreglo del cultivo en asocio con otros de tradición en la zona, la disponibilidad de mano de obra y la utilización de tecnología dan cierta particularidad al sistema de producción de aguacate en la región.

En este sentido, el TUT en las condiciones del departamento del Cauca se caracteriza por encontrarse en áreas propias (81 %), con agricultores que cuentan con experiencia y tradición en el cultivo de aguacate y café, principalmente, con un rango de edad predominante entre 18 y 65 años, que habitan en su mayoría en las fincas donde se encuentra el cultivo y cuya principal fuente de ingresos es la venta de productos agrícolas (tabla 4.5).

De acuerdo con los agricultores encuestados, el destino de la producción está enfocado a la exportación (53 %) y al abastecimiento del mercado nacional y regional (25 %). En cuanto a factores que afectan la competitividad del sistema, se encontró que solo el 44 % de las áreas establecidas corresponden a monocultivos,



mientras que el 50 % corresponden a cultivos asociados, ubicados sobre zonas onduladas y pendientes. Se registró que existe acceso al crédito mediante entidades estatales, sin embargo, alrededor del 30 % no utiliza créditos (tabla 4.5).

Figura 4.3. Características del tipo de utilización de la tierra (TUT) para aguacate Hass en municipios del Cauca.



Fotos: Lina Garavito y Diana Lucía Correa.

Tabla 4.5. Principales características asociadas al tipo de utilización de la tierra (TUT) en zonas productoras de aguacate Hass en el departamento del Cauca.

Variables de sitio (Huertos %)		Competitividad (Huertos %)	
Tenencia de la tierra	Propia (81) - Colono (10)	Acceso a crédito	Entidad financiera estatal (56) - No tiene (30)
Lugar de vivienda	Finca (56)	Disponibilidad de mano de obra	No hay disponibilidad (71)
Tradición productiva	Aguacate (81) - Café (19)	Fuentes de ingreso	Venta de productos agrícolas (63)
Arreglo de siembra	Asociado (50) - Monocultivo (44)	Servicio de asistencia técnica	Cuenta con asistencia técnica (85)
Vías de acceso	Sin pavimentar (80)	Análisis del suelo	No realiza análisis de suelos (60)
Pendiente	Ondulada (76) - Pendiente (22)	Fertilización de suelo	Química (63)
Mano de obra	Mixta (32)	Tipo de sistema de riego	Ninguno u otros (75)
Edad del agricultor	18 a 65 años (68)	Estrategias de almacenamiento de agua	No cuenta con ninguna estrategia (55) - No necesita almacenamiento (5)
		Destino de la producción	Exportación (53) - Interno (25 %)

Fuente: Ospina (2020).

Entre las limitantes identificadas que influyen en la competitividad del sistema de producción a nivel regional y en su posibilidad de atender como destino final mercados de exportación y nacional, se destacan las vías de acceso y la mano de obra utilizada en el cultivo. Se estableció que el 80 % de las vías aledañas a los cultivos están sin pavimentar, lo que dificulta el acceso en poco tiempo a centros de acopio de la fruta, disminuye la posibilidad de que se establezcan canales directos de comercialización en la finca y aumenta los costos de fletes de transporte. Por otra parte, la baja disponibilidad de mano de obra en la región (71 %) es

suplida por mano de obra familiar, complementada con contratación temporal, principalmente en periodos de cosecha (tabla 4.5).

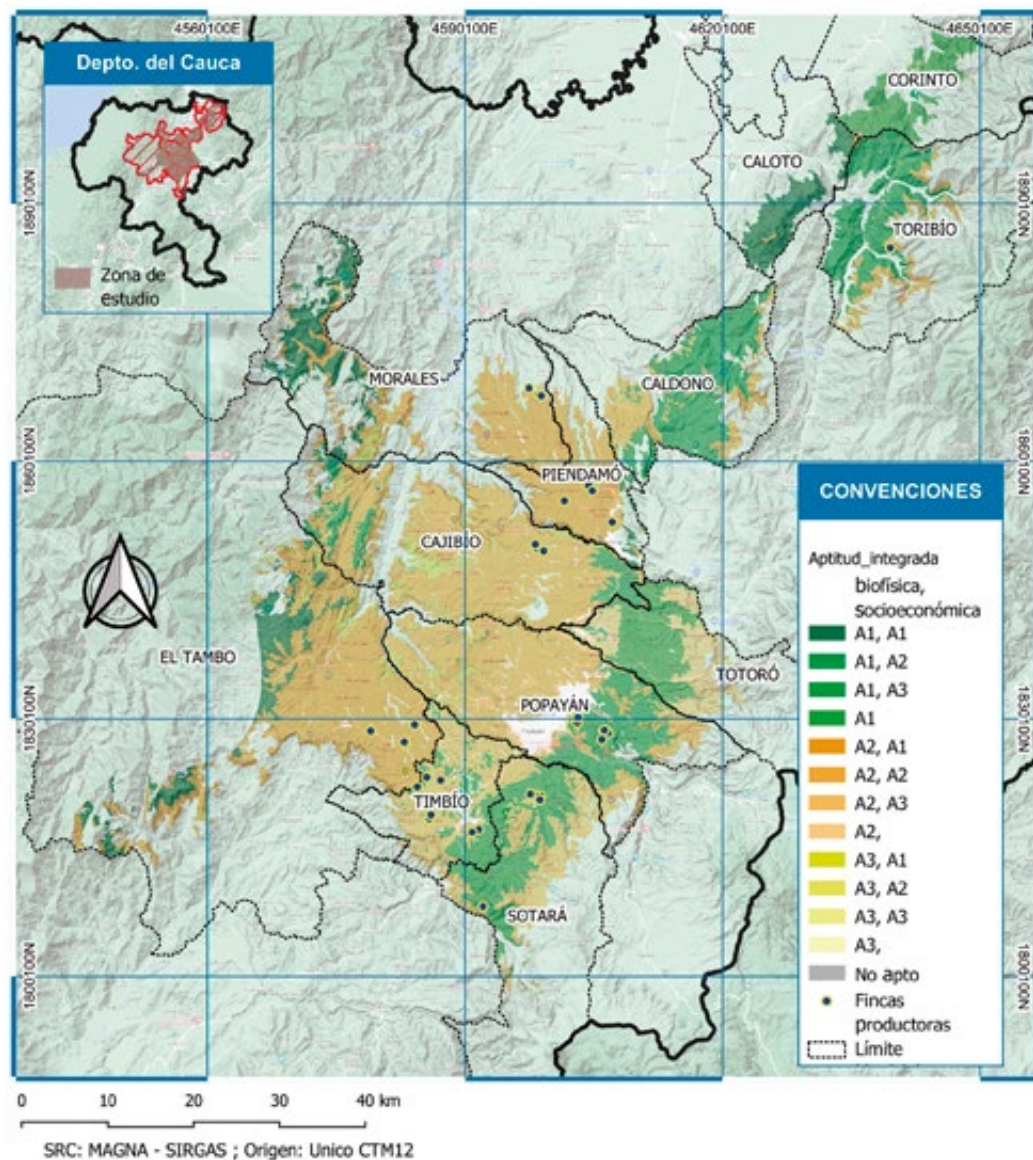
Respecto a la tecnificación del cultivo, la información de los agricultores permite establecer que se requiere implementar prácticas de manejo que contribuyan al mejoramiento de la producción y calidad de la fruta para exportación. Todavía es incipiente la utilización del sistema de riego, solo el 25 % emplea algún tipo de riego y el 55 % no tiene alguna estrategia para almacenamiento de agua; mientras que el 60 % de los encuestados no hace análisis de suelos para definir sus planes de fertilización, a pesar de que en gran parte de los cultivos usan fertilizantes químicos (tabla 4.5).

Todos estos factores obligan a generar programas diferenciales para promover esta actividad económica en el departamento del Cauca. Aunque la institucionalidad ha fomentado el avance de cultivos en la región durante varios años, aún se requiere la atención de aspectos de planificación, infraestructura, asociatividad, comercialización y encadenamiento productivo que permita asegurar la competitividad del aguacate Hass en la región.

Aptitud integrada para el cultivo de aguacate Hass en municipios del departamento del Cauca (1:25.000)

Las áreas aptas para establecer y desarrollar el cultivo de aguacate Hass alcanzan un total de 240.726 ha, distribuidas en categorías y subcategorías que describen el nivel de aptitud alta (A1), media (A2), baja (A3) o no apta (NA), de acuerdo con bondades o restricciones de factores biofísicos del territorio, y que influyen en la productividad o competitividad de esta actividad económica (figura 4.4).

Figura 4.4. Zonas aptas para el cultivo de aguacate Hass (1:25.000) en los municipios priorizados del departamento de Cauca. Aptitud integrada (socioeconómico y biofísico).



Fuente: Elaboración propia.

Gran parte del territorio presenta zonas con aptitud media para el cultivo (64 %), el 31 % corresponden a zonas con aptitud alta y el 4 % a zonas con baja aptitud (tabla 4.6). Del total del área evaluada, el 8,9 % son zonas no aptas para el cultivo, con restricciones principalmente por clima, topografía y suelos.

Tabla 4.6. Distribución de categorías de aptitud integrada para el cultivo de aguacate Hass en área de evaluación del departamento del Cauca

Categorías Aptitud integrada		Área total (ha)	(%)
No apto	Restricciones de tipo físico y socioeconómico no modificables (semipermanentes o permanentes) para la productividad y competitividad del cultivo.	24.386	9,2
Zonas aptas		240.726	90,8
Alta	Condiciones físicas y socioeconómicas adecuadas o con leves restricciones para la productividad y la competitividad del cultivo.	76.736	31,9
Media	Restricciones moderadas de tipo físico y socioeconómico para la productividad y competitividad del cultivo.	153.974	64,0
Baja	Fuertes restricciones de tipo físico y socioeconómico para la productividad y competitividad del cultivo.	10.016	4,16

Fuente: Elaboración propia.

El factor biofísico determina las diferencias en la aptitud, por influencia directa del clima y el suelo sobre la productividad del cultivo en las zonas evaluadas. Los criterios de mayor relevancia para el componente biofísico corresponden a condiciones climáticas, condiciones de enraizamiento, disponibilidad de oxígeno, apropiación de agua y riesgo fitosanitario, mientras que para el componente socioeconómico corresponden a infraestructura y logística y factores productivos.

En cuanto a las subcategorías de aptitud, solo el 8,6 % del territorio tiene condiciones adecuadas o con leves restricciones para la productividad y la competitividad del cultivo desde el punto de vista físico y socioeconómico, las cuales corresponden a la subcategoría alta/alta (A1/A1) (tabla 4.7).

Tabla 4.7. Distribución de subcategorías de aptitud integrada para el cultivo de aguacate Hass en área de evaluación del departamento del Cauca

Categoría aptitud		Subcategorías		Descripción aptitud integrada (biofísica / socioeconómica)	Total área (ha)	(%)
Alta	A1	Alta	A1	Sin restricción	15.582	5,6
		Alta /Alta	A1/A1	Sin restricción/Sin restricción	20.624	8,6
		Alta /Media	A1/A2	Sin restricción/R. Moderada	40.655	16,9
		Alta /Baja	A1/A3	Sin restricción/R. Fuerte	15.457	6,4
Media	A2	Media	A2	R. Moderada/ND	8.286	3,4
		Media /Alta	A2/A1	R. Moderada/Sin restricción	56.809	23,6
		Media /Media	A2/A2	R. Moderada /R. Moderada	68.839	28,6
		Media /Baja	A2/A3	R. Moderada /R. Fuerte	20.040	8,3
Baja	A3	Baja	A3	R. Fuerte/ND	26	0,01
		Baja /Alta	A3/A1	R. Fuerte/Sin restricción	2.913	1,2
		Baja /Media	A3/A2	R. Fuerte /R. Moderada	5.958	2,5
		Baja /Baja	A3/A3	R. Fuerte /R. Fuerte	1.119	0,5

ND: no definida.

Fuente: Elaboración propia.

Estas áreas alcanzan un total de 20.624 ha, en las cuales las características de los suelos profundos y con buen drenaje, el clima (temperaturas promedio anual entre 15 °C y 18 °C, y precipitación anual entre 1.000 mm y 2.000 mm) y pendientes menores a 25 % que facilitan su establecimiento, cumplen con los requisitos exigidos por el cultivo, o presentan muy ligeras limitaciones que no afectan el rendimiento de manera importante.

Otras áreas representativas en la zona de estudio corresponden a las subcategorías media /alta (A2/A1) (área total de 56.809 ha; 23,6 %), y media/media (A2/A2) (68.839 ha; 28,6 %) (tabla 4.7). Estas subcategorías tienen condiciones con restricciones moderadas de tipo físico y socioeconómico para la productividad y competitividad del cultivo.

Teniendo en cuenta que la altitud y el clima son determinantes para el desarrollo del cultivo, en zonas con aptitud media, la baja disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo, relacionadas con el

tipo de textura y pH predominante, se puede presentar restricción moderada para la productividad del cultivo y calidad de la fruta; sin embargo, esta limitante puede ser transitoria si se toman decisiones oportunas para corregirla y manejarla mediante tecnología adaptada a la zona.

Aptitud biofísica para el cultivo de aguacate Hass

Identificar las condiciones climáticas, edáficas y socioecosistémicas adecuadas para el desarrollo y la producción del cultivo de aguacate Hass en la región permitió establecer que se presentan zonas con aptitud media para el cultivo en al menos el 54,8 % del área, con un total de 153.973,1 ha. Además, se identificó que aproximadamente 92.318,4 ha (32,81 %) corresponden a zonas con aptitud alta, mientras que 10.015,8 ha se clasifican como zonas con baja aptitud. Del total del área evaluada, el 8,6 % son zonas no aptas para el cultivo, con restricciones principalmente por clima, topografía y suelos (tabla 4.8).

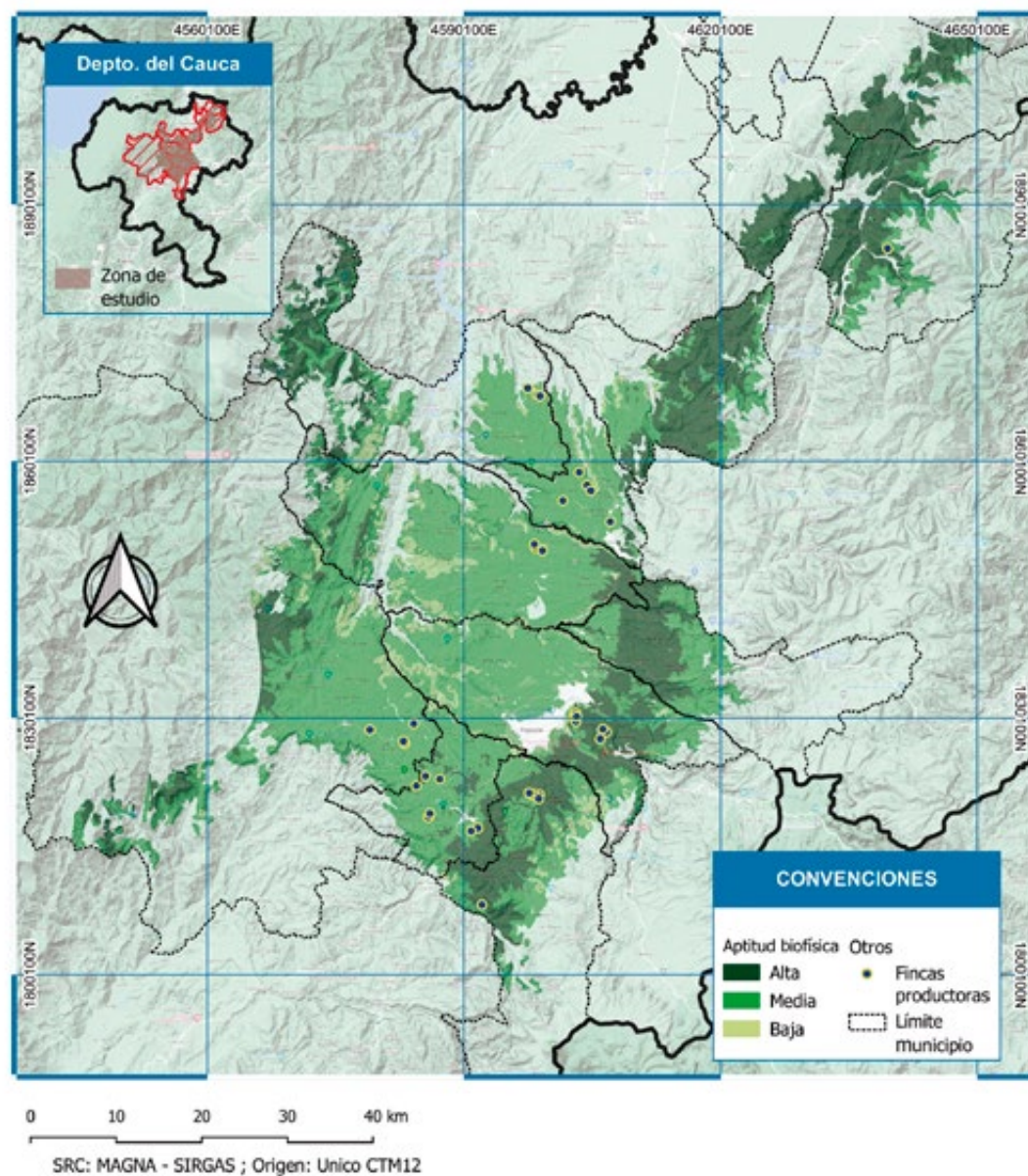
Desde el punto de vista biofísico, existen dos grandes áreas sin restricciones para el cultivo, ubicadas en los municipios del norte, Caldono, Caloto, Toribío y Corinto, y en la zona centro sur, entre los municipios de Popayán, Morales y El Tambo (figura 4.5).

Tabla 4.8. Distribución de categorías de aptitud biofísica para el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en el área evaluada en el departamento del Cauca

Categoría aptitud		Descripción aptitud biofísica	Área total (ha)	(%)
Alta	A1	Condiciones edáficas y climáticas adecuadas o con leves restricciones para el desarrollo y la productividad del cultivo.	92.318,4	32,8
Media	A2	Restricciones moderadas de tipo físico para el desarrollo y la productividad del cultivo.	153.973,1	54,8
Baja	A3	Fuertes restricciones de tipo físico para el desarrollo y la productividad del cultivo. Requieren mayor inversión y tecnología avanzada.	10.015,8	3,5
No apta	NA	Restricciones físicas no modificables en el corto plazo (semipermanentes o permanentes) para el desarrollo y la productividad del cultivo.	24.386,3	8,6

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5. Aptitud biofísica para el cultivo de aguacate Hass (1:25.000) en municipios priorizados del departamento de Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

Los municipios El Tambo y Cajibío presentan mayor área con aptitud para el cultivo, superando las 40.000 ha cada uno. Mientras que entre los municipios con menor área se encuentran Caloto (5.929,7 ha) y Corinto (7.158,8 ha), de los cuales aproximadamente el 95 % del área es de aptitud alta (figura 4.6).

En cuanto a las categorías de aptitud, se destaca el municipio de Caldone, con 14.575,2 ha con aptitud A1 sin restricciones para el cultivo de aguacate Hass, por encima de Toribío (11.283,0 ha) y Sotaró (10.732,8 ha). Para la categoría aptitud media (A2), Cajibío tiene la mayor extensión (33.048,4 ha), seguido de El Tambo (32.726,8 ha) y Popayán (25.390 ha) (figura 4.6).

