



Manejo de la fertilización integrada en el **cultivo de cacao**

Manual orientado a la
región del Catatumbo

AUTORES

Martha Marina **Bolaños-Benavides**

José Libardo **Lerma Lasso**

Diana Marcela **Monroy Cárdenas**

Diomedes de Jesús **Díaz Díaz**

**FUNDO
AMBIENTAL**

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria





Manejo de la fertilización integrada en el **cultivo de cacao**

Manual orientado a la
región del Catatumbo

AUTORES

Martha Marina **Bolaños-Benavides**

José Libardo **Lerma Lasso**

Diana Marcela **Monroy Cárdenas**

Diomedes de Jesús **Díaz Díaz**

**FUNDO
AMBIENTAL**

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Manejo de la fertilización integrada en el cultivo de cacao. / Martha Marina Bolaños Benavides [y otros tres] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2025.

88 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, gráficos y tablas.

ISBN: 978-958-740-801-0

ISBN e-Book: 978-958-740-802-7

1. *Theobroma cacao* 2. Cultivo 3. Aplicación de abono 4. Análisis del suelo 5. Nutrición de la planta 6. Análisis de costos. I. Bolaños Benavides, Martha Marina II. Lerma Lasso, José Libardo III. Monroy Cárdenas, Diana Marcela IV. Díaz Díaz, Diomedes de Jesús.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Sede Central. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es resultado del proyecto “Mejora de la sostenibilidad ambiental mediante implementación de tecnologías en el marco de la estrategia nacional para el cultivo del cacao”, Convenio 2035, entre el Fondo Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Acción Climática de Portugal y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Colección: Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Manual

Fecha de recepción: 22/04/2024

Fecha de evaluación: 29/04/2024

Fecha de aceptación: 9/09/2024

Publicado: marzo de 2025

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Nathalie De la Cuadra N.

Fotos: José Libardo Lerma Lasso

Ilustraciones: Juan Felipe Martínez Tirado

Diseño de pauta: Janduy Barreto Páez

Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Impresión: DGP Editores S. A. S.

Citación sugerida:

Bolaños-Benavides, M. M., Lerma Lasso, J. L., Monroy Cárdenas, D. M., & Díaz Díaz, D. J. (2024). *Manejo de la fertilización integrada en el cultivo de cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7408027>

Cláusula de responsabilidad:

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

Línea de atención al cliente: 01 8000 121515

atencionalcliente@agrosavia.co

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



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

Agradecimientos	10
Los autores	11
Presentación	15
Introducción	17

21 | Generalidades del cultivo de cacao

Contexto histórico nacional del sector cacaotero	22
Contexto cacaotero en Norte de Santander	24
El árbol de cacao	25
Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao	27
Propiedades físicas del suelo deseables para el cultivo de cacao	27
Propiedades químicas del suelo deseables para el cultivo de cacao	30
Componente biorgánico del suelo y su importancia en el cultivo de cacao	32
Variables climáticas deseables para el cultivo de cacao	32

35 | Fundamentos de la fertilización del cultivo de cacao

Nutrientes esenciales para el crecimiento, el desarrollo y la producción	36
Importancia del análisis del suelo para la fertilización eficiente	38

Criterios para implementar la práctica de fertilización	41
Fertilización del cultivo de cacao	43
Características del suelo en la zona productora de Norte de Santander	49
Qué es la fertilización integrada y cómo se asegura su eficiencia	52

55 | Implementación de la fertilización integrada en Convención, Norte de Santander

¿Cuánto debo aplicar?	56
¿Qué voy a aplicar?	58
¿Cuándo debo aplicar?	59
¿Dónde debo aplicar?	60
Seguimiento del cultivo experimental	61
Evidencias del efecto de la fertilización integrada en el cultivo de cacao	62
Efecto de la fertilización integrada en las propiedades del suelo	63
Efecto de la fertilización integrada en el rendimiento del cultivo	69
Análisis de costos de la tecnología evaluada	70
Aporte de la implementación de prácticas de manejo de la fertilización integrada a políticas públicas nacionales e internacionales	72
Referencias	74

Lista de figuras

Figura 1	Producción de cacao, área sembrada y área cosechada de cacao en Colombia desde 2013 hasta 2023.....	21
Figura 2	Distribución y función de elementos minerales en el árbol de cacao.....	37
Figura 3	Decálogo de toma de muestra de suelos para análisis químico	38
Figura 4	Criterios para el manejo responsable de nutrientes.....	40
Figura 5	Momento de fertilización integrada de acuerdo con la fenología del cacao	46
Figura 6	Distribución de las muestras de suelo analizadas en los municipios de Sardinata, Teorama, Convención y Tibú	48
Figura 7	Factores para definir la dosis correcta de fertilización del cultivo de cacao.....	55
Figura 8	Compatibilidad química de los fertilizantes en mezcla. C: compatible; I: incompatible.....	57
Figura 9	Fraccionamiento del plan de fertilización integrada.....	57
Figura 10	Práctica eficiente de fertilización edáfica en cultivos de cacao establecidos en ladera	58
Figura 11	Valores de la densidad aparente del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.....	61
Figura 12	Valores de pH del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización	62

Figura 13	Valores de materia orgánica del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.....	63
Figura 14	Valores medios de potasio del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.....	64
Figura 15	Valores medios de calcio del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.....	65
Figura 16	Valores medios de magnesio del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.....	66
Figura 17	Valores medios de boro del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.....	67
Figura 18	Rendimiento medio por clon según los tipos de fertilización	68

Lista de tablas

Tabla 1	Proyección de área y producción esperada para el cultivo de cacao en Colombia 2020.....	20
Tabla 2	Función fisiológica e importancia de los elementos mayores en el crecimiento y desarrollo del cultivo de cacao.....	35
Tabla 3	Función fisiológica e importancia de los elementos menores en el crecimiento y desarrollo del cultivo de cacao.....	36
Tabla 4	Rangos de valores críticos para la interpretación de los resultados del análisis de nutrientes en hojas de cacao	42
Tabla 5	Algunas recomendaciones de fertilización para el cultivo de cacao en Colombia.....	44
Tabla 6	Distribución de las clases texturales de los suelos analizados por cada municipio.....	48
Tabla 7	Análisis químico de los suelos cultivados con cacao en los municipios de Convención, Sardinata, Teorama y Tibu	49
Tabla 8	Recomendaciones de fertilización para el cultivo de cacao con base en los resultados del análisis químico de suelo	54
Tabla 9	Dosis del plan de manejo de la fertilización integrada evaluado en el cultivo experimental.....	55
Tabla 10	Composición química (% p/p) de los fertilizantes utilizados en el tipo de fertilización integrada	56
Tabla 11	Tipos de fertilización evaluados en el cultivo experimental de cacao.....	60
Tabla 12	Comparación económica por clon para cada tipo de fertilización evaluada.....	69
Tabla 13	Alineación de la práctica de fertilización integrada con las políticas públicas nacionales e internacionales	71



Agradecimientos

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) expresa su sincero agradecimiento al Fondo Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Acción Climática de Portugal por el valioso respaldo financiero, que fue fundamental para la realización del proyecto “Mejora de la sostenibilidad ambiental mediante implementación de tecnologías en el marco de la estrategia nacional para el cultivo del cacao”, del cual se obtuvieron los datos y la información que sustentan este documento. Asimismo, manifiesta un reconocimiento y agradecimiento a los productores que colaboraron activamente en este proyecto; en particular, al señor Víctor Ramón Coronel Toro, cacaocultor del municipio de Convención, en el Norte de Santander.





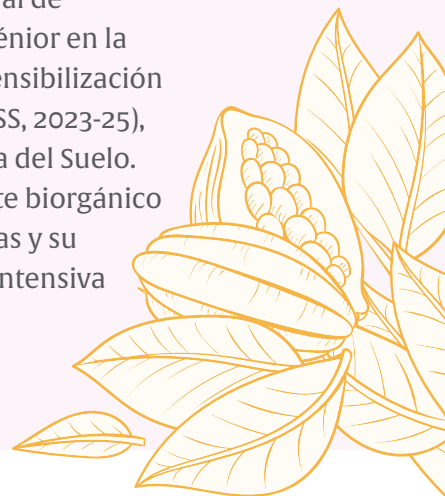
Los autores

Martha Marina Bolaños-Benavides

Correo: mmbolanos@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4593-5523>

Doctora en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira; magíster (MSc) en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y bióloga de la Universidad del Cauca. Investigadora con experiencia de 25 años en las áreas de manejo integrado de suelos, conservación de suelos y manejo eficiente de la fertilización integrada. Desde 1997 hasta la fecha, ha estado vinculada a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde ha desempeñado diferentes cargos y roles como directora de centro en la sede Armenia (Quindío), investigadora máster, coordinadora de investigación en el Centro de Investigación Palmira, directora (E) de los centros de investigación Palmira y Tibaitatá, coordinadora de la Red Nacional de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, e investigadora PhD sénior en la actualidad. Preside la Comisión 4.4 Educación sobre el suelo y sensibilización del público, de la Unión Internacional de la Ciencia del Suelo (IUSS, 2023-25), y es la actual presidenta de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Su investigación integra estudios sobre procesos del componente biorgánico del suelo, interacciones rizosféricas, propiedades físicas, químicas y su relación con la fertilidad. Jefa del Departamento de Producción Intensiva Sostenible de la Dirección de Investigación y Desarrollo.



José Libardo Lerma Lasso

Correo: jlerma@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4920-9801>

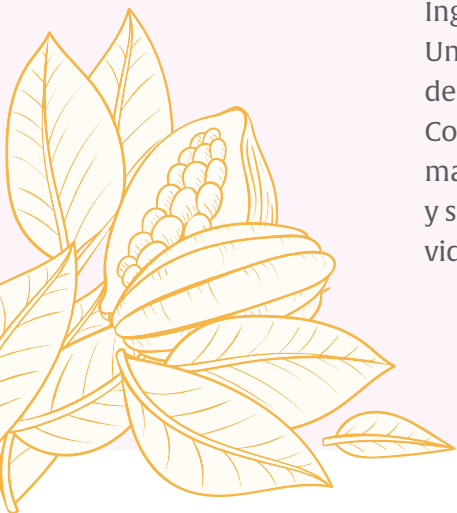
Ingeniero agrícola y magíster (MSc) en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Cuenta con experiencia en tecnologías y prácticas de manejo integrado de suelos y aguas, especialmente en cultivos de cacao y pasturas en trópico alto, así como en gestión del riesgo agroclimático. Tiene habilidades en análisis de datos, estadística, formulación de proyectos, diseño de experimentos y esquemas de trabajo participativo con comunidades rurales, con enfoque en apropiación social del conocimiento. Actualmente, trabaja en la determinación de la huella hídrica de especies forrajeras y en nuevos métodos de renovación de praderas, así como en el desarrollo de un modelo productivo de cacao bajo en cadmio en la cordillera nariñense y la evaluación de la implementación del manejo de la fertilización integrada para la producción de cacao en la región del Catatumbo. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Obonuco de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Diana Marcela Monroy Cárdenas

Correo: dmmonroy@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4794-6955>

Ingeniera agrónoma y magíster (MSc) en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Investigadora máster de la Red de Innovación de Frutales, Centro de Investigación Caribia, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), con experiencia en áreas de manejo integrado de suelos y manejo poscosecha en la identificación de limitantes y soluciones que garanticen la calidad integral de los alimentos para incrementar su vida útil.



Diomedes de Jesús Díaz-Díaz

Correo: djdiazd@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-1368-6721>

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Pamplona. Tiene experiencia en la caracterización morfológica de árboles élite de cacao, el manejo y la aplicación de hormonas vegetales y el diseño y la implementación de sistemas agroforestales con cacao. Actualmente, colabora como profesional de apoyo a la investigación en la Red de Innovación de Cacao, Centro de Investigación La Suiza, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde contribuye al desarrollo de proyectos de investigación para mejorar la genética, el manejo sostenible del cultivo y la transferencia tecnológica en cacao.







Presentación

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) ofrece al lector el manual *Manejo de la fertilización integrada en el cultivo de cacao*, el cual recopila los conceptos esenciales para la implementación de la práctica de fertilización integrada en sistemas productivos de cacao, con especial énfasis en la zona productora del Catatumbo, Norte de Santander.

El manual está dirigido a productores, organizaciones de productores, asistentes técnicos, extensionistas agropecuarios y demás actores dedicados a la producción, al acondicionamiento y al mantenimiento de cultivos de cacao orientados al autoabastecimiento y a la comercialización.

Este manual brinda principios técnicos y prácticos para el buen desarrollo del manejo de fertilización integrada, con el objeto de generar soluciones sostenibles a corto, mediano y largo plazo, y de amplio impacto en los sistemas productivos de cacao de la zona del Catatumbo.

En este contexto, el manual busca sensibilizar al lector mediante la información respecto a los requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao, los fundamentos de la fertilización en el cultivo y la puesta en marcha de la práctica de manejo de la fertilización integrada en un sistema productivo establecido en el municipio de Convención, Norte de Santander, como propuesta para el fortalecimiento de capacidades y aprendizaje.

Cabe resaltar que este documento es resultado de varios años de estudios realizados por colaboradores de AGROSAVIA, en conjunto con productores de cacao de la zona del Catatumbo.







Introducción

En el mundo se producen aproximadamente cinco millones de toneladas de grano de cacao por año. Los mayores productores, Costa de Marfil y Ghana en África Oriental, aportan cerca del 60% de la producción mundial de cacao, seguidos por Ecuador, que produce el 9%. Alrededor de un tercio de la producción mundial de cacao se procesa en Europa: Holanda procesa cerca de 12% y Suiza, el 1%; en su mayoría, este cacao se importa de Ghana y Ecuador como granos de cacao, productos del procesamiento y chocolate (Organización Internacional del Cacao [ICCO, por sus siglas en inglés, 2024).

En América Latina y el Caribe, el cacao, además de ser un cultivo tradicional, es dinamizador de la economía de los principales países productores, gracias a su participación en la exportación mundial y a la alternativa que ofrece para la sustitución de cultivos de uso ilícito (Rodríguez, 2019).



En Colombia, el cacao se cultiva en 30 departamentos y en 422 municipios, a partir del modelo de **agricultura campesina, familiar, étnica y comunitaria (ACFEC)** (Cristancho-Pinilla et al., 2021; Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao], 2024). Se estima que alrededor de 65.341 familias rurales, entre pequeños y medianos productores, dependen de este sistema de producción, el cual genera aproximadamente 174.000 empleos directos e indirectos a lo largo del país, incluyendo regiones que enfrentan distintos conflictos sociales, como el desempleo, la pobreza, la violencia, la existencia de cultivos de uso ilícito y la presencia de grupos armados al margen de la ley. Esto ha convertido al cacao en uno de los cultivos prioritarios para ayudar a los programas de reconversión productiva del posconflicto (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021a).

A pesar de la tendencia creciente y sostenida del área sembrada en cacao en las últimas décadas en el país, aún persiste una amplia brecha tecnológica asociada a la baja **productividad** del cultivo. Así, entre 2014 y 2022 el área sembrada en cacao en Colombia pasó de 193.834 ha a 248.699 ha (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2023), mientras que el **rendimiento** promedio por hectárea no ha presentado variaciones significativas, el cual está cerca de 453 kg/ha/año (Fedecacao, 2022); esto es uno de los principales retos del sector. La distribución irregular de las precipitaciones (Asante et al., 2022), los altos costos de producción (Zabala et al., 2019), la ubicación de los cultivos de cacao en las zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC) (Cristancho-Pinilla et al., 2021), la falta de regulación del sombrío del cultivo (Somarriba et al., 2018), el establecimientos de variedades de cacao de baja productividad (Wessel & Quist-Wessel, 2015), los suelos ácidos de baja fertilidad y el uso inadecuado de fertilizantes que agravan esta situación (Goudsmit et al., 2023), las afectaciones fitosanitarias (Anzules et al., 2019) y las cosechas inoportunas (Montealegre Bustos et al., 2021) son algunos de los factores que causan el estancamiento de la productividad del subsector cacaotero.

Otro de los retos que enfrenta el sistema agroalimentario de cacao es el uso sostenible de los recursos naturales porque, entre otras cosas, propende al mejoramiento de las condiciones de vida para los cacaocultores y la conservación de bosques y biodiversidad en zonas de relevancia social (por ejemplo, cultivados en zonas de posconflicto) y ambiental; asimismo, garantiza la producción económica, ambiental y socialmente responsable (Pérez et al., 2019).

Glosario



Agricultura campesina, familiar, étnica y comunitaria (ACFEC): sistema de producción y organización gestionado y operado por mujeres, hombres, familias y comunidades campesinas, indígenas, negras, afrodescendientes, raizales y palenqueras, las cuales conviven en los territorios rurales del país. En este sistema, se desarrollan principalmente actividades de producción, transformación y comercialización de bienes y servicios agrícolas, pecuarios, pesqueros, acuícolas y silvícolas; que suelen complementarse con actividades no agropecuarias. Al menos el 50% de la mano de obra en la unidad productiva debe ser provista por el hogar o la comunidad étnica a la cual pertenece. El territorio y los actores que gestionan este sistema están estrechamente vinculados y co-evolucionan combinando funciones económicas, sociales, ecológicas, políticas y culturales (MADR, 2017, artículo 3).

Glosario



Productividad: es una medida empleada para determinar la eficiencia promedio en el uso de los recursos o factores de producción dentro de un sistema productivo.

Glosario



Rendimiento: es la medida del volumen de producción de un sistema agropecuario por unidad de área. Se considera un indicador parcial de la productividad de un sistema de producción.

En este contexto, el proyecto “Mejora de la sostenibilidad ambiental mediante implementación de tecnologías en el marco de la estrategia nacional para el cultivo del cacao”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y cofinanciado por el Fondo Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Acción Climática de Portugal, promovió la adopción de tecnologías para la gestión sostenible y eficiente de recursos naturales, especialmente del **suelo**, con el objetivo de mejorar la sostenibilidad y competitividad del cultivo de cacao en municipios con **Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET)** del departamento de Norte de Santander.

El manejo eficiente de la fertilización integrada es una práctica que mejora la competitividad y sostenibilidad de la producción de cacao, lo cual ayuda a reducir las brechas tecnológicas tanto en el ámbito productivo, como en el ambiental. Esta práctica busca promover la conservación del suelo como recurso no renovable, la adopción de prácticas sostenibles para la producción de alimentos con enfoque de mantenimiento de ecosistemas, la recuperación de suelos degradados y la adaptación al cambio climático.

Además, con su implementación se espera contribuir a la reducción de costos de producción, mejorar la calidad física, química y biológica del recurso suelo, y contribuir a la toma de decisiones informadas que respondan a la sostenibilidad económica y ambiental.

El cultivo de cacao en Norte de Santander se caracteriza por su desarrollo a pequeña escala. La producción se da en 25 de sus municipios, con mayor predominancia en Sardinata, Teorama, Tibú, El Tarra y Convención (UPRA, 2023); no obstante, estos presentan un bajo nivel de tecnificación. Respecto a la dimensión ambiental en el departamento, se registra un porcentaje de sobreutilización del suelo del 25,2%, situación que genera no solo la erosión de los suelos, sino también la pérdida de los nutrientes, la materia orgánica, la retención de humedad y la profundidad de los suelos; esto lleva a la disminución de la productividad (Gobernación de Norte de Santander, 2020). De acuerdo con lo anterior, es necesario contribuir al mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, mediante el uso de prácticas sostenibles que busquen el adecuado aprovechamiento de los recursos, la conservación de la biodiversidad y la recuperación de áreas degradadas.

