

A group of people, mostly wearing brown work jackets, are shown from the chest down, holding handfuls of dark brown soil in their open palms. The soil is piled up in their hands, and some of the people's hands are stained with it. The background is a warm, brownish-orange color, suggesting an outdoor setting like a field or farm. The overall tone is educational and practical.

CAPÍTULO I

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

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

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

Aptitud

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

Glosario

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



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

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

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

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

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



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

Calidad

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

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

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



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

Salud

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

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

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

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



Glosario

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Glosario

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



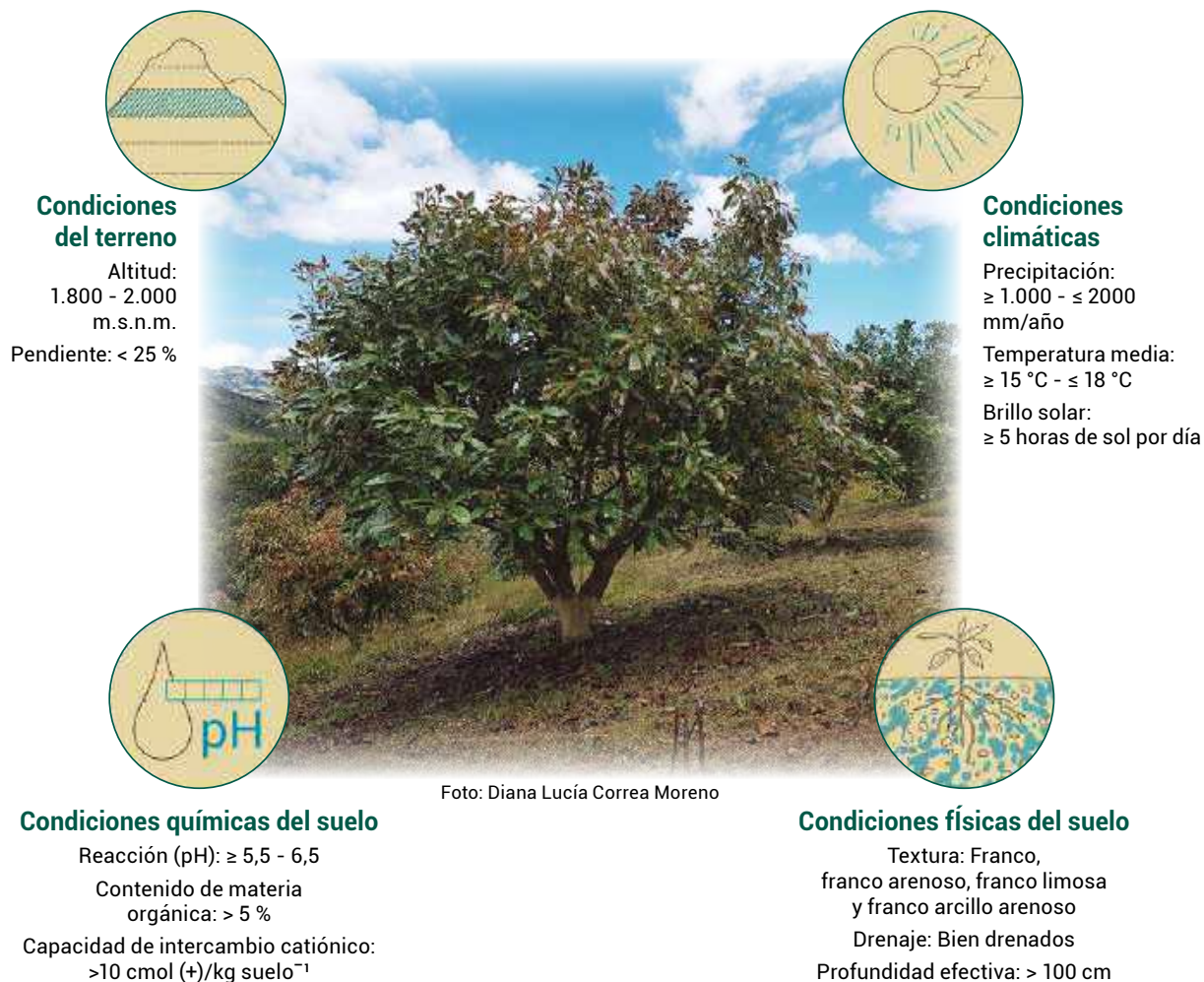
Información complementaria

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



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

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



Fuente: Elaboración propia.