En la categoría aptitud baja (A3), con restricción fuerte, se encuentran áreas importantes en Cajibío, a diferencia de los demás municipios; sin embargo, en relación con la cobertura total del municipio, estas zonas representan solo el 8,5 %. En el caso de Timbío, Caloto y Corinto, esta categoría no es representativa en el área evaluada. Respecto a la categoría no apta, los municipios con mayor área corresponden a El Tambo (5.600,7 ha) y Popayán (5.229,3 ha), en los cuales abarca aproximadamente el 12 % de la zona de análisis en cada uno (figura 4.6).

A continuación, se describen los principales factores y criterios de influencia en este componente.

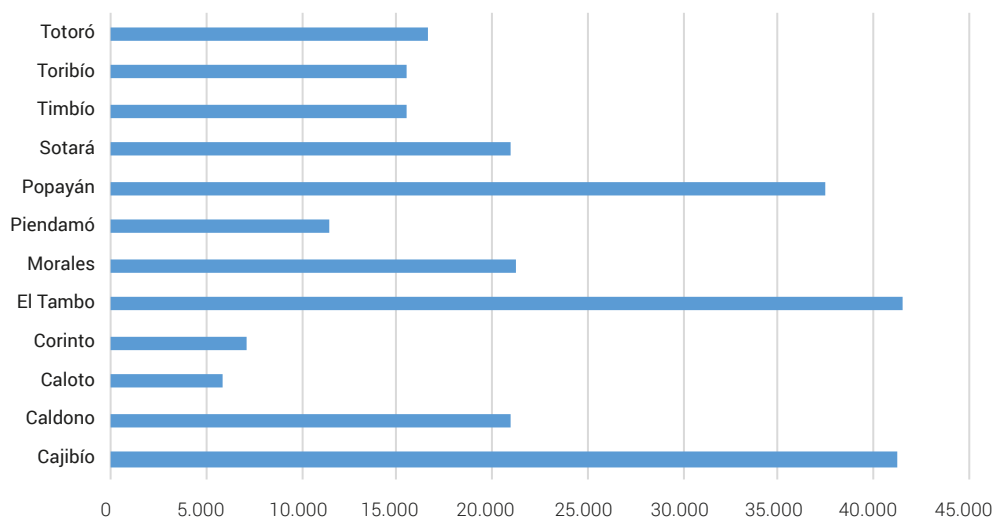
Condiciones climáticas

El clima determina en gran medida la adaptación de la especie en el territorio. Específicamente, se encontró que gran parte de los municipios evaluados presenta en general una aptitud baja para el cultivo en este criterio.

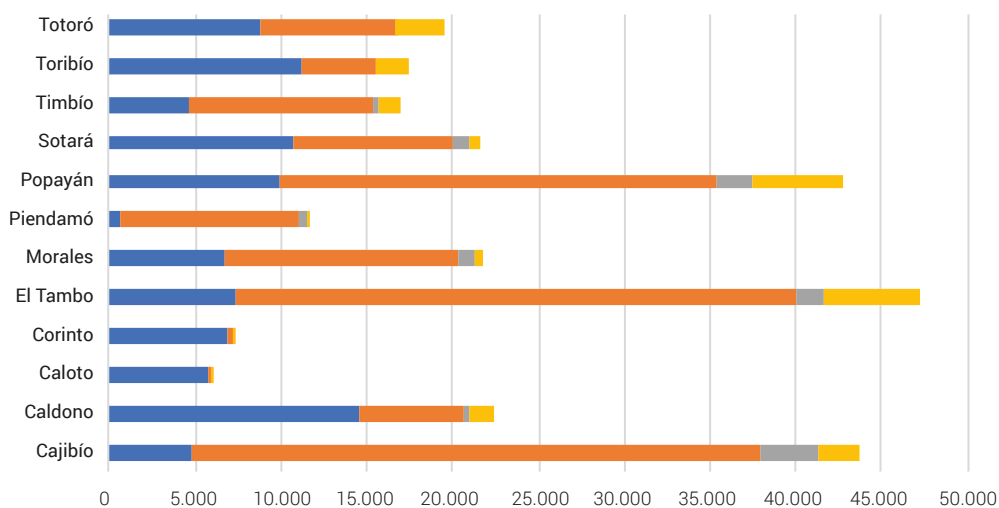
Áreas con aptitud climática alta se encuentran ubicadas en zonas de mayor altitud, principalmente en Popayán, Sotaró, Toribío, Caldone y Caloto (figura 4.7). En estas zonas, la temperatura y la precipitación características entre 1.800 y 2.000 m s. n. m.

influyen en el comportamiento del cultivo y en atributos de la producción, como el peso y tamaño de la fruta.

Figura 4.6. Aptitud biofísica para el cultivo de aguacate Hass (1:25.000) en municipios priorizados del departamento de Cauca. a. Área total apta por municipio; b. Área por categorías de aptitud por municipio.



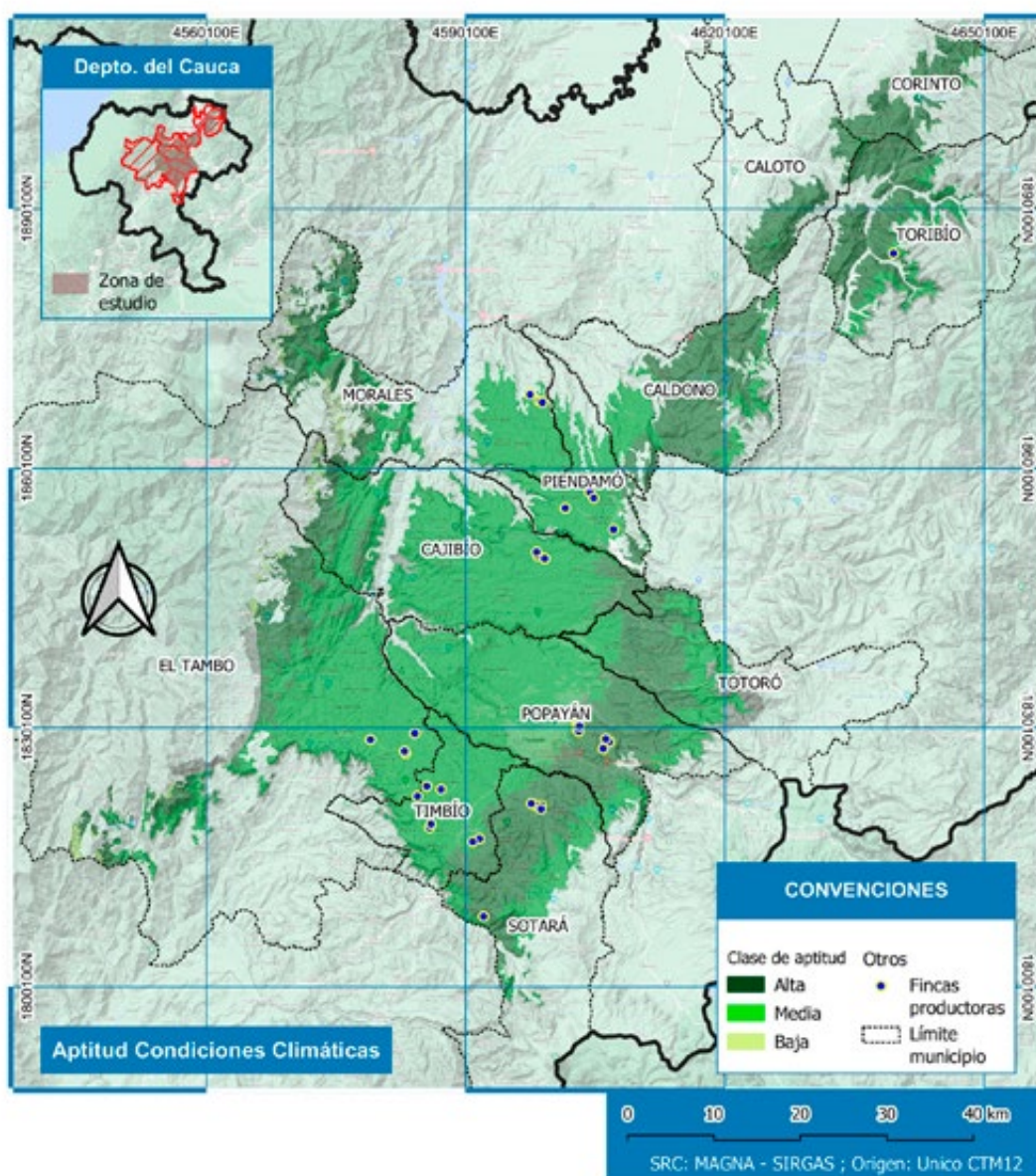
a.



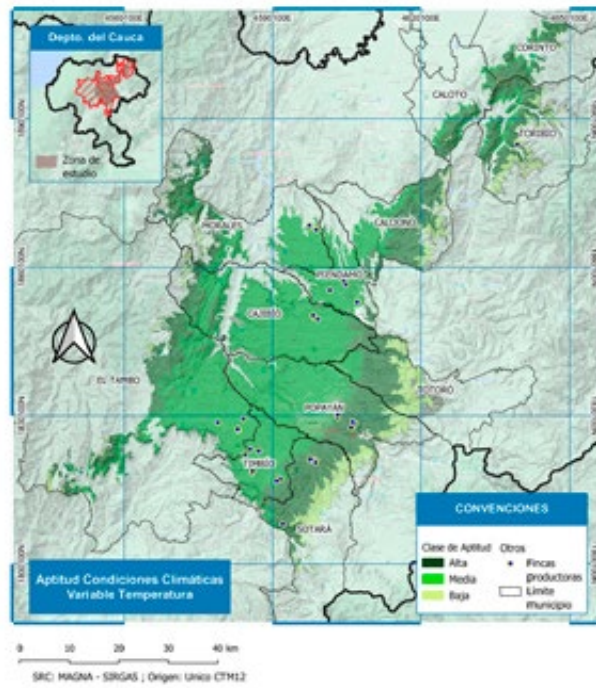
b.

Fuente: Elaboración propia.

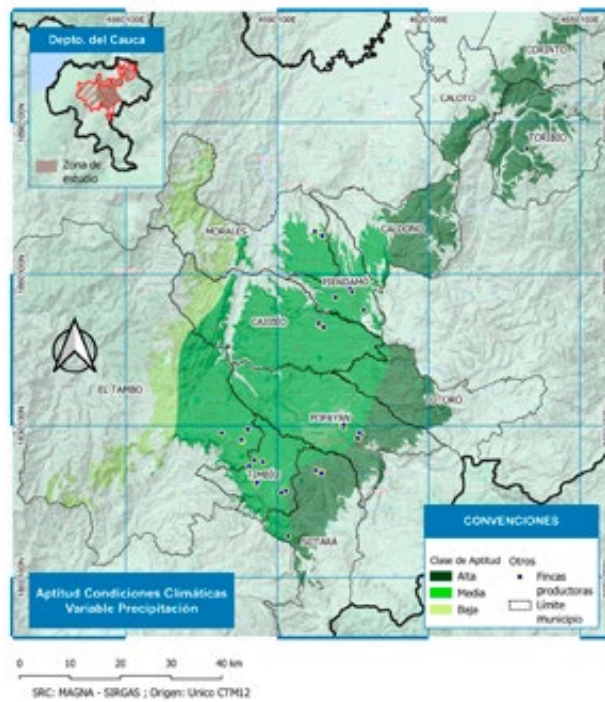
Figura 4.7. Aptitud climática para el cultivo de aguacate Hass en municipios priorizados del departamento de Cauca. Condiciones climáticas (a), temperatura (b), precipitación (c) y brillo solar (d).



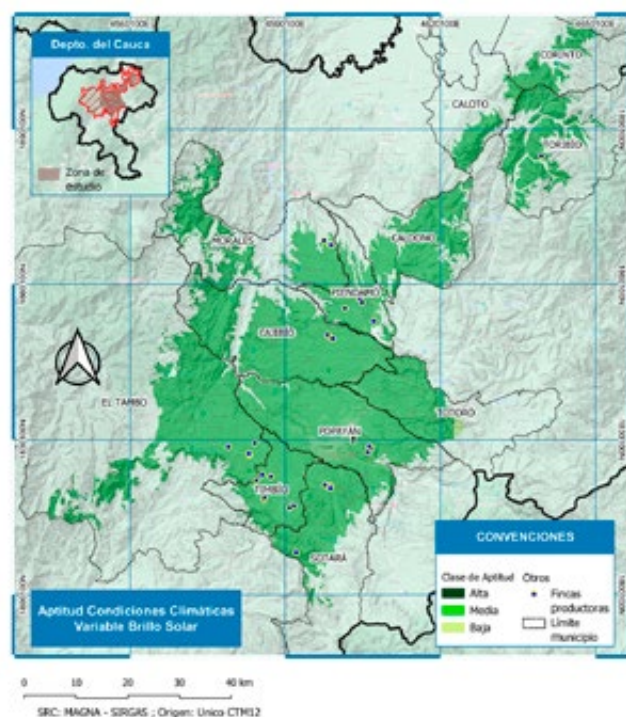
a.



b.



c.



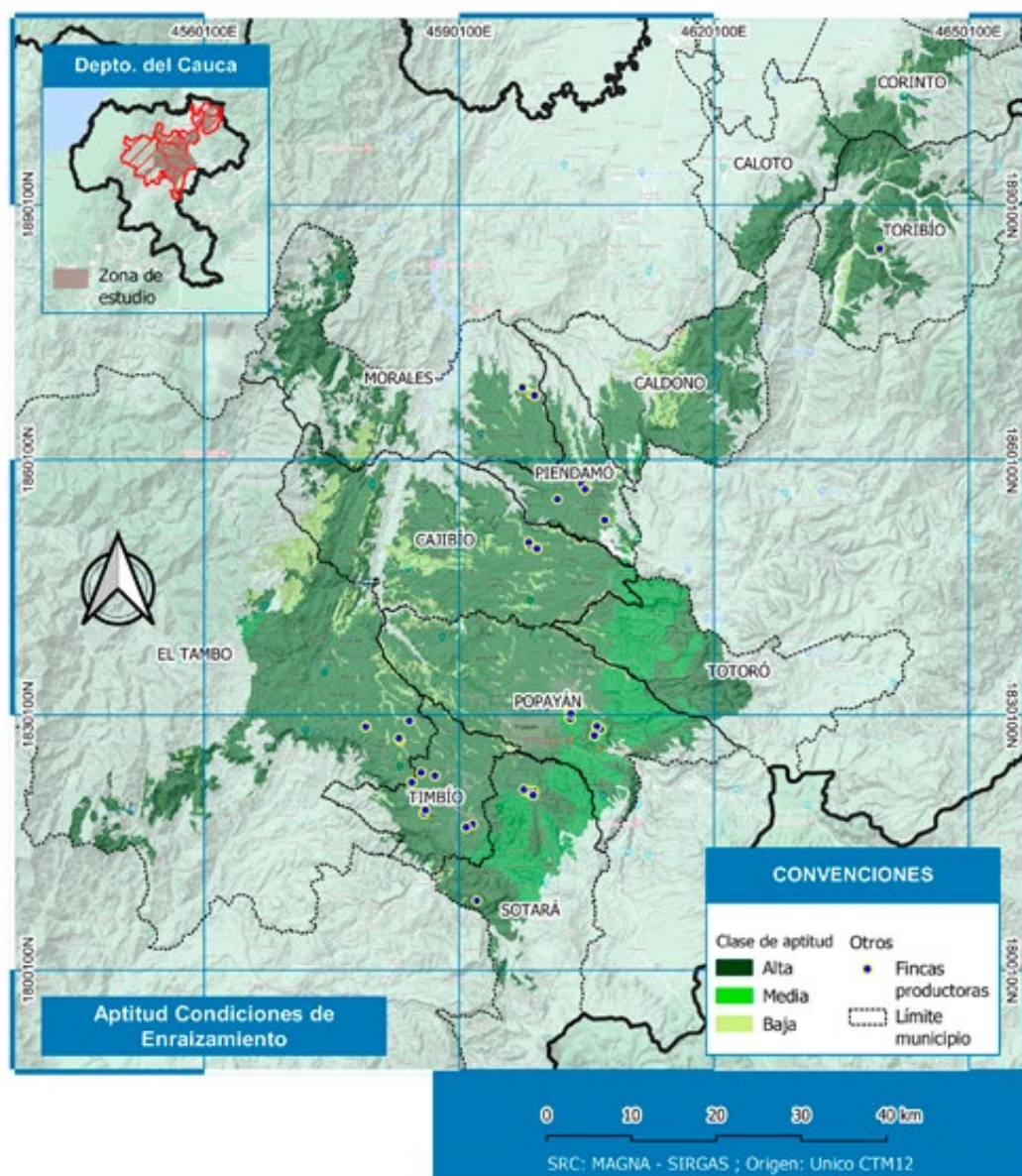
C.

Fuente: Elaboración propia.

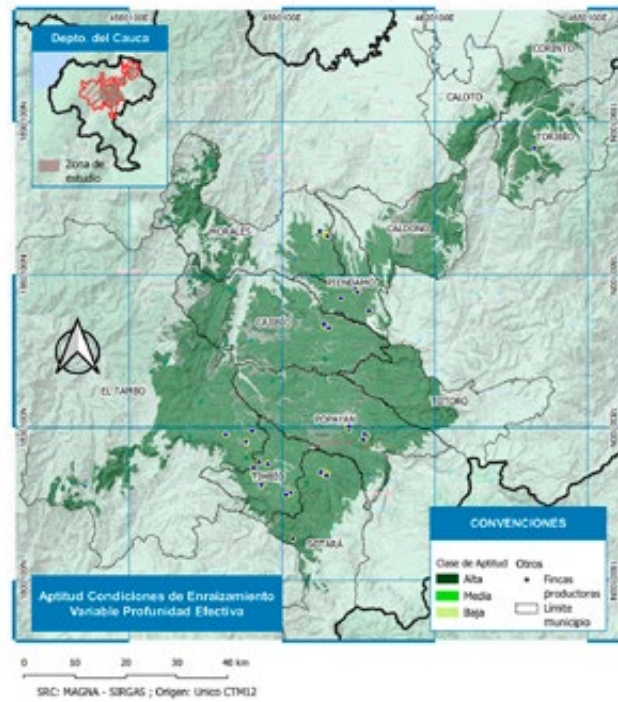
Condiciones edáficas

Entre las condiciones edáficas de mayor influencia en el área evaluada y que alcanzan una aptitud alta a media para el cultivo están las condiciones de enraizamiento (figura 4.8), disponibilidad de oxígeno (figura 4.9), capacidad de laboreo (figura 4.10) y susceptibilidad a la pérdida de suelos (figura 4.11). En estas condiciones, la profundidad efectiva (cm), pedregosidad (%) y textura (FAar) no representan limitantes de importancia para el cultivo en gran parte del territorio. Sin embargo, zonas ubicadas en estribaciones de la cordillera tienen principalmente restricción moderada a alta (aptitud media a baja) por efecto de la pendiente para laboreo, así como una alta vulnerabilidad y amenaza a procesos erosivos y de remoción masal, acorde con la geología, el relieve y la fragilidad estructural de los suelos predominantes.

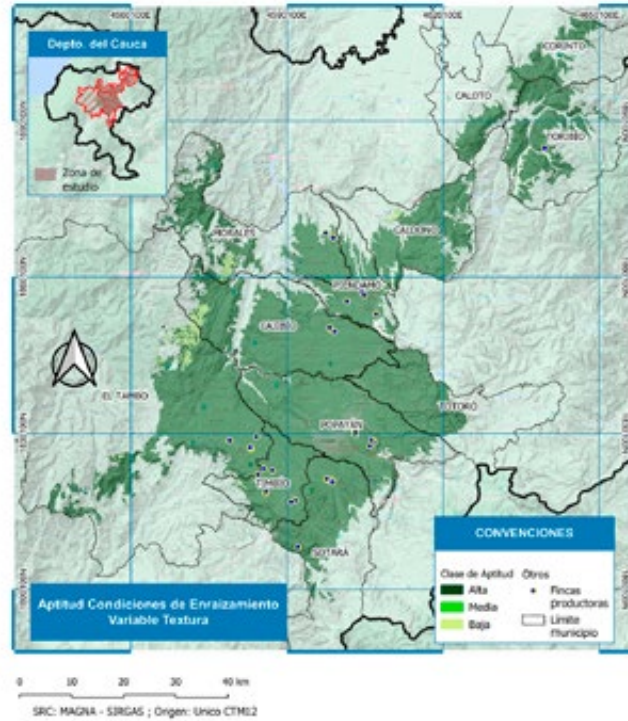
Figura 4.8. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Condiciones de enraizamiento (a), profundidad efectiva (b), textura (c) y pedregosidad (d).