Glosario



Suelo:

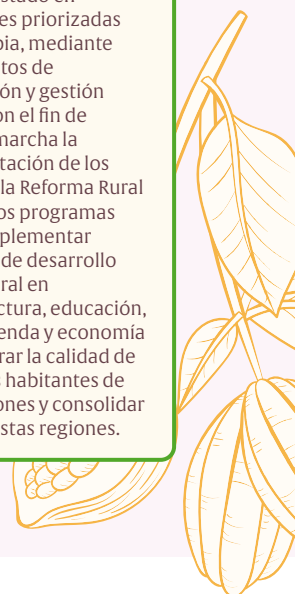
capa superficial de la corteza terrestre, compuesta por minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Es un recurso natural esencial y no renovable que proporciona soporte para el crecimiento de las plantas, regula el agua, almacena carbono y recicla nutrientes. Desempeña un papel fundamental en la producción de alimentos y en la sostenibilidad de los ecosistemas y de la vida.

Glosario



Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET):

programas que lleva a cabo el Estado en subregiones priorizadas de Colombia, mediante instrumentos de planificación y gestión creados con el fin de poner en marcha la implementación de los puntos de la Reforma Rural Integral. Los programas buscan implementar proyectos de desarrollo rural integral en infraestructura, educación, salud, vivienda y economía para mejorar la calidad de vida de los habitantes de estas regiones y consolidar la paz en estas regiones.



Teniendo en cuenta el potencial de producción cacaotero de la zona del Catatumbo, el propósito de este manual es presentar aspectos fundamentales sobre el cultivo de cacao y las propiedades del suelo, así como recomendaciones para implementar la fertilización integrada en el sistema productivo mediante la sensibilización en el manejo responsable de los nutrientes. Con esto se busca abogar por el manejo sostenible y resiliente de los sistemas productivos de cacao en la zona de estudio.

Para el correcto uso y aprovechamiento del presente manual, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones y recomendaciones:

- Es un material de referencia para productores, asistentes técnicos y extensionistas rurales; por lo tanto, presenta contenidos visuales y didácticos que pueden ser fácilmente incorporados en la toma de decisiones y en el manejo agronómico del cultivo.
- En el documento, se incluyen elementos teóricos y prácticos para entender el alcance y los beneficios de la implementación de la práctica de fertilización integrada en el sistema productivo, así como en la rentabilidad de la unidad productiva.
- Consta de tres capítulos, cada uno con una estructura definida que cubre las generalidades del cultivo de cacao, las bases teóricas de las propiedades del suelo y la nutrición del cultivo y el desarrollo práctico planteado en la zona de estudio. El desarrollo metodológico de este manual es una guía para el productor, la cual puede ajustarse a partir de la experiencia y las condiciones agroecológicas de cada una de las zonas productoras de la región del Catatumbo.



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
Área (ha)	112.805	137.507	172.397	216.141	103.336
Producción (t)	42.000	65.003	115.165	204.036	162.036
Rendimiento (t/ha ⁻¹)	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⁻¹ a 1,15 t/ha⁻¹ para 2020; sin embargo, para 2023, el rendimiento nacional reportado por la última evaluación agropecuaria (UPRA, 2023) fue de 0,595 t/ha⁻¹. 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.



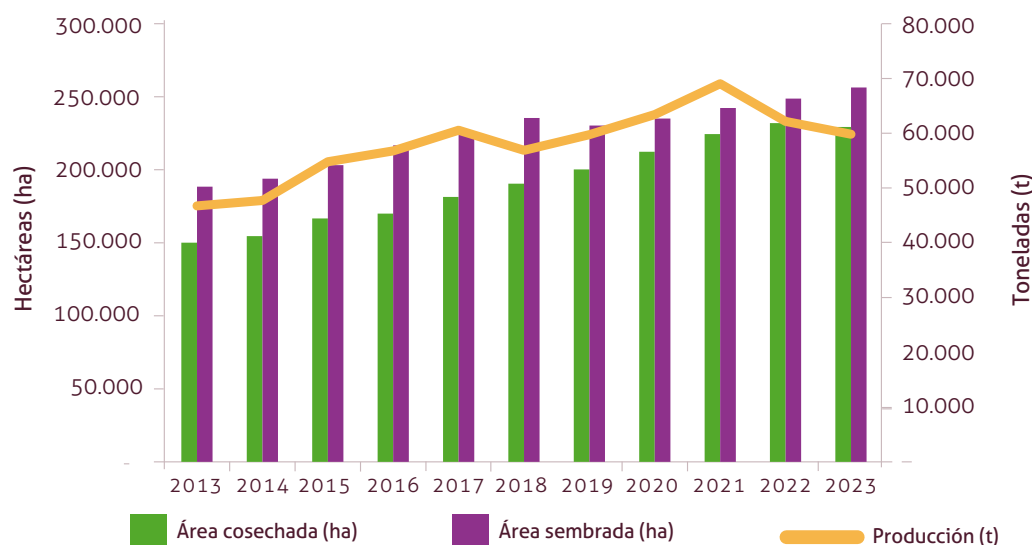


Figura 1. Producción de cacao, área sembrada y área cosechada de cacao en Colombia desde 2013 hasta 2023

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 sombrero, 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 [IIPRI, 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 sombrío (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 (Jaimes 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

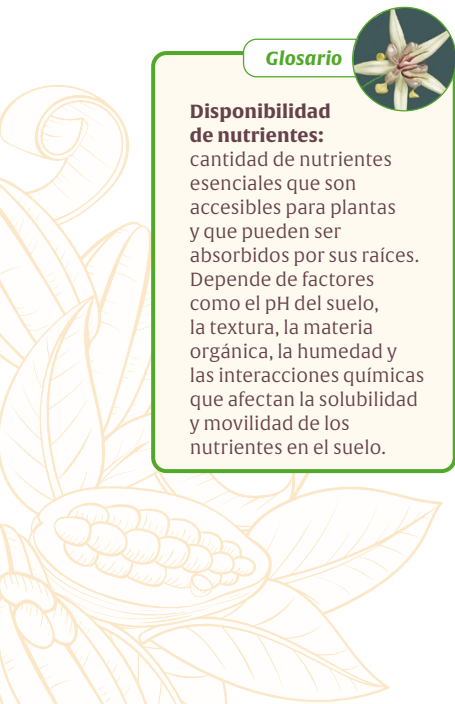
Las propiedades químicas se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas; entre estas, cabe resaltar: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable y conductividad eléctrica.

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 (Jaimes 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 CATIÓNICO

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 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ , Al^{3+} , NH_4^+ , 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 Al^{3+} (aluminio intercambiable) y 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 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 (CO_2 y 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 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).





Capítulo II



Fundamentos de la fertilización del cultivo de cacao

Como se mencionó en el capítulo anterior, la producción de cacao agotará gradualmente los nutrientes del suelo porque, aunque al comienzo tenga un alto contenido de nutrientes, a largo plazo se necesitarán nutrientes adicionales para mantener la productividad del cultivo (Van Vliet & Giller, 2017).

La fertilización es fundamental porque proporciona nutrientes a la planta mediante el uso de fertilizantes de origen orgánico o químico. Cuando se fertiliza el suelo, se busca mejorar su fertilidad, y así generar un incremento en la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Fedecacao, 2015).

Es común hacer referencia a los términos *fertilización* y *nutrición* como si fueran sinónimos, pero es importante aclarar que la primera es una práctica de aplicación de fertilizantes, ya sea al suelo o a la hoja (foliar). Después de fertilizar el suelo, este experimenta una serie de procesos imperceptibles, pero esenciales para que las plantas obtengan los nutrientes necesarios para su crecimiento, desarrollo y producción; este proceso se conoce como nutrición (Cardona & Bolaños-Benavides, 2019).

La nutrición del cultivo de cacao desempeña un papel esencial en el crecimiento y desarrollo de los árboles, además de tener un impacto directo en la productividad. Asimismo, se ha demostrado que la fertilización incrementa la floración, la producción de mazorcas, mitiga los abortos fisiológicos y, junto con un manejo integrado, disminuye la incidencia de enfermedades (Nelson et al., 2011).

La biofertilización o la asociación planta-microorganismos también es una alternativa para favorecer la nutrición de las plantas, mantener el equilibrio ecológico del agroecosistema, favorecer el incremento en el rendimiento del cultivo y reducir el uso de fertilizantes de origen sintético (Alarcón & Ferrera, 2000). Se han documentado los efectos benéficos de la inoculación de micorrizas arbusculares, en especial con micorrizas del género *Glomus* sp. en etapa de vivero en cacao. Los estudios no se limitan solo a esa etapa, abarcan también el sitio definitivo de siembra del árbol, lo cual reduce el porcentaje de mortalidad después del trasplante (Aguirre-Medina et al., 2007; Tuesta et al. 2017).

Nutrientes esenciales para el crecimiento, el desarrollo y la producción

Las plantas, al igual que otros seres vivos, necesitan nutrientes, agua y luz para su crecimiento, desarrollo y producción. La adecuada nutrición de las plantas involucra 17 elementos esenciales porque tienen un papel fundamental en las funciones bioquímicas y biológicas de las plantas. Sus necesidades nutricionales varían de acuerdo con el estado de desarrollo de la planta, en vivero, en los primeros años luego de su establecimiento, floración y producción.

Dentro de los elementos esenciales, el carbono (C), el oxígeno (O) y el hidrógeno (H) proceden de la atmósfera y el agua del suelo. Los catorce elementos restantes, que se dividen entre macronutrientes por requerirse en mayores cantidades: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), y micronutrientes por requerirse en pequeñas cantidades: hierro (Fe), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), Níquel (Ni) y cloro (Cl), se suministran a través de minerales del suelo y materia orgánica o mediante el uso de fertilizantes orgánicos o minerales (Kirkby, 2023; Uchida, 2000).



Estos elementos son esenciales porque tienen un papel importante en las funciones bioquímicas y en los procesos fisiológicos de las plantas; además, cuando están presentes en las cantidades adecuadas promueven su desarrollo potencial. Sus necesidades nutricionales varían de acuerdo con el estado de desarrollo de la planta, en vivero, en los primeros años luego de su establecimiento, floración y producción.

En la tabla 2 y en la figura 2, se recopilan algunas investigaciones que han permitido aproximarse al entendimiento de la participación de cada uno de los nutrientes en la formación y el mantenimiento de los diferentes órganos del árbol de cacao (De Araujo et al, 2017; Furcal-Beriguete, 2017; Leiva et al., 2017; Puentes-Páramo et al., 2014). No obstante, sus requerimientos en la planta demandan la integración de diferentes factores como genotipo, características edafoclimáticas, prácticas agrícolas, sombrero, etcétera.

Tabla 2. Función fisiológica e importancia de los elementos mayores en el crecimiento y desarrollo del cultivo de cacao

Elementos mayores	Función en el árbol de cacao
Nitrógeno (N)	Es esencial para el crecimiento y desarrollo vegetativo de los árboles. Dirige el desarrollo de las ramas y hojas, y es el elemento con mayor traslocación al grano de cacao en etapa de fructificación (Puentes-Páramo et al., 2014).
Fósforo (P)	Es fundamental para el desarrollo de raíces, el tejido lignificado (madera) y la floración. En interacción con N, tiene relación directa con el rendimiento del cultivo: a mayor N/P, mayor rendimiento. Los valores bajos de P en suelo pueden disminuir la respuesta de N aplicado (Puentes-Páramo et al., 2016; Wessel, 1971).
Potasio (K)	Es importante para el desarrollo y la maduración de las mazorcas de cacao. Es el nutriente de mayor acumulación en la planta y en los frutos, por lo que su calidad depende principalmente de su aporte al suelo (Furcal-Beriguete, 2017). La deficiencia de K genera alta susceptibilidad al déficit hídrico, por relacionarse directamente con el potencial hídrico de la planta.
Calcio (Ca)	Es esencial para el desarrollo y vigor del tallo, las raíces jóvenes, las ramas y las flores terminales, así como para el incremento de vida útil de los frutos luego de ser cosechados. El alto contenido de Ca en suelo puede incrementar la concentración foliar de Ca, Fe, Zn, y Mg, pero también disminuir otros nutrientes como N, Mn y Na (Malavolta et al., 1997).
Magnesio (Mg)	Es primordial para la fotosíntesis. Particularmente en el cacao, una deficiencia de Mg por un periodo prolongado puede causar defoliación del árbol (Chepote et al., 2013).
Azufre (S)	Mejora la respuesta de los árboles de cacao a enfermedades primarias y la productividad de los cultivos (López Núñez & Saldarriaga Lucas, 2018). Por lo general, los fertilizantes de macronutriente de origen sintéticos para cacao contienen azufre.
Fuente: Elaboración propia	

Glosario



Traslocación:

proceso de transporte de nutrientes absorbidos por las raíces, a través del xilema y floema, hacia hojas, tallos y frutos; esto permite el crecimiento, la fotosíntesis y el metabolismo.

El contenido y la disponibilidad de micronutrientes en suelo están determinados por los procesos de meteorización, la estabilidad de los minerales parentales y las propiedades electroquímicas del suelo (Oktaviani et al., 2019). A pesar de ser requerido en pequeñas cantidades, los micronutrientes son esenciales para el metabolismo de las plantas. En la tabla 3 y la figura 2, se detallan la función fisiológica y la importancia de algunos microelementos.

Tabla 3. Función fisiológica e importancia de los elementos menores en el crecimiento y desarrollo del cultivo de cacao

Elementos menores	Función en el árbol de cacao
Boro (B)	Es esencial para mejorar el rendimiento del cultivo al aumentar la emisión floral y el número de cherelles por árbol, y al disminuir la presencia de frutos deformes; asimismo, aumenta el tamaño del grano y reduce los efectos de la pudrición parda de la mazorca (<i>Phytophthora</i> sp.), lo cual incrementa el número de mazorcas sanas (Kouadio et al., 2017; Lachenaud, 1995).
Zinc (Zn)	Es esencial para la actividad enzimática, ya que impacta en el crecimiento de las plántulas en vivero y en la acumulación de otros elementos a nivel foliar, como P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn y Cu (Cruz Neto et al., 2015).
Hierro (Fe)	Es fundamental para los procesos metabólicos, la respiración y la fotosíntesis; por lo tanto, la deficiencia de Fe conduce a un menor rendimiento del cultivo (Baligar et al., 2015). Aunque en Norte de Santander su contenido en suelo es muy alto, su disponibilidad para las plantas depende de la aireación y del pH ácido del suelo.
Cobre (Cu)	Es esencial para la regulación de proteínas, el transporte de electrones en la fotosíntesis y es regulador del metabolismo de la pared celular (Oktaviani et al., 2019).
Manganeso (Mn)	Controla procesos metabólicos como la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de aminoácidos (Yomso & Baharli, 2021).
Fuente: Elaboración propia	

Importancia del análisis del suelo para la fertilización eficiente

Dadas las características de los suelos de Norte de Santander, es indispensable reconocer la importancia del análisis de suelos para obtener una mayor eficacia en el proceso de fertilización y un mayor rendimiento en las plantaciones de cacao.

Para elaborar un plan eficiente de fertilización integrada, se debe conocer la concentración de nutrientes en el suelo rápidamente asimilables por el cultivo de cacao a través de un análisis físico y químico del suelo, que es la herramienta fundamental para evaluar y diagnosticar la fertilidad de este.

El análisis de fertilidad química completo proporciona información crucial para mejorar la calidad del suelo. Conocer la cantidad precisa de nutrientes presentes en el suelo permite a los asistentes técnicos ajustar fácilmente el plan de fertilización, de acuerdo con estos valores y con los requerimientos nutricionales específicos del cultivo. Para llevarlo a cabo, es importante saber cómo tomar de manera correcta la muestra del suelo que se enviará al laboratorio. En la figura 3, se describe el procedimiento para realizar la toma de muestra para el análisis químico del suelo.