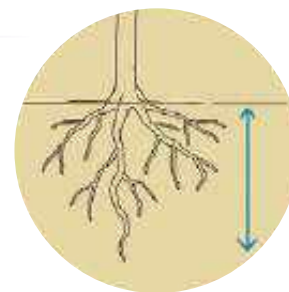
Factores edáficos

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

Profundidad efectiva

Rango óptimo: ≥ 1 m.

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



pH

Rango óptimo: 5,5 a 6,5.

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

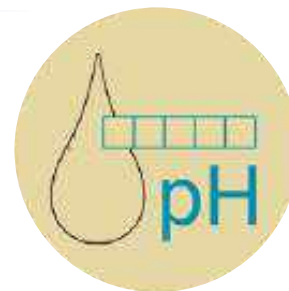


Figura 3. Observación de profundidad efectiva en perfil de suelo.

Glosario

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



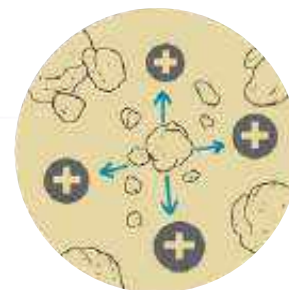
Foto: Sebastián Polo



Capacidad de intercambio catiónico

Rango óptimo: ≥ 10 cmol (+)/kg suelo.

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



Contenido de materia orgánica

Rango óptimo: > 5 %.

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



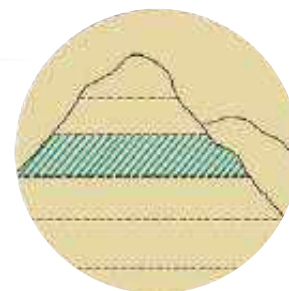
Factores de ubicación de los cultivos

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

Altitud

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

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



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

Glosario

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



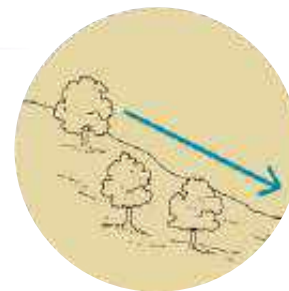
Figura 4. El rango óptimo de altitud para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca es entre 1.800 y 2.000 m s. n. m.

Foto: Luis Carlos Grajales Guzmán



Pendiente

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



Rango óptimo: $\leq 25 \%$

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



Glosario

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

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



Foto: Luis Carlos Grajales Guzmán

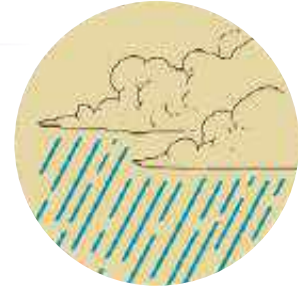
Factores climáticos

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

Precipitación

Rango óptimo: ≥ 1.000 mm - ≤ 2.000 mm.

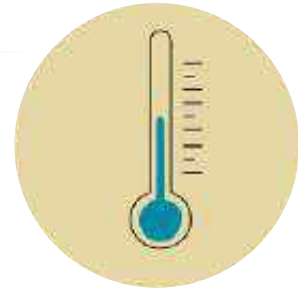
Efecto sobre el cultivo: en el rango óptimo de precipitación, distribuido uniformemente durante el año, el suelo mantiene la humedad requerida por el cultivo, lo cual permite mayor amarre de flores y cuajado de frutos (Bernal & Díaz, 2008; Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012). El déficit hídrico ocasiona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



Temperatura

Rango óptimo: ≥ 15 °C - ≥ 18 °C.