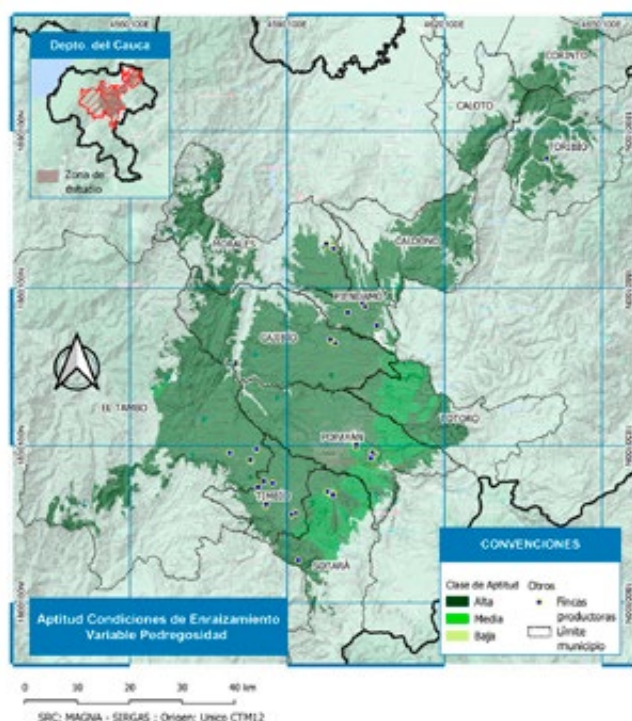
a.



b.



c.



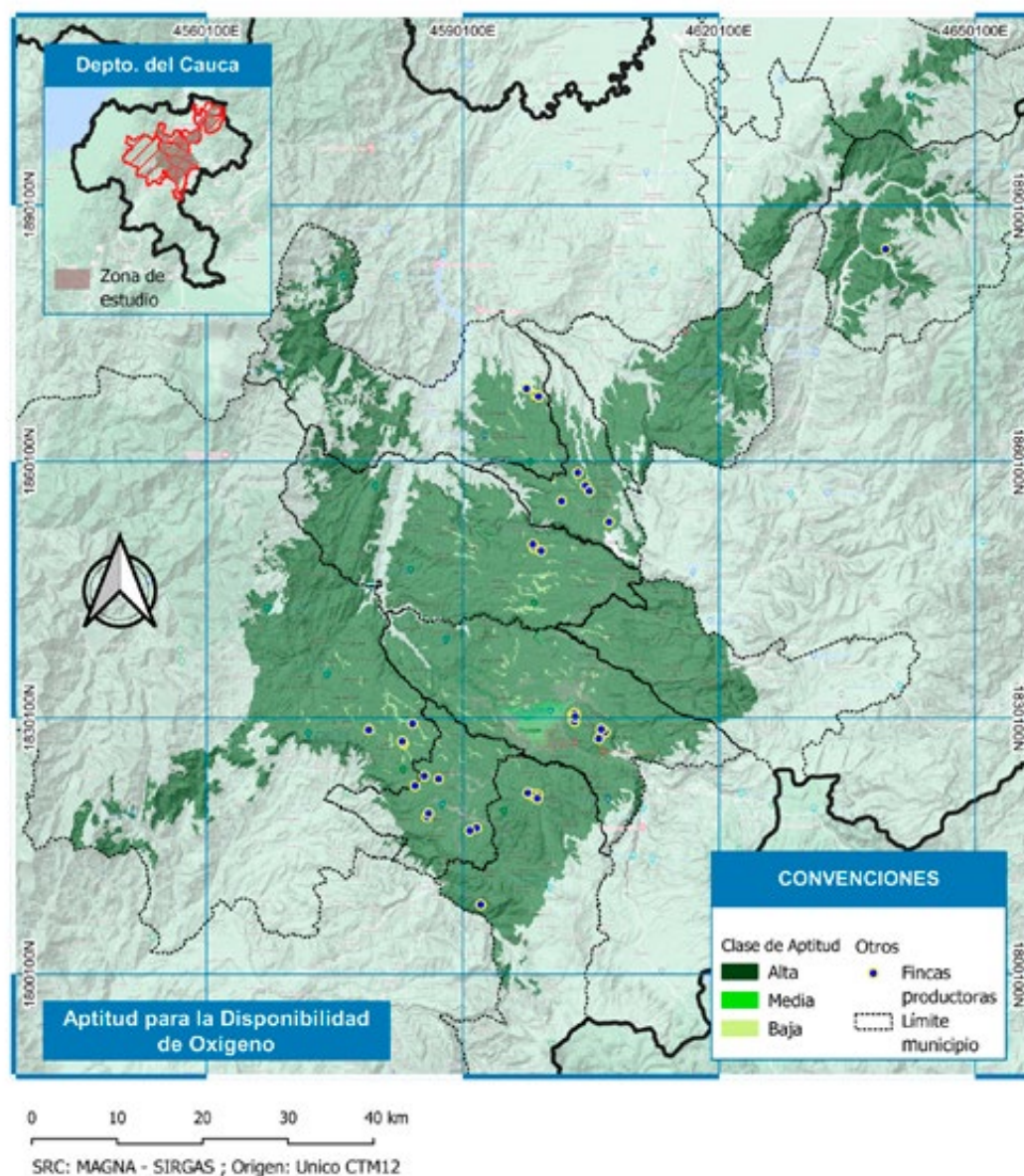
d.

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios disponibilidad de humedad (figura 4.12) en el suelo y disponibilidad de nutrientes (figura 4.13) tienen aptitud baja en la mayoría de los municipios. Para el caso de la humedad del suelo, este comportamiento está asociado a las variables textura, pues predominan los grupos texturales franco y franco arenoso, y pendiente, que tiene un rango de aptitud entre media a baja y están distribuidos en áreas con inclinaciones entre 25 % y 50 %.

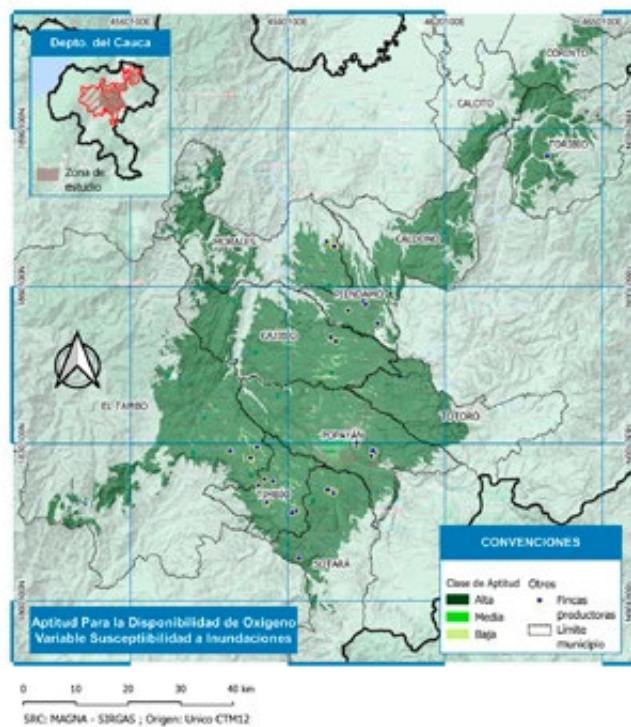
La variable que determina la disponibilidad de nutrientes (figuras 4.13 y 4.24) es la capacidad de intercambio catiónico, la cual presenta una aptitud baja para todo el territorio. Esta categoría, que tiene influencia directa del pH ($< 5,5$) y la saturación de bases ($< 10\%$), se ubica en un rango de aptitud de medio a bajo, lo cual indica que en la zona se debe procurar la aplicación de correctivos para mejorar la fertilidad del suelo y, así, la productividad del cultivo.

Figura 4.9. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Disponibilidad de oxígeno (a): susceptibilidad a inundaciones (b) y drenaje natural (c).

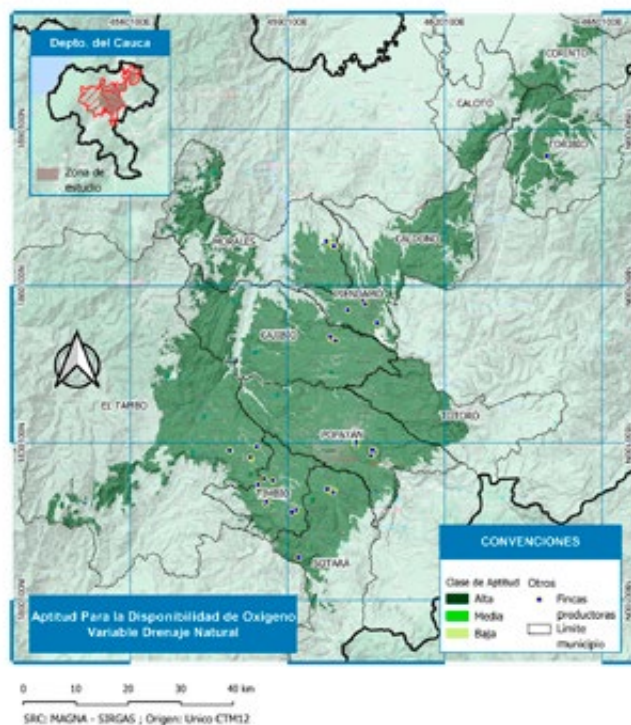


a.

Fuente: Elaboración propia.

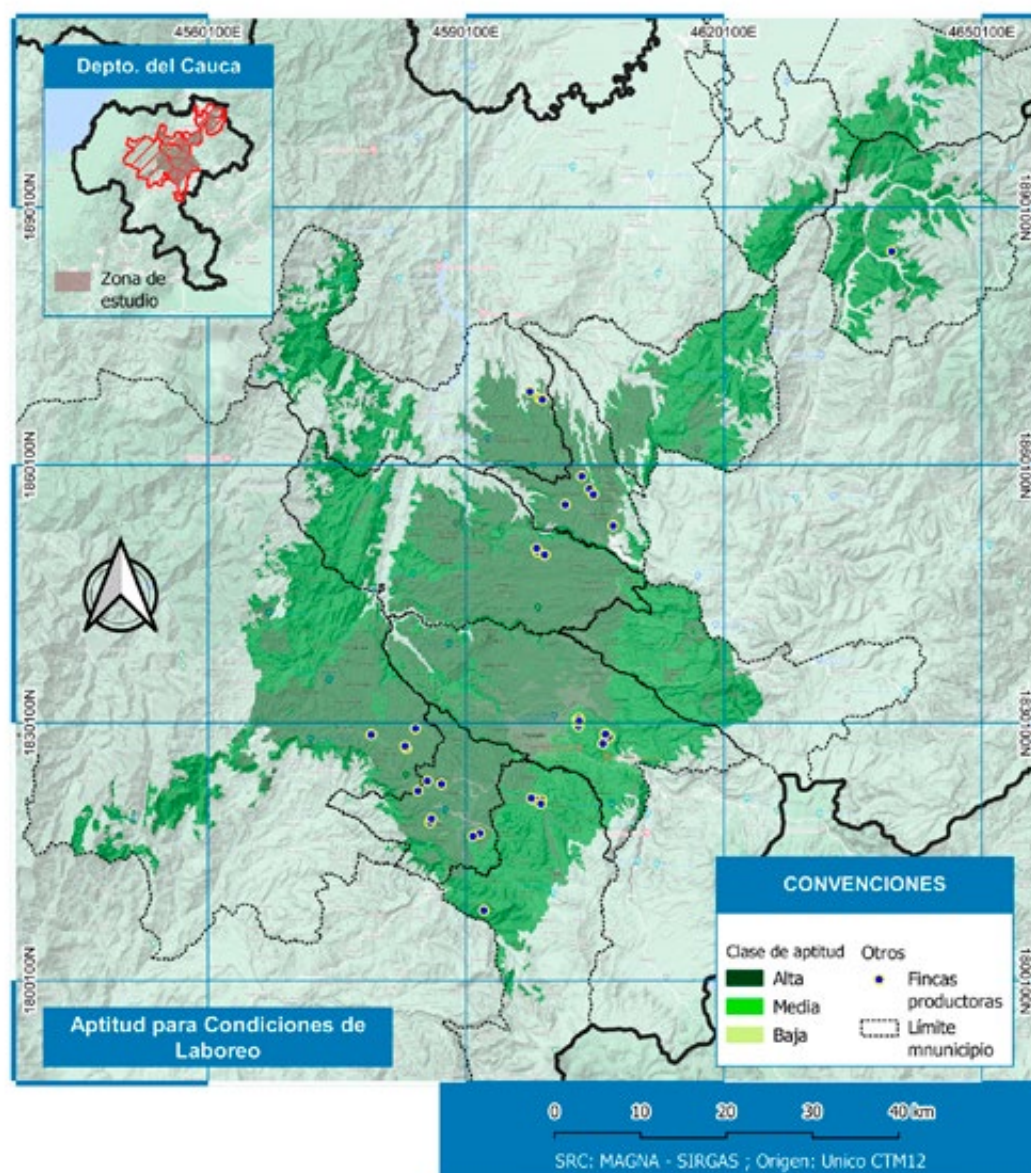


b.

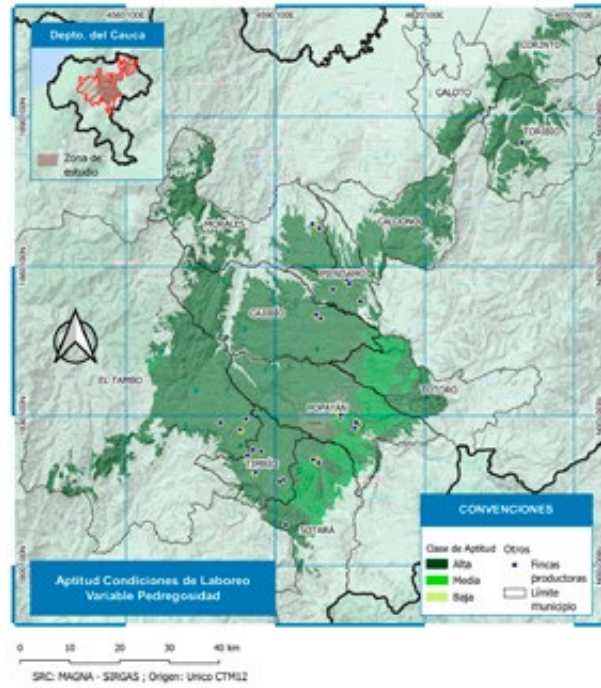


c.

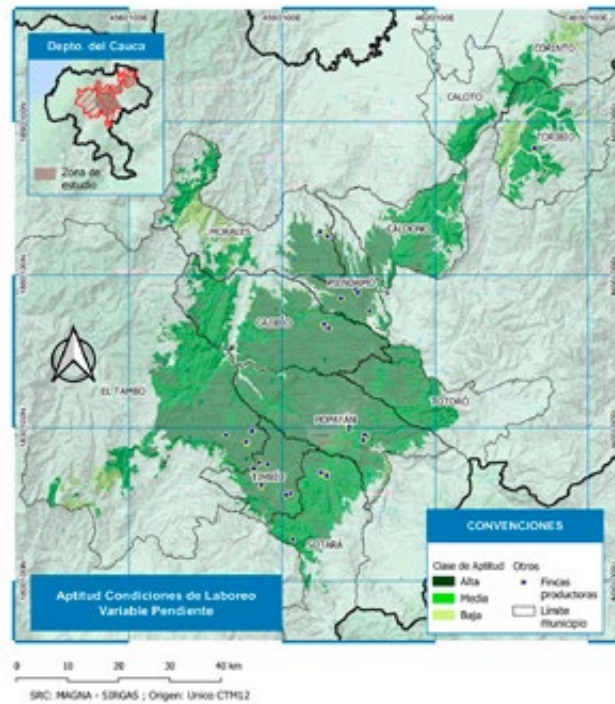
Figura 4.10. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass según condiciones de laboreo (a): pedregosidad (b), pendiente (c) y textura).



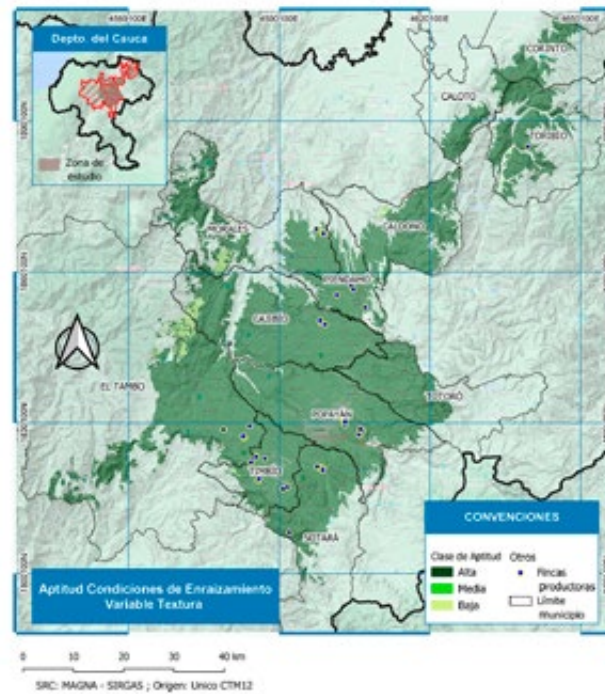
a.



b.



c.