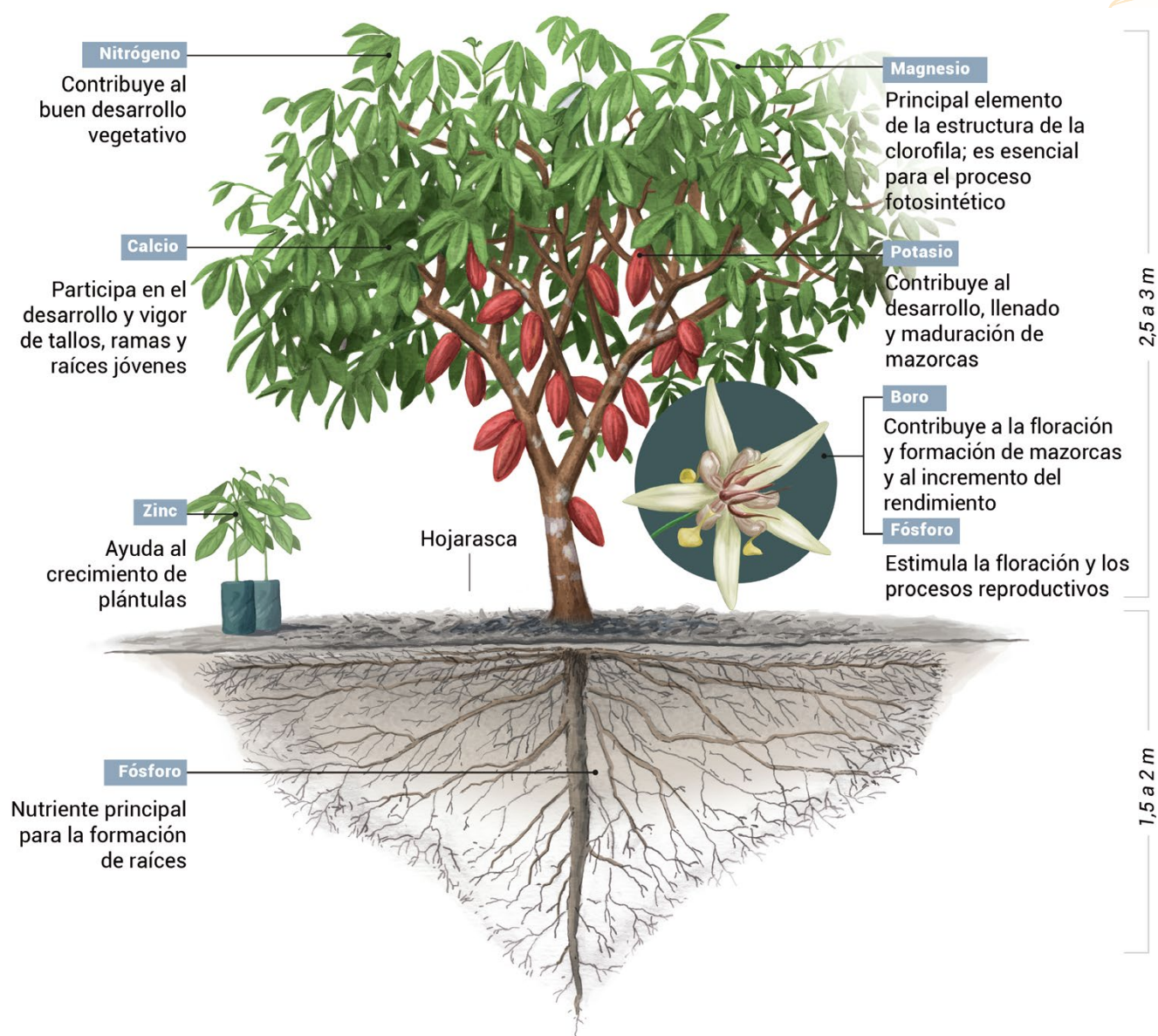


Figura 2. Distribución y función de elementos minerales en el árbol de cacao

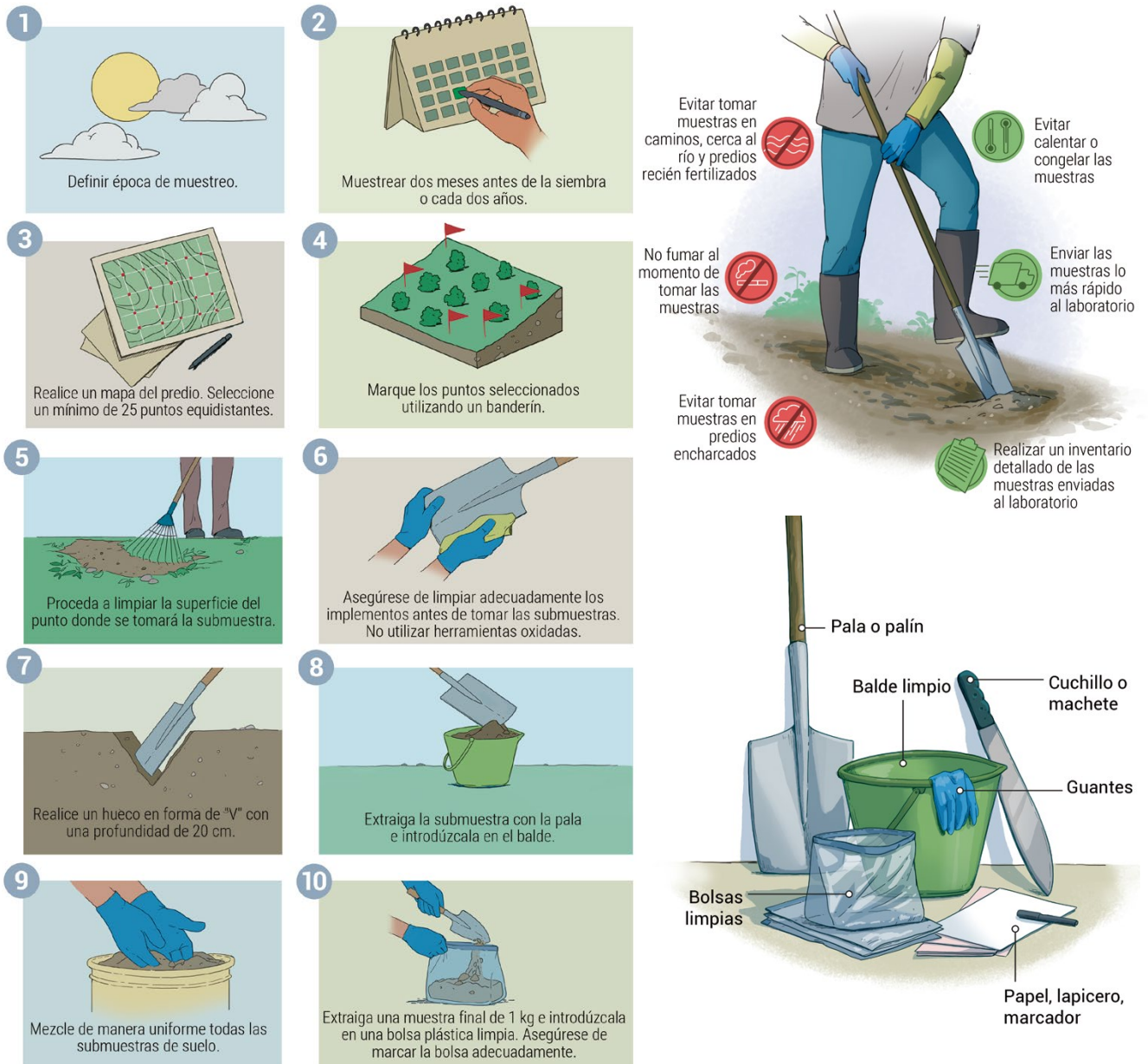


Figura 3. Decálogo de toma de muestra de suelos para análisis químico.

Un plan de fertilización eficiente, basado en los resultados del análisis de fertilidad del suelo, debe tener en cuenta la etapa fenológica en la que se encuentre el cultivo de cacao, así como los nutrientes requeridos en cada etapa de desarrollo del cultivo. Después de elaborar el plan de fertilización integrada, es importante compartirlo y discutirlo con el cacaocultor, ya que él es la persona que mejor conoce el crecimiento y desarrollo del cultivo en su área, y el potencial máximo de producción. Esto permite realizar los ajustes que ambas partes consideren pertinentes. La colaboración entre un profesional o técnico agropecuario y el cacaocultor es fundamental para adaptar el plan de fertilización a las condiciones específicas del cultivo y garantizar su eficacia.



Información

complementaria:

¡Antes de sembrar, el suelo debe analizarse!



Importante:

Si se desconocen uno o más de los criterios mencionados, no será posible establecer un plan eficiente de fertilización integrada, ya que no se tendrá certeza sobre la cantidad de nutrientes que se debe aplicar ni la frecuencia adecuada. Cuando esto ocurre, no se puede hablar de este concepto, sino de una práctica de fertilización sin criterio técnico y poco efectiva. Es probable que se apliquen dosis excesivas o insuficientes de nutrientes para el cultivo de cacao, lo cual puede aumentar los costos de producción y afectar la calidad física y química de las almendras de cacao.

Criterios para implementar la práctica de fertilización

Con el fin de realizar una buena práctica de fertilización, es fundamental tener en cuenta los cuatro principios (4R) esenciales para garantizar un “manejo responsable de nutrientes” (figura 4). Los 4R que ha desarrollado el Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI, por sus siglas en inglés, 2013) se basan en la aplicación del insumo correcto, en la cantidad, el lugar y el tiempo adecuados.

Estos principios son más claros si se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Qué voy a aplicar? A partir del diagnóstico de las características y los contenidos de nutrientes en suelo, y de las necesidades del cultivo, será posible identificar la fuente correcta para fertilizar, la cual puede ser de origen orgánico o químico.
- ¿Cuánto voy a aplicar? La dosis correcta se evaluará a partir de la oferta de nutrientes en suelo y la demanda de nutrientes por el cultivo. Con los resultados de un análisis de fertilidad de suelo de su terreno y conociendo la demanda nutricional del número de plantas en su terreno, se podrá calcular la cantidad de fertilizante necesario por planta.

Glosario
Fraccionamiento de la fertilización:

consiste en aplicar los nutrientes esenciales para las plantas en múltiples dosis de fertilizantes a lo largo del ciclo fenológico del cultivo, en lugar de hacerlo en una única aplicación. Esta práctica mejora la eficiencia en la absorción de nutrientes, minimiza las pérdidas de fertilizantes por lixiviación (lavado) o volatilización (pérdida hacia la atmósfera) y se adapta a las necesidades específicas de la planta en cada etapa de su desarrollo; de esta manera, se optimiza el rendimiento y se reduce el impacto ambiental.

- ¿Cuándo lo voy a aplicar? El momento oportuno de aplicación se basará en la mejor respuesta de absorción de los nutrientes durante la etapa vegetativa, reproductiva y productiva del cultivo de cacao y en el **fraccionamiento de la fertilización**.
- ¿Dónde lo voy a aplicar? El lugar correcto para la aplicación de fertilizantes dependerá del patrón de distribución de las raíces de la planta y de la variabilidad espacial del terreno; así, se podrá escoger una fertilización al voleo, incorporada, en banda, arriba de la pendiente, etcétera.

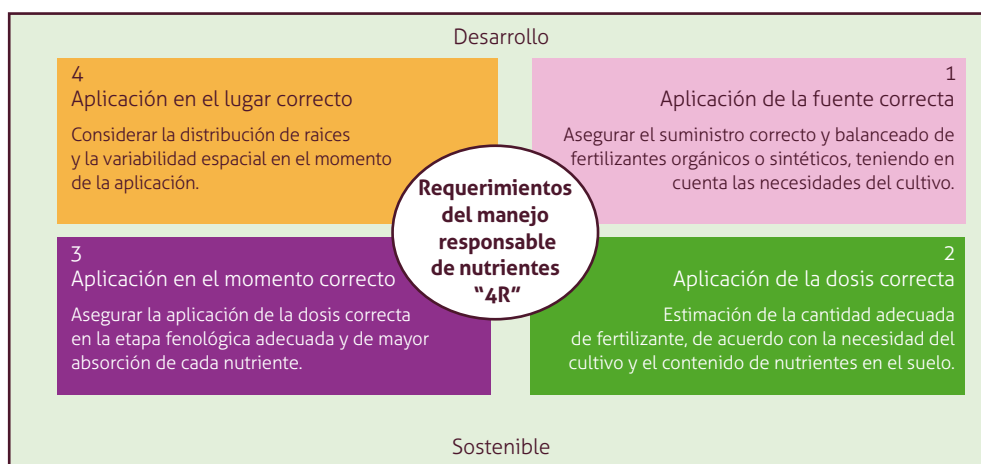


Figura 4. Criterios para el manejo responsable de nutrientes.

Fuente: Elaboración propia, a partir de IPNI (2013)

Si los agricultores adoptan las 4R podrán manejar correctamente la nutrición de las plantas y aumentar su producción por unidad de área; además, considerarán las interrelaciones entre la dimensión económica, social y ambiental en las cuales se enmarca la práctica de fertilización (Cardona & Bolaños-Benavides, 2019; IPNI, 2013).

Es importante no darle prioridad a un principio en detrimento de los otros, ya que cada actividad desarrollada dentro del manejo de la fertilización de cualquier sistema productivo afecta el desempeño del sistema. Es probable que los cacaocultores se centren más en la dosis, que representa la cantidad de fertilizante aplicado y que está estrechamente relacionada con los costos de producción, y que den menor importancia al momento, la fuente y el lugar correcto de la aplicación. Esto tiene un impacto negativo en la eficiencia de la fertilización, cuyo objetivo es mejorar la nutrición de las plantas cultivadas (Cardona & Bolaños-Benavides, 2019).



También es importante aclarar que este manual no pretende generar una única recomendación de fertilización que pueda aplicarse en cada cultivo de cacao; por el contrario, se busca dar las herramientas necesarias para que los productores, asistentes técnicos y profesionales formulen planes eficientes de fertilización integrada para cultivos de cacao, teniendo en cuenta la fertilidad actual del suelo en la región del Catatumbo y las fuentes comerciales disponibles en la zona.

Fertilización del cultivo de cacao

El cacao es una especie vegetal que demanda un suministro equilibrado de N, P, K, Ca y Mg para asegurar una producción sostenible (Kihara et al., 2017). En general, los productores cacaoteros del país realizan procesos de fertilización de manera empírica, sin considerar los requerimientos nutricionales de la planta, su estado fenológico o la concentración de nutrientes en el suelo. Lo anterior tiende a incrementar la brecha tecnológica que existe entre los resultados obtenidos en cultivos experimentales o en zonas con alto rendimiento y el rendimiento promedio nacional del cultivo de cacao.

Algunas recomendaciones científicas internacionales recopilan cinco métodos diferentes para calcular la dosis de fertilización en un cultivo de cacao (Van Vliet & Giller, 2017).

1. La identificación visual de los síntomas de deficiencia de diversos nutrientes, centrándose en la decoloración de las hojas (Loué, 1961). No obstante, se debe tener precaución al utilizar este método, porque en campo el cultivo de cacao puede exhibir múltiples síntomas de deficiencias, los cuales pueden ser confundidos con síntomas causados por temperaturas extremas, enfermedades, entre otros (Wichmann, 1992).
2. El balance de nutrientes. Esto significa que los nutrientes adicionados a través de fertilizantes deben reemplazar los nutrientes que salen del sistema y los que son inmovilizados por el árbol de cacao. Para utilizar este método, se requiere información sobre los rendimientos previstos (Goh, 2005; Snoeck et al., 2016). Sin embargo, este método presenta diversas limitaciones, ya que no toma en cuenta la variabilidad en la disponibilidad de nutrientes a nivel edáfico, la cual está influenciada por factores como el clima, el tipo de suelo, las prácticas de manejo y la genética del cultivo (Van Vliet & Giller, 2017).

- 3. El uso del análisis químico del suelo, partiendo de la premisa de que un cultivo de cacao requiere una cantidad específica de nutrientes disponibles a nivel edáfico para alcanzar un rendimiento óptimo. Souza Júnior et al. (2018) establecieron los niveles críticos del suelo para el cultivo de cacao; sin embargo, en ocasiones los resultados del análisis químico del suelo suelen interpretarse de manera independiente para cada nutriente, por lo que es importante recordar que los nutrientes interactúan entre sí en la producción de cacao. En este sentido, la respuesta de un nutriente específico solo se producirá si no se limitan otros (Anderson & Nelson, 1975; Kamprath et al., 1956; Johnston, 2005).
- 4. El uso del análisis químico de hojas, el cual ofrece información directa sobre el estado nutricional de la planta y la correlación que estos nutrientes tienen con los rendimientos. El estado nutricional de las plantas es el resultado de la interacción entre los factores suelo, planta, clima y manejo del cultivo. Algunos autores argumentan que el principal problema de utilizar este método es que el contenido nutricional de las hojas de cacao depende de la edad y del desarrollo de nuevas hojas, la producción de mazorcas, la intensidad de la luz, entre otros (Van Vliet & Giller, 2017.) Respecto a lo anterior, se determinó que el porcentaje de N en las hojas de cacao, con base en el peso seco, disminuye durante las primeras semanas, alcanza su valor máximo después de ocho a nueve semanas y luego disminuye nuevamente. Además, el porcentaje de P se reduce, mientras que el de Ca incrementa con la edad de la hoja (Wessel, 1971). Otros autores han propuesto rangos de valores críticos para la interpretación del resultado del análisis de nutrientes en las hojas de cacao (tabla 4).

Tabla 4. Rangos de valores críticos para la interpretación de los resultados del análisis de nutrientes en hojas de cacao

Macronutrientes (g/kg)						
Autores	N	P	K	Ca	Mg	S
Puentes-Páramo (2016)	16,1-18,3	1,2-1,9	9,1-12,7	16,9-24,5	4,4-7,1	2,0-2,3
Sodré (2002)	23,4-24	2,1-2,2	16,5-17,1	8,3-9,0	4,3-4,5	
Malavolta et al. (1997)	19-23	1,5-1,8	17,0-20,0	9,0-12,0	4,0-7,0	1,7-2,0
Abreu (1996)	17,7-21,9	0,9-1,2	3,8-12,5	16,7-22,2	6,4-9,0	1,4-2,0
Micronutrientes (mg/kg)						
Autores	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Puentes-Páramo (2016)	24,9-39,0	15,9-73,0	195-346	354-547	34-62	
Sodré (2002)		38,9-44,0	62,7-83,4	194,2-226,4	115,9-129,7	
Malavolta et al. (1997)	30,0-40,0	10,0-15,0	150-200	150-200	50,0-70,0	
Abreu (1996)		6,0-8,7	33,0-64,0	242-435	32-75	
Fuente: Elaboración propia						





5. El desarrollo de experimentos en campo que permitan evaluar la respuesta a la fertilización. En estos, se evalúan distintas dosis y fuentes de fertilizantes durante al menos tres periodos de cosecha para el cultivo de cacao, con el objetivo de determinar una dosis óptima que incremente los rendimientos y genere los mejores beneficios económicos. Según Snoeck et al. (2016), este método es el más utilizado para formular recomendaciones de dosis de fertilización para el cultivo de cacao. Sin embargo, con este método la validez de las dosis evaluadas será solo bajo las condiciones edáficas y climáticas donde se desarrolle la evaluación, y solo podrá extrapolarse de manera más amplia cuando se complemente con el análisis químico de suelos y foliar.

A nivel mundial, existen diferentes recomendaciones de fertilización para el cultivo de cacao utilizando fuentes químicas. En Nigeria, Wessel (1971) dio una recomendación basada en los resultados de análisis químicos de suelos y tejido foliar, y propuso la fertilización del cacao amelonado con 135 kg ha^{-1} de N y $58,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 (ácido fosfórico). Por su parte, Appiah et al. (2000) sugirieron que para alcanzar un rendimiento superior a los 280 kg ha^{-1} anuales en plantaciones híbridas de cacao en Ghana (África), es crucial aplicar 129 kg ha^{-1} de P_2O_5 y $76,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O (cloruro de potasio). En Costa de Marfil, Goudsmit et al. (2023) señalaron que para lograr una producción superior a los 2 kg de cacao seco por árbol, se recomienda la aplicación de 210 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (nitrato de calcio), 75 g de P_2O_5 y 150 g de K_2SO_4 (sulfato de potasio). En Venezuela, Sánchez et al. (2005) indicaron que para lograr una producción de 1,6 kg por árbol en plantaciones híbridas, se recomienda la aplicación de 184 g de N, 140 g de P_2O_5 y 160 (g) de K_2O . En Panamá, Villalaz-Pérez et al. (2022) propusieron para el clon CCN-51 la aplicación de 123 kg ha^{-1} de N, 14 kg ha^{-1} de P_2O_5 , kg ha^{-1} de K_2O , 20 kg ha^{-1} de CaO (cal viva) y 49 kg ha^{-1} de MgO (óxido de magnesio o cal dolomita).

En el ámbito global, también existen diversas recomendaciones de fertilización para el cultivo de cacao empleando fuentes orgánicas. En México, Triano-Sánchez et al. (2016) indicaron que para mejorar las propiedades químicas del suelo destinado al cultivo de cacao, se aconseja aplicar 4 kg de cachaza vermicompostada, enterrándola alrededor del árbol. En Indonesia, Sinaga et al. (2023) lograron aumentar en plantaciones híbridas el número de mazorcas por árbol y mejorar las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo mediante la aplicación de 10 t/ha^{-1} de cabrinaza. En Ghana, Dogbatse et al. (2021) recomendaron la aplicación de 27 t/ha^{-1} de gallinaza para mejorar la absorción de nutrientes y engrosar el tallo de las plántulas de cacao en su fase de desarrollo. En Papúa Nueva Guinea, Fidelis y Rajashekhar (2017) mencionan que para incrementar los rendimientos en el cultivo de cacao, se recomienda la aplicación de abonos orgánicos elaborados a partir de cáscaras de cacao y gallinaza.

Además de las recomendaciones de fertilización mencionadas, existen otras sugerencias para fertilizar el cultivo de cacao mediante el uso de fuentes combinadas (químicas y orgánicas); estas han sido formuladas teniendo en cuenta variables como la edad de las plantas, la densidad de sombrero, las regiones de producción y las condiciones edafoclimáticas (Snoeck et al., 2016; Van Vliet & Giller, 2017).

