



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

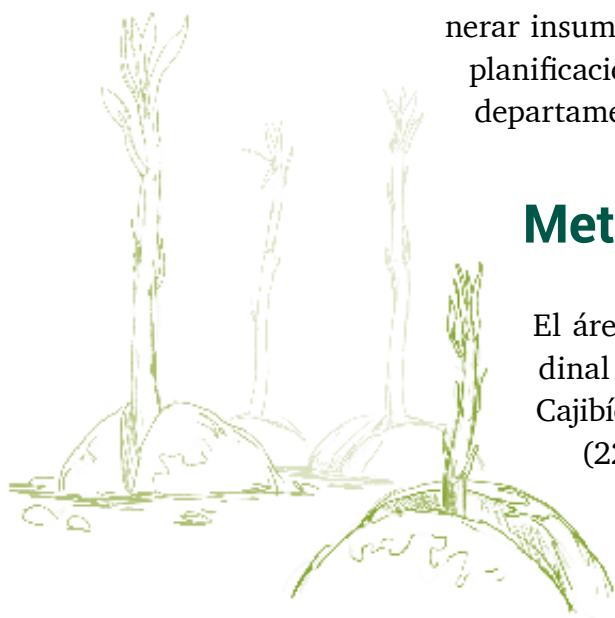
y apliquen modelos tecnológicos de otras latitudes, los cuales no son sostenibles y tienen poca congruencia con la oferta ambiental y demanda real de los cultivos en el país.

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.

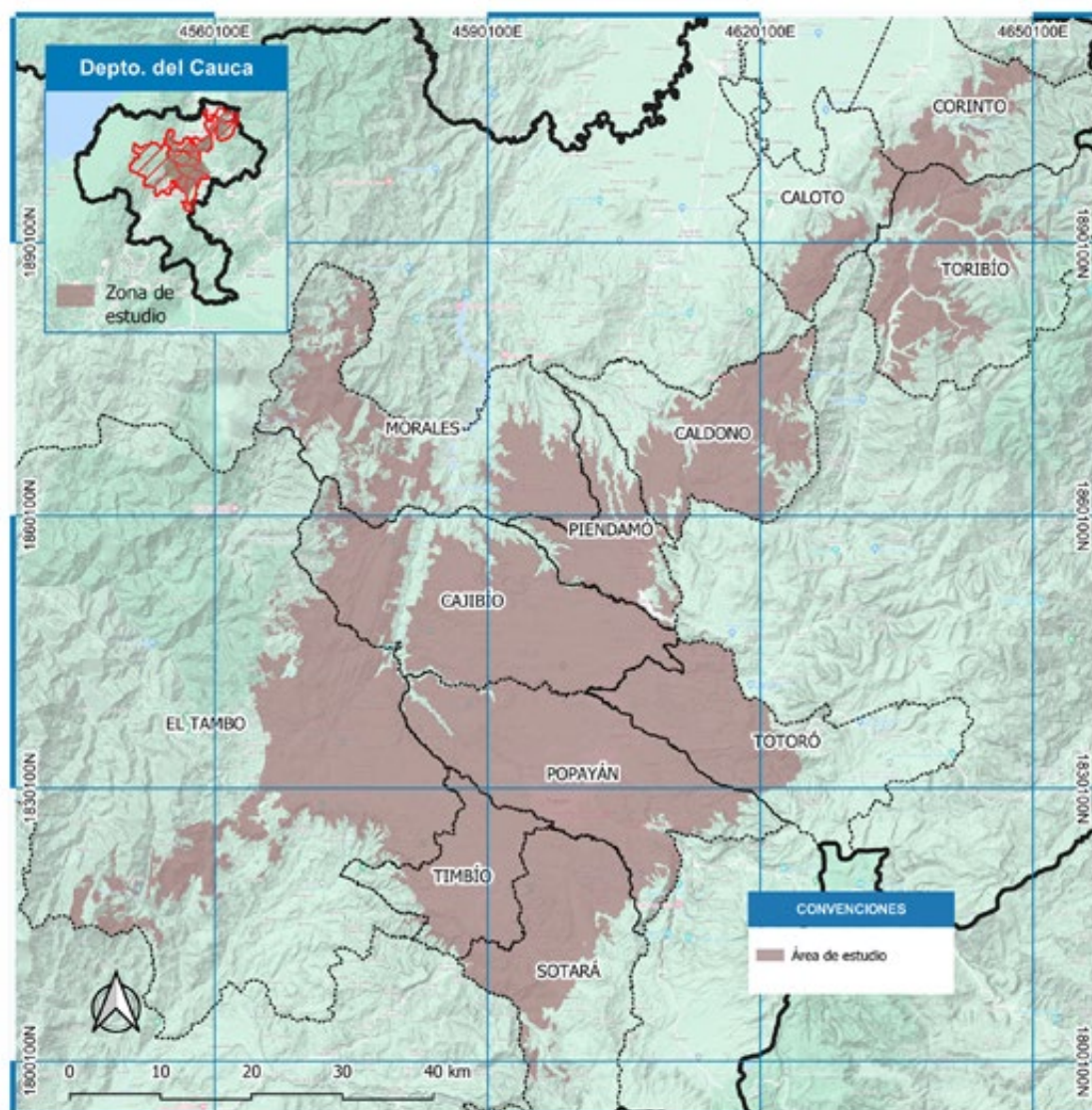
Gran parte de los centros urbanos de los municipios se concentran en posiciones planas, en donde se encuentra el mayor porcentaje de la población y la mejor infraestructura, a diferencia de las zonas rurales, que tienen menor número de habitantes y altos niveles de necesidades básicas insatisfechas.

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.