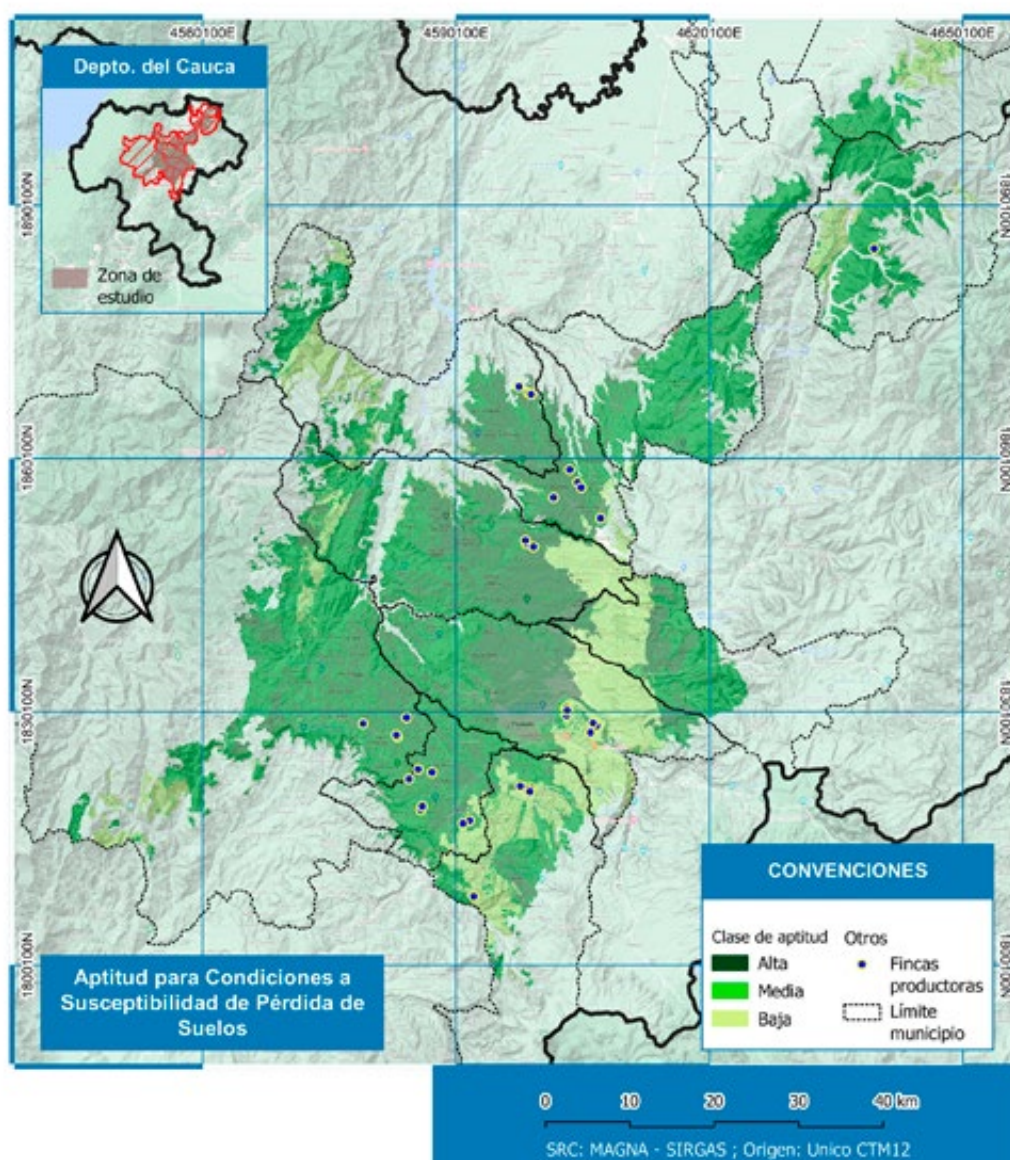


d.

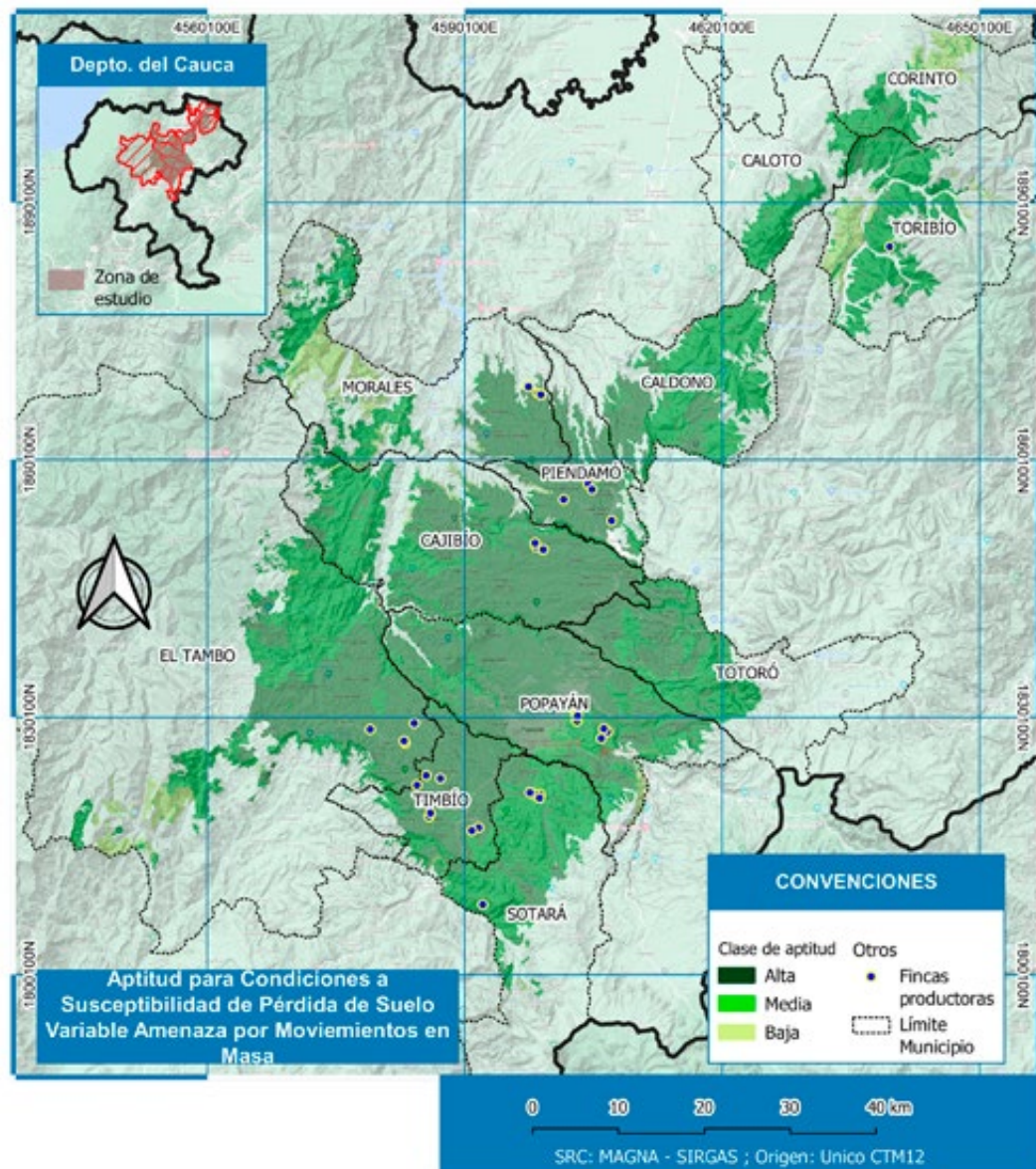
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los contenidos de carbono orgánico en el área de evaluación indican procesos de acumulación de materia orgánica, atribuida a condiciones climáticas relacionadas con la altitud de las zonas. Sin embargo, esta condición no se refleja en la fertilidad del suelo debido a los complejos de fracciones orgánicas con cenizas volcánicas que dificultan la retención de bases y contribuyen a la baja capacidad de intercambio catiónico registrada en el área de estudio.

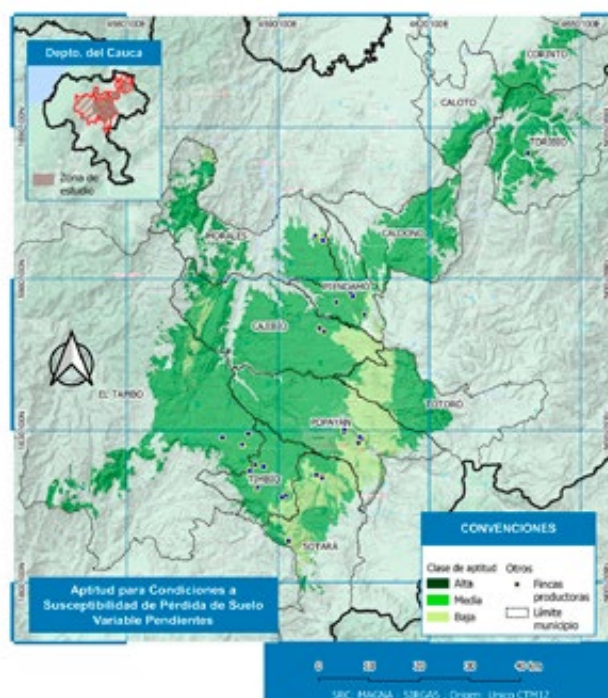
Figura 4.11. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Susceptibilidad a pérdida de suelos (a): amenaza por movimientos en masa (b), pendiente (b) y erosión (c).



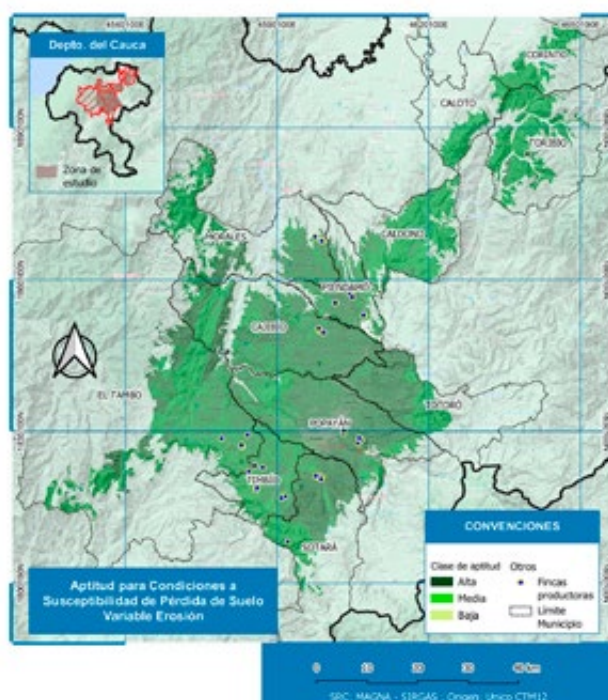
a.



b.



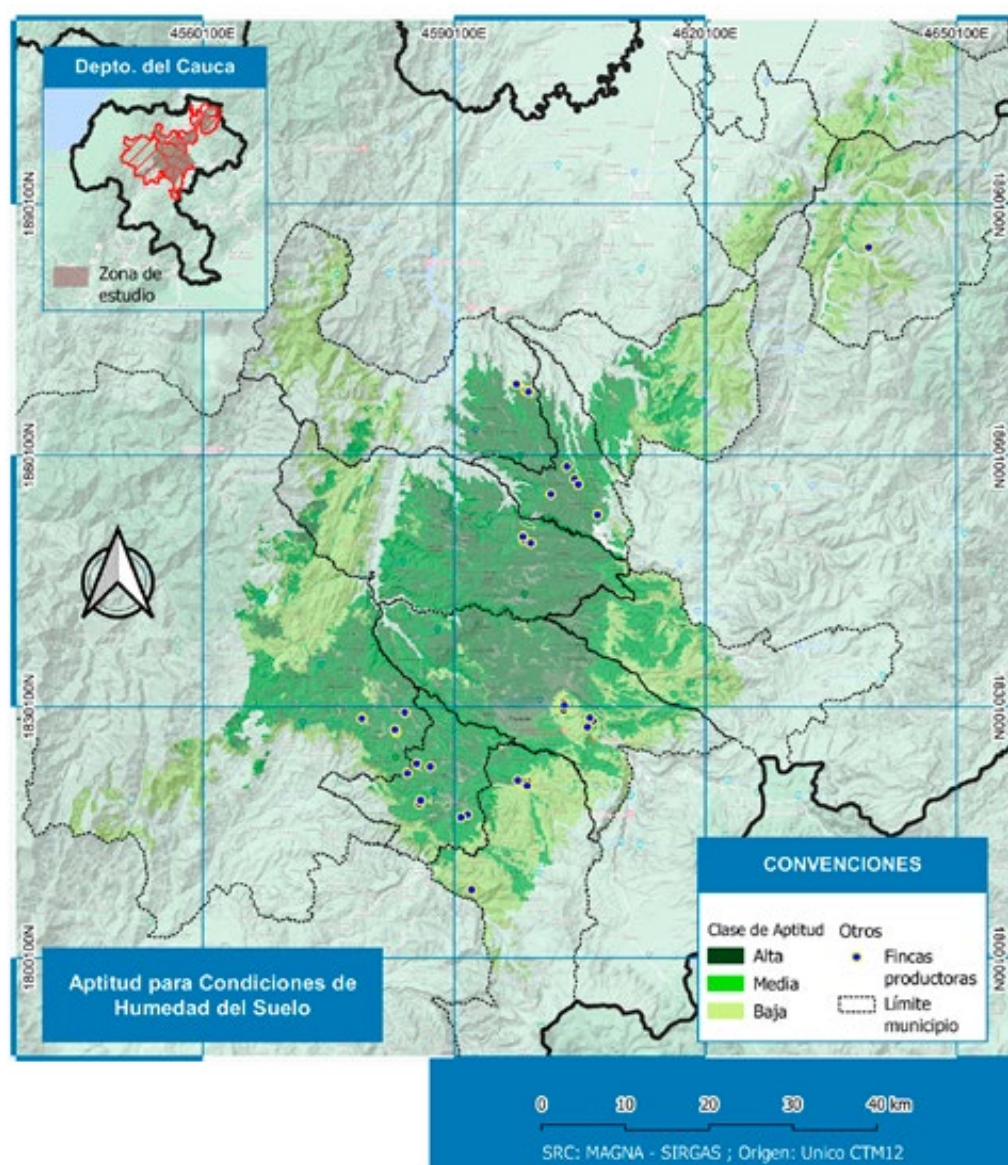
c.



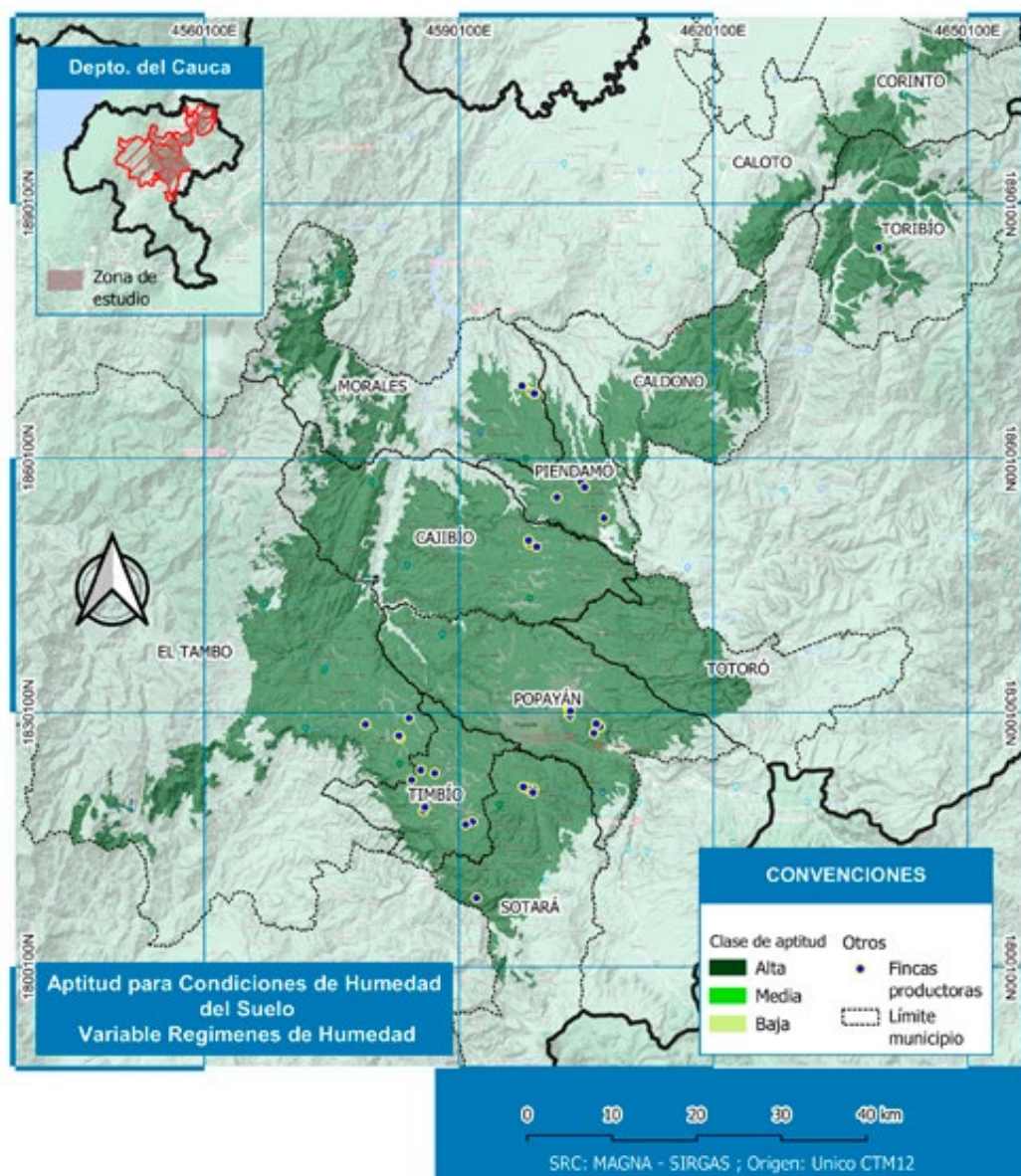
d.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.12. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Disponibilidad de humedad (a): regímenes de humedad (b), textura (c) y pendiente (d).

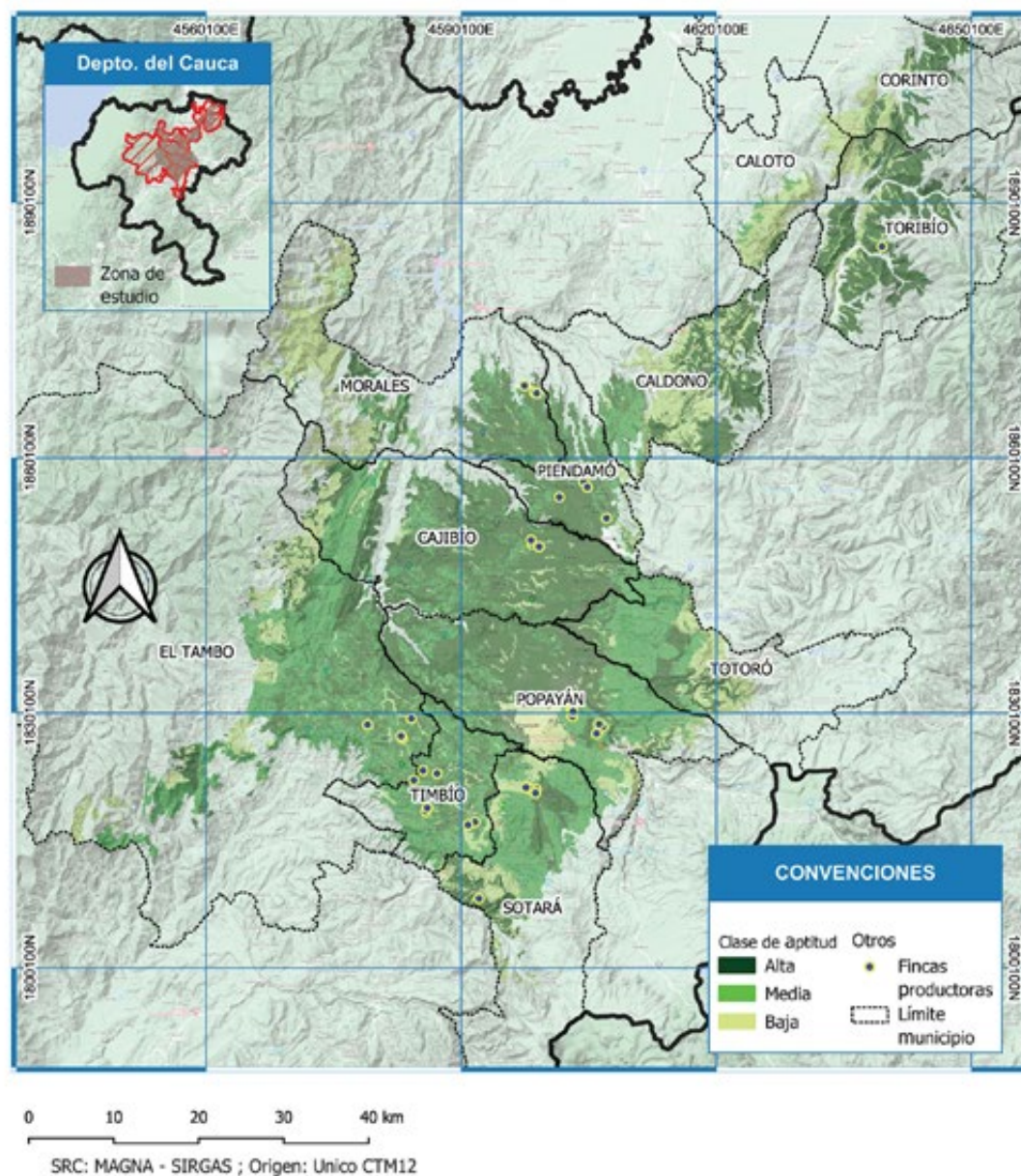


a.