En Colombia, las recomendaciones de fertilización para el cultivo de cacao son aún más limitadas (tabla 5); se desconocen los requerimientos nutricionales específicos para cada una de las variedades comerciales con registro ICA en la zona de estudio (Norte de Santander). Esto impide definir con precisión la dosis, la fuente, el momento y el lugar adecuados para la aplicación de los fertilizantes, considerando factores como la edad de la plantación y el grado de sombrero. En la tabla 5, se presentan algunas recomendaciones generales de fertilización para cultivos de cacao en los departamentos de Magdalena, Santander, Caldas, Cauca y Nariño.

Tabla 5. Algunas recomendaciones de fertilización para el cultivo de cacao en Colombia

Autor	Departamento	Dosis (kg/ha)						Rendimiento (kg/ha)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	
Quiroz et al. (1981) ¹	Magdalena	45,5	91	14	-	-	-	1.077
		42	21	77	-	7	-	1.020
Uribe et al. (1998) ²	Santander	150	90	200	-	-	-	1.160
Mejía (1999) ³		90	90	100	-	-	40	1.130
Mejía & Palencia (1999) ⁴		80	150	100	-	-	-	511 ^{4a}
		120	90	160	-	-	-	667 ^{4b}
Ruales-Mora et al. (2011) ⁵	Caldas	179	24	216	109	72	77	2.910 ^{5a} 2.486 ^{5b}
		90	12	108	55	36	28	1728 ^{5c}
		-	-	16	-	7	12	1.267 ^{5d} 2.851 ^{5e}
Puentes-Páramo et al. (2014a) ⁶	Cauca	61	29	183	-	-	-	2.020 ^{6a}
		73	35	220	-	-	-	1.337 ^{6b} 1.340 ^{6c} 1.634 ^{6d}
Ballesteros et al. (2022) ⁷	Nariño	98	126	89	1	5	-	828 ^{7a} 2.250 ^{7b}
		49	63	44,5	0,5	2,5	-	2.046 ^{7c}
Nota: Materiales evaluados: 1, 2, 3, 4, 5a híbridas / 5b, 6c TSH5 / 565-c CAP5 / 34-d ICS5 / 60-e, 6a, 7c CCN6 / 51-b ICS6 / 95-d ICS7 / 39-a CCL7 / 1b CCL2								
Fuente: Elaboración propia								





Es importante tener en cuenta que la extracción de nutrientes en el cultivo de cacao es diferente en cada etapa fenológica (ver figura 5); por lo tanto, el momento y la dosis recomendados para aplicar los nutrientes dependerán de cada etapa de desarrollo (Snoeck et al., 2016). Por ejemplo, la extracción de nutrientes se incrementa rápidamente durante los primeros cinco años después de la siembra, hasta que finalice el desarrollo vegetativo; a partir de esa etapa, los nutrientes se translocan para dar lugar a la floración y fructificación (Calvo Romero, 2018).

En la fase de vivero, la fertilización se realiza después de la apertura del cotiledón; luego a los 45 días, cuando la planta haya soltado el cotiledón, y nuevamente a los 90 días, cuando la planta esté lista para injertar. Antes del trasplante del material injertado a campo en suelos fuertes a extremadamente ácidos ($\text{pH} < 5,5$), se recomienda realizar la práctica de encalado 60 días antes de trasplantar en campo las plántulas para neutralizar parcialmente la acidez intercambiable o el aluminio intercambiable. Esto permite incrementar y regular la disponibilidad de fósforo y molibdeno, así como de calcio y magnesio. En la fase de crecimiento, se aconseja fraccionar la fertilización para un mejor aprovechamiento del abono aplicado. Por esta razón, aplicar la dosis correcta de nutrientes cuatro veces al año es una alternativa adecuada para cubrir los requerimientos nutricionales del cultivo durante sus etapas principales. La primera aplicación se realiza al finalizar el pico de cosecha de fin de año, entre enero y febrero; la segunda, aproximadamente tres meses después, que coincide con temporada de altas precipitaciones (lluvias) y la floración de la cosecha principal; la tercera se lleva a cabo al finalizar el pico de producción entre julio y agosto, y la cuarta, en la segunda época de altas precipitaciones y floración pequeña o segundo pico de cosecha. En la etapa de producción, Chepote et al. (2013) sugieren que la aplicación de nutrientes se haga al menos dos veces al año, y que coincida con el inicio del periodo de altas precipitaciones. Otros autores, como Snoeck et al. (2016), proponen que se realice cuatro veces al año para garantizar una mayor eficiencia en la práctica de fertilización. Además, destacan la importancia de que las dos primeras aplicaciones de nitrógeno vayan acompañadas de otros nutrientes, como potasio, calcio, magnesio y boro. Asimismo, indican que, debido a la baja movilidad del fósforo en el suelo, este nutriente debe ser aplicado una sola vez.

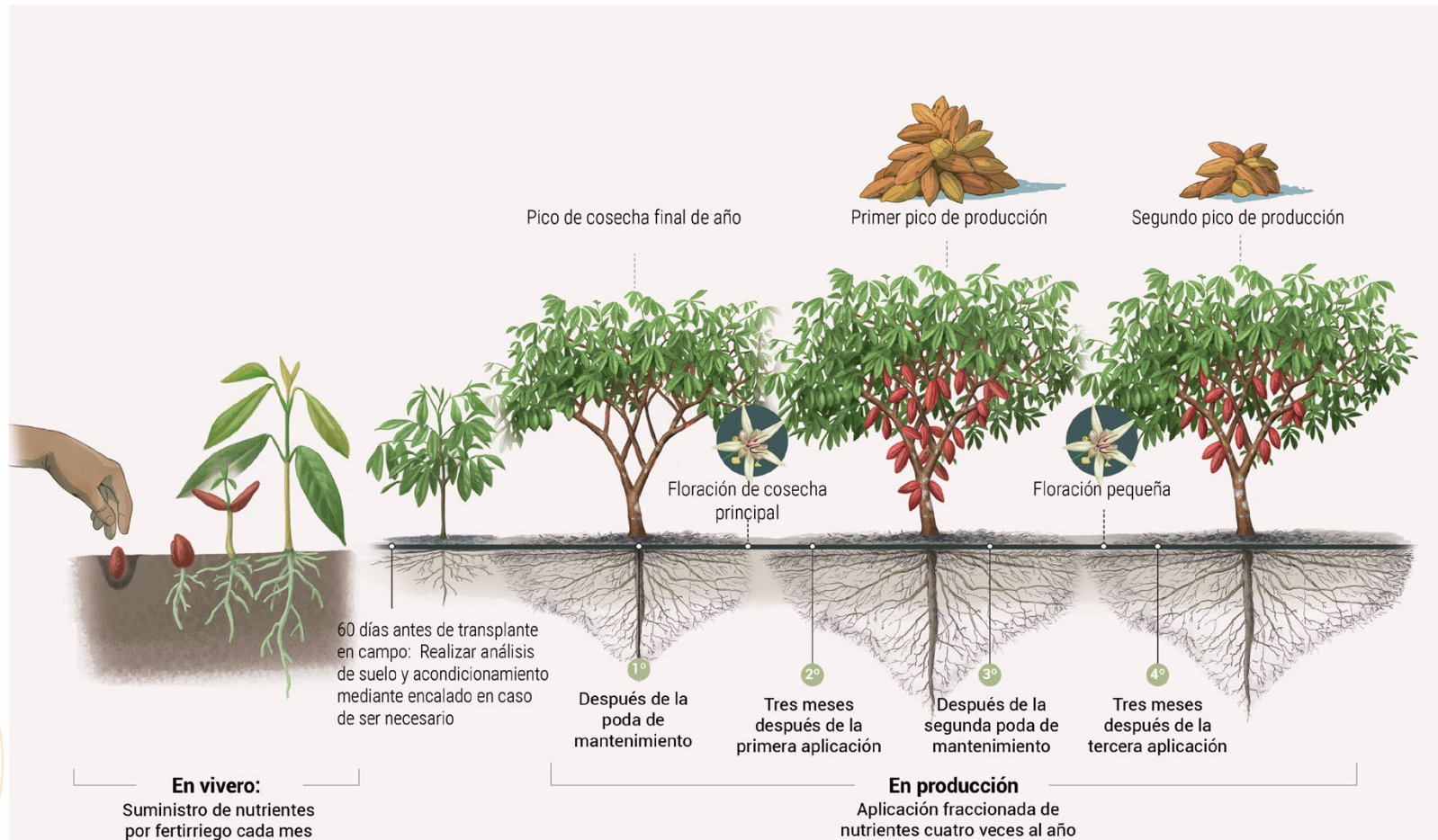


Figura 5. Momento de fertilización integrada de acuerdo con la fenología del cacao.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Chepote et al. (2013)



Es común que los costos asociados a la fertilización en el cultivo de cacao sean elevados. Por esta razón, Jadin (1975) sugiere que el lugar para aplicar los fertilizantes tenga forma de corona alrededor de la base del tronco y localizar la gotera del árbol en terreno con topografía plana, ya que es el sitio donde se encuentra la mayoría de las raíces. Autores como Snoeck et al. (2016) sugieren que en plantaciones comerciales de cacao establecidas en estas mismas condiciones topográficas, el fertilizante se aplique en los callejones, en una banda de 0,80 m en medio de los surcos de las plantas de cacao, las cuales están sembradas a una distancia de 3 x 3 m. Además, estos autores recomiendan que después de sembrar en campo las plantas de cacao, la aplicación de los fertilizantes se haga cuatro semanas después. También se sugiere que la aplicación de fuentes volátiles como la urea (46 – 0 – 0) en plantaciones en producción se realice debajo de la hojarasca.

Características del suelo en la zona productora de Norte de Santander

Con el propósito de tener una primera impresión de la fertilidad de suelos cultivados con cacao en los municipios productores del departamento de Norte de Santander, a través del proyecto “Mejora de la sostenibilidad ambiental mediante implementación de tecnologías en el marco de la estrategia nacional para el cultivo de cacao” se realizó una caracterización física y química del suelo en los municipios de Sardinata, Teorama, Convención y Tibú (figura 6) para brindar información base respecto a las recomendaciones de manejo sostenible de la fertilidad del suelo.

De esta manera, se determinó la fertilidad de 130 muestras de suelo cultivado con cacao distribuidas en los cuatro municipios (figura 6). Los resultados de los análisis de fertilidad del suelo mostraron clases texturales muy variadas. Los suelos muestreados en Convención, Sardinata y Teorama presentaron texturas de arcillosas a francas en su mayoría, mientras que en Tibú se encontraron diez clases texturales, desde arcillosas, hasta francas y arenosas. Las texturas franca, franca arenosa, franca arcillosa y franca arcillo-arenosa fueron las que más se encontraron en los suelos muestreados (tabla 6). Esta tendencia textural franca asegura uniformidad en la retención de agua en el suelo y la circulación de aire, por lo cual el crecimiento de los cultivos en este tipo de texturas no se vería limitado. El municipio de Convención se destaca por tener un paisaje de montaña, donde los factores formadores de suelo como el clima, el material parental y la pendiente constituyen los parámetros sobre los cuales se establece la relación paisaje-suelo; esto da como resultado suelos con

presencia de fragmentos de roca superficial, fertilidad natural baja y grupos texturales finos, y en algunos casos susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa (Castellanos González et al., 2021).

Figura 6. Distribución de las muestras de suelo analizadas en los municipios de Sardinata, Teorama, Convención y Tibú.

Fuente: Luis Gabriel Bautista-Montealegre, a partir de cartografía base del IGAC y datos del proyecto “Mejora de la sostenibilidad ambiental mediante implementación de tecnologías en el marco de la estrategia nacional para el cultivo de cacao”.

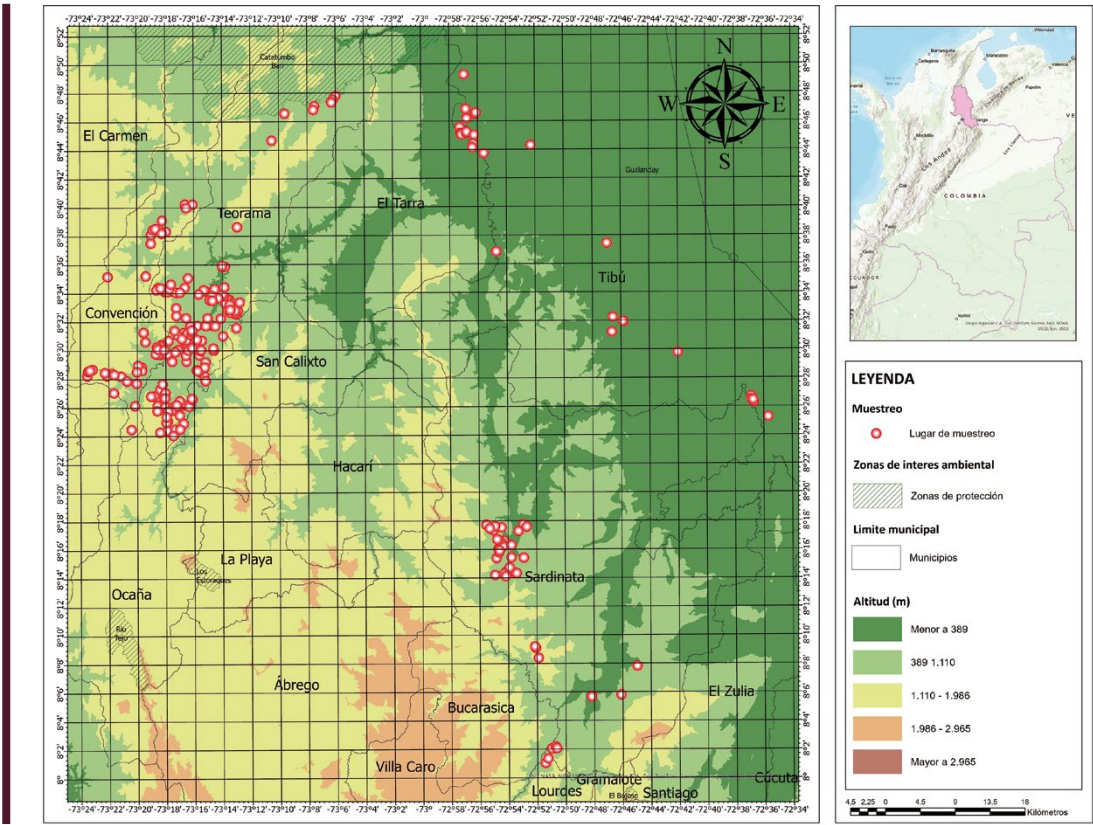


Tabla 6. Distribución de las clases texturales de los suelos analizados por cada municipio

Clase textural	Porcentaje de distribución de clases texturales en los municipios muestreados			
	Convención	Sardinata	Teorama	Tibú
Ar (arcillosa)	11%	3%	20%	4%
Ar-A (arcillo-arenosa)	4%		1%	2%
Ar-L (arcillo-limosa)	2%			
F (franca)	18%	10%	8%	16%
F-A (franca arenosa)	7%	46%	8%	18%
F-Ar (franca arcillosa)	38%	6%	47%	11%
F-Ar-A (franca arcillo-arenosa)	20%	34%	16%	31%
F-L (franca limosa)				7%
F-Ar-L (franca arcillo-limosa)				5%
A (arenosa)				4%
A-F (arenosa franca)				2%

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los valores de pH que determinan la acidez o alcalinidad de los suelos muestreados, en la tabla 7 se muestra la mayor frecuencia en rangos de 4,5 a 5,5, por lo cual se consideran suelos ácidos y extremadamente ácidos, probablemente determinados por procesos edafogenéticos e intensos procesos de lixiviación a causa de niveles altos de pluviosidad. La fuerte acidez de estos suelos podría relacionarse con altos contenidos de aluminio (Al^{3+}) y magnesio (Mn^{2+}), alta retención de fósforo (P) asociada al predominio de óxidos de hierro (Fe^{3+}) y aluminio (Al^{3+}), y liberación de hidrogeniones (H^+) por las raíces, debido a la absorción de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^+), y por ende procesos de descomposición de materia orgánica (MO), la cual tiende a liberar ácidos orgánicos.

Tabla 7. Análisis químico de los suelos cultivados con cacao en los municipios de Convención, Sardinata, Teorama y Tibú

Parámetros químicos del suelo	Unidad	Valor promedio ± sd	Categorías			
			No apta	Marginalmente apta	Moderadamente apta	Supremamente apta
pH		5,27 ± 0,04	> 7,5 y < 5	6,0-7,5		5,0-6,0
Materia orgánica (mo)	g/100g	2,17 ± 0,05	< 3,0	3,0-6,0		> 6
Fósforo (P) (Bray II)	mg/kg	10,18 ± 0,80	< 6,0	6,0-15		> 15
Boro (B)	mg/kg	0,21 ± 0,01	< 0,16 y > 0,90	0,16-0,90		
Calcio (Ca)	cmol ⁽⁺⁾ /kg	3,78 ± 0,24	< 3,5 y > 12,0	4,0-12,0		3,5-4,0
Magnesio (Mg)	cmol ⁽⁺⁾ /kg	1,10 ± 0,09	<0,8	0,8-4,4		> 4,4
Potasio (K)	cmol ⁽⁺⁾ /kg	0,22 ± 0,01	< 0,15	0,15-0,4		> 0,4
Hierro (Fe) (Olsen)	mg/kg	157,27 ± 7,32	< 19,0 y > 45,0	19,0-45,0		
Cobre (Cu) (Olsen)	mg/kg	1,43 ± 0,06	< 0,4 y > 1,8	0,4-1,8		
Manganeso (Mn) (Olsen)	mg/kg	19,64 ± 1,00	< 3,0 y > 12,0	3,0-12,0		
Zinc (Zn) (Olsen)	mg/kg	2,66 ± 0,21	< 0,5 y > 2,2	0,5-2,2		
Nota: Los rangos medios comparativos corresponden a los reportados por Enríquez (1985), Snoeck y Jadin (1992) e Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 1992) para suelos cultivados.						
Fuente: Elaboración propia						

La caracterización química mostró altos contenidos de hierro (Fe) relacionados con la fuerte tendencia de suelos ferrosos en la región, como consecuencia del material parental (Alemayehu Menberu et al., 2021). El fósforo (P), por su parte, fue el elemento con mayor variabilidad de contenido en los suelos analizados, aunque se presentaron suelos con altos niveles de contenido de P ($>15 \text{ mg kg}^{-1}$), con un valor máximo $102,35 \text{ mg kg}^{-1}$. En cuanto a la concentración media de este macroelemento y a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), en la mayoría de los suelos estas fueron bajas. Estos resultados coinciden con los que reporta un estudio del IGAC (2012), en los que se encontró que más del 90% de los suelos del departamento presentaron deficiencia de fósforo y baja CIC efectiva, especialmente los que se encuentran en el paisaje de montaña.

Dentro de los microelementos, el boro (B), el cual juega un papel fundamental en el cuaje de los frutos de muchos cultivos, se encontró en un nivel de medio a bajo en el 100% de las fincas muestreadas. El aluminio presentó valores catalogados como medio y alto en el 60% de las muestras de suelo. Es importante mencionar que un exceso de aluminio puede ser tóxico para los cultivos de forma general. En estudios previos reportados por el IGAC (2012), se demostró que el aluminio intercambiable está presente desde niveles bajos hasta niveles muy altos en la mayoría de los suelos del departamento.