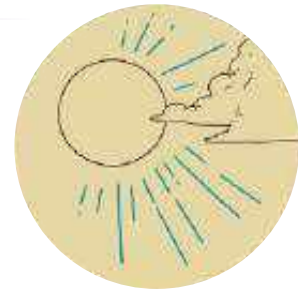
Efecto sobre el cultivo: el rango óptimo de temperatura favorece la fecundación de las flores y el desarrollo y sostenimiento de los frutos en el árbol. Zonas con temperaturas muy bajas (< 10 °C) afectan los procesos de polinización y apertura floral, en tanto que temperaturas muy altas (> 36 °C) alteran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



Brillo solar

Rango óptimo: ≥ 5 horas al día.

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



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

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

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

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

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

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

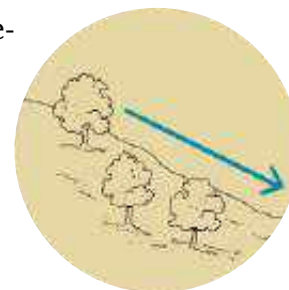
1. Capacidad de laboreo

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

Pendiente del terreno

Rango óptimo: 0 % - 25 %.

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



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



Foto: Luis Carlos Grajales Guzmán

Textura

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

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



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

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



Foto: Luis Carlos Grajales Guzmán

Pedregosidad

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

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

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

| Figura 8. Suelo pedregoso en los primeros horizontes.



Foto: Diana Lucía Correa Moreno



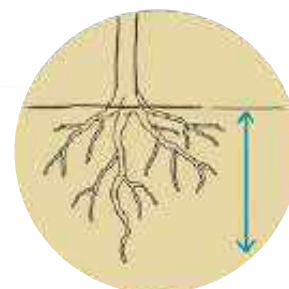
2. Condiciones de enraizamiento

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

Profundidad efectiva

Rango óptimo: 1 m – 1,5 m.

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



Textura

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

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



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

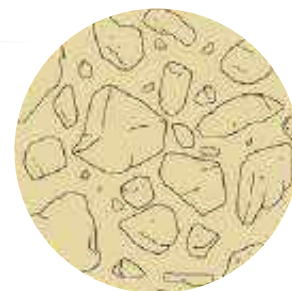


Foto: Lina Garavito Morales

Pedregosidad

Condición óptima: sin fase de pedregosidad.

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



3. Disponibilidad de humedad

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

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

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

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



Glosario

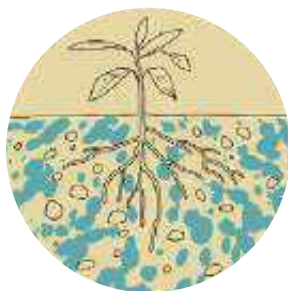
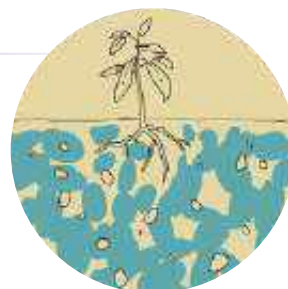
Nivel freático: es la acumulación de agua subterránea situada cerca de la superficie terrestre donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica.

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

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

Regimen de humedad del suelo

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



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

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



Textura

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



4. Disponibilidad de oxígeno

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

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



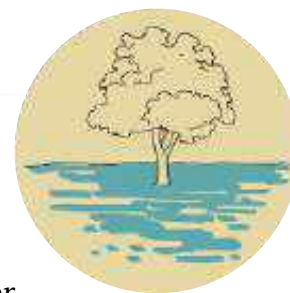
Glosario

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

Susceptibilidad a inundaciones

Condición óptima: sin inundaciones.

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



Drenaje interno del suelo

Condición óptima: excesivo o bien drenado.