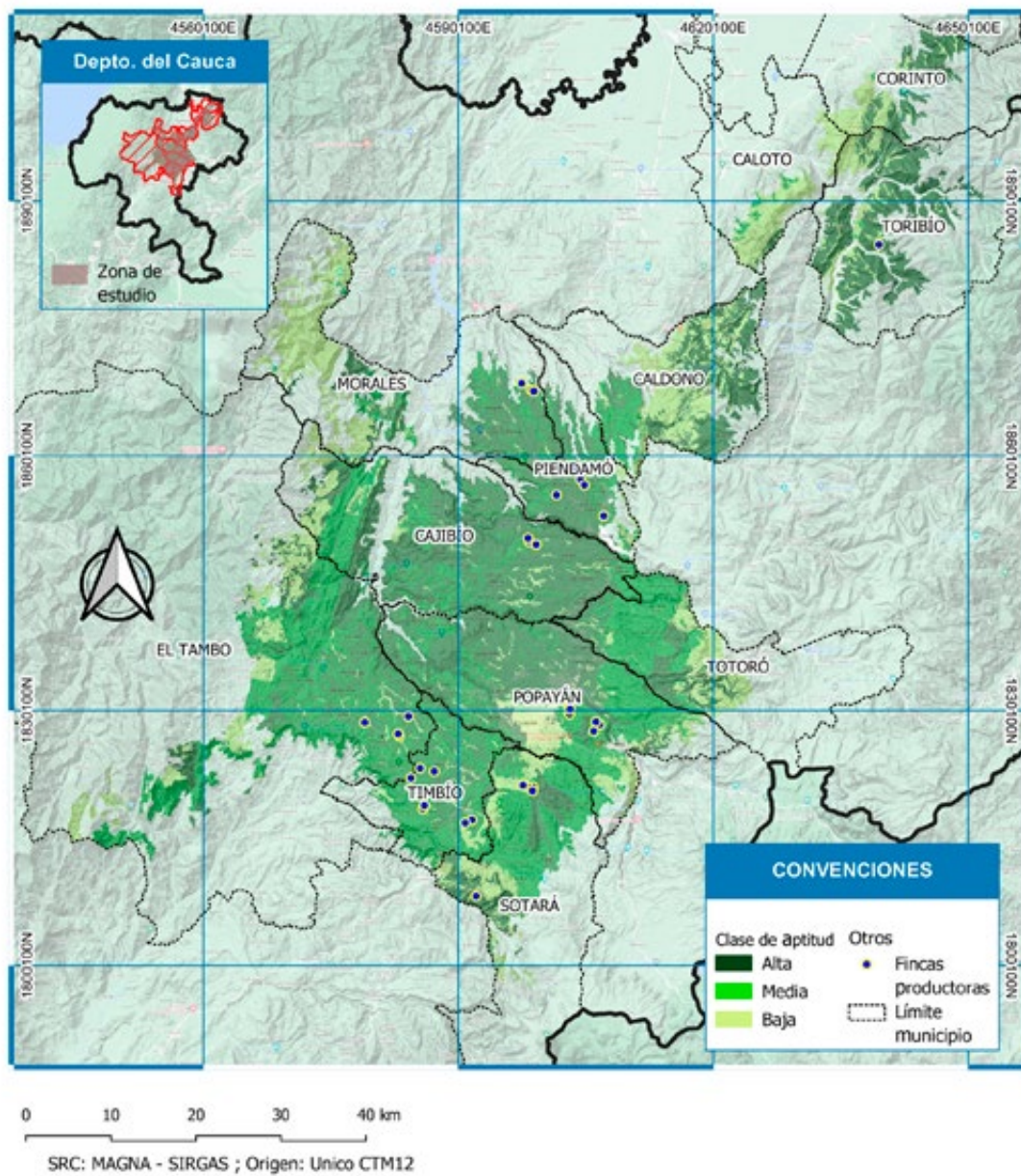


b.

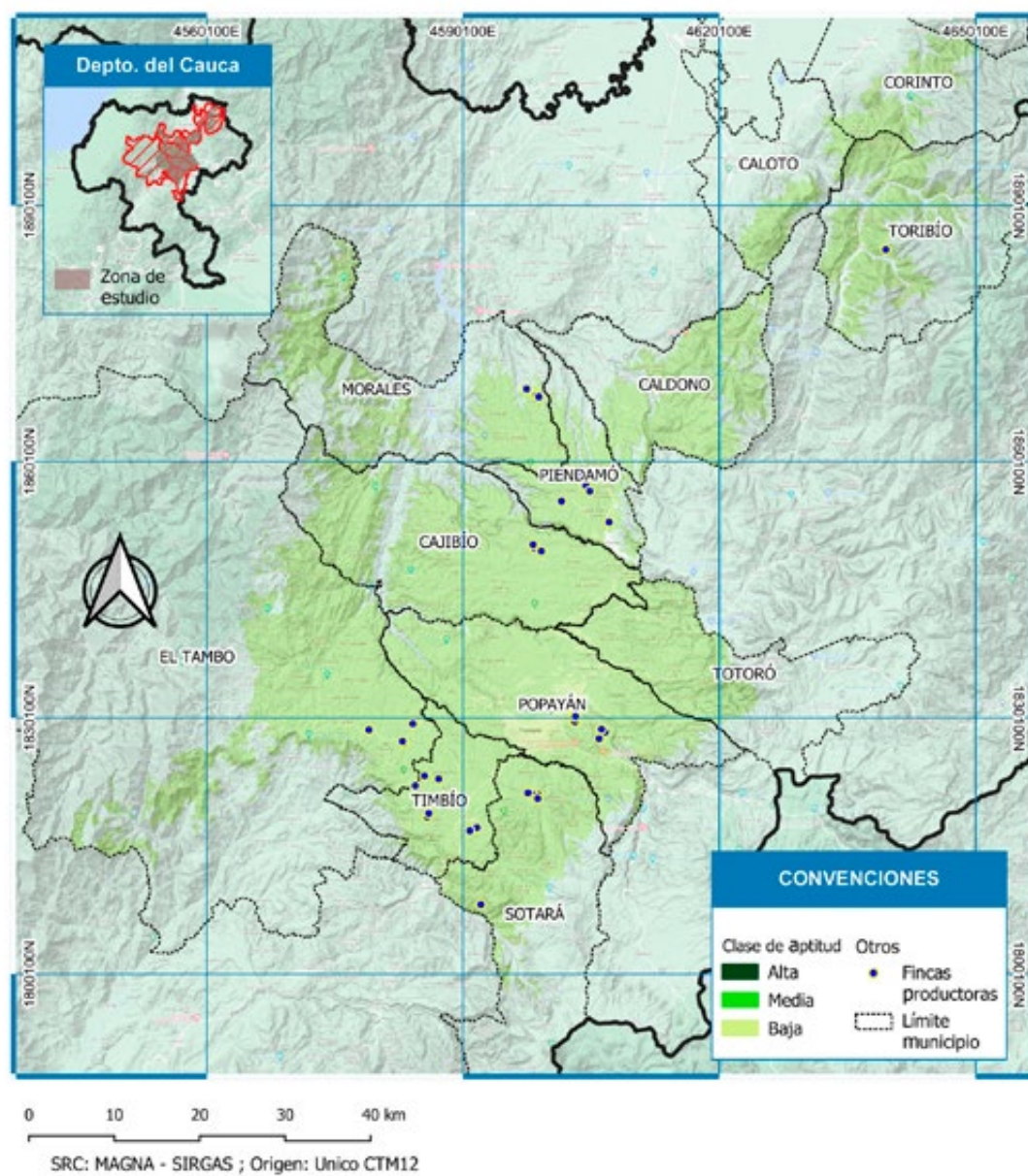
Figura 4.13. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Disponibilidad de nutrientes (a): pH (b), CICE (c), saturación de bases (d) y carbono orgánico del suelo (e).



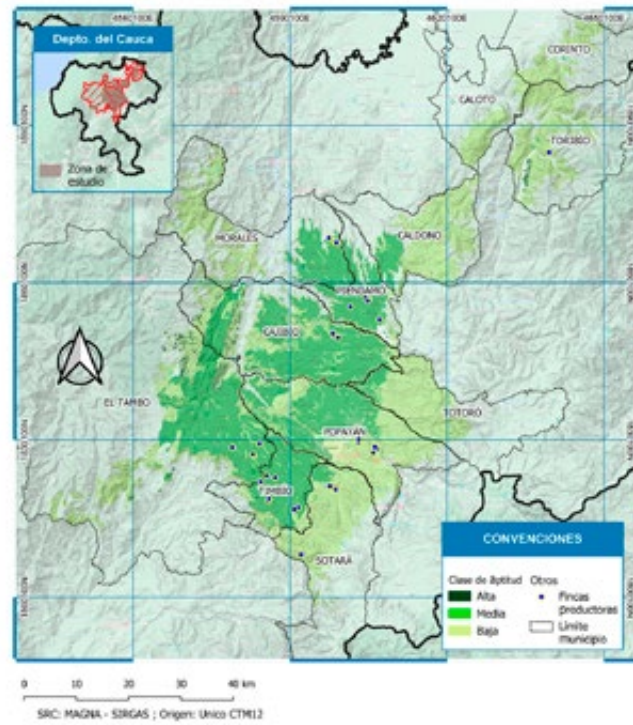
a.



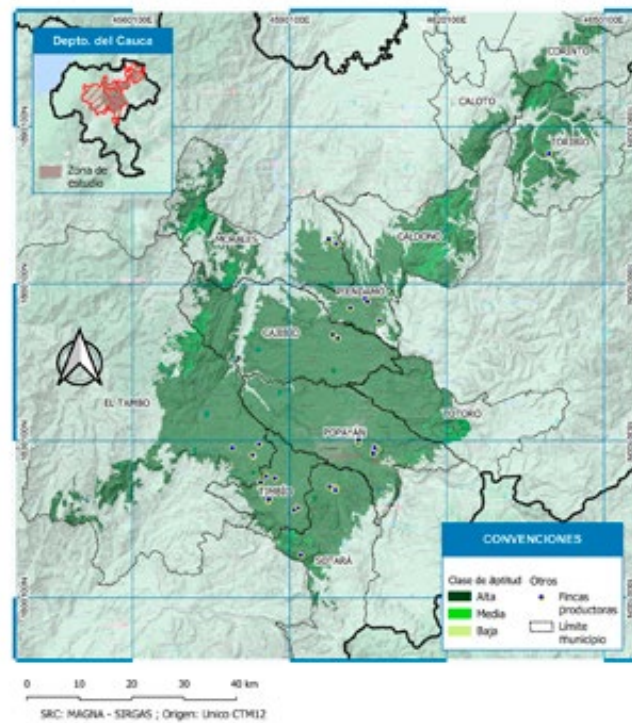
b.



C.



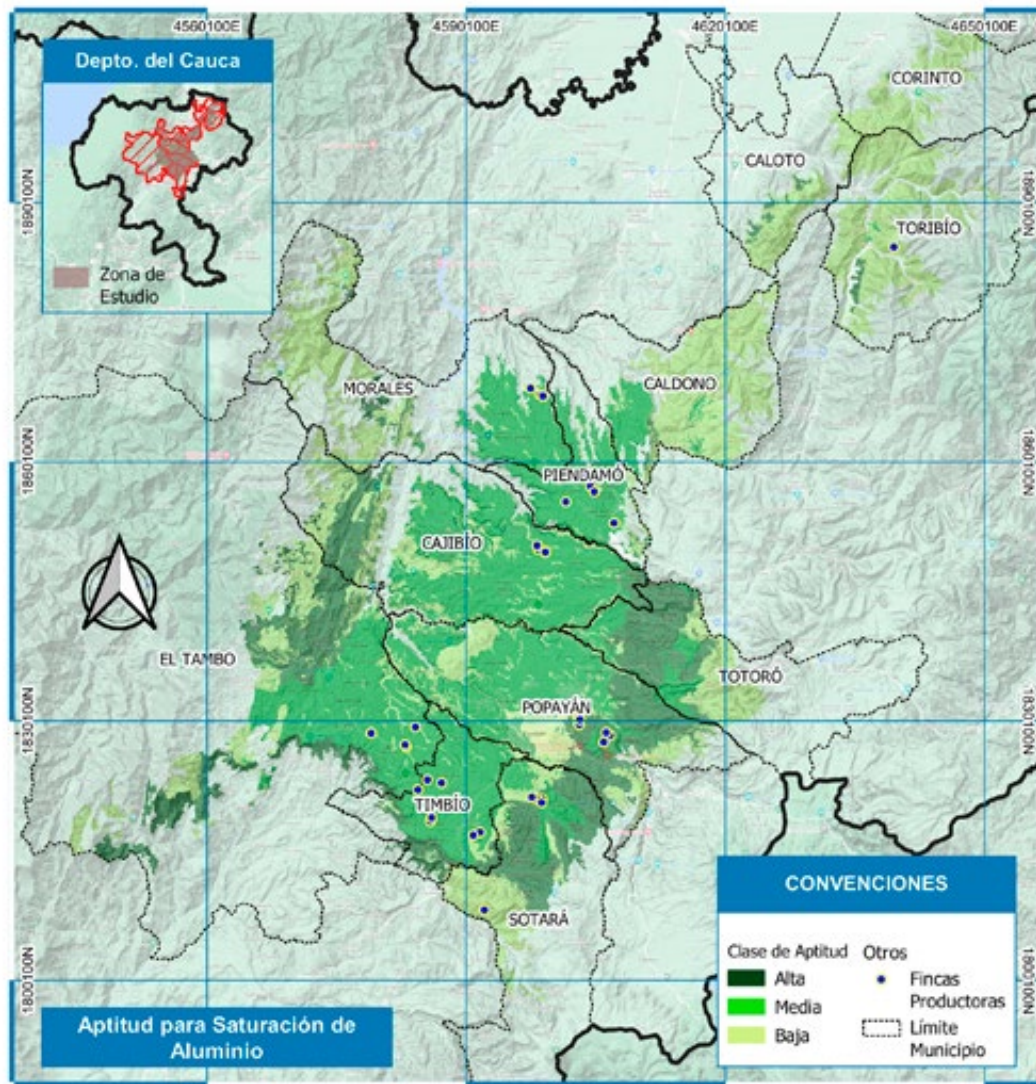
d.



e.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.14. Aptitud de criterios del subcomponente edáfico para zonificación de aguacate Hass. Toxicidad por saturación de aluminio.



Fuente: Elaboración propia.

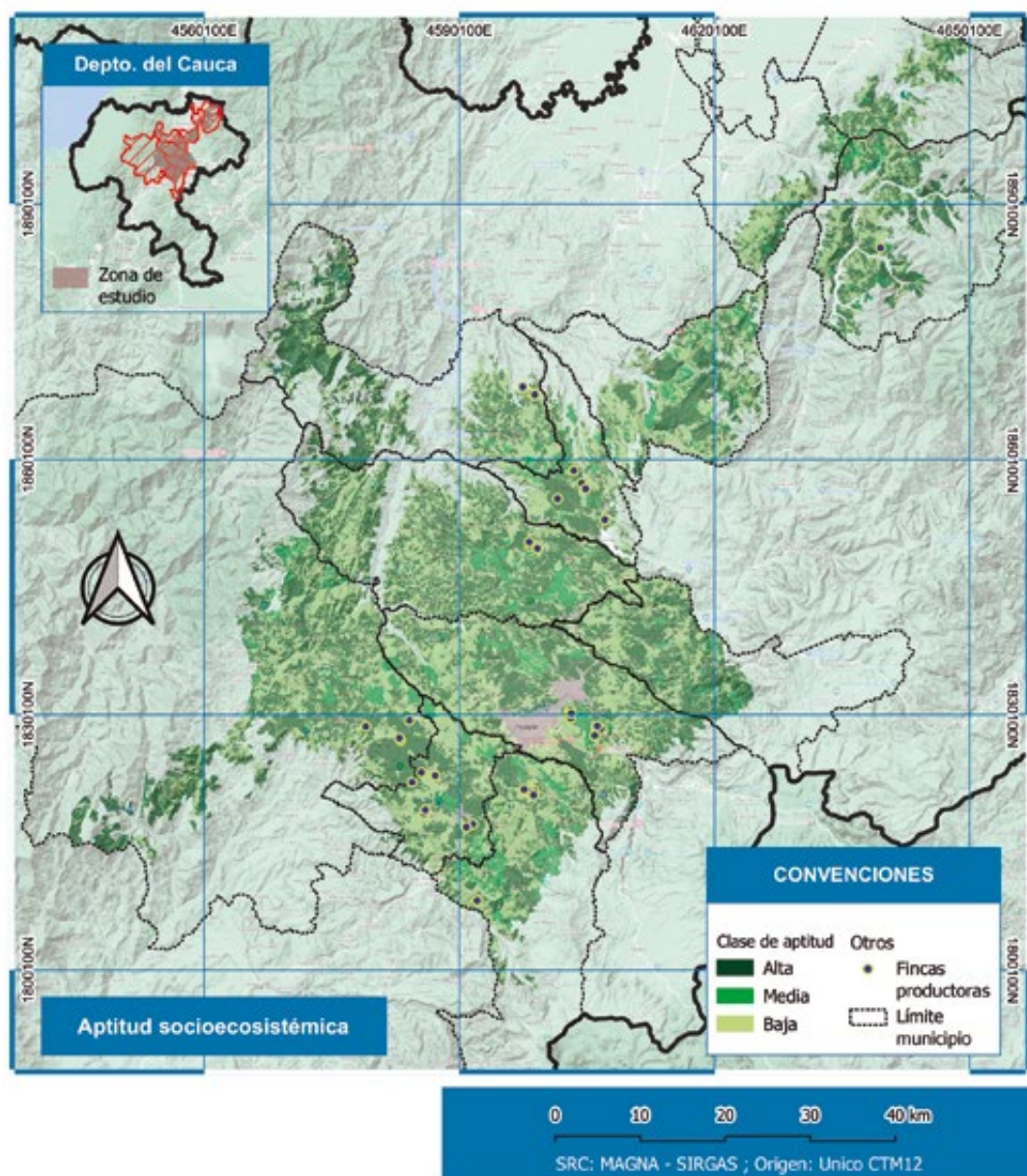
Condiciones socioecosistémicas y fitosanitarias

La zona de estudio tiene baja aptitud en los factores del entorno que permiten que las actividades humanas y productivas se soporten y adapten a los cambios en la naturaleza de forma sostenible (figura 4.15). Esto se evidencia por la fragmentación de las coberturas vegetales y la variedad de usos de la tierra, de los cuales gran parte corresponden a actividades antrópicas, mientras que un porcentaje muy bajo son zonas naturales, que soportan la provisión de servicios ecosistémicos y la protección de la diversidad biológica. En este sentido, dado que la zona ha sufrido un proceso intensivo de migración hacia actividades agrícolas que tienen una alta demanda de recursos naturales, en los planes de manejo del cultivo se debe considerar acciones que permitan restaurar y proteger las áreas naturales para garantizar la sostenibilidad ambiental y económica de esta actividad productiva.