Qué es la fertilización integrada y cómo se asegura su eficiencia

El manejo de la fertilización integrada se basa en el uso eficiente de los nutrientes aplicados, lo que no solo maximiza la eficiencia de los fertilizantes, sino que también minimiza la pérdida de nutrientes en el medio ambiente. Esta fertilización incluye la aplicación de diferentes tipos de fuentes como la fertilización orgánica, los biofertilizantes y los fertilizantes de síntesis química. En un sistema de cultivo, es necesario añadir nutrientes para compensar el uso de estos en forma de productos cosechados. Cuando los nutrientes son deficientes en un sistema, la productividad se ve limitada por el nutriente más limitante, y cuando son varios los nutrientes deficientes, hay que abordar todas las deficiencias para lograr una eficiencia óptima en el uso de los nutrientes.

El uso ineficaz de los fertilizantes de síntesis química por la sobre-aplicación genera grandes pérdidas y desequilibrios de nutrientes en suelo y contamina los recursos suelo y agua (Goulding, 2016; Sarkar, 2013).

La fertilización integrada incluye la aplicación de biofertilizantes, fertilizantes u abonos orgánicos y los fertilizantes de síntesis química. A continuación, se presenta una breve descripción de estos tres tipos de fertilización.

Biofertilizantes: contienen microorganismos o productos de estos, como los fijadores de nitrógeno, micorrizas, solubilizadores de P o K, entre otros.

Fertilizantes orgánicos o abonos orgánicos: son el resultado de procesos como el compostaje, del cual se obtiene el compost o lombricompostaje y de este se consigue el lombricompost. Vale la pena aclarar que a este producto suelen llamarlo erróneamente humus de lombriz, el cual es producto de procesos de mineralización de la materia orgánica que toman mucho más tiempo en el suelo.

Fertilizantes químicos o inorgánicos: provienen de la síntesis química como la urea, o pueden ser de origen natural como la roca fosfórica, la kieserita, cales, entre otras fuentes naturales.





El manejo eficiente de la fertilización integrada incluye la aplicación de los tres tipos de fertilizantes mencionados anteriormente, considerando la disponibilidad de nutrimentos del suelo, los requerimientos del cultivo, las condiciones climáticas como la precipitación y propiedades físicas como la textura; estos, en conjunto, determinan la frecuencia de las aplicaciones, es decir, el fraccionamiento de la fertilización integrada.

Para lograr mayor eficiencia en el manejo de la fertilización integrada, los biofertilizantes deben aplicarse en etapas tempranas del cultivo, preferiblemente en etapa de vivero, para que las cepas de hongos o bacterias con potencial biofertilizante se asocien a las raíces de las plántulas de cacao o se adapten al ambiente rizosférico y así compitan con la biota edáfica natural de los ecosistemas cacaoteros.

Los fertilizantes o abonos orgánicos se tienen que aplicar antes de la siembra de los cultivos de cacao o cuando se siembre en campo, con el fin de acondicionar físicamente el suelo, así como para que la materia orgánica habilitada sirva de alimento para los organismos del suelo. A mediano y largo plazo, la fertilización orgánica también aporta nutrientes, en especial los que tienen dinámica predominantemente orgánica, como el nitrógeno, fósforo, azufre, boro y otros micronutrimentos. En un programa de manejo eficiente de la fertilización integrada, la aplicación de los fertilizantes químicos se aplica según su función en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos, y considerando la solubilidad de las fuentes aplicadas y la movilidad de los nutrientes en el suelo y en la planta.

Recuerde que:

El manejo de la fertilización integrada en el cultivo de cacao permite:

- Incrementar el rendimiento.
- Mejorar la calidad física y química de los granos.
- Reducir la cantidad de fertilizante químico aplicado.
- Disminuir la pérdida de los fertilizantes.
- Mejorar propiedades del suelo, como actividad biológica, estructura, porosidad y fertilidad física, química y biológica en general.
- Disminuir la susceptibilidad del ataque de plagas y enfermedades.





Capítulo III



Implementación de la fertilización integrada en Convención, Norte de Santander

Teniendo en cuenta los criterios de gestión responsable de nutrientes, que se enfocan en cuatro aspectos fundamentales: dosis, fuente, momento y lugar, se llevó a cabo un plan de manejo de la fertilización integrada en un cultivo experimental de cacao ubicado en el municipio de Convención. A continuación, se explica detalladamente cada criterio para la construcción de un plan de manejo de la fertilización integrada para un cultivo experimental de cacao de diez años de establecido.

¿Cuánto debo aplicar?

Por lo general, al llevar a cabo la práctica de fertilización en plantaciones de cacao, los cacaocultores tienden a enfocarse principalmente en la dosis, dado que está directamente relacionada con los costos de producción; de esta manera, descuidan otros aspectos que también son importantes.

La cantidad de nutrientes que se debe aplicar al cultivo de cacao varía de acuerdo con las concentraciones de nutrientes estimadas mediante el análisis de suelo. El ICA (1992) elaboró un documento titulado *Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación*, en el cual recomienda diferentes dosis de NPK para el cultivo de cacao, basadas en el contenido de nutrientes del suelo (bajo, medio o alto) (tabla 8).

Tabla 8. Recomendaciones de fertilización para el cultivo de cacao con base en los resultados del análisis químico de suelo

Nutriente reportado en el análisis de suelo	Rango de nutriente reportado en el análisis de suelo	Dosis recomendada (g/árbol)
Porcentaje de materia orgánica (nitrógeno)	Menor que 2	De 50 a 100
	Entre 2 y 3	De 25 a 50
	Mayor que 3	De 0 a 50
Fósforo (mg/kg)	Menor que 15	De 75 a 100
	Entre 15 y 30	De 50 a 75
	Mayor que 30	De 0 a 25
Potasio (cmol ⁽⁺⁾ /kg)	Menor que 0,25	De 75 a 125
	Entre 0,25 y 0,45	De 50 a 75
	Mayor que 0,45	De 0 a 50
Fuente: ICA (1992)		

No obstante, se recomienda que la dosis de fertilización la formule un ingeniero agrónomo o asistente técnico agropecuario con conocimiento y experiencia específica en el cultivo de cacao. Esto se debe a que, además del análisis de suelo, es necesario considerar otros aspectos relevantes antes de llevar a cabo la práctica de fertilización en el cultivo de cacao (figura 7); por ejemplo, el nivel de sombrío que presenta el cultivo, la edad de los árboles de cacao, la genética de los materiales establecidos en campo y las labores agronómicas del cultivo, como la poda, el manejo fitosanitario y el control de arvenses, así como el estado de las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo (Compañía Nacional de Chocolates, 2021).





Figura 7. Factores para definir la dosis correcta de fertilización del cultivo de cacao.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Compañía Nacional de Chocolates (2021)

Para establecer la cantidad de fertilizante químico (inorgánico) y orgánico para aplicar en el cultivo experimental de cacao, se consideraron los resultados del análisis químico de suelo, el nivel de sombrero en el lote, la edad del cultivo (diez años) y las recomendaciones de fertilización. En la tabla 9, se detalla el plan de fertilización integrada evaluado en el cultivo experimental de cacao, establecido en el municipio de Convención. Cabe aclarar que la fertilización fue diferenciada para los clones o cultivariedades de cacao según lo planteado por Puentes-Páramo et al. (2016).

Tabla 9. Dosis del plan de manejo de la fertilización integrada evaluado en el cultivo experimental

Dosis (kg/ha)	TCS-19	ICS-1	TCS-01	TCS-06	CCN-51
Nitrógeno (N)	97	103	105	104	102
Fósforo (P_2O_5)	37	50	72	63	40
Potasio (K_2O)	20	87	70	70	20
Calcio (CaO)	40	40	40	40	40
Magnesio (MgO)	30	30	30	30	30
Azufre (S)	11	10	13	11	5

Fuente: Elaboración propia

¿Qué voy a aplicar?

Seleccionar la fuente de fertilizante es un aspecto crucial dentro del plan de fertilización integrada, ya que también está directamente relacionada con los costos de producción. Entre los criterios para la selección de las fuentes de fertilizantes están el grado de fertilidad del suelo y la oferta de fertilizantes químicos y orgánicos en las zonas productoras de cacao, las cuales deben conocerse para formular el aporte adecuado de nutrientes de cada tipo de fertilizante. También es importante entender la compatibilidad química de las mezclas de fertilizantes para asegurar una aplicación eficaz y segura en los cultivos. En la tabla 10, se describen las fuentes inorgánicas y orgánicas utilizadas en el cultivo experimental de cacao, seleccionadas por su disponibilidad en el comercio de la zona, y en la figura 8 se muestra la compatibilidad química de las mezclas de los fertilizantes usados.

Tabla 10. Composición química (% p/p) de los fertilizantes utilizados en el tipo de fertilización integrada

Elementos	Fertilizantes					
	Urea	Fosfato diamónico (DAP)	Cloruro de potasio (KCl)	Terrano	Kieserita	Abono orgánico Boyacá (ABOB)
N	46	18		8		2
P ₂ O ₅		46		5		5
K ₂ O			60			3
CaO				20		10
MgO				6	25	
S				3,9	20	
SiO ₂						150
Mat.Org.						35
Cu				0,75		
B				1		
Mo				0,005		
Zn				2,5		
N: nitrógeno; P ₂ O ₅ : óxido fosfórico; CaO: óxido de calcio; MgO: óxido de magnesio; S: azufre; SiO ₂ : dióxido de silicio; MO: materia orgánica; Cu: cobre; B: boro; Mo: molibdeno; Zn: Zinc.						
Fuente: Elaboración propia						





1. Urea

2. Fosfato diamónico (DAP)

3. Cloruro de potasio (KCl)

4. Terrano

5. Kieserita

1. Urea	2. Fosfato diamónico (DAP)	3. Cloruro de potasio (KCl)	4. Terrano	5. Kieserita
	CR	CR	CR	CR
CR		C	I	I
CR	C		I	I
CR	I	I		I
CR	C	C	I	

Figura 8.
Compatibilidad química de los fertilizantes en mezcla.
C: compatible;
I: incompatible.

Fuente: Elaboración propia

Después de seleccionar la fuente de fertilizante, es importante saber la eficiencia de cada nutriente en el suelo. Guerrero (2004) estableció que, bajo condiciones favorables, la tasa de utilización del nitrógeno proveniente del fertilizante oscila entre el 60% y el 80%. En cuanto al fósforo, este varía entre el 10% y el 45%; el potasio, entre el 60% y el 70%; el calcio, entre el 55% y el 75%; el magnesio, entre el 55% y el 60%; el azufre, entre el 60% y el 70%; el boro, entre el 25% y el 30%; el molibdeno, entre el 2% y el 5%, y el zinc, entre el 10% y el 20%.

¿Cuándo debo aplicar?

La respuesta a esta pregunta depende de la etapa fenológica del cultivo. En el caso de árboles en etapa de producción, como es el caso del cultivo experimental (diez años), lo más conveniente es fraccionar la dosis en cuatro aplicaciones durante todo el año, para lograr una mayor eficiencia en la práctica de fertilización integrada (figura 9).

1. Aplicación: en la etapa de reposo; es decir, después de finalizar el pico de cosecha de final de año.

2. Aplicación: en la etapa de cuajamiento y desarrollo de frutos.

3. Aplicación: en la etapa de floración de la cosecha principal.

4. Aplicación: en la etapa de mayor cuajamiento y desarrollo de frutos.

Figura 9.
Fraccionamiento del plan de fertilización integrada.

Fuente: Elaboración propia

¿Dónde debo aplicar?

Los fertilizantes edáficos deben aplicarse en la gotera del árbol, la cual está ubicada debajo el área del dosel; este último variará en función de la edad del árbol de cacao. Debido a que el lote donde se evaluó el tipo de fertilización en Convención tenía una fuerte pendiente del 46% (esta condición es representativa de varios municipios de la zona del Catatumbo), la aplicación de los fertilizantes descritos se realizó en forma de media corona, teniendo en cuenta que en suelos de ladera la media corona debe hacerse en la parte superior de la base del árbol. Para esto, primero se debe identificar el área proyectada verticalmente por la copa del árbol o zona de goteo de los árboles; segundo, es necesario remover la hojarasca y distribuir los fertilizantes inorgánicos en franjas en el área de forma semicircular sobre la superficie del suelo, considerando la compatibilidad química de las fuentes seleccionadas. Tercero, se debe aplicar el abono orgánico sobre las franjas, cubriendo completamente las fuentes inorgánicas con la hojarasca o con fertilizantes orgánicos.

En la figura 10, se puede ver la práctica de remoción de hojarasca en la gotera del dosel del árbol y sobre la pendiente superior (a), la aplicación de los fertilizantes químicos en franjas (b) y la aplicación del fertilizante orgánico sobre los químicos para evitar su escurrimiento por fuertes lluvias o su pérdida por volatilización en el caso de la urea (c).

Figura 10. Práctica eficiente de fertilización edáfica en cultivos de cacao establecidos en ladera; a. Remoción de hojarasca en la base superior de los árboles; b. Aplicación de fertilizantes inorgánicos en franjas; c. Aplicación de abono orgánico cubriendo completamente las fuentes inorgánicas con la hojarasca o con fertilizantes orgánicos.

Fotos: José Libardo Lerma Lasso



Recuerde:

1. Aplicar enmiendas al menos un mes antes de la siembra cuando el pH es menor que 5,5. Entre las enmiendas que se pueden aplicar está la cal; dependiendo de la concentración de magnesio en suelo, puede usarse cal dolomita. La dosis varía según los resultados del análisis de suelos.
2. Separar los fertilizantes químicos de los biofertilizantes.
3. Tapar los fertilizantes químicos con los abonos orgánicos.
4. Aplicar en zonas de pendientes el fertilizante en media corona, en la parte superior.
5. Manejar los arvenses según la edad del cultivo para evitar competencias.
6. Tener en cuenta la humedad óptima del suelo para la aplicación de los fertilizantes.
7. Considerar la textura del suelo y la precipitación para el fraccionamiento de la dosis

Seguimiento del cultivo experimental

El éxito de la fertilización integrada incluye una serie de prácticas de manejo que contribuyen al rendimiento de la plantación. En este sentido, la implementación de sistemas agroforestales, podas sanitarias, manejo integrado de plagas y enfermedades es determinante en el proceso de nutrición.

La poda técnica debe llevarse a cabo antes de la fertilización, como labor inicial dentro del ciclo productivo del cultivo, al terminar las épocas secas y acorde con la distribución bimodal de las precipitaciones. La primera poda, que es la de mayor importancia, se lleva a cabo entre febrero y marzo (Jaimes et al., 2022); con esta se busca mantener una distribución adecuada de las ramas del árbol, eliminando estructuras entrecruzadas, dominantes y elevadas, así como órganos enfermos afectados por plagas y enfermedades. Se recomienda realizar una segunda poda en el año con menor intensidad a la primera, que consiste en el raleo de ramas y en la eliminación de órganos enfermos.

Para la implementación de sistemas agroforestales, AGROSAVIA recomienda la implementación del modelo agroforestal con maderas finas tropicales.



Información complementaria:
Oferta Tecnológica de agrosavia para el sistema productivo cacao



Evidencias del efecto de la fertilización integrada en el cultivo de cacao

En el marco de esta investigación, en un cultivo experimental de cacao establecido en el municipio de Convención, se evaluó el efecto de la fertilización integrada en propiedades del suelo y el rendimiento de cacao en cinco genotipos de cacao, designados así: TCS (Theobroma Corpoica La Suiza), cada uno de estos se encuentra asociado con números de identificación específicos: TCS-01, TCS-06 y TCS-19, ICS-1 (selección del Imperial College) y CCN-51 (colección Castro Naranjal). Estos clones o cultivariedades fueron seleccionados por su aceptación entre los cacaocultores, su extensa distribución y su sólido desempeño agronómico en todo el país. Cada cultivariedad fue tratada como un experimento independiente en el estudio.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres tratamientos de fertilización y tres repeticiones, para un total de nueve unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro árboles, lo que dio un total de 12 árboles por tratamiento y 180 para todo el experimento.

La descripción de los diferentes tipos de fertilización evaluados se presenta en la tabla 11.

Tabla 11. Tipos de fertilización evaluados en el cultivo experimental de cacao

Tipos de fertilización	Dosis (kg/ha)
Cacaocultor	34 de N
	12 de P ₂ O ₅
	36 de K ₂ O
	12 de MgO
	14 de S
Integrada	
	Ver tabla 9
Fuente: Elaboración propia	



Efecto de la fertilización integrada en las propiedades del suelo

Para determinar el efecto del manejo integrado de la fertilización sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en el cultivo experimental de cacao, se evaluaron las variables que se presentan a continuación.

DENSIDAD APARENTE

La figura 11 muestra que, en 2022, antes de aplicar cualquier tipo de fertilización, la densidad aparente del suelo osciló entre 1,32 y 1,33 g/cm³. Al siguiente año, después de aplicar la fertilización del cacaocultor, la densidad aparente aumentó su valor en un 1,5 %; en contraste, la fertilización integrada permitió que la densidad aparente disminuyera su valor en un 3%. Los valores altos de densidad aparente están asociados con la disminución de la materia orgánica (Da Silva Lopes et al. 2015), lo que provoca una mayor compactación del suelo. Esto, a su vez, resulta en una reducción significativa de la macroporosidad y la porosidad total (Da Silva Lopes et al., 2015; Rasche Álvarez et al., 2020).