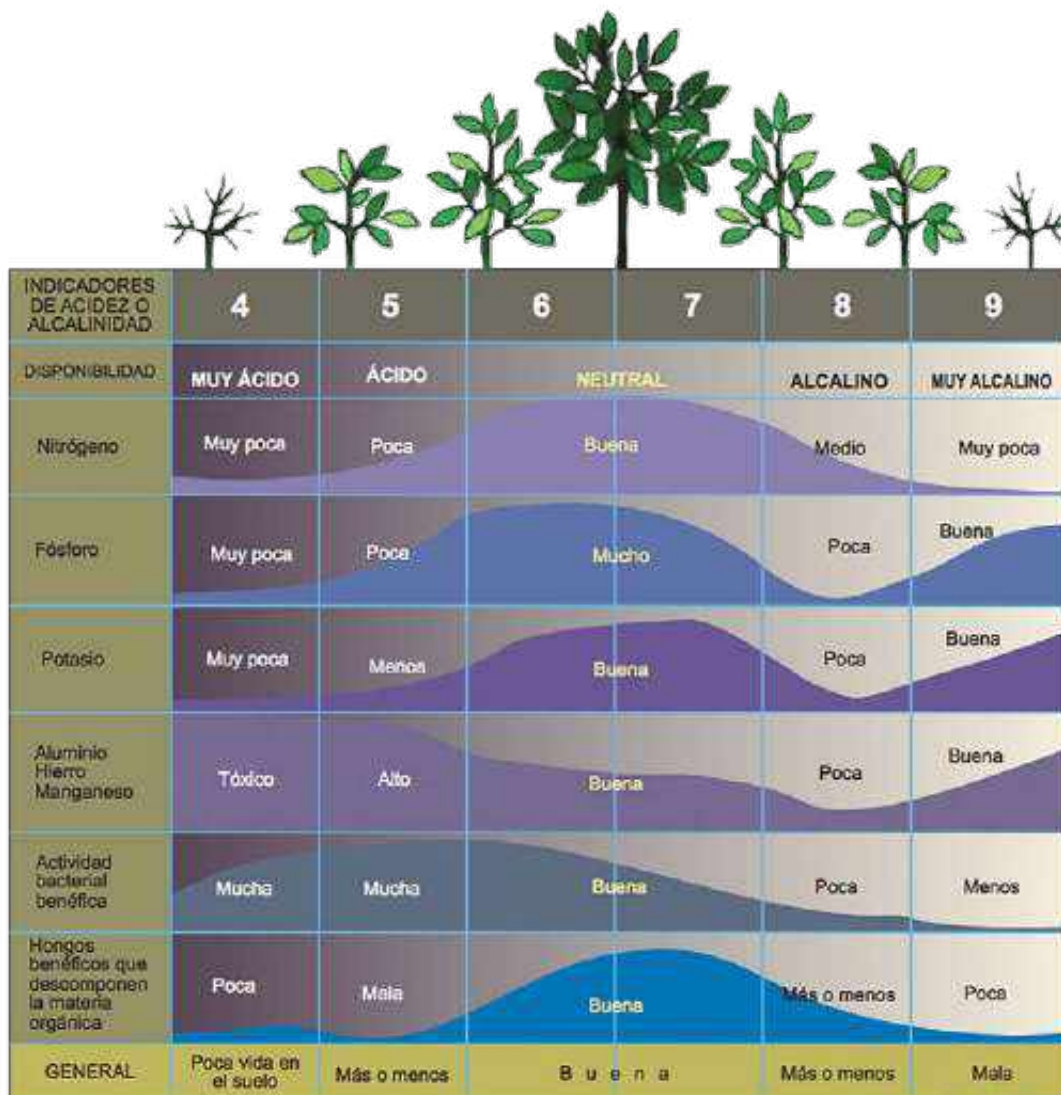
Efecto en el cultivo: el suelo debe tener un buen drenaje natural, ya que las condiciones de exceso de humedad influyen negativamente en la respuesta productiva del aguacate, como consecuencia de la falta de oxígeno en la rizósfera y la proliferación de patógenos que afectan la sanidad del cultivo.



5. Disponibilidad de nutrientes

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

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



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

Reacción del suelo o pH

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

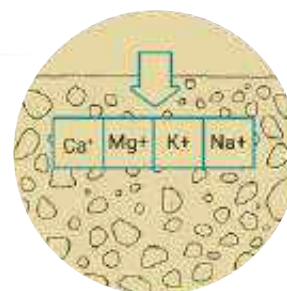
Rango óptimo: 5,5 a 6,5.

