



## Capítulo I

# Generalidades del cultivo de cacao

El cultivo de cacao ha tenido un importante crecimiento en los últimos años en Colombia, gracias al aumento de su demanda a nivel nacional e internacional como materia prima para industrias de confitería, chocolates, cosméticos y perfumería; de esta manera, se posicionó como uno de los productos agrícolas del país con alta proyección de producción y comercialización internacional.

Para Colombia, la importancia de la cadena de cacao responde a su impacto social y económico, porque genera ingresos a más de 65.341 familias y 0,9 empleos directos e indirectos por cada hectárea sembrada al año en todo el territorio nacional (MADR, 2021a). El área apta para el desarrollo del cultivo en el país supera los 16,7 millones de hectáreas, que corresponden a cerca del 15% del territorio nacional. Estas se distribuyen de la siguiente manera: 7,2 millones de ha con aptitud alta, 6,3 millones de ha con aptitud media y 3,1 millones de ha con aptitud baja (UPRA, 2024). La producción de cacao en Colombia se concentra principalmente en cuatro zonas agroecológicas: 1) montaña santandereana, que abarca los departamentos de Santander y Norte de Santander; 2) valles interandinos secos, que incluyen los departamentos de Huila, sur de Tolima y norte de Magdalena; 3) bosque húmedo tropical,

el cual comprende las zonas productoras de Urabá, Tumaco, Catatumbo, Arauca, Meta y Magdalena, y 4) zona cafetera marginal baja, que se extiende por Caldas, el suroeste antioqueño y el norte de Tolima (Ríos et al., 2017).

## Contexto histórico nacional del sector cacaotero

Con el fin de promover el incremento de la competitividad y la producción nacional de cacao, diversas instituciones como Fedecacao, el Gobierno nacional, el sector ciencia y tecnología, el sector financiero, la cooperación internacional, entre otros, han puesto su esfuerzo en el fomento de nuevas siembras, la renovación de cacaotales envejecidos, la adopción de prácticas de manejo agronómico, etcétera (MADR, 2020).

En el documento *Apuesta Exportadora Agropecuaria 2006-2020* (MADR, 2006), se previó una meta de producción de cacao a nivel nacional de 204.036 t para 2020 a partir de la implementación de diversos instrumentos políticos, financieros, de investigación, innovación y transferencia, de manejo fitosanitario y de mercado, que permitieran incrementar la competitividad y el rendimiento del cultivo (tabla 1). Sin embargo, pese a los esfuerzos descritos, la producción real registrada para 2021 fue solo de 69.040 t, mientras que al cierre de 2022 la producción nacional disminuyó a 62.158 t, lo que muestra una reducción del 10% respecto al año anterior (figura 1) (Fedecacao, 2024).

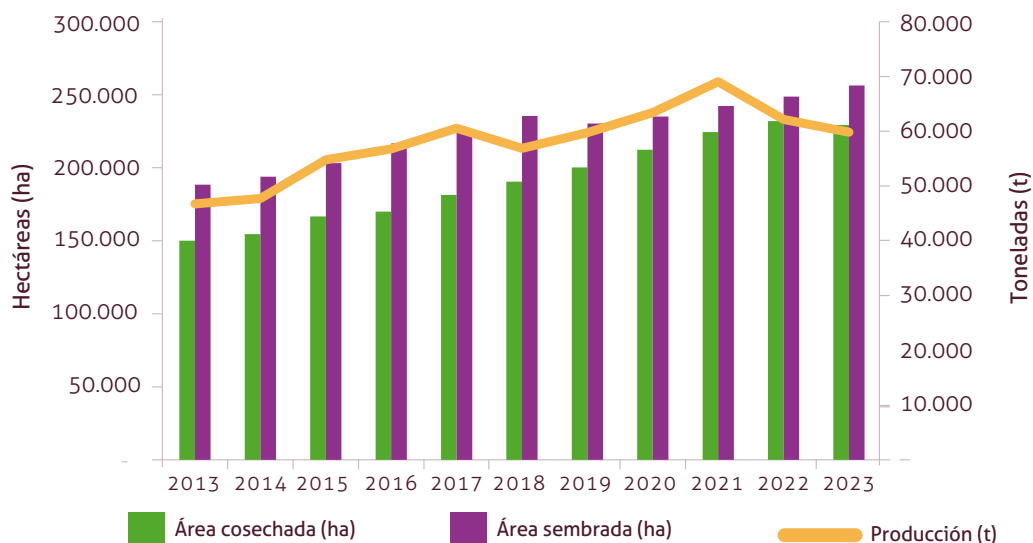
**Tabla 1.** Proyección de área y producción esperada para el cultivo de cacao en Colombia 2020