Respecto al criterio de riesgo fitosanitario, este se encuentra definido principalmente por las condiciones que favorecen la presencia de microorganismos patógenos asociados a la acumulación de humedad en el suelo por exceso hídrico y problemas de drenaje, como en el caso de *Phytophthora* sp. En las condiciones evaluadas, el criterio de susceptibilidad a esta enfermedad presenta una aptitud alta a moderada para el cultivo, lo cual indica una baja susceptibilidad a incidencia de la enfermedad. Esta situación condiciona los planes de manejo del cultivo, de acuerdo con las condiciones climáticas predominantes y el tipo de textura del suelo en el sitio de cultivo (figura 4.16).

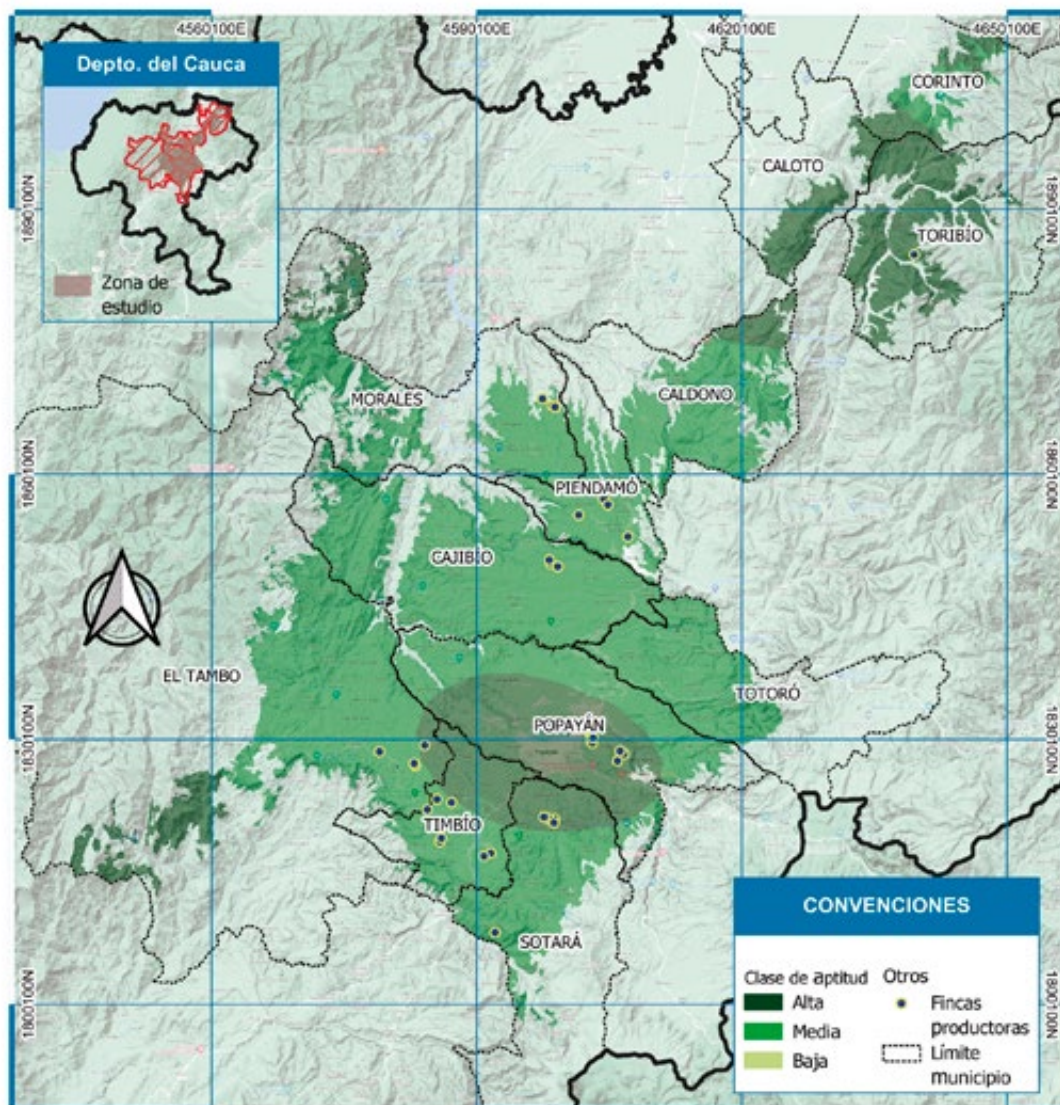
La presencia de plagas cuarentenarias en los municipios evaluados, de acuerdo con los registros oficiales vigentes del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2015), no evidencian la presencia de este tipo de insectos como limitante económica en cultivos de la zona, por lo cual esta variable tiene una aptitud baja (figura 4.16). Sin embargo, esta condición puede variar una vez se haga oficial el reporte y las alertas dadas a los productores por parte de las entidades competentes y por instituciones de investigación que trabajan en la zona.

Figura 4.15. Aptitud de criterios socioecosistémicos para zonificación de aguacate

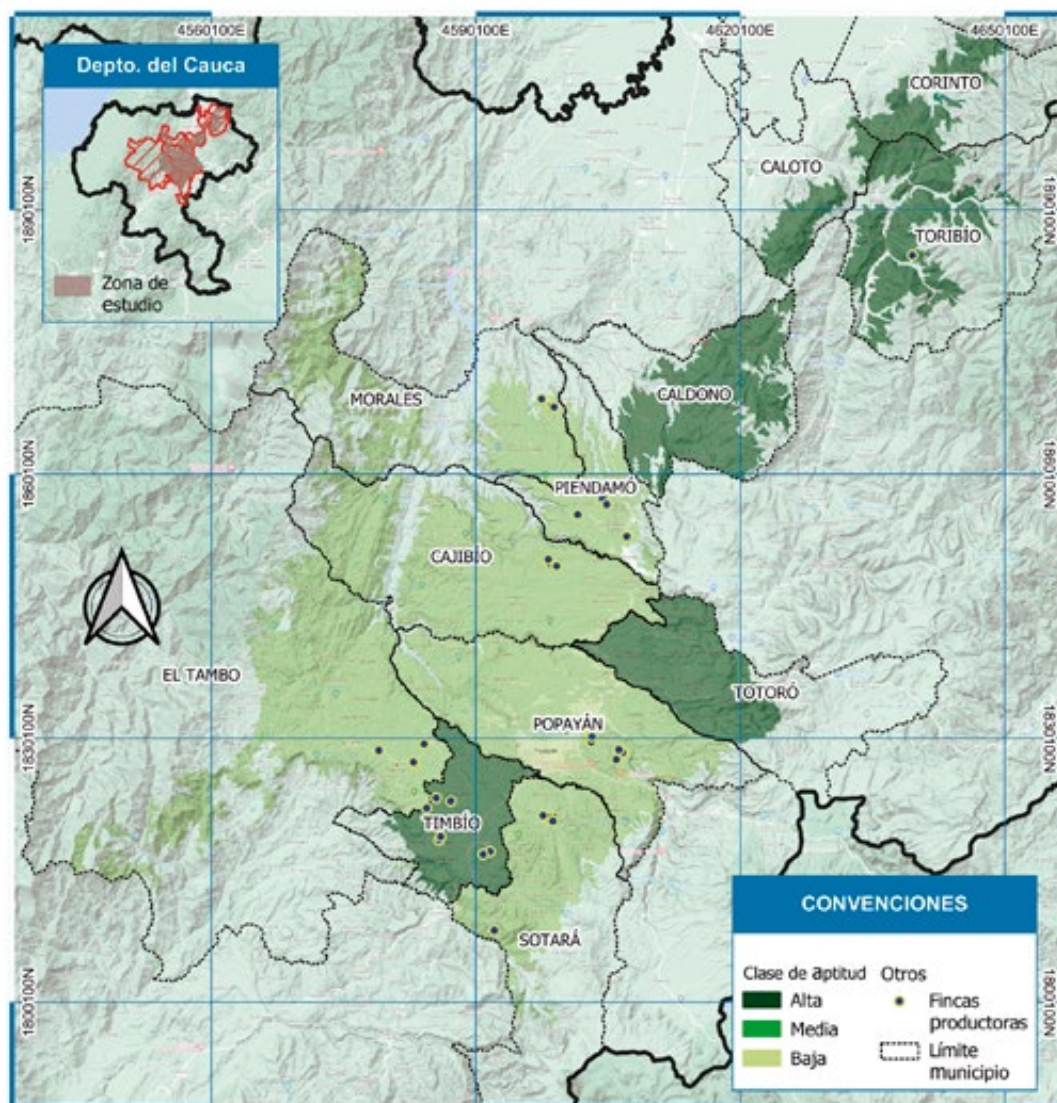


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.16. Aptitud de criterios de susceptibilidad fitosanitaria para zonificación de aguacate Hass.



a.



b.

Fuente: Elaboración propia.

Aptitud socioeconómica para el cultivo de aguacate Hass

De acuerdo con los criterios de competitividad evaluados, se identificaron áreas aptas en la región que permiten el desarrollo y la sostenibilidad económica de la producción del cultivo de aguacate Hass, principalmente en los municipios de El Tambo, Morales, Piendamó y Caloto. De los municipios evaluados, el 36,6 % corresponden a zonas con aptitud alta, el 45,5 % a zonas con aptitud media y el 18,2 % a zonas con baja aptitud (tabla 4.9 y figura 4.17).

Los municipios con una alta aptitud socioeconómica corresponden a El Tambo, Morales, Piendamó y Caloto, en los cuales criterios como la conectividad y el apoyo institucional favorecen que se dinamicen los procesos en torno a la cadena productiva de aguacate Hass, en comparación con los demás municipios.

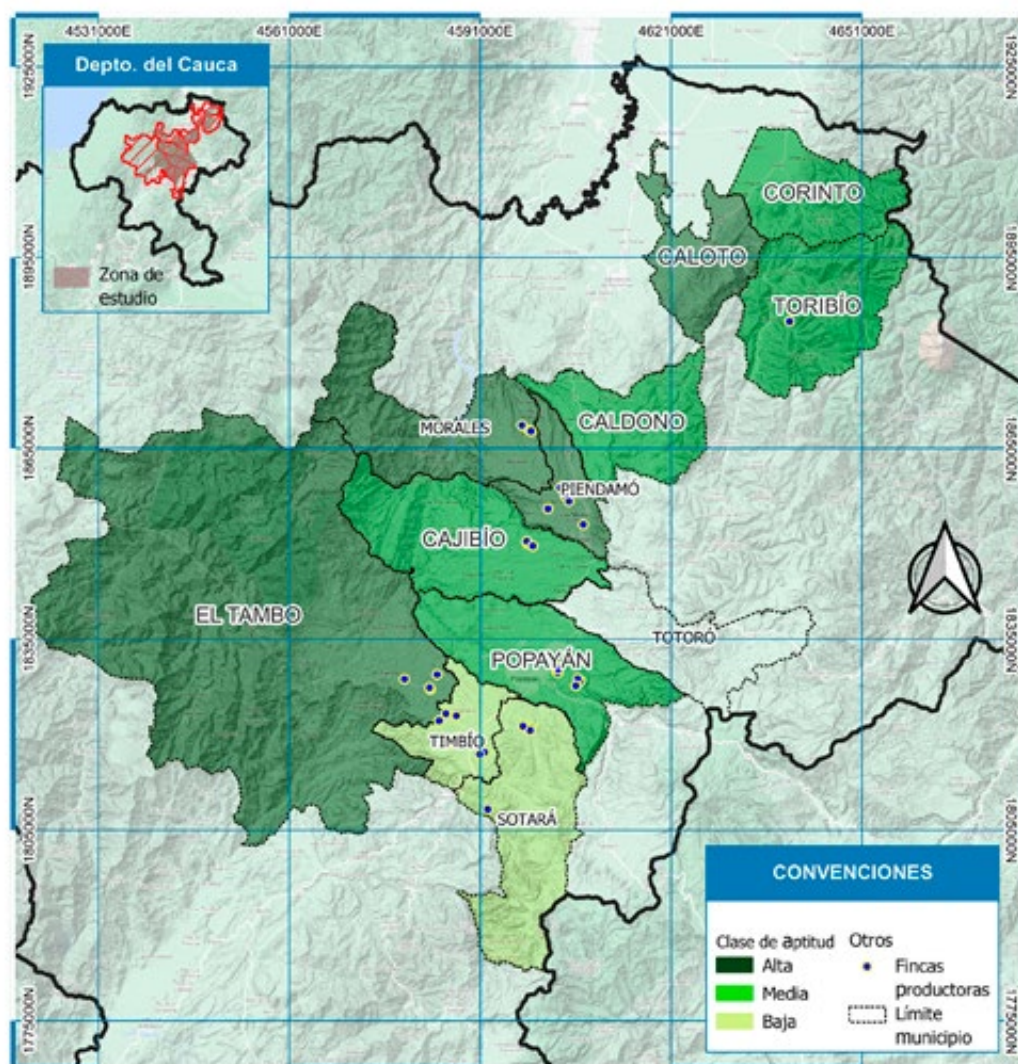
Entre los municipios que registran una aptitud baja desde el punto de vista de competitividad, se encuentran Sotaró y Timbío, principalmente, por criterios como balance tecnológico en la producción primaria, comercio y oportunidades de venta y organización. En las siguientes secciones se describen los principales factores y criterios de influencia en este componente.

Tabla 4.9. Distribución de áreas con aptitud socioeconómica para aguacate Hass en la zona de estudio

Categoría aptitud		Descripción aptitud socioeconómica	N.º municipios	(%)
Alta	A1	Condiciones de tipo socioeconómico adecuadas para la competitividad del cultivo.	4	36,4
Media	A2	Condiciones de tipo socioeconómico moderadas para la competitividad del cultivo.	5	45,5
Baja	A3	Condiciones de tipo socioeconómico bajas para la competitividad del cultivo. Requieren mayor inversión y nuevas políticas para sostenibilidad de la actividad económica.	2	18,2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.17. Aptitud socioeconómica para el cultivo de aguacate Hass en municipios priorizados del departamento del Cauca.



a.

Fuente: Elaboración propia.

Dimensión económica

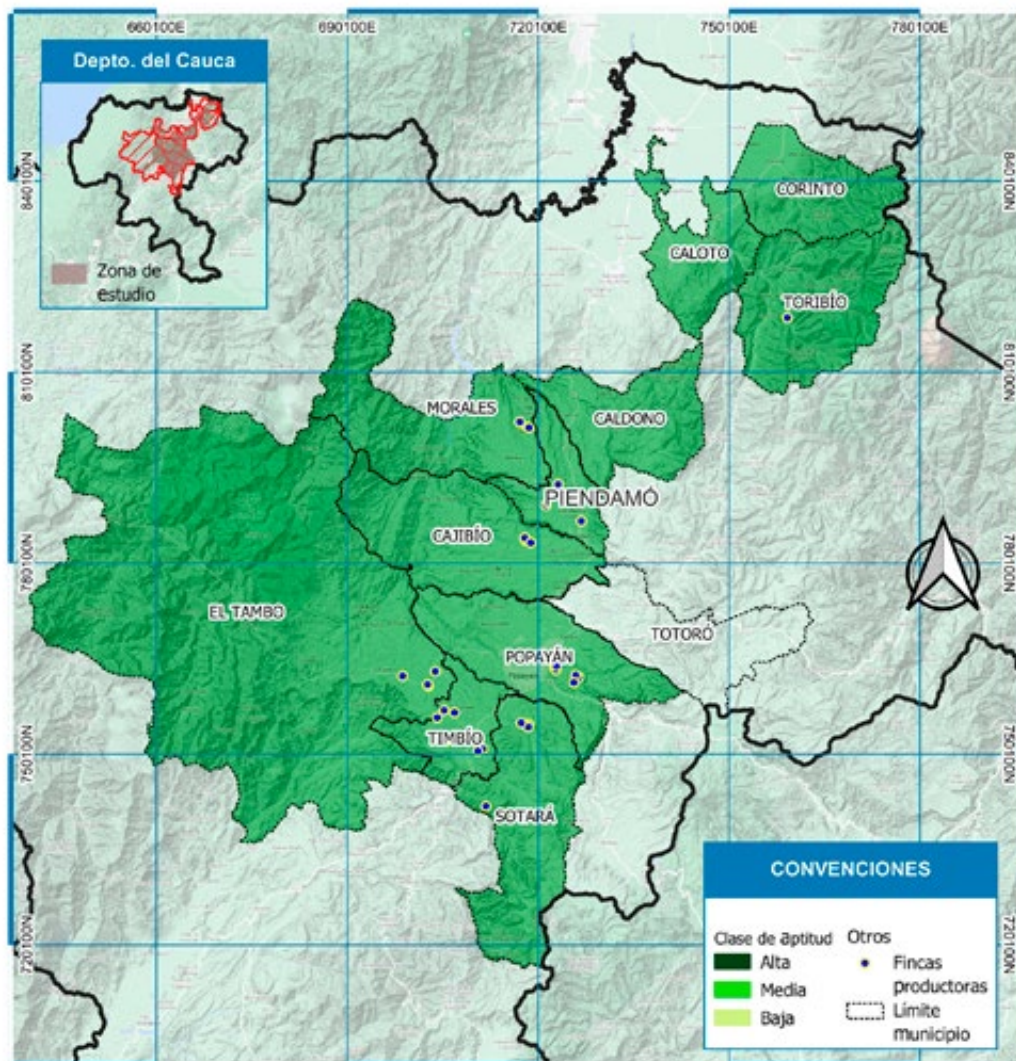
En este aspecto, el factor que tiene el mejor comportamiento para el cultivo de aguacate Hass en la zona corresponde al criterio condiciones de desarrollo, el cual agrupa factores que mejoran la cotidianidad y la calidad de vida del productor. Se destaca la disposición de servicios públicos básicos como energía y agua potable en gran parte de las zonas rurales, lo cual permite una aptitud media en todos los municipios (figura 4.18). Servicios como el acceso a internet, la telefonía, el gas natural y el alcantarillado son parte de las necesidades sin atender en gran parte del territorio.

Los criterios comercio y oportunidades de venta, así como disponibilidad de mano de obra, tienen un nivel diferencial de aptitud poco favorable entre los municipios de la región (figura 4.18). En este caso se observa una condición de aptitud alta y media para el criterio comercio en Morales y El Tambo, respectivamente, gracias a los reportes de acuerdos comerciales relacionados con la actividad de asociaciones y organizaciones de apoyo. En contraste, los municipios ubicados en el centro y norte del departamento tienen una aptitud baja, sobre todo debido a procesos de negociación poco desarrollados y acuerdos inestables en el corto y largo plazo.