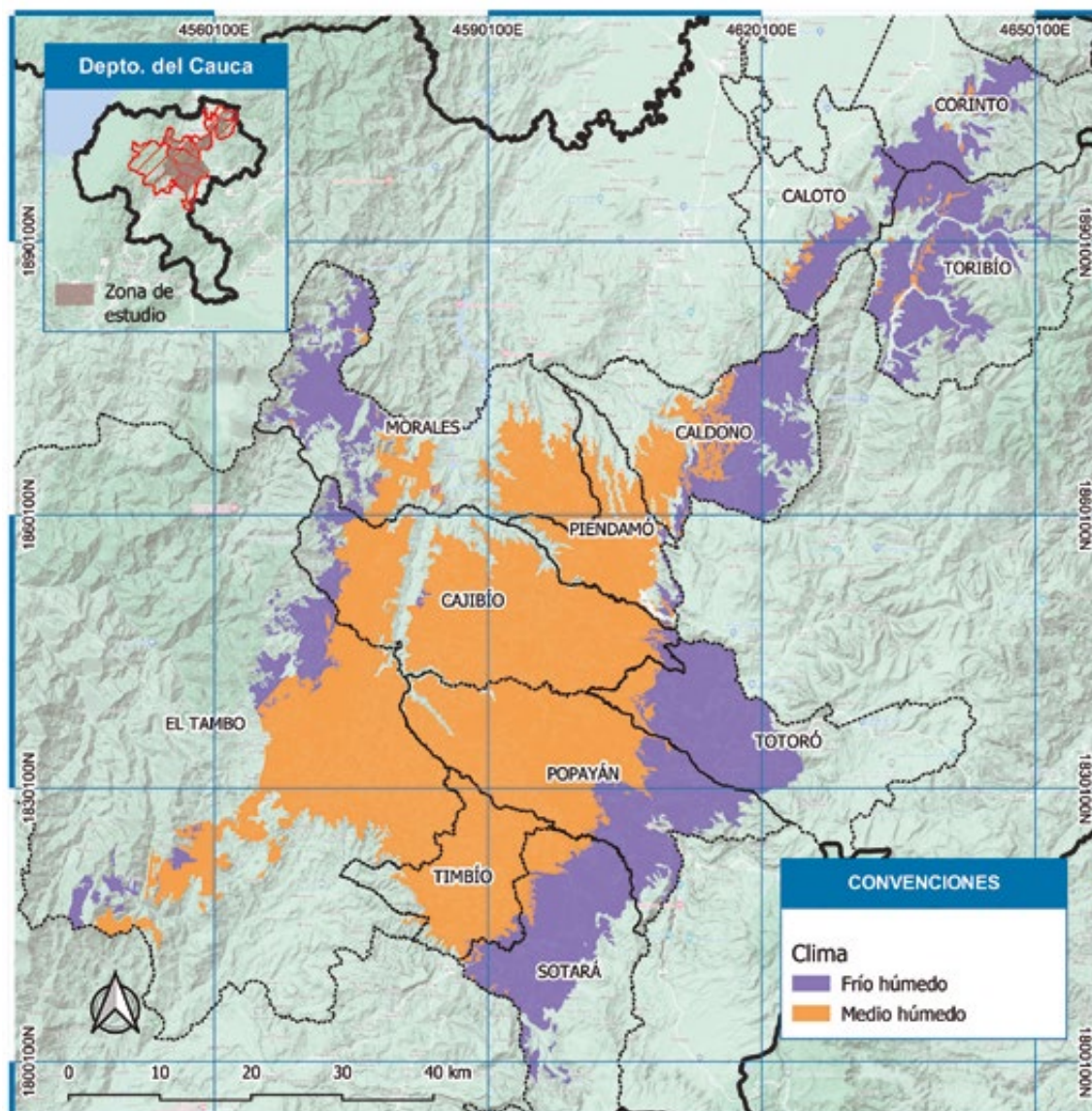


Figura 1.1. Delimitación de áreas municipales para valorar la oferta biofísica en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



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

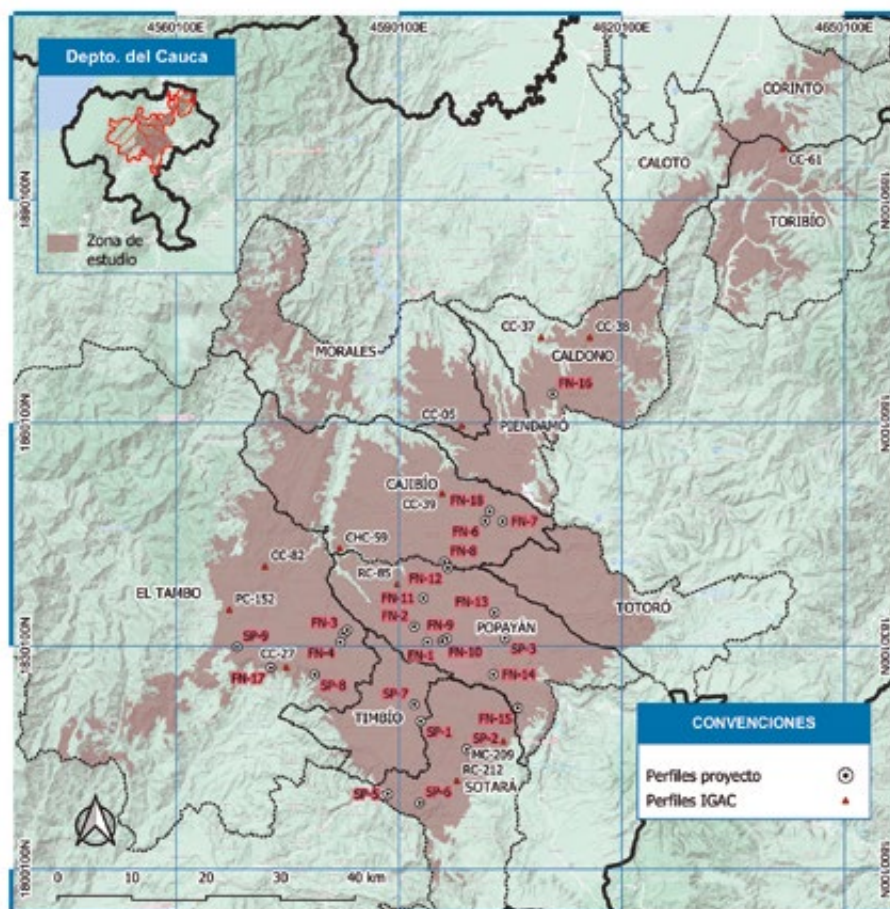
verificación mediante recorridos en campo para ubicar unidades resultantes a una mayor escala, a partir de las unidades taxonómicas identificadas en estudio previo (1:100.000) compuestas principalmente por asociaciones.

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.

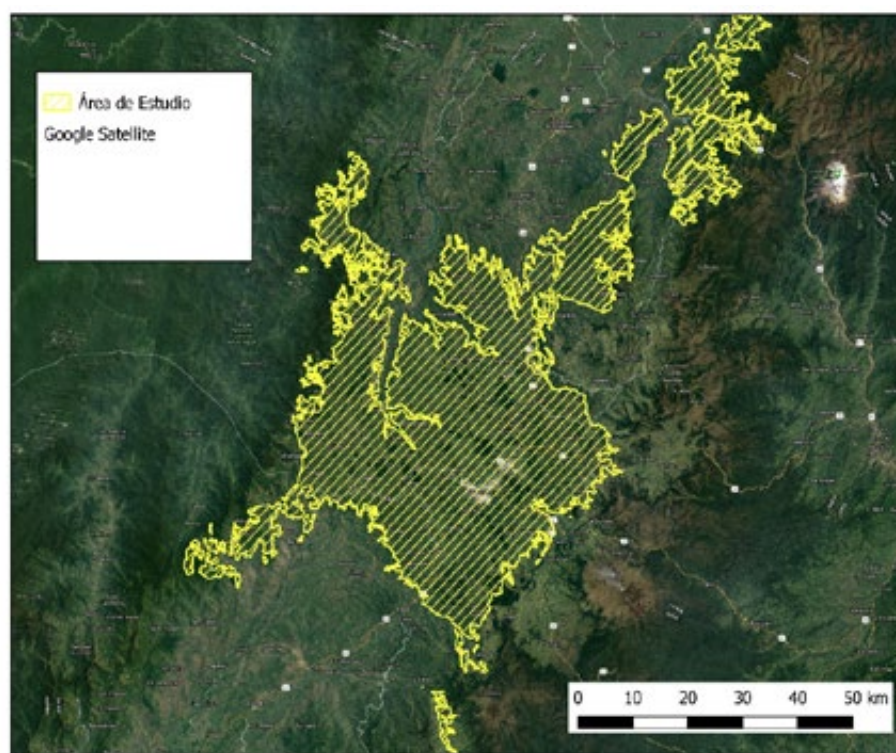
Análisis de coberturas y uso actual de la tierra

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).