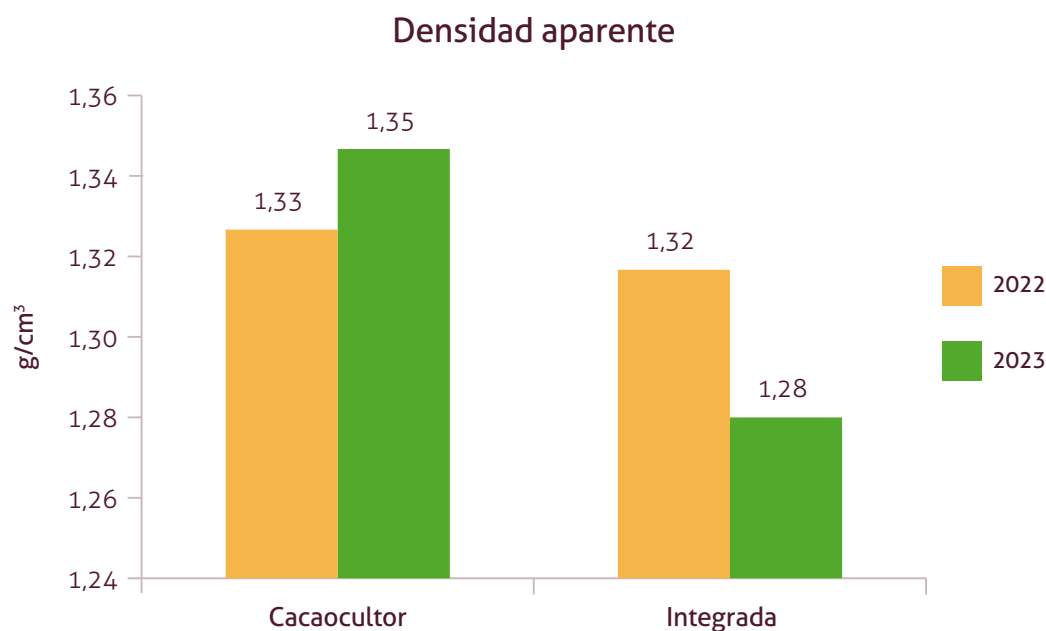


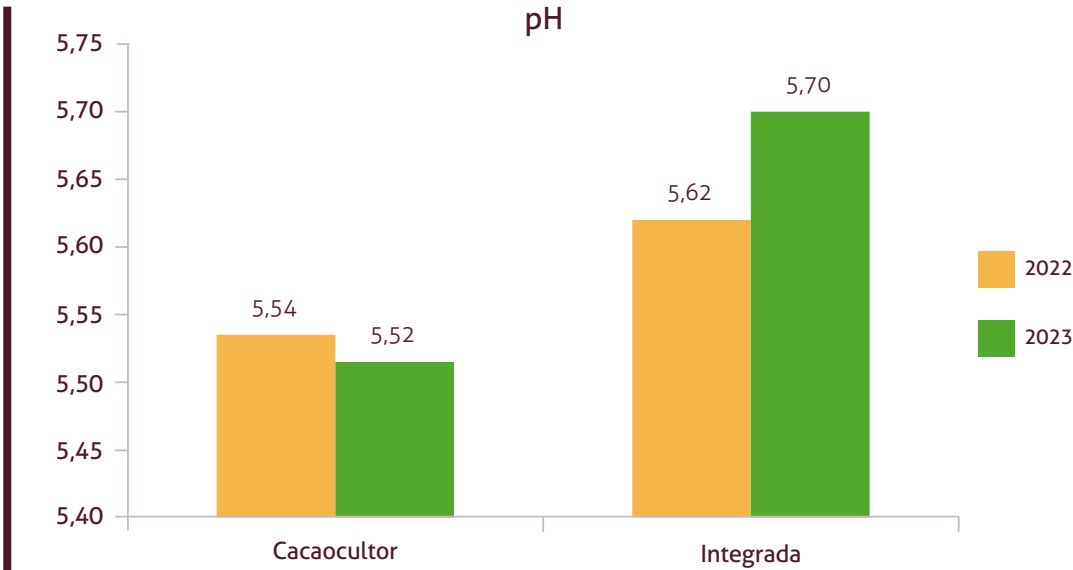
Figura 11. Valores de la densidad aparente del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.

Fuente: Elaboración propia

PH

En la figura 12 se muestra que antes de validar los efectos de los diferentes tipos de fertilización, el pH del suelo era moderadamente ácido, con valores entre 5,54 y 5,62. Esta condición de acidez se asocia con baja solubilidad de fósforo y disponibilidad media de calcio y magnesio. Un año después, tras aplicar distintos tipos de fertilización, la fertilización del cacaocultor provocó una disminución del 1% en el valor de pH con respecto a su valor inicial. Esto se debe a la acidez residual de la fuente química utilizada, lo cual afecta directamente la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de cacao (Dania et al., 2021). En contraste, con la fertilización integrada, el pH del suelo incrementó el 1,4%. Según Roba (2018), este fenómeno puede estar asociado con el pH y contenido de cenizas del abono orgánico utilizado.

Figura 12. Valores de pH del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.
Fuente: Elaboración propia



MATERIA ORGÁNICA

En la figura 13, se evidencia que en 2022 el contenido de materia orgánica del suelo fluctuaba entre el 3,26% y el 3,28% antes de aplicar cualquier tipo de fertilización. Para el siguiente año, después de aplicar la fertilización del cacaocultor, la materia orgánica del suelo se redujo el 1,8% (3,20%) con respecto a su valor inicial, debido al incremento en la densidad aparente del suelo (Van Vliet & Giller, 2017). En contraste, la fertilización integrada permitió incrementar en un 2,7% (3,37%) esta propiedad en relación con su valor inicial, gracias al incremento de la biomasa radical y a la actividad biológica del suelo (Paramesh et al., 2023).



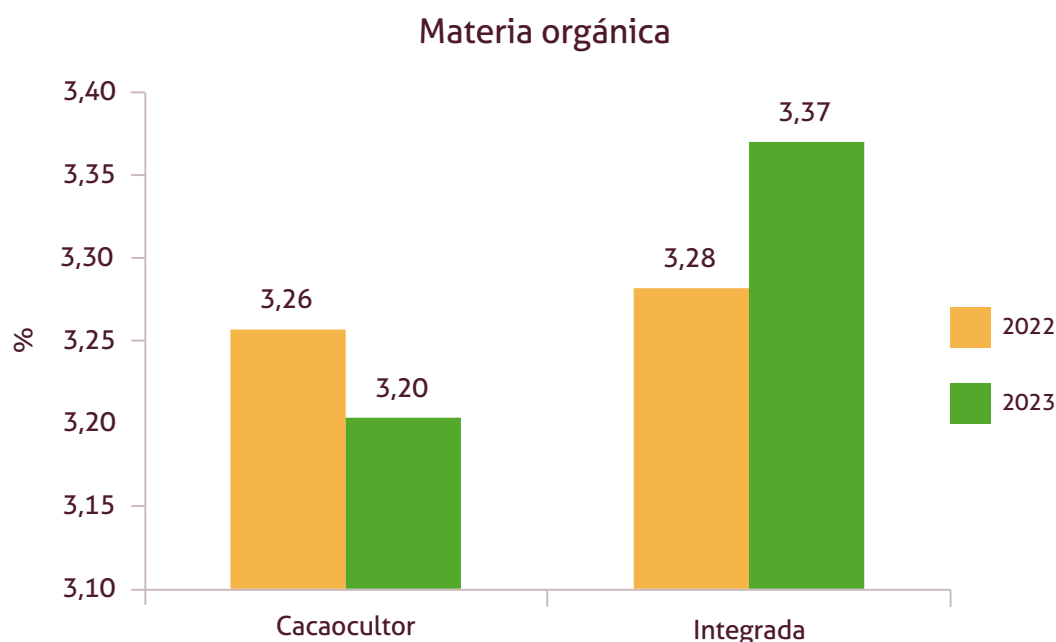


Figura 13. Valores de materia orgánica del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.

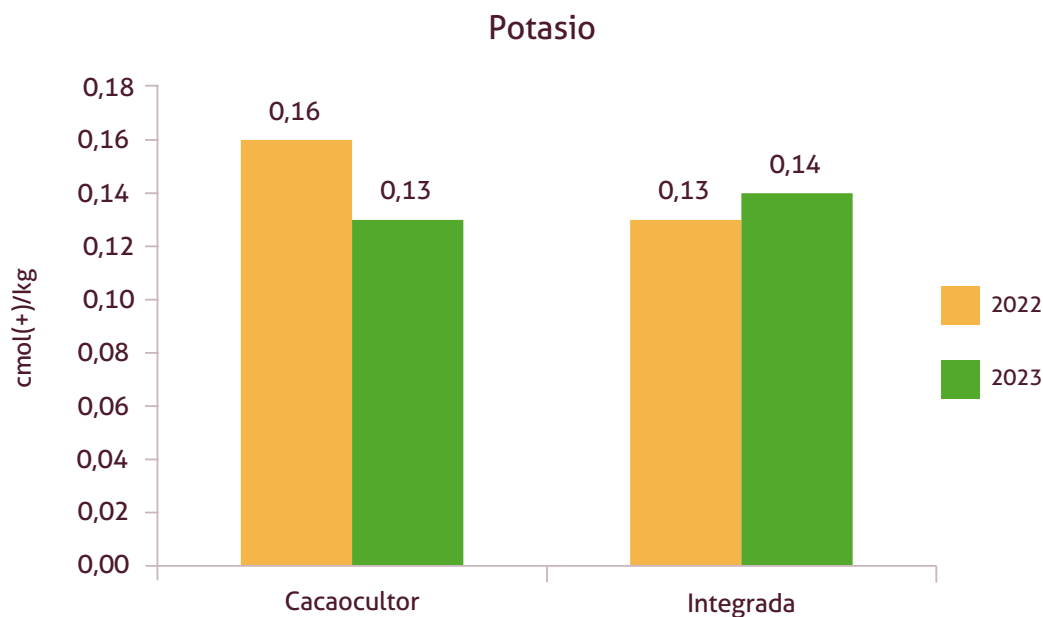
Fuente: Elaboración propia

POTASIO

La figura 14 muestra que, en 2022, antes de aplicar cualquier tipo de fertilización, el contenido de potasio del suelo varió entre 0,13 y 0,16 cmol(+)/kg. El siguiente año, después de aplicar la fertilización del cacaocultor, se redujo el contenido de este nutriente en un 18,75% (0,13 cmol(+)/kg) con respecto a su valor inicial. Este comportamiento puede estar asociado a la disminución de la MO del suelo, la cual no favoreció una mayor estabilidad de los agregados del suelo y sí afectó la reacción de K en el suelo debido a su capacidad de intercambio catiónico. En contraste, la fertilización integrada permitió incrementar en un 7,69% (0,14 cmol(+)/kg) esta propiedad en cuanto a su valor inicial. Según Setu (2022) y Shaligram y Gawande (2017), la MO forma compuestos quelantes con cationes que retienen el ion y lo cubren, lo cual evita que este actúe solo en solución, y así se incrementa la disponibilidad de potasio.

Figura 14. Valores medios de potasio del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.

Fuente: Elaboración propia



CALCIO

En la figura 15, se observa que antes de validar los efectos de los diferentes tipo de fertilización, el contenido de calcio del suelo variaba entre 3,95 y 4,98 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Un año después, tras aplicar la fertilización del cacaocultor, se redujo el contenido de este nutriente en un 20,68% (3,95 $\text{cmol(+)}/\text{kg}$) con respecto a su valor inicial. Este fenómeno podría estar influenciado por el pH del suelo, si se considera que el suelo en la zona de estudio es de carga variable. A medida que el suelo se acidifica, su capacidad para retener calcio tiende a disminuir (Ferro et al., 2023; Lince Salazar et al., 2015). En contraste, la fertilización integrada permitió incrementar en un 29,36% (5,11 $\text{cmol(+)}/\text{kg}$) esta propiedad frente a su valor inicial. Este patrón probablemente está relacionado con la disminución de la acidez del suelo. Algunos estudios han revelado que el uso continuo de fertilizantes químicos y abono orgánico con el transcurso del tiempo ha logrado aumentar el pH del suelo y, a su vez, el Ca del suelo (Bhatt et al., 2019; Wan et al., 2021).



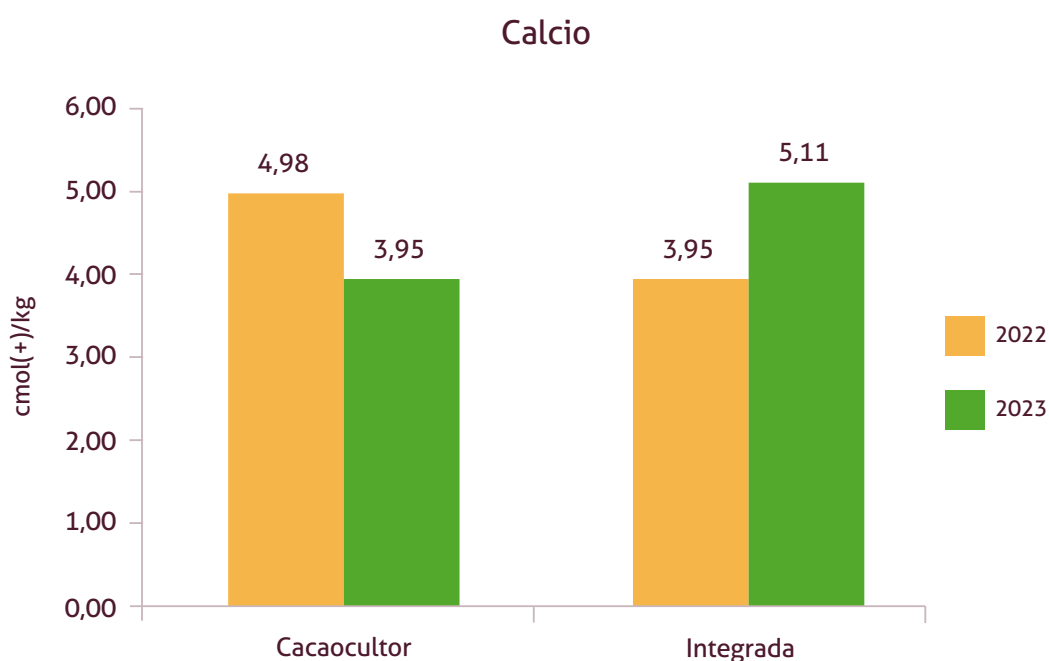


Figura 15. Valores medios de calcio del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.

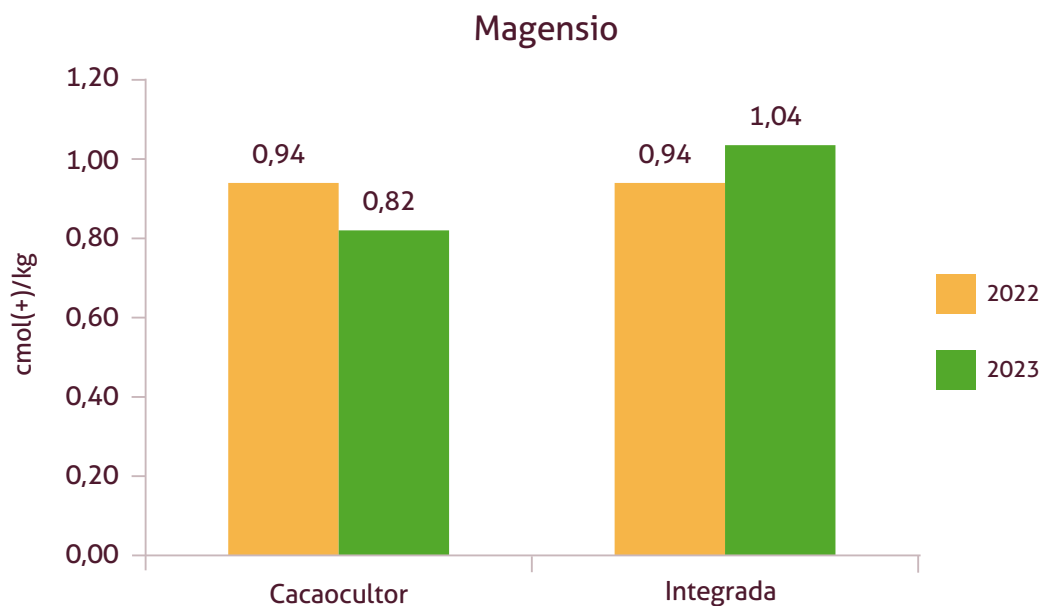
Fuente: Elaboración propia

MAGNESIO

En la figura 16, se observa que, en 2022, antes de aplicar cualquier tipo de fertilización el contenido de magnesio del suelo se encontraba en 0,94 cmol(+)/kg. El siguiente año, después de aplicar la fertilización del cacaocultor, se redujo el contenido de este nutriente en un 12,76% (0,82 cmol(+)/kg) con respecto a su valor inicial, lo cual puede atribuirse al comportamiento de sus propiedades químicas en estos suelos. A pesar de ser divalente, el Mg presenta un radio de hidratación mayor y, por tanto, es retenido con menos fuerza que el Ca por los coloides del suelo, lo que deriva en su posterior lixiviación (Gransee & Fühns, 2013). En contraste, la fertilización integrada permitió incrementar en un 10,64% (1,04 cmol(+)/kg) esta propiedad en relación con su valor inicial; este patrón probablemente tiene que ver con la disminución de la acidez del suelo. Esta hipótesis fue corroborada por Zhang et al. (2021), quienes afirmaron que la disminución de la acidez del suelo permite aumentar el Mg del suelo.

Figura 16. Valores medios de magnesio del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.

Fuente: Elaboración propia



BORO

En la figura 17, se observa que, antes de validar los efectos de los diferentes tipos de fertilización, el contenido de boro del suelo estaba en 0,23 mg/kg. Un año después, tras aplicar la fertilización del cacaocultor, se redujo el contenido de este nutriente en un 26% (0,17 mg/kg) con respecto a su valor inicial. Este fenómeno probablemente tiene que ver con el pH del suelo. En este sentido, Saha et al. (2017) señalan que existe una estrecha relación entre el pH de la solución del suelo y el nivel de B soluble en suelo. Por su parte, Steiner y Do Carmo Lana (2013) afirman que la biodisponibilidad del B es menor cuando el pH de la solución del suelo es mayor, ya que la adsorción de B por los suelos depende en gran medida del pH de la solución del suelo. En contraste, la fertilización integrada permitió incrementar cuatro veces la concentración de este nutriente con respecto a su valor inicial (0,90 mg/kg).



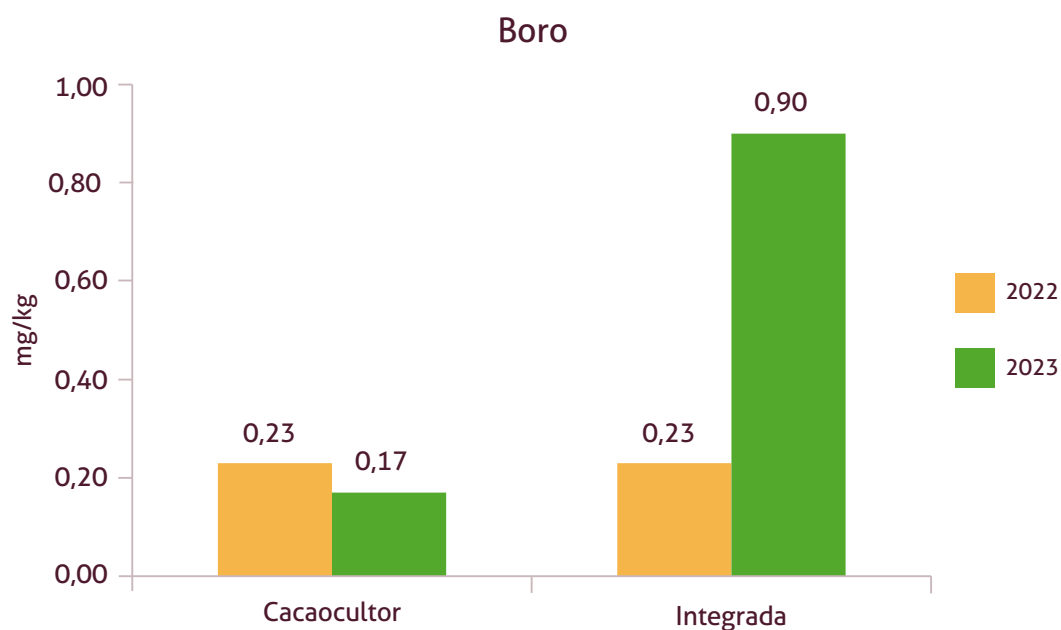


Figura 17. Valores medios de boro del suelo registrados antes y después de la implementación de los diferentes tipos de fertilización.