Cacao	2006	2010	2015	2020	2020/2006
<b>Área (ha)</b>	112.805	137.507	172.397	216.141	103.336
<b>Producción (t)</b>	42.000	65.003	115.165	204.036	162.036
<b>Rendimiento (t/ha<sup>-1</sup>)</b>	0,46	0,58	0,81	1,15	0,69

Fuente: Elaboración propia, a partir de MADR (2006)

Con respecto al rendimiento nacional, el MADR (2006) esperaba lograr un incremento de 0,55 t/ha<sup>-1</sup> a 1,15 t/ha<sup>-1</sup> para 2020; sin embargo, para 2023, el rendimiento nacional reportado por la última evaluación agropecuaria (UPRA, 2023) fue de 0,595 t/ha<sup>-1</sup>. Las cifras anteriores muestran que, a pesar de los esfuerzos institucionales, no se logró cumplir con las expectativas planteadas para el rendimiento en el sistema productivo de cacao y, por ende, para su producción.





**Figura 1.** Producción de cacao, área sembrada y área cosechada de cacao en Colombia desde 2013 hasta 2023

**Fuente:** Elaboración propia, a partir de Fedecacao (2024), MADR (2024) y UPRA (2023)

A pesar del incremento en la producción nacional debido a la tendencia creciente en el área sembrada y cosechada en el país, la producción cacaotera enfrenta importantes retos de los que depende su rendimiento. Algunos de estos retos son la renovación de plantación, el manejo de plagas y enfermedades, el manejo de la fertilización, los eventos climáticos, las prácticas de poda y el manejo de sombrío, la poscosecha y el beneficio, entre otros (Cobaleda Lasso, 2022).

Sumado a lo anterior, en el periodo comprendido entre 2019 y 2023 el incremento de los costos de los fertilizantes de síntesis química fue muy alto, como consecuencia de las afectaciones de la pandemia del Covid-19 y, posteriormente, de la guerra de Ucrania, ya que de Rusia se exporta el 14% del comercio mundial de urea, el 11% del fosfato y el 41% del potasio, en conjunto con Bielorrusia (Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias [IFPRI, por sus siglas en inglés], 2023). Es posible que estas situaciones hayan afectado tanto el rendimiento de los cultivos de cacao, como la siembra de nuevas áreas, lo cual podría relacionarse con la disminución de la producción de cacao en Colombia.

En el país, se cuenta con opciones tecnológicas que aportan al incremento del rendimiento de cacao, lo que contribuye al cierre de la brecha tecnológica (Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología [OCYT], 2022). AGROSAVIA, a partir de la identificación de necesidades en investigación en el sistema productivo de cacao, encuentra una oportunidad para aunar esfuerzos entre los sectores públicos y privados, e implementar programas de extensión agropecuaria y de capacitación de comunidades y productores cacaoteros para fomentar la adopción de tecnologías e incrementar los rendimientos en **sistemas productivos sostenibles** de cacao.

#### Glosario

##### Sistemas productivos sostenibles:

conjunto estructurado de actividades agropecuarias que un grupo humano organiza, dirige y realiza en un tiempo y espacio determinados a través de prácticas y tecnologías que no degradan la capacidad productiva de los bienes naturales comunes. Estas actividades pueden ser productivas (cultivo, recolección, aprovechamiento, extracción, pastoreo) o de manejo (prevención, mantenimiento, restauración). Los sistemas productivos sostenibles producen alimentos seguros, saludables y de alta calidad; asimismo, contribuyen a la mitigación y adaptación de los territorios al cambio climático, garantizan la viabilidad económica, prestan servicios ecosistémicos, gestionan las zonas rurales conservando la biodiversidad y la belleza paisajística, garantizan el bienestar de los animales y contribuyen al bienestar y buen vivir (MADR, 2021b).

## Contexto cacaotero en Norte de Santander

Según la última evaluación agropecuaria, en 2023, Norte de Santander produjo 6.752 t en 10.915 ha cosechadas, las cuales representan el 7,79% de la producción total nacional de cacao (UPRA, 2023). El cacao se cultiva en 25 de los 40 municipios del departamento de Norte de Santander, de los cuales se destacan Sardinata (17,3%), Tibú (15%), La Esperanza (9,4%), El Tarra (7,6%), Convención (7,5%), El Carmen (6,6%) y Teorama (4,7%) (UPRA, 2023). La Asociación de Asociaciones de Productores de Cacao del Norte de Santander y su Región del Catatumbo (Asoprocanor) registra 15 asociaciones de productores en los municipios de Ocaña, Teorama, La Esperanza, El Tarra, Convención, El Carmen, San Calixto, Hacarí y Cachira, que agrupan aproximadamente 1.326 productores (Asoprocanor, 2025).