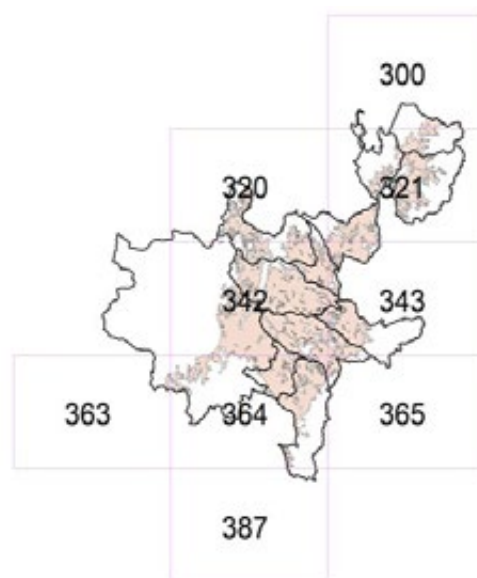
Esta información se complementó con datos vectoriales de cuencas hídricas y de vías a partir de registros disponibles de la zona. Asimismo, se consultaron esquemas y planes básicos de ordenamiento territorial, suministrados por instituciones como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (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.

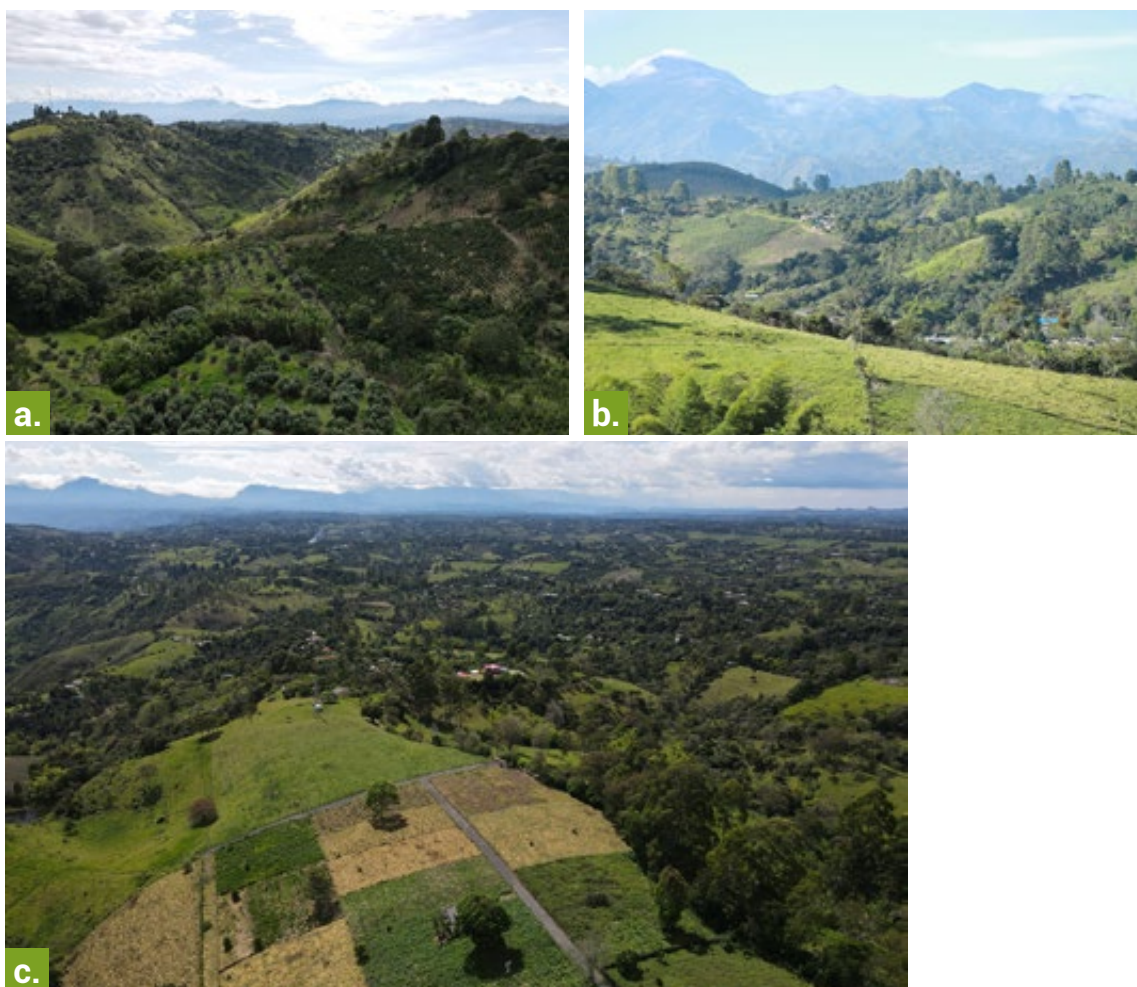
Estas zonas se distribuyen principalmente sobre las unidades de relieve correspondientes a cañada, cañones, colinas, crestón, espinazo, filas y vigas, lomas, plano de inundación y volcán (figura 1.7). De estas unidades de relieve, la de mayor cobertura corresponde a lomas, la cual alcanza un área total 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

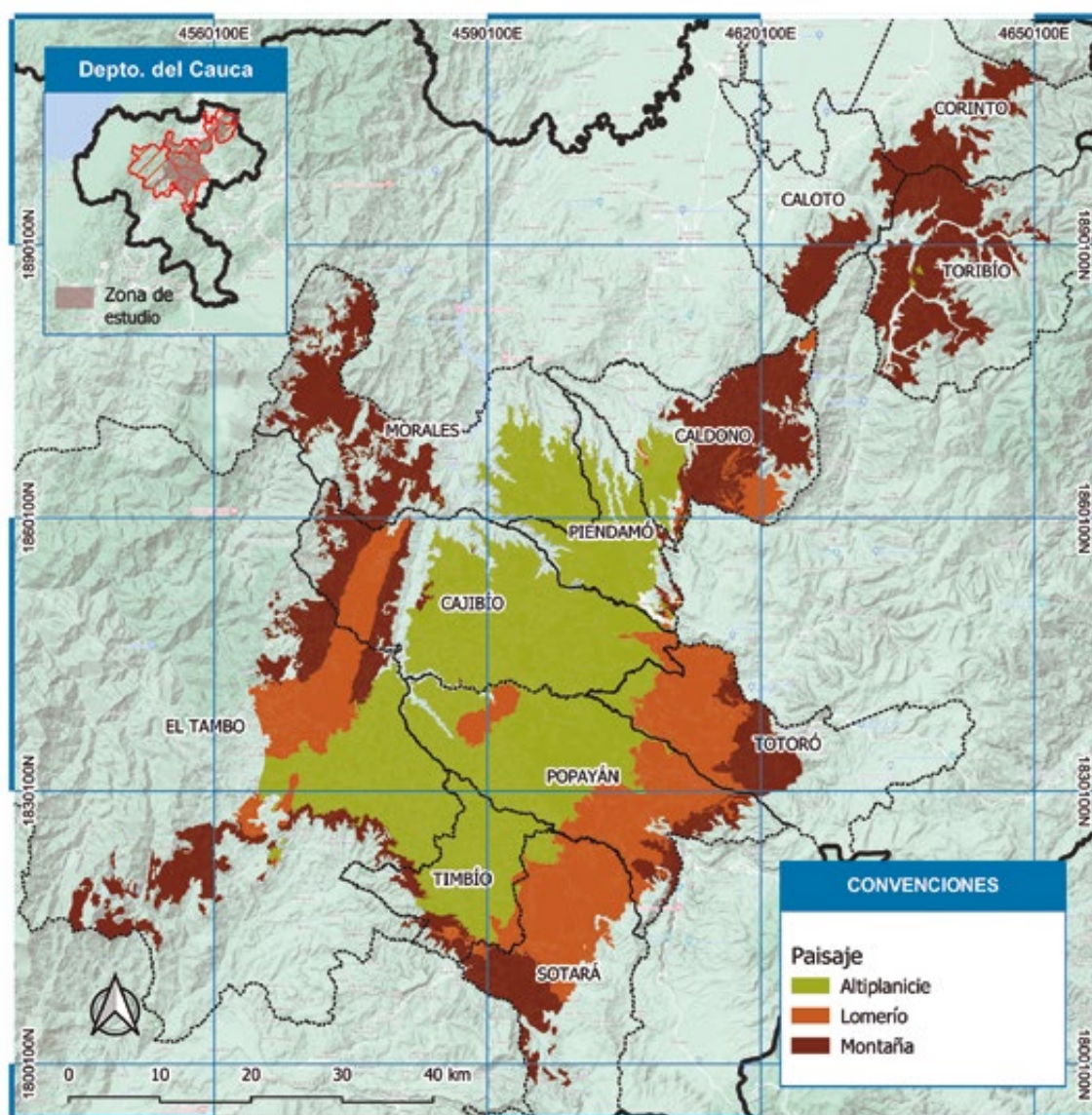
el 0,87% corresponde a zonas planas a ligeramente planas (pendiente 0% al 7%).