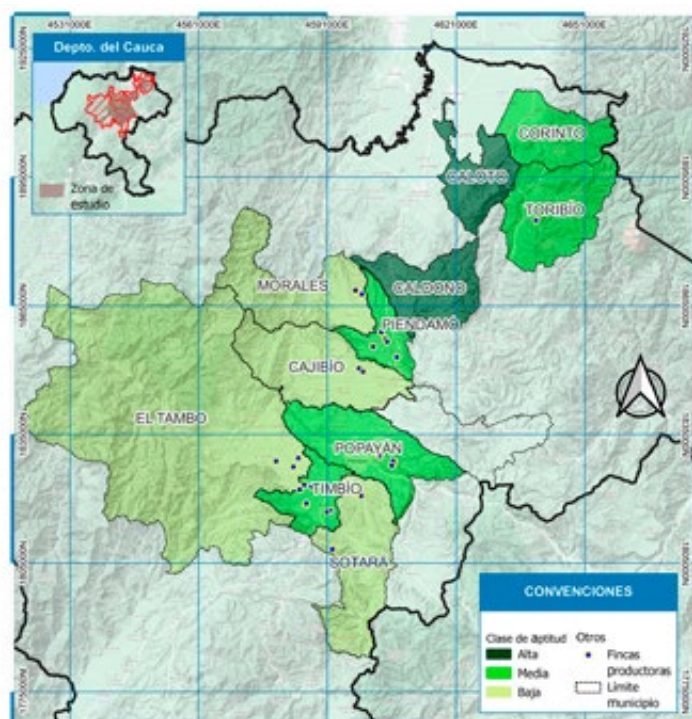
Respecto a la disponibilidad de mano de obra, aunque el sistema de producción se caracteriza por ser de agricultura familiar y en áreas pequeñas, hay déficit para labores del cultivo y trabajo calificado, principalmente durante la época de cosecha, en El Tambo, Sotará, Timbío y Cajibío, en los cuales hay una aptitud baja para este criterio (figura 4.18). Por su parte, Morales y Caloto registran una aptitud alta.

Finalmente, la educación es un criterio indispensable para el funcionamiento del sistema productivo. Su disponibilidad y calificación dependen en gran medida de su desempeño social y económico, por lo tanto, la escolaridad forma parte de su valoración. En Piendamó, Popayán, Timbío, Sotará y Caloto se evidenció que los años promedios de escolaridad están en el nivel técnico, tecnólogo y universitario. Una situación distinta hay en Cajibío y Toribío, donde el nivel de escolaridad no supera los tres años de estudio, y en El Tambo y Morales, con un rango de cuatro a seis años de escolaridad.

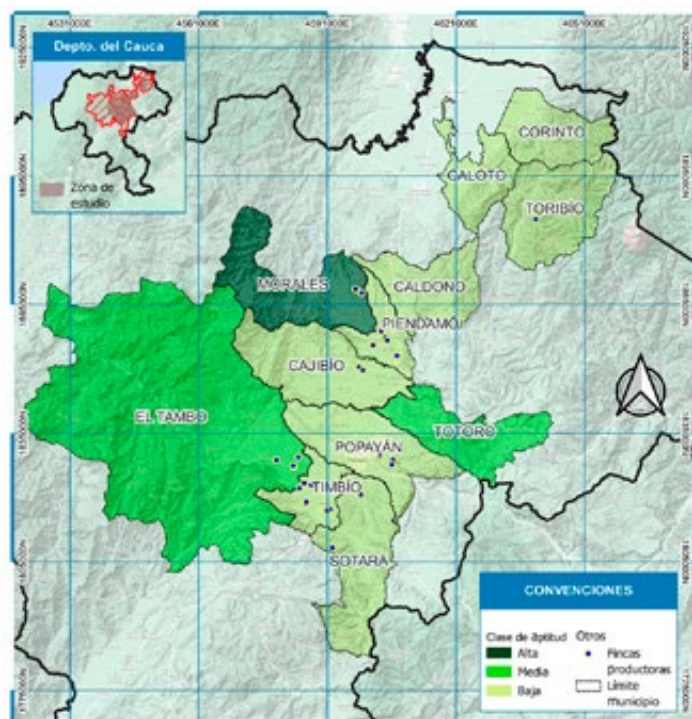
Figura 4.18. Aptitud de criterios de la dimensión económica para zonificación de aguacate Hass. Condiciones de desarrollo, mano de obra y comercio y oportunidades de venta.



a.



b.



c.

Fuente: Elaboración propia.

Dimensión sociocultural

Como resultado de los procesos de atención a comunidades vulnerables y territorios con conflicto armado, que se han realizado programas de gobierno y cooperación internacional hace varios años en Cauca, la dimensión sociocultural ha sido influida de manera positiva principalmente por los criterios de apoyo institucional y organización (figuras 4.19 y 4.20). De esta manera, estos criterios tienen una aptitud alta y media, respectivamente, en al menos el 55 % de los municipios: El Tambo, Morales, Timbío, Piendamó, Caldono y Caloto (figuras 19).

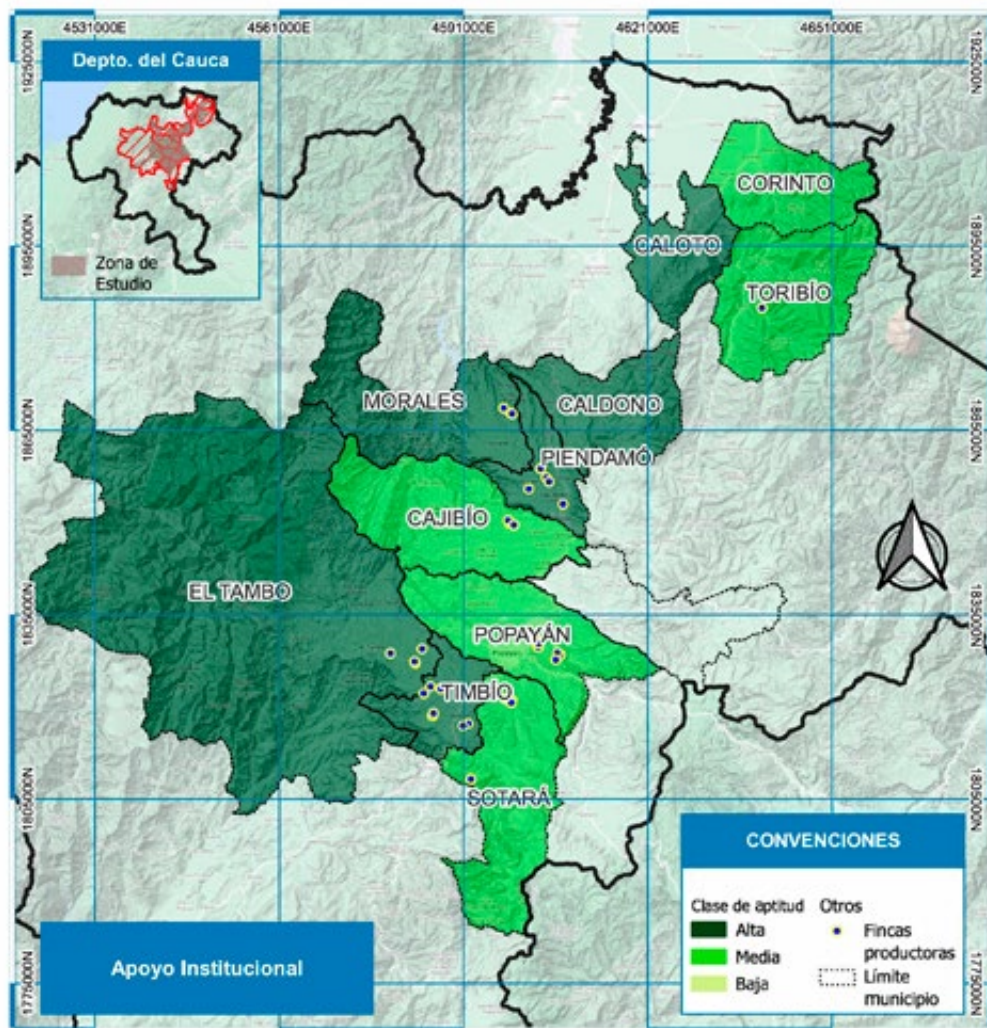
En ambas condiciones, mediante iniciativas de apoyo institucional se ha logrado la presencia de gremios sectoriales, el incentivo para el desarrollo de programas de certificación de predios productores de aguacate, acceso a créditos bancarios, participación en organizaciones sociales, extensión y asistencia técnica para los cultivos, y la atención de instituciones de investigación con influencia directa en la región. El municipio con mayor número de participantes en asociaciones es Timbío, en el cual hace presencia, sobre todo, la Asociación de Productores de Aguacate de Timbío.

Entre los factores con influencia negativa en la competitividad del cultivo están los criterios seguridad y mantenimiento de la ruralidad y multifuncionalidad, en los cuales hay aptitud media y baja, respectivamente, en al menos el 50 % de los municipios (figuras 4.21 y 4.22). La seguridad se asocia al entorno en el que conviven las personas de los diferentes municipios y se relaciona con el bienestar de las comunidades involucradas de manera directa o indirecta con la producción agrícola. Un ambiente seguro es una condición necesaria para el desarrollo agropecuario, más aún en los espacios rurales, donde es menor la presencia de la institucionalidad. Toribío y El Tambo tienen aptitud alta para este criterio, mientras que Caldono y Sotará tienen una aptitud baja en comparación con los demás municipios (figura 4.21).



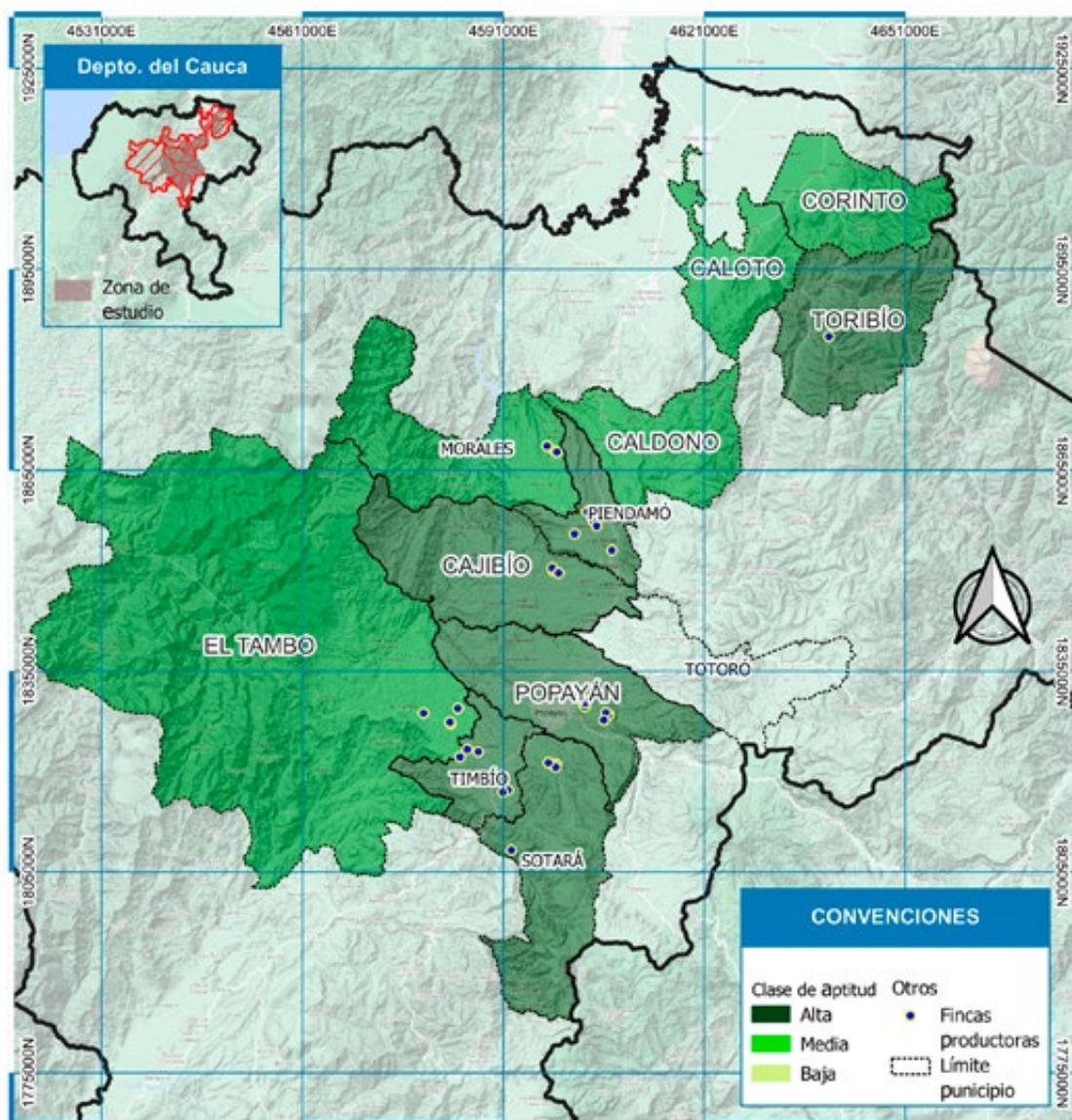
La multifuncionalidad permite establecer las alternativas no agropecuarias disponibles en el territorio, como la función paisajística y el aprovechamiento de recursos naturales específicos. Se registra aptitud alta para este criterio en Caloto y Caldono, y baja en El Tambo, Sotaró, Cajibío y Morales (figura 4.22). Sin embargo, se estima que el 59 % de los productores de la región no hace ningún tipo de aprovechamiento de recursos a través de prácticas para manejo y conservación, asociadas a características biofísicas y al tipo e intensidad del uso de la tierra en las zonas de cultivo.

Figura 4.19. Aptitud de criterios de la dimensión sociocultural para zonificación de aguacate Hass. Apoyo institucional.



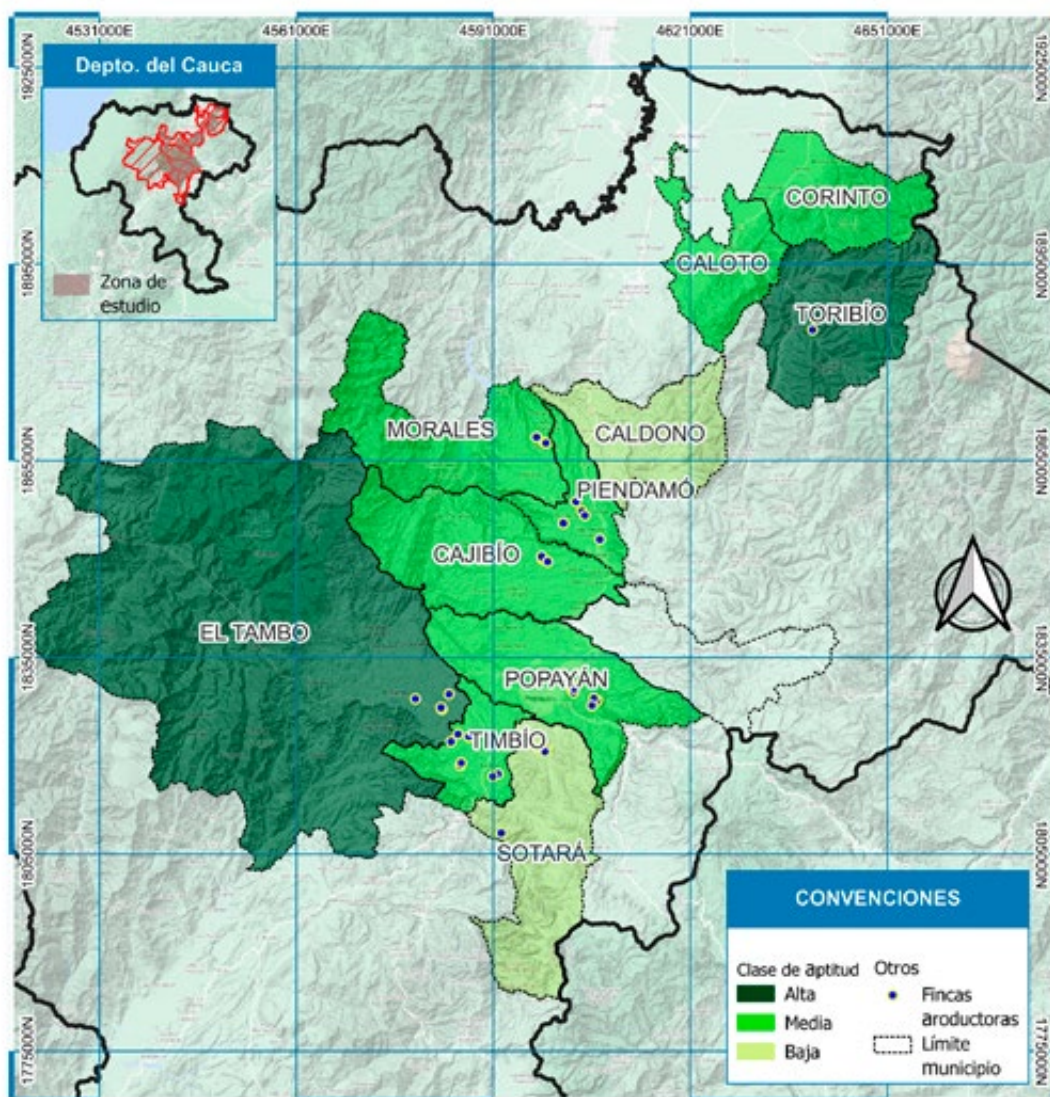
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.20. Aptitud de criterios de la dimensión sociocultural para zonificación de aguacate Hass. Organización.



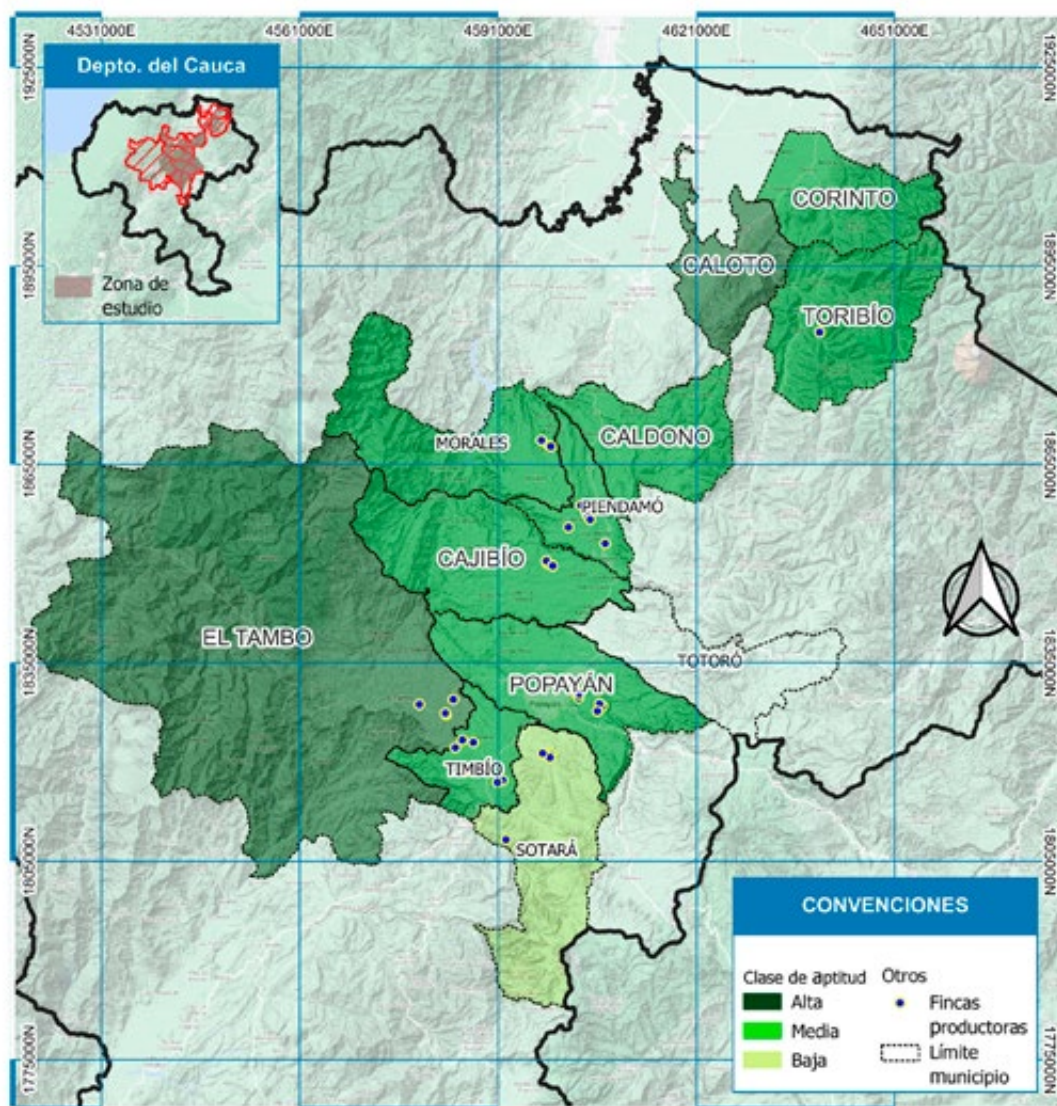
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.21. Aptitud de criterios de la dimensión sociocultural para zonificación de aguacate Hass. Seguridad y mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.22. Aptitud de criterios de la dimensión sociocultural para zonificación de aguacate Hass. Multifuncionalidad.