La UPRA determinó que Norte de Santander cuenta con un potencial de área para siembra de cacao de 331.738 ha, que representan el 15,2% del área departamental (UPRA, 2024). Las áreas con cultivos establecidos actualmente no superan la altitud de los 1.200 m s. n. m. y comprenden dos áreas agroecológicas catalogadas a nivel nacional como montaña santandereana y bosque húmedo tropical; de estas hacen parte las zonas húmedas y las subcuencas de los ríos Pamplonita, Catatumbo, Sardinata y Zulia (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2007).

La producción de cacao en Norte de Santander se desarrolla a partir del modelo de agricultura familiar, caracterizado por una baja tecnificación en las prácticas de manejo agronómico de plantaciones clonales establecidas, lo cual repercute en el rendimiento del cultivo (Vásquez-Barajas et al., 2017). En los cultivos de cacao en Norte de Santander, se presentan problemas de baja productividad y competitividad atribuidas, entre otras razones, a la escasa implementación de semilla asexual (clones más eficientes y adaptados) en siembras nuevas, al manejo inadecuado de suelos, al escaso manejo integrado del cultivo y, en poscosecha, al escaso uso de tecnologías asociadas con el beneficio de cacao, de los que depende la **calidad organoléptica** del producto (Carvajal Rodríguez, 2015; Villamizar & González, 2023).

Dentro de las problemáticas ambientales que enfrenta el departamento se encuentra principalmente la alta degradación de los recursos naturales que, sumada a eventos climáticos extremos, provoca inundaciones, remoción de masas y deslizamientos (PNUD, 2019). Asimismo, la sobreutilización de suelo en el 25,2% del área del territorio incrementa la erosión del suelo, su disminución de la fertilidad por la pérdida de nutrientes y materia orgánica, y la disminución de la retención de humedad y la pérdida de **profundidad efectiva**; esto disminuye la producción de los sistemas agrícolas y la rentabilidad de las actividades agropecuarias.

### Glosario



**Calidad organoléptica:** es el conjunto de atributos que se perciben a través de los sentidos (olfato y gusto) al interactuar con un alimento. La evaluación sensorial de un producto la realiza un panel de evaluadores expertos para identificar la presencia e intensidad de sabores básicos, atributos positivos y sabores adquiridos o defectos.

### Glosario



**Profundidad efectiva:** distancia desde la superficie del suelo hasta donde las raíces pueden crecer y absorber agua y nutrientes de manera eficiente, influenciada por la textura del suelo, la disponibilidad de agua, los obstáculos físicos y las características de la planta.

## El árbol de cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol leñoso, perenne, de porte bajo, que alcanza alturas controladas entre los 2 y 4 metros cuando se destina al cultivo, mientras que en estado natural puede alcanzar hasta 12 metros. Es una especie que pertenece al orden Malvales y a la familia Malvacea (De Souza et al., 2018).

En términos de botánica, persiste un sistema de clasificación tradicional de los cultivares de cacao en el mundo, el cual distingue tres tipologías: criollo, forastero y trinitario o híbrido (Arvelo Sánchez et al., 2017). Los ejemplares de la tipología criollo se caracterizan por su alta calidad organoléptica, ya que tienen un sabor suave y aromático, así como bajo rendimiento y susceptibilidad a plagas y enfermedades. La forma de sus frutos es alargada, de punta pronunciada y doblada, y sus semillas son poco pigmentadas y de gran tamaño. La tipología forastero o amazónico corresponde a 80% de la producción mundial, sus frutos son ovalados y cortos, con semillas aplanadas, cortas y pigmentadas. Este grano se diferencia por su **vigor**, robustez y alto rendimiento. Por su parte, la tipología trinitario es resultado de la hibridación de las dos anteriores y son muy heterogéneos tanto genética como morfológicamente. Su calidad, aunque variable, se encuentra entre media y alta, pues combina la **rusticidad** y el sabor de sus predecesores (Arvelo Sánchez et al., 2017; Harris, 2021).

En la actualidad, se han registrado y caracterizado diversos materiales clonados (plantas idénticas genéticamente que se destacan por su tolerancia a ciertos factores fitosanitarios o ambientales) que provienen de programas de mejoramiento realizados por entidades como AGROSAVIA (variedades TCS 01, TCS 06, TCS 13 y TCS 19), Fedecacao (variedades FTA 2, FSA 12, FSA 13, FEAR 5, FEC 2, FLE 2, FLE 3, FSV 41, FSV 155), Casa Luker (clones Luker 40 y Luker 50) y la Compañía Nacional de Chocolates (variedades CNCH 12 y 13).