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
					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
					MLLS-F	1.548,7	0,5



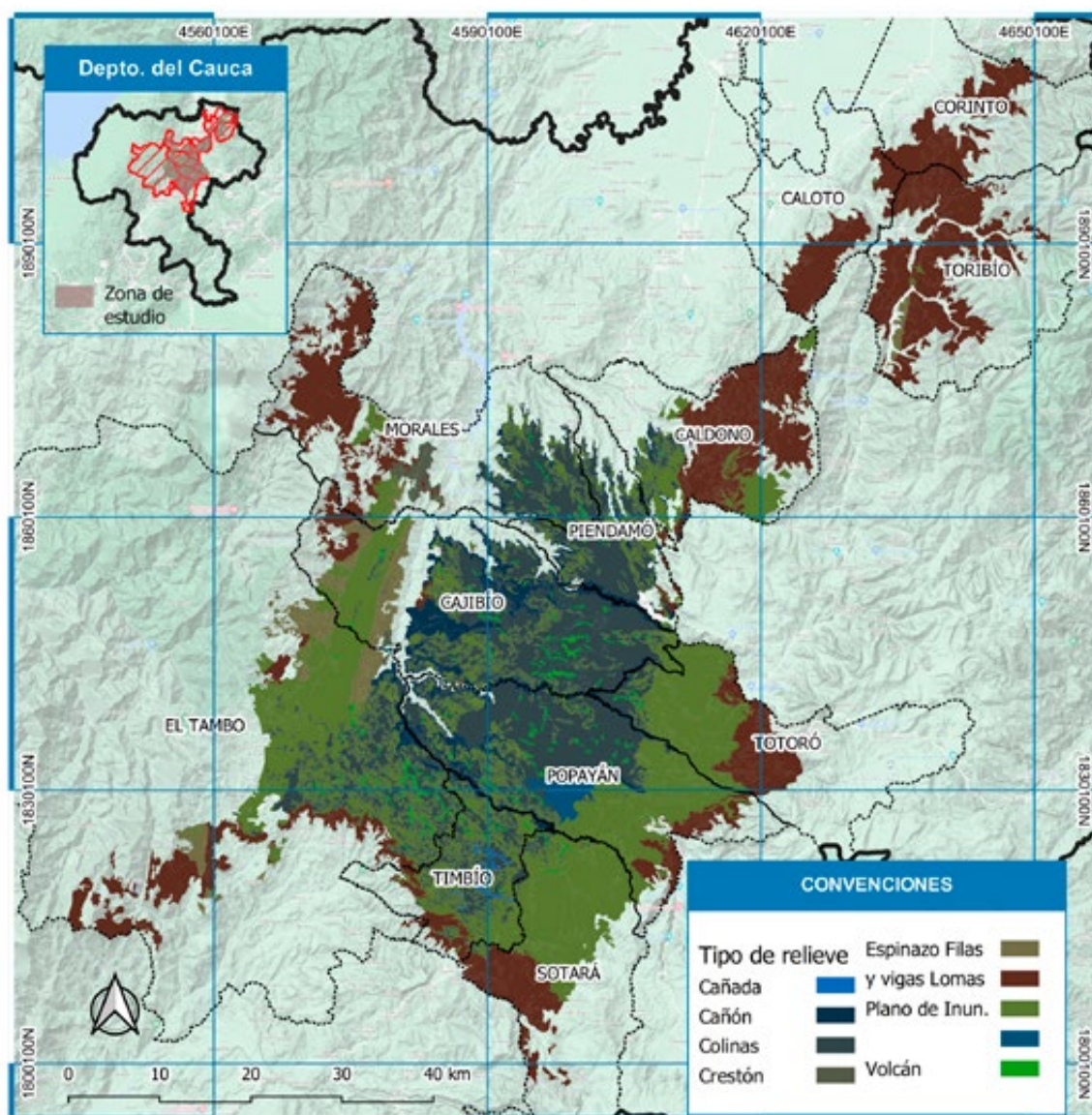
Clima	Paisaje	Relieve	Forma del terreno	Material parental	Unidad geomorfológica	Área unidad geomorfológica	
						ha	%
Medio húmedo	Altiplanicie	Cañada	Bajo	Materiales orgánicos y sedimentos aluviales	ACBo-M	392,3	0,1
		Cañón	Escarpe	Cenizas metamórficas/Ígneas	AQEi-M	5.741,9	2,0
			Ladera	Cenizas volcánicas/Sedimentos 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		Ladera	Rocas ígneas	LBLi-M	2.158,7	0,7
		Escarpe	Sedimentarias	LLEs-M	396,6	0,1	
		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	%
		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
	Montaña	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
	Sedimentarias				MLLs-M	1.007,3	0,4
					Área total	283.515,2	99,4

Fuente: Elaboración propia.