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

Saturación de bases

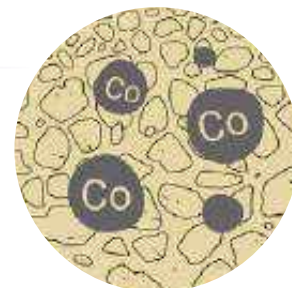
Rango óptimo: $> 35 \%$.

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



Carbono orgánico (CO)

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



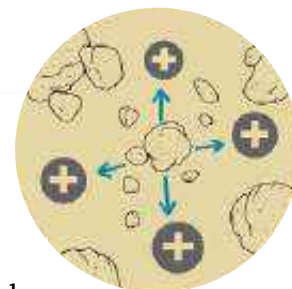
En los suelos de Cauca, donde se produce el cultivo, la materia orgánica (% MO) oscila entre 4 % y 12 % en los primeros 30 cm de profundidad, lo cual indica que esta variable no es un factor que limite la producción del cultivo. Los valores se reducen al profundizar en el perfil de suelo.

Rango óptimo: 1,70 % - 15 %.

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

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

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



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

Rango óptimo: > 20 cmol (+) / kg suelo.

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

6. Toxicidad por sales, sodio y aluminio

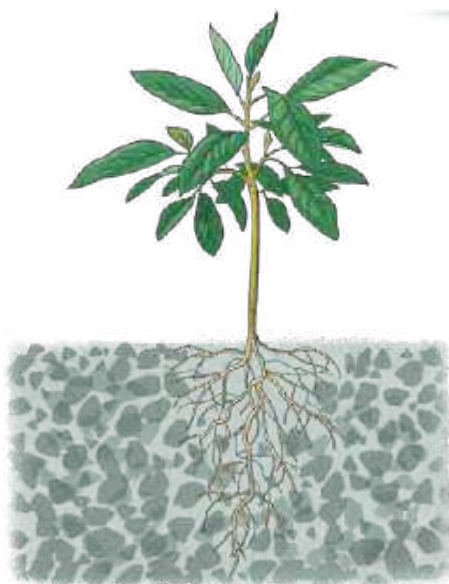
Se refiere a la concentración de minerales en altas cantidades que pueden limitar el desarrollo de la planta y afectar la productividad. Este criterio está determinado por las características de suelo: salinidad (dS/m), sodicidad (porcentaje de sodio intercambiable [% PSI]) y saturación de aluminio (SAI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

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

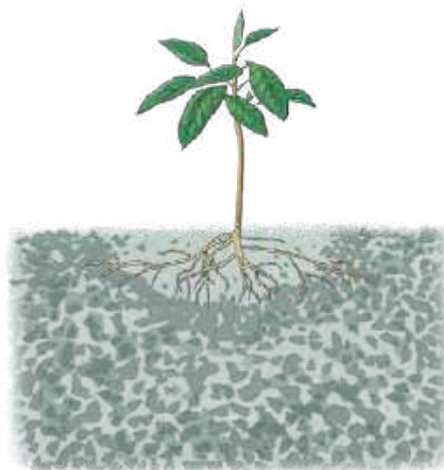
Los suelos de las zonas productoras de aguacate Hass en Cauca generalmente presentan altas concentraciones de aluminio intercambiable (> 15 %), principalmente debido al origen de los suelos, provenientes de cenizas volcánicas.

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

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



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



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

Fuente: Elaboración propia.

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

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

Salinidad

Rango óptimo: ≤ 2 dS.m⁻¹.

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



Sodicidad

Rango óptimo: ≤ 10 %.

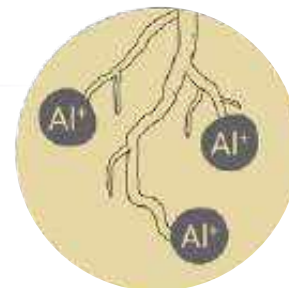
Efecto en el cultivo: los elevados niveles de sodio intercambiable (soluble) en el suelo dañan su estructura, entre otras propiedades físicas y químicas, lo cual disminuye la posibilidad de desarrollar alguna actividad agrícola (FAO, 2023a).



Saturación de aluminio

Rango óptimo: $\leq 15 \%$.

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



7. Susceptibilidad a la pérdida de suelo

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

Pendiente

Rango óptimo: $\leq 25 \%$.