### Glosario



#### Vigor:

es el conjunto de propiedades que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla durante la germinación y posterior emergencia de la plántula. Se asocia a la velocidad y uniformidad de germinación y crecimiento de plántulas, a la capacidad de emergencia bajo condiciones ambientales desfavorables y la evaluación de la germinación después de un periodo de almacenamiento.

### Glosario



#### Rusticidad:

en términos botánicos, hace referencia a la capacidad de una planta para resistir condiciones adversas de crecimiento.



### Información complementaria:

Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento de Santander




**Glosario**
**Dosel:**

estrato superior o porción aérea de un cultivo o planta formado por la disposición espacial de las hojas y ramas.

El cacao es una especie umbrófila, lo que significa que está adaptada para desarrollarse mejor bajo condiciones de sombrero (Enríquez, 2006; Paredes et al., 2004; Somarriba, 2004). El asocio de cacao con especies productivas debe generar un ingreso al agricultor y aumentar la productividad del terreno. El nivel de sombra necesaria para obtener un buen desarrollo y una buena producción se determina por la etapa fenológica del cacao, las condiciones edafoclimáticas, el manejo agronómico del cultivo y las características del **dosel**. En las primeras etapas del cultivo de cacao (hasta dos o cuatro años), los requerimientos de sombra van del 50% al 70%; este porcentaje debe ir disminuyendo conforme aumenta la edad de los árboles. En las etapas de floración y fructificación, se requiere mayor radiación (Somarriba et al., 2011).

El sistema radical varía de acuerdo con su propagación. Cuando el árbol se propaga por semilla, se compone de una raíz pivotante que, en condiciones favorables, puede penetrar más de 2 m de profundidad, lo cual le permite un buen anclaje y sostenimiento al árbol. Asimismo, cuenta con un extenso sistema superficial de raíces secundarias, de donde se desprenden “pelos absorbentes”, distribuidas en los primeros 30 cm del suelo; estas se encargan de absorber los nutrientes y el agua necesarios para su crecimiento y desarrollo (Fedecacao, 2016).

La floración del árbol se presenta en cojines florales formados por 40-60 flores que se encuentran a lo largo del tronco y de las ramas, por lo que este tipo de floración se denomina caulinar (Doster et al., 2011). Al ser hermafrodita, la flor tiene ambos sexos, por lo que la polinización es cruzada y se da por agentes externos, principalmente por insectos del género *Forcipomyia*, aunque también existen métodos para realizar polinización artificial (controlada o dirigida) (Jaimes Suárez et al., 2022).

Los frutos del cacao son bayas grandes, conocidas como mazorcas; pueden pesar entre 300 y 1000 g, y tener de 5 a 10 surcos longitudinales. Son carnosos, de aspecto polimorfo y sus características varían dependiendo del grupo botánico al que pertenezcan. Cada mazorca contiene entre 30 y 40 semillas recubiertas en una masa de pulpa conocida como mucílago (Romero Hernández, 2016).

Las semillas en el interior están compuestas por dos cotiledones, comúnmente llamados granos de cacao. Su composición es alta en almidón, proteínas y grasas, de ahí su valor nutricional. Los granos del cacao tipo criollo son grandes y de almendras rollizas, mientras que los granos tipo forastero son pequeños, aplanados y tienen color púrpura oscuro hasta violeta pálido, y los granos tipo trinitario presentan coloración violeta oscuro a rosa pálido (Arvelo Sánchez, 2017; Fedecacao, 2016).



## Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao

Los requerimientos edafoclimáticos hacen referencia a las condiciones óptimas asociadas al suelo y al clima, las cuales inciden directamente en la productividad del cultivo de cacao y, además, permiten expresar a la planta su máximo potencial.

Estos requisitos han sido descritos de manera breve por diferentes autores, como Hardy (1960), De Geus (1973), Wood y Lass (1985), Barros Nieves (1981), Palencia C. et al. (2007), García Lozano et al. (2007), Echeverri Rodríguez (2013), Gómez Aliaga et al. (2014) y Jaimes Suárez et al. (2021).

En cuanto a los requerimientos **edáficos**, el cultivo de cacao necesita para su crecimiento, desarrollo y rendimiento óptimos suelos profundos que garanticen el desarrollo del sistema radical y un buen anclaje de la planta, la disponibilidad de agua y nutrientes minerales en la solución del suelo para facilitar su absorción por la planta, la circulación de aire y agua para evitar la saturación del suelo y prevenir la aparición de enfermedades del sistema radical.