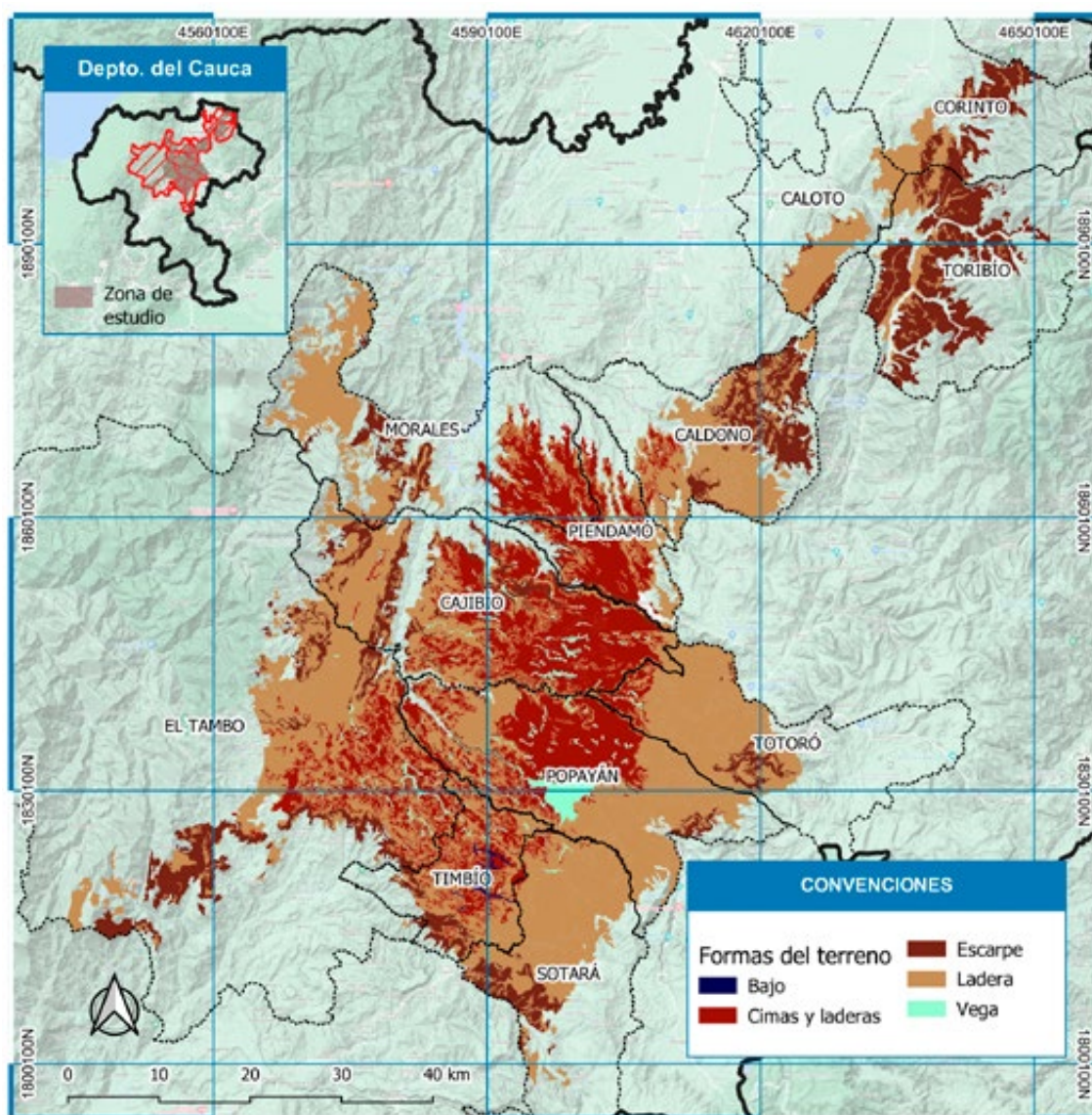


Figura 1.7. Distribución de unidades de relieve en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca.



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

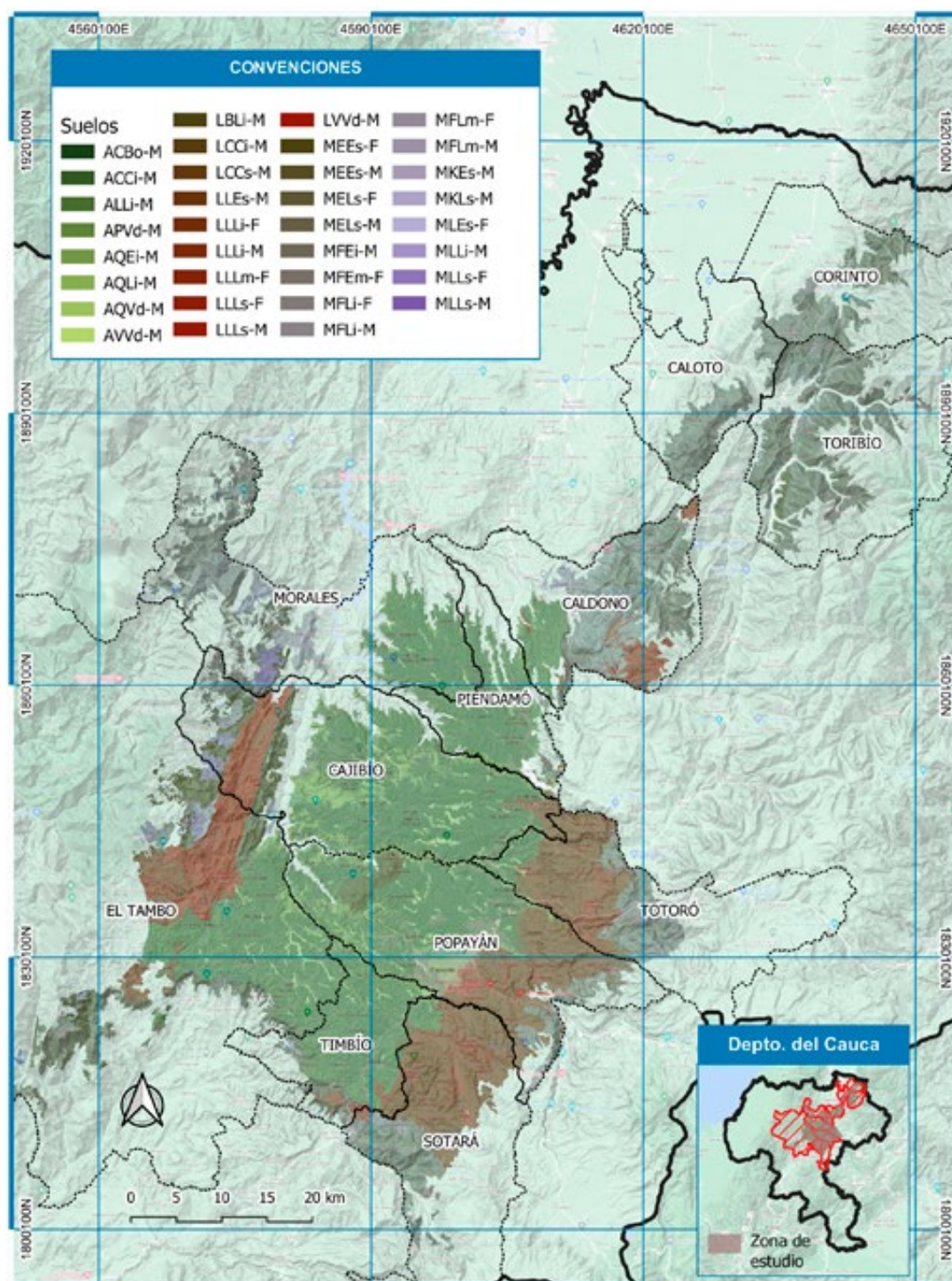
En el área se distribuyen en mayor frecuencia suelos de los órdenes Andisol e Inceptisol, producto de materiales parentales predominantes como depósitos de cenizas volcánicas y rocas metamórficas e ígneas, del régimen de humedad del suelo (que corresponde a condiciones údicas) y de las condiciones climáticas 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, Sotarará, 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.