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

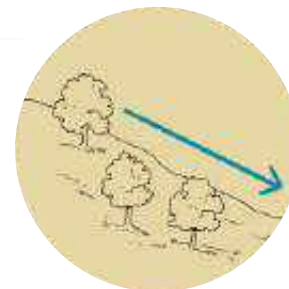


Figura 12. Cultivo de aguacate Hass en terrazas para evitar la erosión por la pendiente.



Foto: Diana Lucía Correa Moreno

Erosión

Condición óptima: no hay; ligera.

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



Movimientos en masa

Condición óptima: muy baja a baja.

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



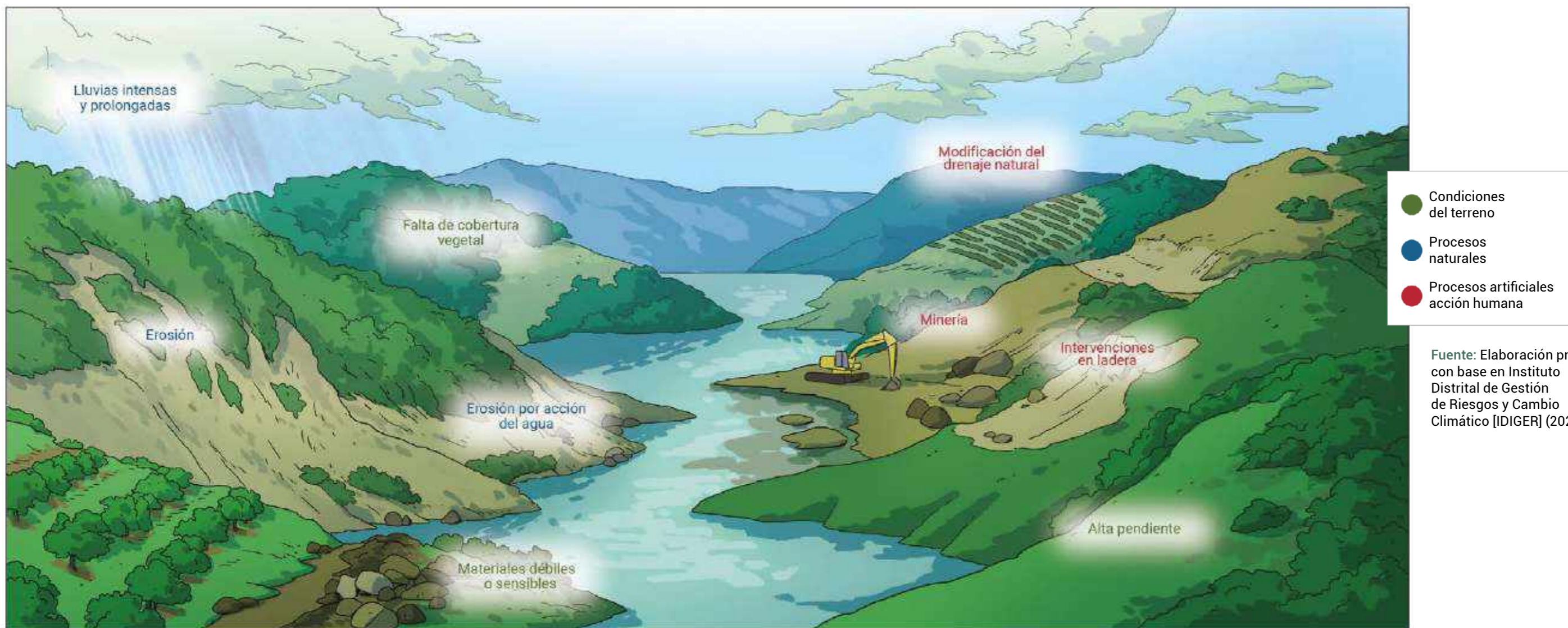
Figura 13. Cultivo de aguacate Hass en pendiente pronunciada susceptible a erosión.



Foto: Diana Lucía Correa Moreno

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

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



Fuente: Elaboración propia con base en Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático [IDIGER] (2023).