La interacción de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo influye en el crecimiento, el desarrollo y la producción del cultivo de cacao. De igual forma, la selección del terreno para el establecimiento del cultivo requiere un análisis de fertilidad del suelo previo a la siembra.

## Propiedades físicas del suelo deseables para el cultivo de cacao

Las características físicas de un suelo reflejan la manera como este almacena y provee agua a las plantas y permite su desarrollo radical. Las propiedades físicas como profundidad efectiva, textura, color y estructura pueden ser alteradas negativamente por las prácticas de manejo intensivo, lo cual afecta la capacidad natural del suelo de autorrecuperarse a través del tiempo y, por lo tanto, disminuye en gran medida su capacidad de producción (Visconti et al., 2013).

### PROFUNDIDAD DEL SUELO

El árbol de cacao suele desarrollar una raíz pivotante que puede alcanzar una profundidad de 1,5 metros o más. Debido a esto, el cultivo de cacao requiere suelos con profundidad efectiva igual o superior a un metro. En las regiones donde la precipitación anual es menor que 1.250 mm por año, se necesitan suelos más profundos, especialmente cuando la capacidad de retención de agua es deficiente, como en el caso de los suelos arenosos (Wessel, 1971).



**Información complementaria:**  
Modelo productivo de cacao



### Glosario



**Edáfico:**  
hace referencia al suelo.

Por lo general, el cacao desarrolla raíces más profundas en suelos arenosos que en suelos arcillosos, lo cual se debe a que los suelos arenosos tienden a secarse a mayor profundidad durante periodos de bajas precipitación (Van Vliet & Giller, 2017). Durante épocas de altas precipitaciones, el cacao desarrolla sus raíces de manera similar, tanto en suelos arenosos, como en suelos arcillosos (Wessel, 1971). Es importante destacar que cuando se limita el desarrollo de la raíz principal del árbol de cacao, este pierde su anclaje y tiende a caerse (Wood y Lass, 1985).

### TEXTURA DEL SUELO

La textura es una propiedad que juega un papel importante en la fertilidad del suelo y en la capacidad de retención de agua, aireación, drenaje y contenido de materia orgánica. Hace referencia a la proporción de componentes inorgánicos de diferente forma y tamaño, como arena, limo y arcilla. A menudo, en los suelos de textura arcillosa hay una mayor cantidad de materia orgánica y nutrientes, en comparación con los suelos de textura arenosa, lo cual aumenta el vigor de los árboles de cacao (Feller & Beare, 1997; Wessel, 1971).

De acuerdo con Zuidema et al. (2005), los suelos de textura franco, franco arcilloso y franco arcilloso limoso suelen ofrecer mejores rendimientos en las plantaciones de cacao, si se comparan con los suelos de textura arenosa y arcillosa, especialmente bajo un régimen de precipitación entre 1.200 y 3.800 mm por año (Echeverri Rodríguez, 2013; Gómez Aliaga et al., 2014; Van Vliet & Giller, 2017).

### COLOR DEL SUELO

El color del suelo es una propiedad que se utiliza mucho para describir la superficie o el perfil del suelo, y predecir si un suelo contiene más o menos materia orgánica, si tiene hierro o si tiene buen drenaje. Esta característica se da por la proporción de compuestos minerales y orgánicos presentes en el suelo; como consecuencia, según la coloración, se puede asumir la presencia de algunos de sus compuestos.

La materia orgánica genera colores oscuros (negro o pardo), debido a la presencia de ácidos húmicos producto de la mineralización del tejido vegetal o de la hojarasca por los macro y microorganismos del suelo. En el caso de los cultivos de cacao, es importante que el suelo tenga un color negro, ya que este color denota mayor contenido de materia orgánica y de actividad biológica, lo cual favorece la mineralización de la gran cantidad de biomasa residual que



aporta el cultivo de cacao, mediante la hojarasca y otras partes de la planta, producto de prácticas como las podas.

Un color rojo o rojizo pardo bajo el **horizonte húmico** puede indicar que es un suelo aireado, altamente meteorizado y que presenta un buen drenaje; además, es un suelo menos propenso a la lixiviación. Estas condiciones, probablemente, garantizan una mayor concentración de nutrientes (Barros Nieves, 1981).

El color amarillo del suelo se debe a la presencia de óxido de hierro hidratado, lo cual lo hace un suelo altamente meteorizado. El color gris indica abundancia de cuarzo, baja **meteorización** química y ausencia de materia orgánica. El color gris verdoso se da por procesos de reducción de hierro, lo cual indica suelos saturados de agua durante largos periodos (Graterón Vargas, 2020).