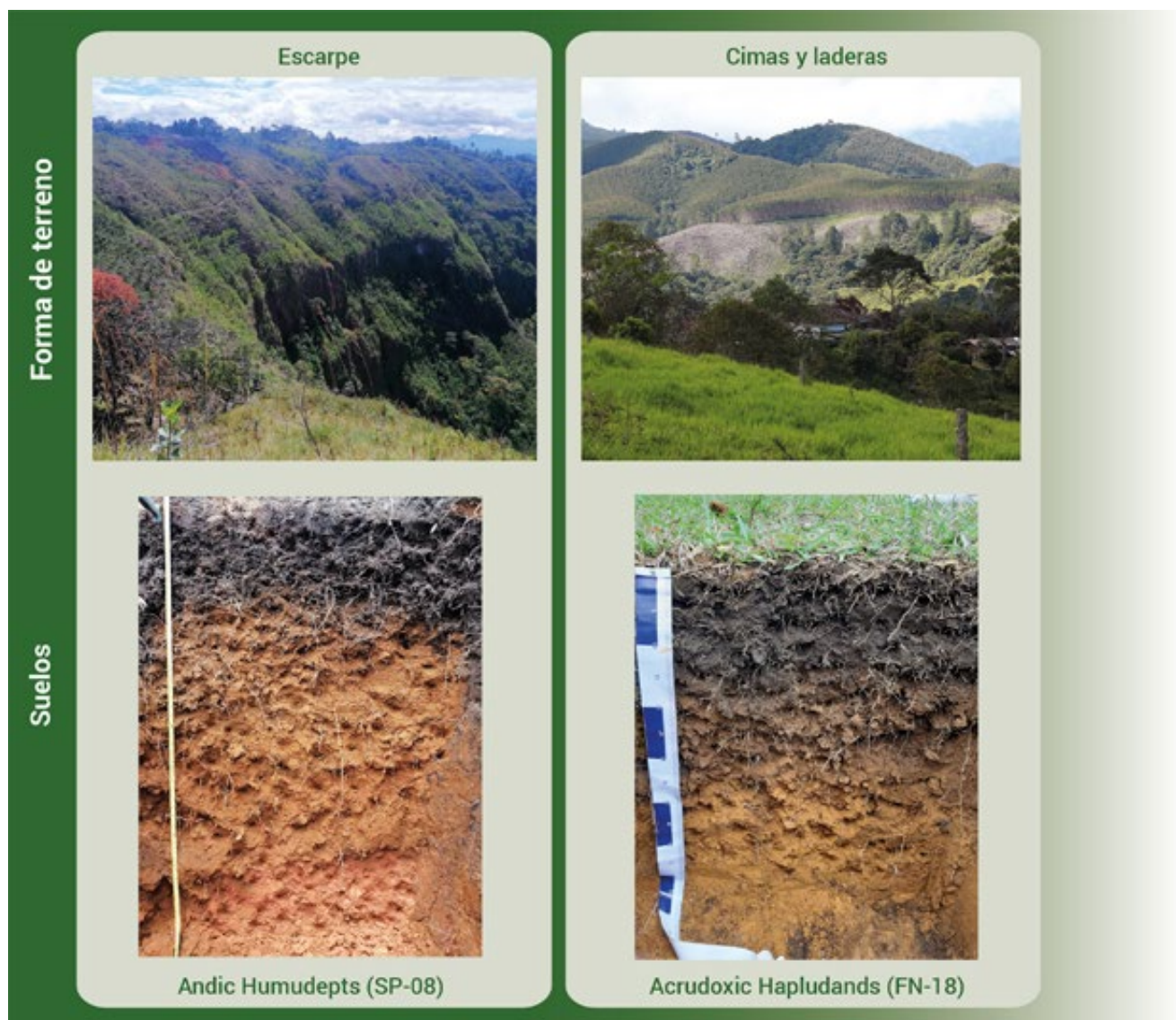
Tabla 1.2. Subgrupos taxonómicos presentes en unidades cartográficas de suelos identificadas en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca

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	Acruudoxic 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	Acruudoxic 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).

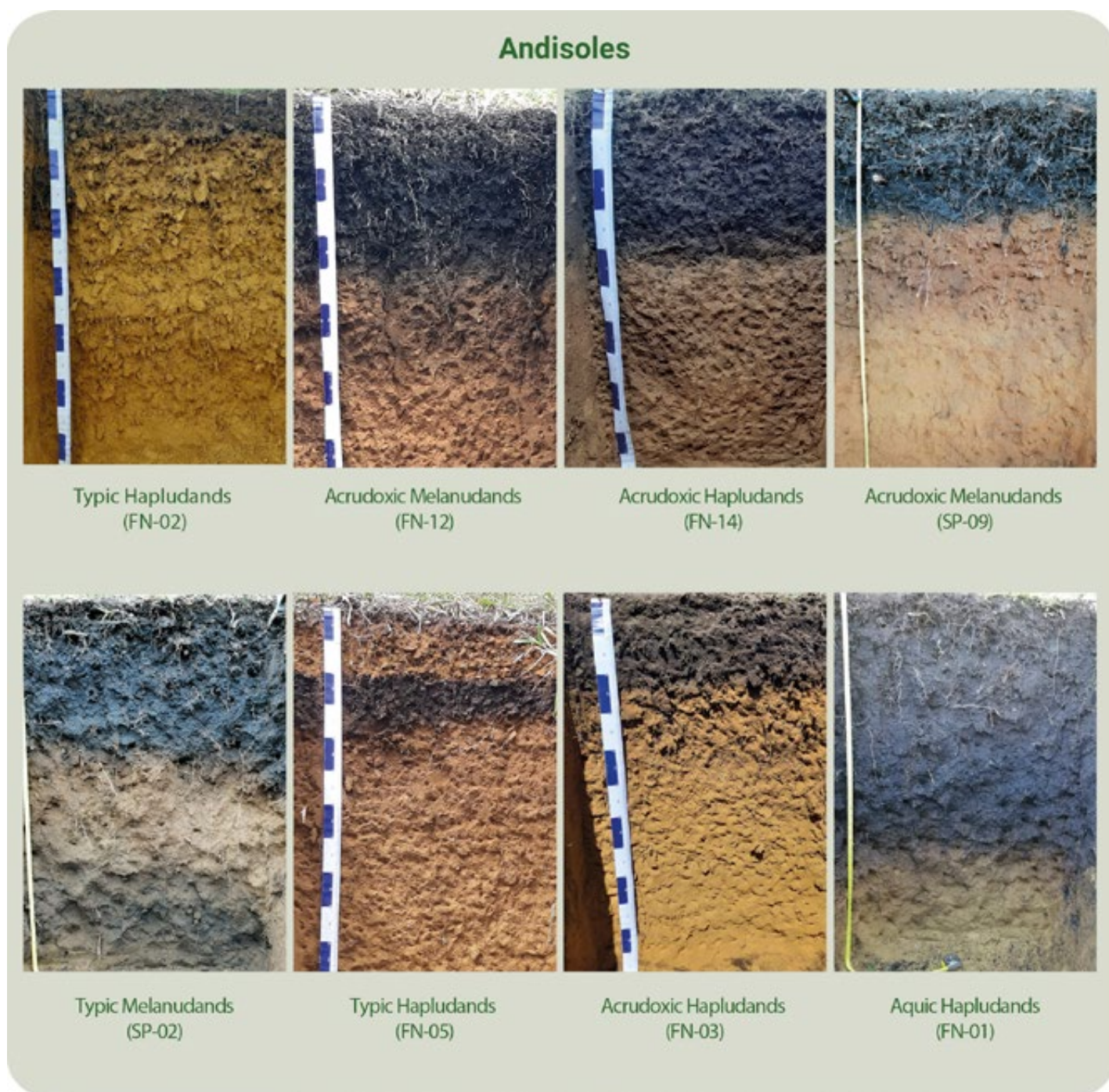
Tabla 1.4. Distribución porcentual de fracciones granulométricas en perfiles característicos identificados en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca

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

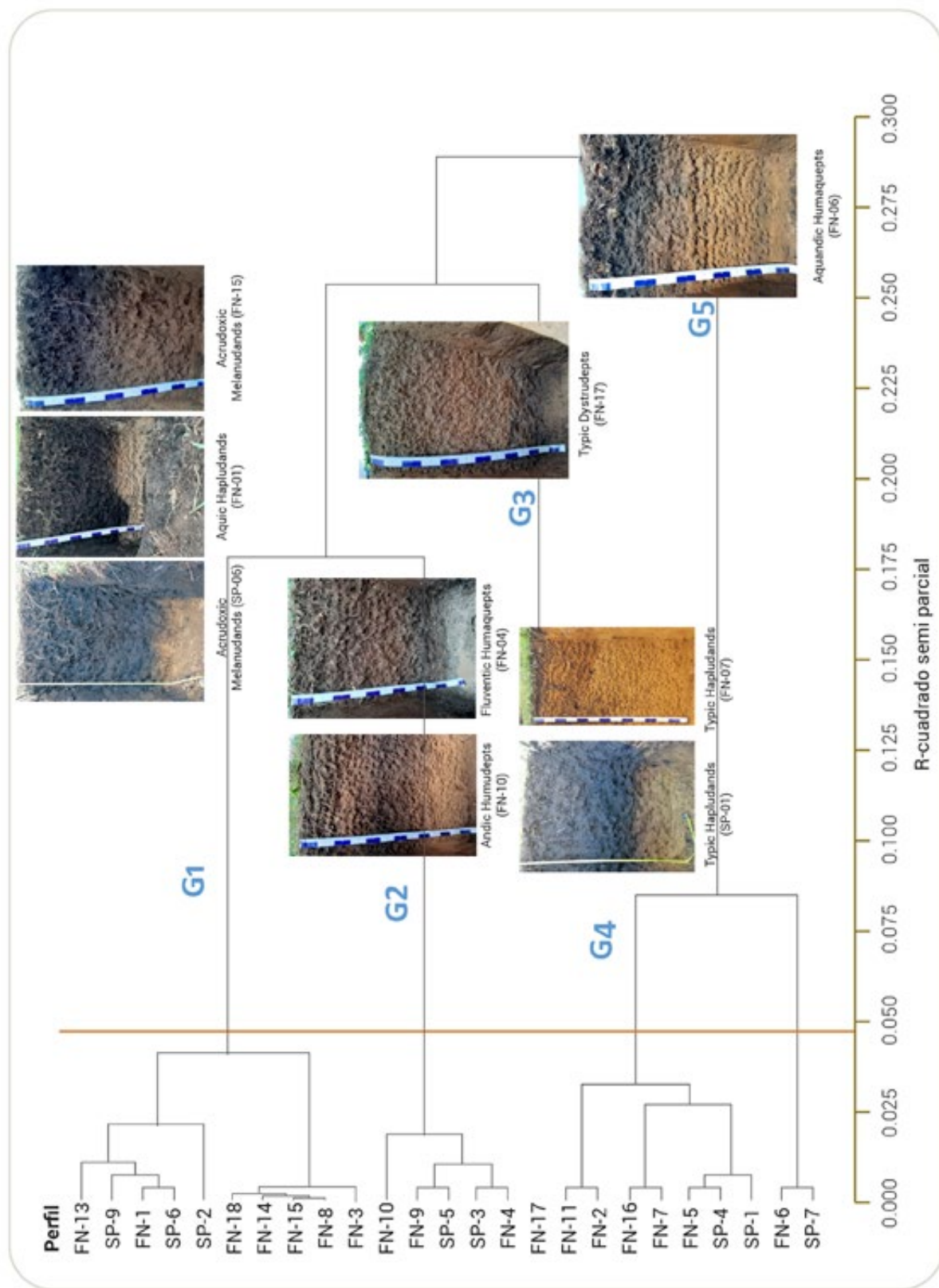
Variables	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación estándar	cv (%)
pH	4,8	5,1	5,7	0,2	4,6
Acidez intercambiable (cmol(+)/kg)	0,4	1,2	3,8	0,7	57,4
SAI (%)	4,2	38,3	79,3	21,7	56,5
Carbono orgánico (%)	0,9	5,8	13,9	3,3	56,8
Nitrógeno total (%)	0,0	0,7	1,4	0,4	60,3
Relación C/N	5,9	13,1	108,5	20,0	152,6
Fósforo 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).

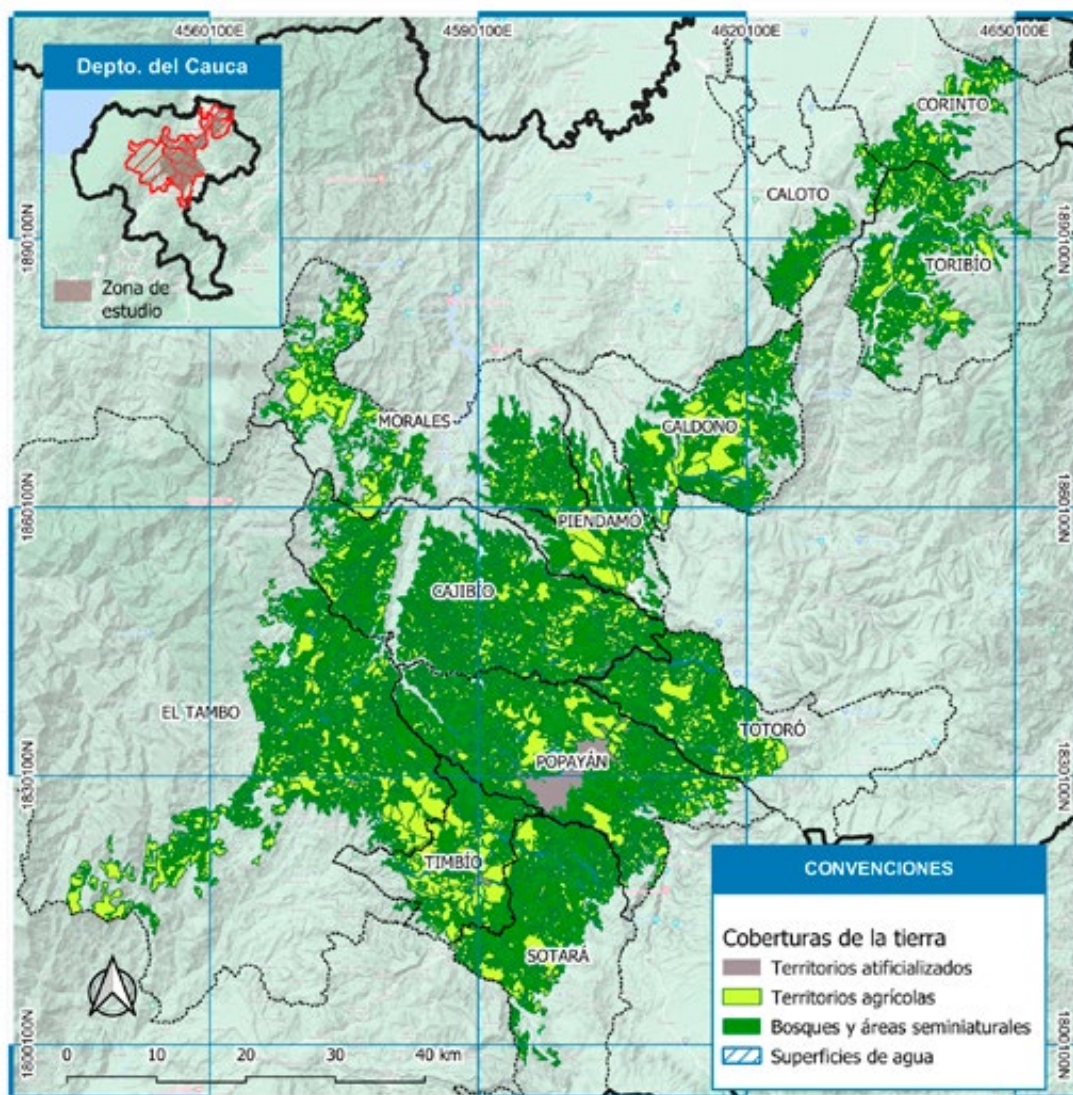
Tabla 1.6. Tipos de coberturas de la tierra y uso actual según Corine
Land Cover en zonas de influencia del proyecto