Fuente: Elaboración propia.

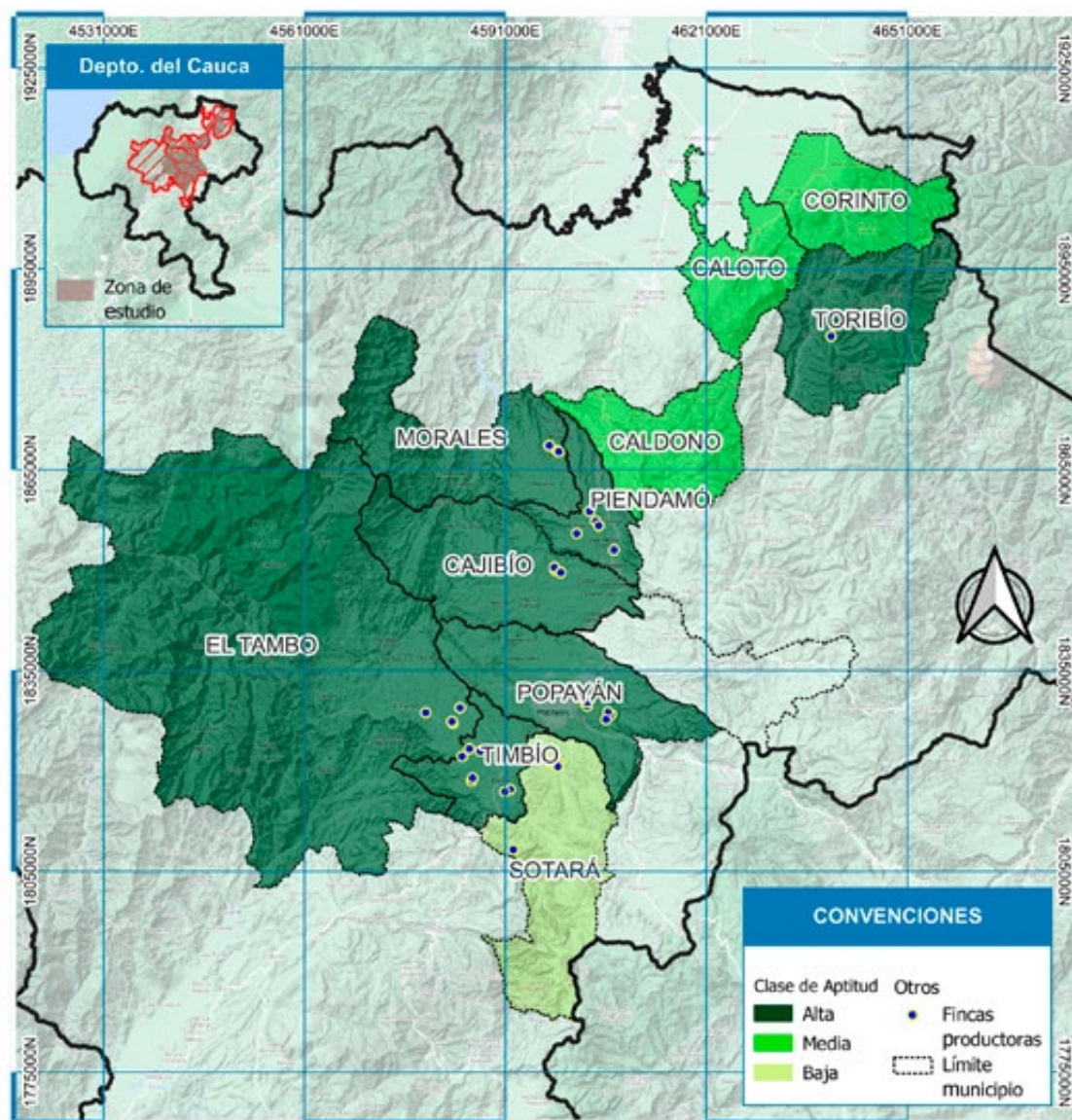
Dimensión tecnológica

Este factor determina en gran medida la productividad y competitividad de la zona, y expresa la disponibilidad y utilización de tecnología para manejo agronómico del cultivo y mejoramiento de su productividad, así como el tipo de tecnología con que cuenta el territorio en función de la estructura requerida para la transformación y agregación de valor.

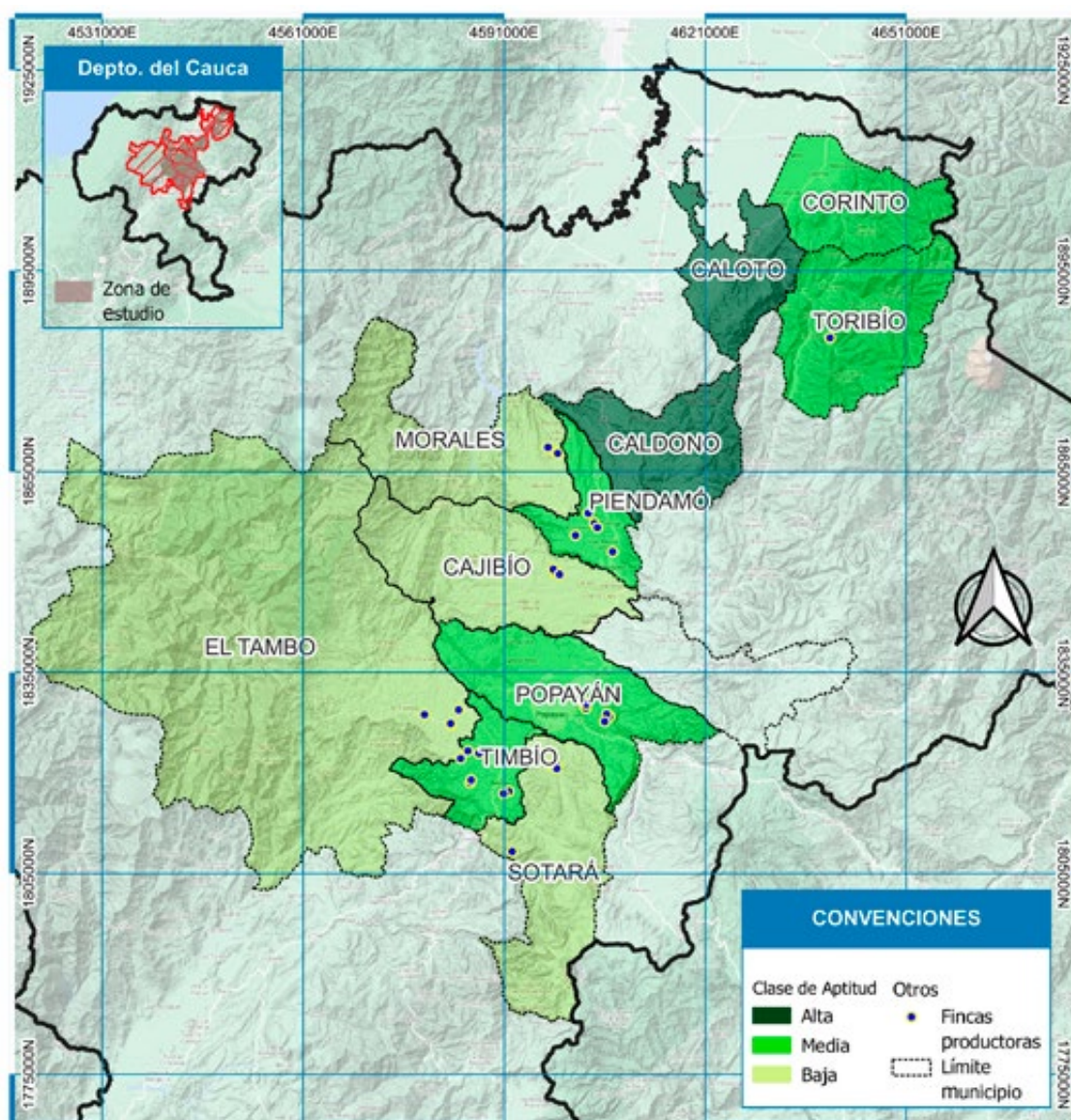
La tradición productiva y el apoyo institucional en el sistema de producción de aguacate permiten establecer que en los municipios evaluados son comunes las prácticas y labores del cultivo para establecimiento, mantenimiento y manejo fitosanitario del cultivo. Por esta razón se observa una tendencia de aptitud alta a media en el territorio para la variable balance tecnológico en la producción primaria, principalmente en El Tambo, Popayán, Cajibío y Timbío (figura 4.23).

En referencia al criterio infraestructura tecnológica enfocada a la agregación de valor, se observa una tendencia generalizada hacia la aptitud baja en el 30 % de los municipios y hacia la aptitud media en los demás (figura 4.23). En este criterio se destaca que los municipios no cuentan con un acopio de la producción local ni regional, y que parte de las acciones y programas institucionales se enfocan principalmente en el mejoramiento de la producción primaria, sin considerar factores poscosecha que requieren también de elementos y tecnología para garantizar la calidad y el valor agregado de la fruta obtenida en la zona y con destino a mercados de exportación.

Figura 4.23. Aptitud de criterios de la dimensión tecnológica para zonificación de aguacate Hass. Balances tecnológicos en la producción primaria (a) e infraestructura tecnológica (b).



a.



b.

Fuente: Elaboración propia.

Referencias

- Bartoli, J. A. (2008). *Manual técnico del cultivo del aguacate Hass (Persea americana L.)*. Fundación Hondureña de Investigación. <http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/handle/123456789/654>
- Bernal, J. (2008). *Tecnologías para el cultivo del aguacate: Manual número 5*. Corpoica. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13459>
- Bernal, J. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55435>
- Bisonó, S. M., & Hernández, J. R. (2008). *Guía tecnológica sobre el cultivo del aguacate*. Consejo Nacional de Competitividad. <http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/handle/123456789/656>
- Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). (2017). Cobertura de la tierra y uso del suelo. Departamento del Cauca escala 1:25.000. Contrato de Consultoría 000511 de 2017 [Documento técnico].
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. (2020). Segundo informe técnico “Producto 1. Valoración de la oferta biofísica y caracterización socioeconómica de sistemas de producción de aguacate para la identificación de nichos productivos y tecnología requerida en el desarrollo de cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca”. Proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para el mejoramiento de la productividad y calidad de aguacate Hass” [Documento de trabajo, Palmira, AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira].
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. (2022). Cuarto informe técnico “Producto 1. Valoración de la oferta biofísica y caracterización socioeconómica de sistemas de producción de aguacate para la identificación de nichos productivos y tecnología requerida en el desarrollo de cultivos de aguacate Hass en el departamento del Cauca”. Proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para el mejoramiento de la productividad y calidad de aguacate Hass” [Documento de trabajo, Palmira, AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira].



- Fonseca, F., Aguilar, D., Siachoque, R., Urbina, J., Otero, J., Páramo, G., & Lozano, J. (2018). *Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000*. UPRA.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1976). *Esquema para la evaluación de tierras* [Boletín de Suelos, n.º 32]. FAO. <http://www.fao.org/docrep/x5310e/x5310e00.HTM>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1984). *Land evaluation for forestry* [Forestry Paper, n.º 48]. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1985). *Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture* [Soils Bulletin, n.º 55]. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2007). *Land evaluation: towards a revised framework* [Documento de debate de Tierras y Aguas de la FAO, n.º 6]. FAO. <http://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a1080e/a1080e00.pdf>
- Gómez, M. (2012). Fertilización en frutales. En R. Saavedra, H. Vásquez, & E. Mejía (Eds.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 141-168). Produmedios.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2015). Resolución 003593 de 2015, “por medio del cual se crea el mecanismo para mantener, establecer, actualizar y divulgar el listado de plagas reglamentadas en Colombia”. <https://www.ica.gov.co/getattachment/a6a72675-e009-42f7-8c25-89b406e494d9/2015r3593.aspx>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2019). *Guía metodológica de la operación estadística de variables meteorológicas*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/Definiciones+CNE.pdf/25e1cca5-ee47-4eaf-86c0-c4f5192a9937>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2009). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: Departamento del Cauca: Escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2014). *Zonificación climática para levantamiento de Suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi
- Miranda, D. (2012). Establecimiento de huertos frutícolas. En R. Saavedra, H. Vásquez, & E. Mejía (Eds.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 99-119). Produmedios.

- Ospina Parra, C. E. (2020). Informe técnico AGROSAVIA: Caracterización productiva y socioeconómica del sistema productivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca. Proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para el mejoramiento de la productividad y calidad de aguacate Hass” [Documento de trabajo].
- Polo Carrera, S. (2020). Caracterización edafoclimática a escala 1:25.000 de sistemas de producción de aguacate Hass en once municipios del departamento del Cauca. Proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para incrementar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el Departamento del Cauca” [Informe técnico, AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira].
- Saavedra, R., Vásquez, H., & Mejía, E. (Eds.). (2012). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Produmedios.
- Siraj, S., Mikhailov, L., & Keane, J. (2015). PriEsT: An interactive decision support tool to estimate priorities from pairwise comparison judgments. *International Transactions in Operational Research*, 22(2), 217-235. <https://eprints.whiterose.ac.uk/102702/1/manuscript.pdf>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2013). *Consolidación de la metodología general de evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a nivel nacional*. Imprenta Nacional.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2014). *Consolidación de la metodología de evaluación de tierras con fines agropecuarios a escala semidetallada (1:25.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. UPRA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36445>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2018). *Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000*. UPRA. <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Zonificaci-n-de-aptitud-para-el-cultivo-comercial-/tx7u-frn2/data>



Los autores

Andrés Felipe Rodríguez Vásquez

Profesor asistente

Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

afrodriguezv@unal.edu.co

<https://orcid.org/0009-0003-7675-4079>

Ingeniero agrícola, magíster en Geomática y candidato a doctor en Ciencias Agrarias. Investigador junior de Colciencias, enfocado en las áreas de geomáticas, suelos, evaluación de tierras, geoestadística, pedometría, agricultura digital y aspectos relacionados con las ciencias geoespaciales aplicadas a las ciencias agropecuarias.

Carlos Eduardo Ospina Parra

Investigador Máster Asociado

Centro de investigación La Selva, AGROSAVIA

ceospina@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0002-3155-663X>

Ingeniero agrónomo, M Sc. en Sociedades Rurales. Investigador máster de La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA desde 2013. Tiene experiencia en proyectos de investigación y vinculación de tecnologías en el sector agropecuario. Ha coordinado investigaciones de análisis sociales, económicos y técnicos de los sistemas productivos y las cadenas de valor ante eventos de variabilidad y cambio climático, y ha liderado proyectos de vinculación y apropiación de tecnologías de sistemas de producción campesina en Colombia.

Diana Lucía Correa Moreno

Investigador Ph.D.

Centro de investigación Palmira, AGROSAVIA

dlcorrea@agrosavia.co

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

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

Francisco José Sánchez Marín

Profesor de tiempo completo

Universidad del Pacífico, Buenaventura, Valle del Cauca

fjsanchez@unipacifico.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-7491-0988>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia. Se ha desempeñado como profesor en la misma alma mater y en la Universidad del Pacífico en las áreas de matemáticas y métodos cuantitativos. Ha trabajado como asesor y consultor estadístico en proyectos de investigación en el campo de las ciencias biológicas, agropecuarias y sociales en el Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA y el Instituto para la Investigación y la Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca (INCIVA).

Lina Vanessa Garavito Morales

Profesional de apoyo a la investigación
Centro de Investigación Palmira, AGROSAVIA
lgaravito@agrosavia.co
<https://orcid.org/0000-0001-5178-6590>

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

Luis Carlos Grajales Guzmán

Investigador Máster
Centro de investigación Palmira, AGROSAVIA
lgrajales@agrosavia.co
<https://orcid.org/0000-0002-8762-4806>

Ingeniero agrícola con maestría en Ingeniería Ambiental, con línea de investigación en Monitoreo, Modelación y Gestión de Recursos Naturales. Cuenta con experiencia en formulación, planeación operativa y administración técnica-financiera de proyectos de investigación agrícola, con enfoque en el manejo sostenible de los recursos naturales agua y suelo, principalmente en diseño e implementación de sistemas de riego, evaluación de indicadores de gestión del recurso hídrico y manejo eficiente del agua en sistemas productivos agrícolas, diseño y evaluación de programas de fertilización y estimación de requerimientos nutricionales de plantas.

Actualmente participa en proyectos de investigación en valoración biofísica de tierras para la producción de aguacate, manejo de suelos y recurso hídrico en guayaba y establecimiento de esquemas de producción de semilla de calidad en plátano y guayaba.

Sebastián Polo Carrera

Consultor en edafología y evaluación de tierras

sepolca06729@gmail.com

Ingeniero agrónomo, magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos. Experto en aspectos edafológicos y usos de la tierra. Ha participado en diversos proyectos relacionados con la evaluación de tierras, estudio de suelos y usos de la tierra. Ha trabajado con entidades como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) y La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA.

María Casamitjana Causa

Universidad de Girona, Girona, España

u1900874@campus.udg.edu

<https://orcid.org/0000-0003-3257-0991>

Ingeniera forestal de la Universidad de Lleida, España. Ingeniera agrónoma de la Universidad de Lleida, España. Magíster en Medioambiente de la Universidad de Girona, España, línea de investigación en Monitoreo, Modelación y Gestión de Recursos Naturales. Trabaja en proyectos con enfoque agroambiental de los recursos agua y suelo mediante la ordenación territorial y el análisis del paisaje con imágenes espectrales en ambientes tropicales y mediterráneos.

Edinson Castillo López

Profesional de apoyo a la investigación
Centro de investigación Palmira, AGROSAVIA
ecastillo@agrosavia.co
<https://orcid.org/0009-0008-9214-8120>

Ingeniero de alimentos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia de Colombia (UNAD), tecnólogo químico de la Universidad del Valle. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA en proyectos de investigación orientados al manejo agronómico de cultivos como guayaba, aguacate, forestales y cacao con enfoque en la determinación de propiedades físicas y químicas de suelos y cuantificación de variables de calidad interna de fruta de interés agroalimentario.



El libro presenta las características biofísicas y socioeconómicas de áreas productoras y potenciales de las zonas aptas para aguacate Hass (escala semidetallada 1:25.000) en once municipios del departamento del Cauca (Colombia): Cajibío, Caldon, Caloto, Corinto, El Tambo, Morales, Piendamó, Popayán, Sotará, Toribío y Timbío. Aplicando la metodología de evaluación de tierras y zonificación, describe y analiza información sobre las condiciones de suelos, paisajes y clima, requerimientos del cultivo y variables socioeconómicas que determinan la competitividad del sector y la cadena productiva. Esta información contribuye a establecer las limitantes del cultivo y la tecnología que se necesita para la planificación de nuevas áreas y el mejoramiento de la productividad y competitividad del sistema de producción a nivel regional.

ISBN: 978-958-740-694-8



AGROSAVIA
EDITORIAL