## ESTRUCTURA DEL SUELO

A menudo, los cacaocultores tienen un buen entendimiento de la textura del suelo en sus fincas, aunque pocos están conscientes de la **estructura del suelo** en sus terrenos. Es importante tener en cuenta que dos suelos con la misma textura pueden comportarse de manera diferente debido a su estructura. Por ejemplo, un suelo arcilloso puede ser permeable al aire, al agua y a las raíces cuando tiene una estructura adecuada; en cambio, si la estructura del suelo ha sido dañada por la compactación, puede volverse impenetrable para el paso del aire, el agua y las raíces (Donahue et al., 1983).

Es necesario que los suelos aptos para el cultivo de cacao tengan una estructura agregada, lo que significa que deben formar terrones pequeños y estables, especialmente en condiciones de humedad constante (Barros Nieves, 1981). Sin embargo, es importante tener presente que los suelos con este tipo de estructura tienden a perder humedad durante épocas de bajas precipitaciones, lo que disminuye la disponibilidad de agua para el cultivo y, por ende, afecta su rendimiento (Barros Nieves, 1981). Por esta razón, durante estos periodos, es necesario implementar medidas de riego adecuadas para suplir la falta de agua y mantener la humedad óptima en el suelo.

### Glosario



#### Horizonte húmico del suelo:

capa del suelo rica en materia orgánica en descomposición (humus), ubicada en las capas superiores. Es fundamental para la fertilidad y el sostenimiento de la vida vegetal.

### Glosario



#### Meteorización:

fragmentación y descomposición de minerales y rocas por acción del agua o el viento que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrósfera y biósfera.

### Glosario



#### Estructura del suelo:

propiedad física del suelo que se relaciona con la forma como se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla para formar los agregados. La estructura del suelo está en función del grado (grado de agregación), la clase (tamaño medio) y el tipo de agregados (forma).

**Importante:**

La topografía del terreno es un factor que se debe considerar cuando se va a establecer una plantación de cacao. Se recomienda seleccionar áreas con una topografía preferiblemente plana u ondulada, y evitar pendientes pronunciadas que excedan el 20 % o 25 %, ya que estas presentan un mayor riesgo de erosión del suelo. En terrenos con pendientes elevadas, se sugiere trazar los surcos a través de la pendiente, siguiendo las curvas a nivel para que no se presente un rápido escurrimiento del agua proveniente de las precipitaciones; esto podría generar la pérdida de partículas del suelo y nutrientes que son esenciales para el crecimiento y desarrollo adecuado de la planta de cacao (Jaimés Suárez et al., 2021).

**Recuerde que:**

- El cacao es una planta que presenta sensibilidad tanto a la escasez de agua, como al encharcamiento del suelo, por lo que es necesario que los suelos destinados al cultivo de cacao tengan un buen drenaje. El encharcamiento del suelo puede ser perjudicial para la planta, ya que puede provocar la asfixia de las raíces y estas pueden morir en poco tiempo (Snoeck et al., 2016).
- Las propiedades físicas del suelo determinan en gran medida el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de cacao.

## Propiedades químicas del suelo deseables para el cultivo de cacao

Las propiedades químicas se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas; entre estas, cabe resaltar: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable y conductividad eléctrica.

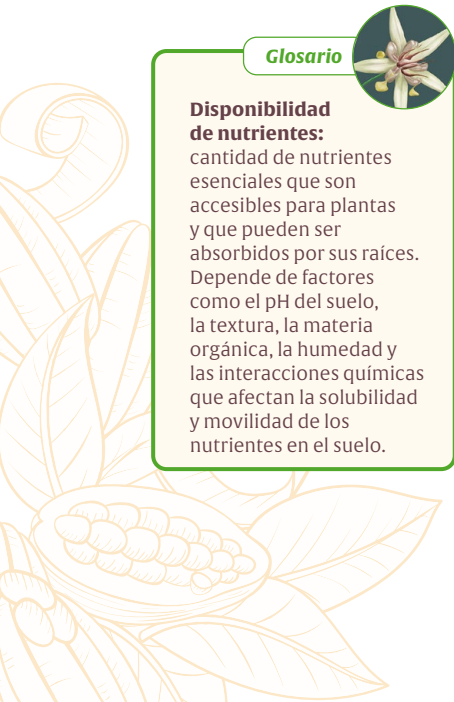
### **pH**

La acidez del suelo desempeña un papel fundamental en la absorción y **disponibilidad de nutrientes** para las plantas, así como en la concentración de nutrientes en sus tejidos; esto tiene un impacto directo en su rendimiento (Jaimés Suárez et al., 2021; Quinteiro Ribeiro et al., 2013; Rosas-Patiño et al., 2017).