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.



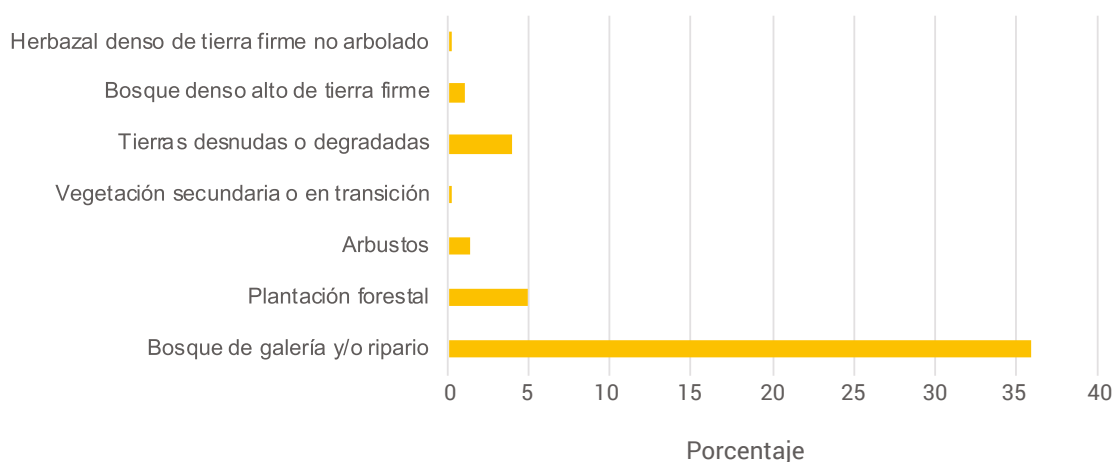
Fuente: Elaboración propia.

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.



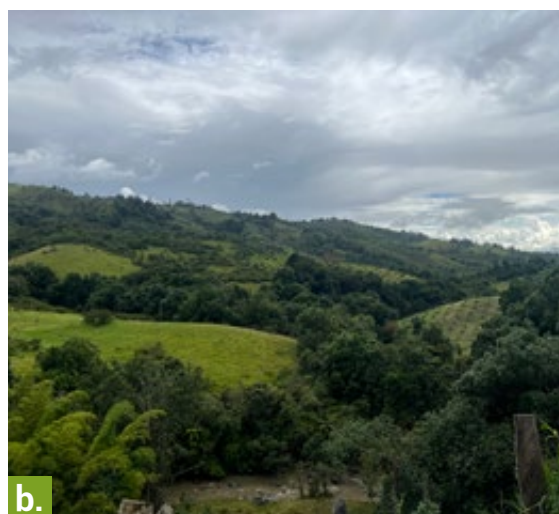
Fotos: Frank Barrios y Diana Lucía Correa Moreno

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



Fuente: Elaboración propia.

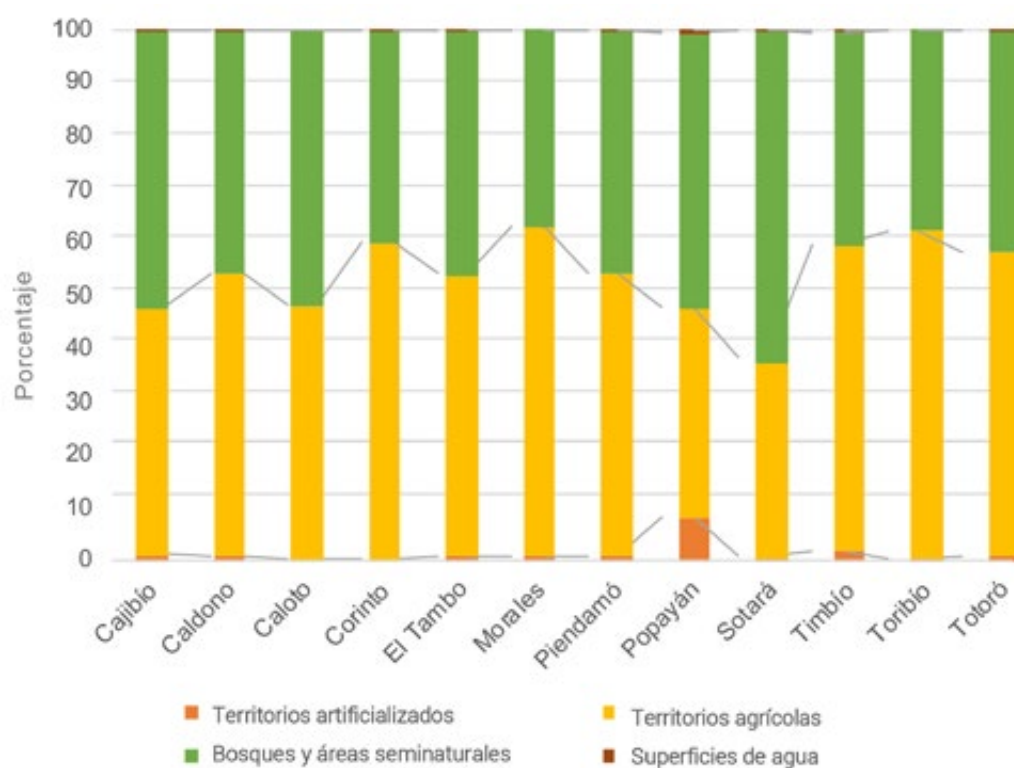
Figura 1.18. Tipo de coberturas naturales en áreas de bosques en zonas potenciales para aguacate Hass en el departamento del Cauca. a. Bosque plantado; b. Bosque galería o ripario.



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>