#### Glosario

##### **Disponibilidad de nutrientes:**

cantidad de nutrientes esenciales que son accesibles para plantas y que pueden ser absorbidos por sus raíces. Depende de factores como el pH del suelo, la textura, la materia orgánica, la humedad y las interacciones químicas que afectan la solubilidad y movilidad de los nutrientes en el suelo.





En el caso del cultivo de cacao, los suelos más adecuados para su establecimiento deben tener un pH que oscile entre 6,5 y 7, ya que dentro de estas condiciones de acidez se favorece la disponibilidad de los elementos esenciales para su nutrición, como el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) (Barros Noeves, 1981).

## MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica es fundamental para la salud del suelo, pues tiene un impacto en las características biológicas (hábitat y alimento para los organismos edáficos), físicas (estabilidad de agregados, infiltración, capacidad de retención de agua y porosidad) y químicas del suelo (capacidad de intercambio catiónico y dinámica de nutrientes). También ofrece diversos beneficios y funciones en los ecosistemas terrestres; por ejemplo, contribuye de manera significativa a la producción primaria, la purificación y regulación del agua, el secuestro y la regulación del carbono, la biodiversidad y el ciclo de nutrientes (Schulte et al., 2014).

Se considera que los suelos aptos para el cultivo de cacao deben tener un contenido de materia orgánica superior al 3% (Arvelo Sánchez et al., 2017).

## CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) está asociada con la cantidad de cargas iónicas negativas (aniones) presentes en las superficies de los minerales, las partículas de arcilla y los componentes orgánicos del suelo (materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la proporción de intercambio que se usa para almacenar iones con cargas positivas ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ ). Algunos de estos cationes son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El nivel de CIC indica la habilidad del suelo para retener cationes, disponer e intercambiar nutrientes a la planta, se relaciona con el pH potencial del suelo, entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, es arenoso o pobre en materia orgánica. En un análisis de la fertilidad del suelo, la unidad de medición de CIC será ( $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ ) de suelo, que es igual a 1 meq/100g.

## ACIDEZ INTERCAMBIABLE

La acidez intercambiable de un suelo está determinada por el contenido de  $\text{Al}^{3+}$  (aluminio intercambiable) y  $\text{H}^+$  (hidrogenión) en diferentes proporciones, puesto que la presencia de estas dos especies causa una disminución en el pH del suelo. En algunos suelos, el  $\text{Al}^{3+}$  es el catión dominante asociado a la acidez;


**Glosario**
**Absorción de nutrientes:**

proceso mediante el cual las raíces de las plantas toman los nutrientes esenciales del suelo, así como minerales y agua, por medio de mecanismos de transporte activo y pasivo, para su crecimiento, desarrollo y producción.

en particular, cuando el pH es fuertemente ácido (inferior a 5,0), la toxicidad será el factor más perjudicial para las plantas y además generará un efecto negativo sobre la solubilización, disponibilidad y **absorción de nutrientes** (Oliva Escobar, 2009).

## Componente biorgánico del suelo y su importancia en el cultivo de cacao

La calidad del suelo es un indicador integral de ecosistemas agrícolas sostenibles, cuyo principal componente para incorporar y valorar es la biota y su comportamiento (Harrier & Watson, 2003). A partir de la descomposición-mineralización de compuestos orgánicos exclusivos de residuos vegetales, como hojas o material no lignificado, que se realiza por macro, meso y microorganismos del suelo, se liberan compuestos solubles que se metabolizan fácilmente, lo que da como resultado la liberación de nutrientes para la planta.

Estos complejos modificados por la interacción de la biota del suelo juegan un papel esencial en el ecosistema, pues contribuyen a la dinámica de nutrientes, a la formación estructural del suelo, al secuestro de carbono, a la respiración del suelo y a la productividad del ecosistema (Osafo Eduah et al., 2024). Como se mencionó anteriormente, el contenido de materia orgánica tiene influencia directa en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del recurso suelo.

En áreas húmedas con altas precipitaciones, el contenido de materia orgánica del suelo puede llegar al 5% en peso seco. En áreas áridas, con tasas altas de descomposición y bajos aportes de residuos vegetales, los valores suelen ser < 1% (Pepper & Brusseau, 2019). Es aconsejable que la capa superficial del suelo esté cubierta por abundante hojarasca. Además, es deseable que el espesor de la capa de humus y el horizonte A (la capa más superficial) sea mayor que 10 cm y que el espesor y la porosidad de la capa inferior superen los 90 cm.

## Variables climáticas deseables para el cultivo de cacao

El cacao se desarrolla de forma óptima en condiciones cálidas y húmedas, y no resiste periodos prolongados de sequía. La producción de esta especie es altamente dependiente de la temperatura, precipitación y humedad relativa, y su variabilidad puede alterar el ciclo fisiológico del cultivo, lo cual lo hace más susceptible al padecimiento de plagas y enfermedades (Arvelo Sánchez et al., 2017).





## PRECIPITACIÓN

El rendimiento anual del árbol de cacao está influenciado por la cantidad de precipitación, más que por cualquier otro factor climático. Esta especie perenne es extremadamente sensible a la escasez de agua en el suelo; por lo tanto, es crucial que las precipitaciones sean abundantes y estén bien distribuidas a lo largo del año. En la actualidad, se sugiere que la región donde se planea ubicar el cultivo tenga un rango de precipitación que oscile entre 1.500 mm y 3.000 mm al año, teniendo en cuenta que los periodos de bajas precipitaciones —es decir, en los que la precipitación acumulada es inferior a 100 mm por mes— no superen los tres meses (International Cocoa Organization [ICCO], 2024).

## TEMPERATURA

El cacao es un árbol que se desarrolla de manera óptima en temperaturas cálidas. Las condiciones ideales para el cultivo de cacao incluyen temperaturas máximas promedio anuales entre 30 °C y 32 °C. En este rango de temperatura, se favorece el proceso de fotosíntesis, ya que se aumenta la **conductancia estomática** y la transpiración, lo que beneficia su crecimiento y producción. Adicionalmente, el árbol necesita temperaturas mínimas promedio anuales que varíen entre 18 °C y 21 °C, rango que contribuye a regular su metabolismo (García Lozano et al., 2007; ICCO, 2024). Por fuera de los rangos de temperaturas máximas (se impide la polinización y la formación de frutos) y mínimas (se afecta el funcionamiento fisiológico del árbol) mencionados, la productividad del árbol de cacao se afecta de manera negativa (Carr & Lockwood, 2011; Lahive et al., 2021).

## VIENTO

El viento es un factor climático que puede impedir el desarrollo del árbol de cacao, y especialmente afectar órganos vegetales como las flores y las hojas jóvenes, que padecen estrés mecánico debido a esta variable climática. Esto provoca la caída de las flores y la disminución de la **tasa fotosintética** de las hojas, lo que perjudica directamente la conductancia estomática, la eficiencia del uso de agua y la transpiración. De esta manera, se constató que los vientos con velocidades elevadas de entre 2,5 y 4 metros por segundo, con una duración de más de tres horas, afectan la productividad del árbol de cacao (Monteiro Reis et al., 2018).

### Glosario



#### Conductancia estomática:

medida de la capacidad de los estomas de las plantas para el intercambio de gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ), lo cual regula la transpiración y fotosíntesis. Se ve influenciada por la humedad del aire, la disponibilidad de agua, luz y temperatura.

### Glosario



#### Tasa fotosintética:

se refiere a la velocidad a la cual las plantas y otros organismos fotosintéticos convierten la energía solar en energía química para utilizarla en la síntesis de compuestos orgánicos y biomasa seca. Conocer la tasa fotosintética de una planta da una idea del rendimiento que se espera de dicha planta o cultivo.

Glosario**Estomas:**

poros en la epidermis de hojas y tallos, rodeados por células guardia que regulan el intercambio de gases y la transpiración en las plantas.

## HUMEDAD RELATIVA

El árbol de cacao necesita de una atmósfera cálida y húmeda para un desarrollo óptimo. A nivel global, los países que se dedican a la producción de cacao suelen contar con una alta humedad relativa, que puede aumentar al 100% durante el día y disminuir a un rango de entre el 70% y el 80% durante la noche (ICCO, 2024). La humedad relativa tiene una relación positiva con la conductancia estomática y la fotosíntesis (Lahive et al., 2021), lo cual posibilita la apertura de los **estomas** para permitir el ingreso de  $\text{CO}_2$ ; así, el árbol de cacao desarrolla de manera adecuada sus funciones metabólicas.

## RADIACIÓN SOLAR

Para establecer una plantación de cacao, es importante tener en cuenta que durante los dos primeros años la planta de cacao necesita recibir una cantidad de luz fotosintéticamente activa, que oscile entre 300 y 400  $\mu\text{mol m}^2/\text{s}$ . Después, cuando alcanza la etapa productiva, requiere niveles más altos, que varíen entre 700 y 800  $\mu\text{mol m}^2/\text{s}$ . Esto se traduce en un nivel de luz del 30% o un rango entre el 50% y el 70% de sombra. A partir del tercer año, los requerimientos de radiación solar cambian y el cacao necesita entre el 60% y el 70% de luz, y el 30% y el 40% de sombra (Agudelo-Castañeda et al., 2018).