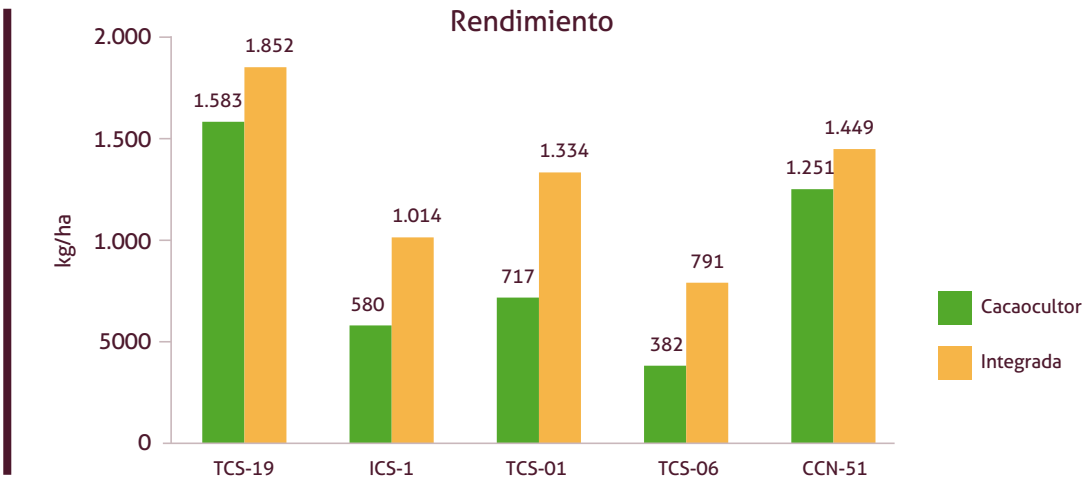
Fuente: Elaboración propia

Efecto de la fertilización integrada en el rendimiento del cultivo

En la figura 18, se observan diferencias cuantitativas, en las que el rendimiento experimentó variaciones entre 382 y 1.852 kg/ha. Es relevante destacar que los mejores resultados se obtuvieron con la fertilización integrada, lo cual mostró una variación de cifras que oscilaron entre 791 y 1.852 kg/ha, en comparación con la fertilización del cacaocultor, que registró cifras entre 382 y 1.583 kg/ha. A partir de lo anterior, se infiere que la aplicación combinada de fertilizantes minerales y orgánicos mejora la absorción de los macronutrientes a nivel foliar, así como la estructura y fertilidad del suelo (Ghosh et al., 2022). Puentes-Páramo et al. (2016) afirman que altas concentraciones de N, K^+ y Mg^{2+} a nivel foliar se correlacionan significativamente con el rendimiento del cultivo de cacao.

Figura 18.
Rendimiento medio
por clon según los
tipos de fertilización.

Fuente: Elaboración
propia



Análisis de costos de la tecnología evaluada

En la tabla 12, se presenta el costo total para el establecimiento de una hectárea de cacao a partir de las tecnologías de fertilización propuestas. En general, los rubros de mano de obra, insumos agrícolas y costos indirectos representan más del 80% del costo de implementación para cada tecnología de fertilización. Se destaca que el tratamiento de fertilización integrada sobresale en comparación con el que usa el cacaocultor, ya que representa un ahorro adicional de aproximadamente \$700.000.

En la tabla 12, también se detalla el análisis económico de cada uno de los tratamientos de fertilización evaluados en los diferentes clones de cacao. Al implementar la fertilización integrada en una hectárea establecida con el clon TCS-19, se observa que el costo (\$8.543,72) para producir un kilogramo de cacao fermentado y seco es notablemente más bajo en comparación con los otros clones y tratamientos de fertilización evaluados. Además, implementar este tipo de tecnologías permite alcanzar una mayor rentabilidad por cada peso invertido.



Tabla 12. Comparación económica por clon para cada tipo de fertilización evaluada

TCS-19		
Componentes	Convencional	Integrada
Costos variables	\$ 7.912,39	\$ 8.249,55
Costos de producción	\$ 5.535,82	\$ 5.546,48
Costos totales	\$ 13.448,21	\$ 13.796,02
Producción (kg/ha)	1583,35	1851,89
Beneficio bruto	\$ 35.500,29	\$ 41.521,23
Beneficio neto	\$ 22.052,08	\$ 27.725,20
Relación beneficio-costeo	1,62	1,99
ICS-1		
Componentes	Convencional	Integrada
Costos variables	\$ 7.912,39	\$ 8.249,55
Costos de producción	\$ 5.535,82	\$ 5.546,48
Costos totales	\$ 13.448,21	\$ 13.796,02
Producción (kg/ha)	580,37	1013,9
Beneficio bruto	\$ 13.004,18	\$ 22.734,89
Beneficio neto	-\$ 444,03	\$ 8.938,87
Relación beneficio-costeo	-0,04	0,64
TCS-01		
Componentes	Convencional	Integrada
Costos variables	\$ 7.912,39	\$ 8.249,55
Costos de producción	\$ 5.535,82	\$ 5.546,48
Costos totales	\$ 13.448,21	\$ 13.796,02
Producción (kg/ha)	717,28	1333,84
Beneficio bruto	\$ 16.075,86	\$ 29.909,61
Beneficio neto	\$ 2.627,65	\$ 16.113,59
Relación beneficio-costeo	0,19	1,15
TCS-06		
Componentes	Convencional	Integrada
Costos variables	\$ 7.912,39	\$ 8.249,55
Costos de producción	\$ 5.535,82	\$ 5.546,48
Costos totales	\$ 13.448,21	\$ 13.796,02
Producción (kg/ha)	381,8	790,88
Beneficio bruto	\$ 8.564,82	\$ 17.735,01
Beneficio neto	-\$ 4.883,39	\$ 3.938,99
Relación beneficio-costeo	-0,37	0,28
CCN-51		
Componentes	Convencional	Integrada
Costos variables	\$ 7.912,39	\$ 8.249,55
Costos de producción	\$ 5.535,82	\$ 5.546,48
Costos totales	\$ 13.448,21	\$ 13.796,02
Producción (kg/ha)	1251,2	1448,79
Beneficio bruto	\$ 28.048,67	\$ 32.488,03
Beneficio neto	\$ 14.600,46	\$ 18.692,01
Relación beneficio-costeo	-0,37	0,28
Nota: Cifra en miles.		
Fuente: Elaboración propia		

Aporte de la implementación de prácticas de manejo de la fertilización integrada a políticas públicas nacionales e internacionales

Con este manual ha sido posible identificar que el suelo es un sistema natural de gran complejidad en cuanto a sus procesos físicos, químicos y biológicos. Al prestar un servicio ecosistémico, el suelo mantiene la vida de otros ecosistemas y, por lo tanto, favorece la sobrevivencia humana.

La degradación de este recurso por acción del hombre, debido al uso de prácticas agrícolas no sostenibles, provoca erosión, pérdida de biodiversidad, pérdida de cobertura vegetal, sedimentación de ríos, entre muchas otras consecuencias, que son cada vez peores por los impactos del cambio climático.

La implementación del manejo integrado de suelos y del manejo de la fertilización integrada puede aminorar estos efectos negativos al promover prácticas sencillas y al alcance de cualquier productor, las cuales mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; estas, en consecuencia, optimizan la fertilidad y la disponibilidad de agua en suelo, promueven la cubierta vegetal, la optimización de los ciclos de nutrientes y aumentan la biodiversidad de organismos en el suelo.

Con el propósito de atender a las políticas públicas nacionales expuestas en el Plan Nacional de Desarrollo “Colombia Potencia Mundial de la Vida 2022-2026”, específicamente en los ejes: 1. Ordenamiento del territorio alrededor del agua y justicia ambiental, y 3. Derecho humano a la alimentación, el proyecto “Mejora de la sostenibilidad ambiental mediante implementación de tecnologías en el marco de la estrategia nacional para el cultivo del cacao” encauzó esfuerzos orientados hacia la gestión del suelo y la contribución a la seguridad alimentaria y nutricional mediante el reuso de la biomasa residual.

Del mismo modo, atiende la implementación de diferentes políticas públicas nacionales encaminadas al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En la tabla 13, se relacionan algunas de estas.



Tabla 13. Alineación de la práctica de fertilización integrada con las políticas públicas nacionales e internacionales

En 2018, se implementó el Conpes 3934 “Política de Crecimiento Verde”. Esta política busca promover el crecimiento económico sostenible y verde, mediante la adopción de prácticas ambientales responsables y la incorporación de criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones públicas y privadas; asimismo, el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales a través de la presentación de prácticas que permitan mejorar el desempeño del sector agropecuario. También busca promover la adopción de tecnologías para la gestión eficiente de recursos naturales como el suelo y motivar la transición hacia una economía circular, especialmente con el uso de la biomasa residual (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2018). En este sentido, la implementación de la fertilización integrada representa una técnica sostenible de beneficios ambientales; de igual manera, fomenta la eficiencia en el manejo de los recursos naturales y estimula el cambio hacia una economía circular (Meneses-Buitrago & Bolaños-Benavides, 2022).
El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible creó en 2016 la Política para la Gestión Sostenible del Suelo, que busca promover la conservación, el uso sostenible y la restauración de los suelos en el país, así como fortalecer la gobernanza y la participación de los actores involucrados en la gestión del suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).
La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación tiene como objetivo ampliar la comprensión de los procesos que llevan a la desertificación y la sequía, así como entender mejor las implicaciones y características únicas de los factores naturales y humanos que causan estos fenómenos. Su meta es combatir la desertificación, aumentar la productividad y garantizar un uso y gestión sostenibles de los recursos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).
El Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario (Pectia) (2017-2027), en Norte de Santander, identificó y dio prioridad al sistema productivo de cacao. Esta herramienta busca en uno de sus objetivos promover el desarrollo de los sistemas productivos ambientalmente sostenibles para la conservación, el manejo y el uso adecuado de los recursos naturales (MADR et al., 2022).
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, AGROSAVIA ha adoptado en su agenda dinámica corporativa de I+D+i cinco enfoques estratégicos: bioeconomía, seguridad alimentaria y nutricional (SAN), inclusión social en el desarrollo tecnológico (ISDT), nuevos sistemas agroalimentarios (NSA) y agricultura climáticamente inteligente (ACI). El enfoque de ACI promueve la orientación hacia la SAN mediante la generación de estrategias que permitan afrontar escenarios de clima cambiante y mayor demanda de alimentos (debido al crecimiento de la población).

Desde este contexto, AGROSAVIA busca ejecutar iniciativas que contemplen el aumento de la productividad, la resiliencia de los sistemas productivos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), conforme a los pilares de ACI: 1. productividad; 2. adaptación, y 3. mitigación.

Referencias

- Agudelo-Castañeda, G. A., Cadena-Torres, J., Almanza-Merchán, P. J., & Pinzón-Sandoval, E. H. (2018). Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 223-232. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7341>
- Aguirre-Medina, J. F., Mendoza-López, A., Cadena-Iñiguez, J., & Avendaño-Arrazate, C. H. (2007). Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L.) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia*, 32(8), 541-546.
- Alemayehu Menberu, M., Liu, S., Cooksley, C., Hayes, A. J., Psaltis, A. J., Wormald, P. J., & Vreugde, S. (2021). *Corynebacterium accolens* Has Antimicrobial Activity against *Staphylococcus aureus* and Methicillin-Resistant *S. aureus* Pathogens Isolated from the Sinonasal Niche of Chronic Rhinosinusitis Patients. *Pathogens*, 10(2), 207. <https://doi.org/10.3390/pathogens10020207>
- Anderson, R. L., & Nelson, L. A. (1975). A Family of Models Involving Intersecting Straight Lines and Concomitant Experimental Designs Useful in Evaluating Response to Fertilizer Nutrients. *Biometrics*, 31(2), 303-318. <https://doi.org/10.2307/2529422>
- Anzules, V., Borjas, R., Huamán, L. A., Castro-Cepero, V., & Julca-Otiniano, A. (2019). Cultural, biological and chemical control of *Moniliophthora roreri* and *Phytophthora* spp. in *Theobroma cacao* 'CCN-51'. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 511-520. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.08>
- Appiah, M. R., Ofori-Frimpong, K., & Afrifa, A. A. (2000). Evaluation of fertilizer application on some peasant cocoa farms in Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science*, 33(1), 183-190. <https://doi.org/10.4314/gjas.v33i2.1869>
- Arvelo Sánchez, M. Á., González León, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya Rodríguez, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao. Buenas prácticas para América Latina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Asante, P. A., Rahn, E., Zuidema, P. A., Rozendaal, D. M. A., Van der Baan, M. E. G., Läderach, P., Asare, R., Cryer, N. C., & Anten, N. P. R. (2022). The cocoa yield gap in Ghana: A quantification and an analysis of factors that could narrow the gap. *Agricultural Systems*, 201, 103473. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103473>
- Asociación de Asociaciones de Productores de Cacao del Norte de Santander y su Región del Catatumbo [Asoprocanor]. (2025). *Orígenes*. <https://asoprocanor.co/>

- Baligar, V., Sicher, R., Marshall, E., Zhenli, H., Fageria, N., De Souza, J., Almeida, A. A., & Ahnert, D. (2015). Iron Sources Effects on Growth, Physiological Parameters and Nutrition of Cacao. *Journal of Plant Nutrition*, 38(11), 1787-1802. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1061546>
- Barros Nieves, O. (1981). Suelos para cacao y fertilización. En *Cacao - Theobroma cacao* (pp. 63-80). Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13387>
- Bhatt, M., Kumar, V., Singh, A. P., Singh, V., & Kala, D. C. (2019). Long-term effect of organic and inorganic Fertilizers on soil physico-chemical properties of a silty clay loam soil under rice-wheat cropping system in Tarai region of Uttarakhand. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1), 2113-2118. <https://www.phytojournal.com/archives/2019.v8.i1.7080/long-term-effect-of-organic-and-inorganic-fertilizers-on-soil-physico-chemical-properties-of-a-silty-clay-loam-soil-under-rice-wheat-cropping-system-in-Itemgttarai-Itemgtregion-of-uttarakhand>
- Calvo Romero, F. (2018). *Biomass and nutrient distribution in cacao trees (Theobroma cacao): A case study in Cote d'Ivoire* [Tesis de maestría, Wageningen University]. <https://edepot.wur.nl/501084>
- Cardona, W. A., & Bolaños-Benavides, M. M. (2019). *Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (Rubus glaucus Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual-18>
- Carr, M. K. V., & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. *Experimental Agriculture*, 47(4), 653-676. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000421>
- Carvajal Rodríguez, J. C. (2015). Perfil tecnológico del comercio rural del cacao en el departamento Norte de Santander. *Aibi. Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 3(2), 37-46. <https://doi.org/10.15649/2346030X.514>
- Castellanos González, L. González-Pedraza, A. F., & Capacho Mogollón, A. E. (2021). Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander. *INGECUC*, 17(1), 69-81. <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.06>
- Chepote, R. E., Sodré, G. A., Lopes Reis, E., Gama Pacheco, R., Lima-Marrocos, P. C., & Valle, R. R. (2013). *Recomenda es de corretivos e fertilizantes na cultura do cacaueiro no sul da bahia* [Boletim técnico n.  203]. <https://docplayer.com.br/8337003-Recomendacoes-de-corretivos-e-fertilizantes-na-cultura-do-cacaueiro-no-sul-da-bahia.html>

- Cobaleda Lasso, L.G. (2022). *Análisis económico de las exportaciones de cacao en Colombia durante el periodo 2010-2020* [Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño]. <https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/afo44cao-34ce-4cf2-b96d-4be1e005c5c/content>
- Compañía Nacional de Chocolates. (2021). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.): nutrición y fertilización*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36872>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (2018). Conpes 3934. “Política de Crecimiento Verde”. Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/conpes/econ%C3%B3micos/3934.pdf>
- Cristancho-Pinilla, E., López, L., Mojica, A., Pedraza, E., & Valqui, A. (2021). *Estudio sobre las necesidades y brechas de calidad en la cadena productiva de cacao y sus derivados y plan de acción. Santander y su zona de influencia, Colombia*. <https://colombiamide.inm.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/INFORME-EJECUTIVO-CACAO.pdf>
- Cruz Neto, R. de O., De Souza Júnior, J. O., Sodré, G. A., & Baligar, V. C. (2015). Growth and nutrition of cacao seedlings influenced by zinc application in soil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(4), 1053-1064. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-238/14>
- Da Silva Lopes, E., De Oliveira, D., Krulikowski Rodrigues, C., & Drinko, C. H. (2015). Compactação de um solo submetido ao tráfego do harvester e do forwarder na colheita de madeira. *Floresta e Ambiente*, 22(2), 223-230. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.046413>
- Dania, S. O., Edukpe, E. U., & Eniola, R. I. (2021). Effects of integrated application of inorganic and organic fertilizer on properties of soil planted with rice. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 11(2), 117-123. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.11.2.0230>
- De Araujo, Q. R., Baligar, V. C., Loureiro, G. A. H. de A., De Souza Júnior, J. O., & Comerford, N. B. (2017). Impact of soils and cropping systems on mineral composition of dry cacao beans. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(2), 410-428. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000030>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2007). *Agenda interna para la productividad y competitividad. Documento regional Santander*. <https://economia.uniandes.edu.co/sites/default/files/webproyectos/santurban/SANTANDER-AGENDA-INTERNA-PARA-LA-PRODUCTIVIDAD-Y-COMPETITIVIDAD.pdf>

- De Geus, J. G. (1973). *Fertilizer Guide for the Tropics and Subtropics*. Centre d'Etude de l'Azote.
- De Souza, P. A., Moreira, L. F., & Sarmento, D. H. A., & Da Costa, F. B. (2018). Cacao—*Theobroma cacao*. En S. Rodrigues, E. De Oliveira Silva, & E. Sousa de Brito (Eds.), *Exotic Fruits. Reference Guide* (pp. 69-76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00010-1>
- De Souza Júnior, J. O., Marrocos, P. C. L., & Neves, J. C. L. (2018). Diagnose nutricional para o cacaueiro. En J. O. De Souza Júnior (Ed.), *Cacau: cultivo, pesquisa e inovação* (pp. 305-332). <https://doi.org/10.7476/9786586213188.0010>
- Dogbatse, J. A., Arthur, A., Awudzi, G. K., Quaye, A. K., Konlan, S., & Amaning, A. A. (2021). Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth and Nutrient Uptake by Young Cacao (*Theobroma cacao* L.). *International Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1155/2021/5516928>
- Donahue, R. L., Miller, R. W., & Shickluna, J. C. (1983). *Soils. An introduction to soils and plant growth* (5.º ed.). Prentice-Hall.
- Doster, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2011). *Hoja botánica: Cacao. Theobroma cacao* L. <https://bit.ly/3Z5FVvw>
- Echeverri Rodríguez, J. H. (2013). *Tecnología moderna en la producción de cacao. Manual para productores orgánicos*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. https://www.ciaorganico.net/documypublic/812_librosagronomicos.blogspot.com-_Cacao._Manual_para_productores_orgánicos_1.pdf
- Enríquez, G. A. (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Enríquez, G. A. (2006). *Fenología y fisiología del cultivo del cacao*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2015). *Guía técnica para el cultivo del cacao* (6.º ed.). <https://es.scribd.com/document/401136726/FEDECACAO-GUIA-TECNICA-2015-BAJA-9-pdf>
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2016). *Guía técnica para el cultivo del Cacao* (7.º ed.).

- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2022). *Caracterización de productores de cacao, 2017-021*. Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao); Fondo Nacional del Cacao (FNC). <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojMWYyNzE2YzMtY2FLOSooOGJjLTkyZmQtNzY3MjM5M2QyZWl1IiwidCI6IjFIMTY3MDEwLTgwM2QtNDA4My1hYzZhLTVINmEoZjc1YzZmYyIsImMiOiR9>
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2024). *Producción Nacional de Cacao*. <https://www.fedecacao.com.co/economianacional>
- Ferro, D. A., Andreini, B. L., Lozano, L. A., Merani, V. H., Bongiorno, F. M., Larriau, L., Millán, G. J., & Soracco, C. G. (2023). Predicción de la concentración de calcio soluble en suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires. *Ciencias Agronómicas*, 41(23), e031. <https://doi.org/10.35305/agro41.e031>
- Fidelis, C., & Rajashekhar, B. K. (2017). Enriched cocoa pod composts and their fertilizing effects on hybrid cocoa seedlings. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(2), 99-106. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0156-8>
- Furcal-Beriguete, P. (2017). Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 113-129. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.23236>
- García Lozano, J., Romero Carrascal, M., & Ortiz, L. A. (2007). *Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Ghosh, D., Brahmachari, K., Skalicky, M., Roy, D., Das, A., Sarkar, S., Moulick, D., Brestic, M., Hejnak, V., Vachova, P., Hassan, M. M., & Hossain, A. (2022). The combination of organic and inorganic fertilizers influence the weed growth, productivity and soil fertility of monsoon rice. *PLoS ONE*, 17(1), e0262586. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262586>
- Gobernación de Norte de Santander. (2020). *Plan de Desarrollo del Departamento 2020-2023 Norte de Santander: Más oportunidades para todos*. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/37201?>
- Goh, K. (2005). Fertilizer recommendation systems for oil palm: Estimating the fertilizer rates. En C. P. Soon, & T. Y. Pau (Eds.), *Proceedings of the MOSTA best practices workshops 2004: Agronomy and crop management* (pp. 235-268). Malaysian Oil Scientists' and Technologists' Association.

- Gómez Aliaga, R., García Blas, R., Tong, F., & González Huertas, C. (2014). *Paquete tecnológico del cultivo del cacao fino de aroma*. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). https://vinculate.concytec.gob.pe/wp-content/files/Paquete_Tecnologico_Cultivo_Cacao.pdf
- Goudsmit, E., Rozendaal, D. M. A., Tosto, A., & Slingerland, M. (2023). Effects of fertilizer application on cacao pod development, pod nutrient content and yield. *Scientia Horticulturae*, 313, 111869. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111869>
- Gransee, A., & Führes, H. (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil*, 368(1-2), 5-21. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1567-y>
- Graterón Vargas, A. F. (2020). *Caracterización físicoquímica y mineralógica de un suelo de uso agrícola ubicado en el campus El Limonal de la Universidad Santo Tomás, Piedecuesta* [Trabajo de pregrado, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29850>
- Guerrero, R. (2004). *Propiedades generales de los fertilizantes: manual técnico*. Manomeros Colombo Venezolanos
- Hardy, F. (1960). *Cacao manual*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/15979>
- Harrier, L. A., & Watson, C. A. (2003). The role of fungi in sustainable cropping systems. *Advance in Agronomy*, 79, 186-225.
- Harris, S. (2021). *Plantas legendarias: 50 plantas que cambiaron el mundo*. Rey Naranjo Editores.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1992). *Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación*. <https://repositorio.agrosavia.co/handle/20.500.12324/14124>
- Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias [IFPRI]. (2023). *The Russia-Ukraine war after a year: Impacts on fertilizer production, prices, and trade flows*. <https://www.ifpri.org/blog/russia-ukraine-war-after-year-impacts-fertilizer-production-prices-and-trade-flows>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2012). *Estudio general de suelos y zonificación física de tierras del departamento de Norte de Santander*. Imprenta Nacional.
- Instituto Internacional de Nutrición de Plantas [IPNI]. (2013). *4R de la nutrición de plantas. Un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas*.

- Jadin, P. (1975). L'utilisation du "diagnostic sol" pour l'estimation des besoins en engrais des cacaoyères ivoiriennes. *Café, Cacao, Thé*, 19(3), 203-220.
- Jaimes Suárez, Y., Agudelo, G. A., Báez Daza, E. Y., Montealegre Bustos, F., Rengifo Estrada, G., & Roja Molina, J. (2022). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Santander* (2.º ed.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405538>
- Jaimes Suárez, Y., Agudelo, G. A., Báez Daza, E. Y., Rengifo Estrada, G. A., & Rojas Molina, J. (2021). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Santander*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404647>
- Johnston, A. E. (2005). Phosphorus Nutrition of Arable Crops. En T. Sims, & A. N. Sharpley (Eds.), *Phosphorus: Agriculture and the Environment* (Vol. 46). <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronmonogr46.c15>
- Kamprath, E. J., Nelson, W. L., & Fitts, J. W. (1956), El efecto del pH, las concentraciones de sulfato y fosfato en la adsorción de sulfato por los suelos. *Revista de la Sociedad Americana de Ciencias del Suelo*, 20(4) 463-466. <https://doi.org/10.2136/sssaj1956.03615995002000040005x>
- Kihara, J., Sileshi, G. W., Nziguheba, G., Kinyua, M., Zingore, S., & Sommer, R. (2017). Application of secondary nutrients and micronutrients increases crop yields in sub-Saharan Africa. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(4), 25. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0431-0>
- Kirkby, E. A. (2023). Introduction, definition, and classification of nutrients. En Z. Rengel, I. Cakmak, & P. J. White (Eds.), *Marschner's Mineral Nutrition of Plants* (4.º ed., pp. 3-9). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00016-2>
- Kouadio, S., Tienebo, E.-O.; Kouadio, K. T., Kouame, K. B. J., Koko, L., & Abo, K. (2017). Foliar Application of Boron during Flowering Promotes Tolerance to Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Swollen Shoot Viral Disease. *European Scientific Journal*, 13(21), 387-406. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n21p387>
- Lahive, F., Handley, L. R., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2021). Climate Change Impacts on Cacao: Genotypic Variation in Responses of Mature Cacao to Elevated CO₂ and Water Deficit. *Agronomy*, 11(5), 818. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11050818>

- Lince Salazar, L. A., Rodríguez Valencia, N., & Sadeghian Khalajabadi, S. (2015). Disponibilidad de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 29-42. <https://doi.org/10.22490/21456453.1261>
- López Núñez, R. E., & Saldarriaga Lucas, V. A. (2018). *Efecto de la fertilización con N, S, micronutrientes y fitorreguladores sobre el rendimiento y rentabilidad del cacao Nacional en el valle del Río Carrizal* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López].
- Meneses-Buitrago, D. H., & Bolaños-Benavides, M. M. (2022). *Crecimiento verde y agricultura climáticamente inteligente en el cultivo de cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7404951>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], Gobernación de Norte de Santander, & Secretaría de Agricultura de Norte de Santander (2022). *Actualización del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario PECTIA 2017 - 2027: Departamento de Norte de Santander 2022*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/38050>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2006). *Apuesta exportadora agropecuaria 2006-2020*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17951>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2017). *Resolución 000464. Por la cual se adoptan los lineamientos estratégicos de política pública para la Agricultura Campesina, Familiar y Comunitaria y se dictan otras disposiciones*.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020). *Estrategia de ordenamiento de la producción cadena productiva del cacao y su industria*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/S4128-Plan%20OP%20Cacao%202020.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021a). *Cadena de cacao*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021b). *Proyecto normativo por el cual se diseña la política pública integral para la disminución de las pérdidas y los desperdicios de alimentos y se establecen sus mecanismos de implementación*. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Proyectos%20Normativos/Proyecto%20Normativo%20Disminuci%C3%B3n%20de%20las%20p%C3%A9rdidas%20y%20los%20desperdicios%20de%20alimentos.pdf>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2024, 26 de marzo). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA*. https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/about_data
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Política para la Gestión Sostenible del Suelo*. https://www.andi.com.co/Uploads/Pol%C3%ADtica_para_la_gesti%C3%B3n_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf
- Montealegre Bustos, F., Rojas Molina, J., & Jaimes Suárez, Y. (2021). Factores agronómicos y socioeconómicos que inciden en el rendimiento productivo del cultivo de cacao. Un estudio de cacao en Colombia. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 20(2), 59-73. <http://www.scielo.org.ar/pdf/fave/v20n2/1666-7719-fave-20-02-59.pdf>
- Monteiro Reis, G. S., Furtado de Almeida, A.-A., Oliveira Mangabeira, P. A., Dos Santos, I. C., Pirovani, C. P., & Ahnert, D. (2018). Mechanical stress caused by wind on leaves of *Theobroma cacao*: Photosynthetic, molecular, antioxidative and ultrastructural responses. *PLoS One*, 13(6). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0198274>
- Nelson, P. N., Webb, M. J., Berthelsen, S., Curry, G., Yinil, D., & Fidelis, C. (2011). *Nutritional status of cocoa in Papua New Guinea* (Vol. 1). Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR).
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología [OCYT]. (2022). *Análisis de brechas en ciencia, tecnología e innovación para las cadenas de cacao y ganadería doble propósito del departamento de Santander*. https://ocyt.org.co/wp-content/uploads/2022/05/Analisis-de-Brechas-CTI_Santander.pdf
- Oktaviani, I., Noor, A., La Nafie, N., & Assa, A. (2019). Assessment of micronutrient (Fe, Cu and Mn) concentrations in soil from cacao plantation coastal areas, East Luwu Regency. *Marina Chimica. Acta*, 20(1), 15-19.
- Oliva Escobar, D. P. (2009). *Determinación de la acidez intercambiable (AL^*3+H^*) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua* [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/386/1/T2804.pdf>
- Organización Internacional del Cacao [ICCO]. (2024). *February 2024 Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics*. <https://www.icco.org/february-2024-quarterly-bulletin-of-cocoa-statistics/>

- Osafo Eduah, J., Arthur, A., Dogbatse, J. A., Amoako-Attah, I. & Acheampong Afful, E. (2024). Ecological effects of soil physicochemical properties and copper speciation on the microbial properties associated with land use management in cacao production. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103538. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103538>
- Palencia C., G. E., Gómez S., R., & Mejía F., L. A. (2007). *Patrones de cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2222/42973_48680.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Paramesh, V., Kumar, P., Bhagat, T., Nath, A. J., Manohara, K. K., Das, B., Desai, B. F., Jha, P. K., & Prasad, P. V. V. (2023). Integrated Nutrient Management Enhances Yield, Improves Soil Quality, and Conserves Energy under the Lowland Rice–Rice Cropping System. *Agronomy*, 13(6), 1557. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061557>
- Paredes-Arce, M. (2004). *Manual de cultivo de cacao*. Ministerio de Agricultura.
- Pepper, I. L., & Brusseau, M. L. (2019). Physical-Chemical Characteristics of Soils and the Subsurface. En M. L. Brusseau, I. L. Pepper, & C. P. Gerba (Eds.), *Environmental and Pollution Science* (3.º ed., pp. 9-22). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814719-1.00002-1>
- Pérez, M. Á., Cajiao, S., & Cuervo, C. J. (2019). *Diagnóstico de la cadena de cacao en Colombia, con énfasis en CFA orgánico y sostenible*. Fundación Suiza para la Cooperación Técnica (FSwisscontact). <https://bit.ly/3Ej6x2f>
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2019). *Norte de Santander. Retos y desafíos para el desarrollo sostenible*. <https://www.undp.org/es/colombia/publicaciones/norte-de-santander-retos-y-desafios-para-el-desarrollo-sostenible>
- Puentes-Páramo, Y. J., Menjivar-Flores, J. C., & Aranzazu-Hernández, F. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 329. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.19728>
- Puentes-Páramo, Y. J., Menjivar-Flores, J. C., Gómez-Carabalí, A., & Aranzazu-Hernández, F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*, 63(2), 145-152. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.40041>

- Quinteiro Ribeiro, M. A., Furtado de Almeida, A. A., Schramm Mielke, M., Pinto Gomes, F., Viana Pires, M., & Baligar, V. C. (2013). Aluminum effects on growth, photosynthesis, and mineral nutrition of cacao genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 36(8), 1161-1179. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.766889>
- Rasche Álvarez, J. W., Gómez, E. J., Fatecha Fois, D. A., & Leguizamón Rojas, C. A. (2020). Soil compaction and its effect on the vegetative growth of soybean, corn and pigeon pea. *Investigación Agraria*, 22(1), 13-21. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.junio.13-21>
- Ríos, F., Rehpani, C., Ruiz, A., & Lecaro, J. (2017). *Estrategias país para la oferta de cacaos especiales. Políticas e iniciativas privadas exitosas en el Perú, Ecuador, Colombia y República Dominicana*. <https://es.scribd.com/document/751081891/Estrategias-Pais-Para-La-Oferta-de-Cacaos-Especiales>
- Roba, T. B. (2018). Review on: The Effect of Mixing Organic and Inorganic Fertilizer on Productivity and Soil Fertility. *Open Access Library Journal*, 05(06), 1-11. <https://doi.org/10.4236/oalib.1104618>
- Rodríguez, E. (2019). Diagnóstico de la cadena de valor del cacao en Colombia. En V. H. Sánchez, J. L. Zambrano, & C. Iglesias (Eds.), *La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe: Cacao 2030-2050* (pp. 32-43). Fontagro; Escuela Superior Politécnica del Litoral [ESPOL]; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <https://bit.ly/3sFpkIS>
- Romero Hernández, E. (2016). *Evaluación ecomorfológica de cacao (Theobroma cacao L.) sometido a distintas fertilizaciones, en la comunidad de Nuevo Ojital, municipio de Papantla, ver.* [Trabajo de experiencia recepcional, Universidad Veracruzana]. <https://cdigi-tal.uv.mx/handle/123456789/47417>
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742
- Saha, A., Mani, P. K., Hazra, G. C., & Mitran, T. (2017). Assessing suitability of different extractants for determining available boron in soil. *Journal of Plant Nutrition*, 40(19), 2651-2661. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381125>
- Sánchez, L. E., Parra, D., Gamboa, E., & Rincón, J. (2005). Nota técnica rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro*, 17(2), 119-122. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85717208.pdf>

- Schulte, R. P. O., Creamer, R. E., Donnellan, T., Farrelly, N., Fealy, R., O'Donoghue, C., & O'hUallachain, D. (2014). Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science and Policy*, 38, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.002>
- Setu, H. (2022). Effect of Phosphorus and Potassium Fertilizers Application on Soil Chemical Characteristics and Their Accumulation in Potato Plant Tissues. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5342170>
- Shaligram, A., & Gawande, S. N. (2017). Effect of integrated nutrient management on soil properties and yield of soybean (Glycine max). *Annals of Plant and Soil Research*, 19(2), 205-209. <https://gkvsociety.com/control/uploads/ATUL%20SHALIGRAM%20BONDE%20AND%20S.N.%20GAWANDE1.pdf>
- Sinaga, A., Jambang, N., Hakim, L., & Amisnaipa. (2023). Increased cocoa production due to organic fertilizer application. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1192(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1192/1/012006>
- Snoeck, J. & Jadin, P. (1992). Cacao. En W. Wichmann (Coord.), *IFA World Fertilizer User Manual* (pp. 520-531). International Fertilizer Industry Association (IFA).
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., & Jagoret, P. (2016). Cacao Nutrition and Fertilization. En E. Lichtfouse (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (Vol. 19, pp. 155-202). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7>
- Somarriba, E. (2004). ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? *Agroforesteria en las Américas*, (41-42), 120-128.
- Somarriba, E., Orozco-Aguilar, L., Cerda, R., & López-Sampson, A. (2018). Analysis and design of the shade canopy of cocoa-based agroforestry systems. En P. Umaharan (Ed.), *Achieving sustainable cultivation of cocoa* (pp. 469-500). Burleigh Dodds Series in Agricultural Science. <https://doi.org/10.19103/as.2017.0021.29>
- Somarriba, E., Quesada, F., Orozco, L., Cerda, E., Villalobos, M., Orozco-Estrada, S., Astorga-Domian, C., Say-Chávez, O. D. E., & Villegas-Cáceres, R. (2011). *La sombra del Cacao*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Steiner, F., & Do Carmo Lana, M. 2013. Effect of pH on boron adsorption in some soils of Parana, Brazil. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(2), 28-29. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000200015>

- Triano-Sánchez, A., Palma-López, D. J., Salgado-García, S., Lagunes-Espinoza, L. C., & Córdova-Ávalos, V. (2016). Nutrición orgánica en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco, México. *Agroproductividad*, 9(12), 39-44. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/859/723>
- Tuesta-Pinedo, Á. L., Trigozo-Bartra, E., Cayotopa-Torres, J. J., Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Zúñiga-Cernadez, L. B., & Leon-Ttacca, B. (2017). Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma Cacao* L.) con la inclusión de Trichoderma endófito y Micorrizas arbusculares. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(1), 67-78. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i1.3086>
- Uchida, R. (2000). Essential Nutrients for Plant Growth: Nutrient Functions and Deficiency Symptoms. En J. A. Silva, & R. Uchida (Eds.), *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture* (Vol. 1, pp. 31-55). College of Tropical Agriculture and Human Resources; University of Hawaii at Manoa. <https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/pnm3.pdf>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2023). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) 2022*. https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva_2022.aspx
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2024). *Planificación nacional*. <https://sipra.upra.gov.co/nacional>
- Van Vliet, J. A., Slingerland, M., & Giller, K. E. (2015). Mineral Nutrition of Cocoa. A Review. En *The use of fertilisers in cocoa*. Wageningen University and Research Centre. https://www.researchgate.net/publication/283398075_Mineral_nutrition_of_cocoa_a_review
- Vásquez-Barajas, E. F., García-Torres, N. E., Bastos-Ororio, L. M., & Lázaro-Pacheco, J. M. (2018). Análisis económico del sector cacaotero en Norte de Santander, Colombia y a nivel internacional. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8(2), 237-250. <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7963>
- Villalaz-Pérez, J., Villarreal-Núñez, J., Santo-Pineda, A., & Gutiérrez-Lezcano, A. (2022). Dinámica de nutrientes en el cultivo de cacao bajo un sistema orgánico. *Ciencia Agropecuaria*, 34(1), 64-90. https://www.researchgate.net/publication/357825019_Dinamica_de_nutrimientos_en_un_cultivo_de_cacao_bajo_sistema_organico#fullTextFileContent
- Villamizar, R. A., y González, E. E. (2023). *BioNanotecnología aplicada al cultivo de Theobroma cacao* L. Universidad de Pamplona. <https://doi.org/10.24054/seu.40>

- Visconti, E., Ramírez, B., Gomez, J., & Torres, S. (2013). *Efecto de un residuo orgánico sobre los índices estructurales del suelo en un sistema de agricultura protegida*. Memorias del XX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay, Venezuela.
- Wessel, M. (1971). *Fertilizer requirements of cacao (Theobroma cacao L.) in South-Western Nigeria*. Koninklijk Instituut Voot de Tropen. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/525772>
- Wessel, M., & Quist-Wessel, P. M. F. (2015). Cocoa production in West Africa, a review and analysis of recent developments. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 74-75, 1-7). <https://doi.org/10.1016/j.njas.2015.09.001>
- Wichmann, W. (Coord.). (1992). *IFA World Fertilizer Use Manual* (Vol. 1). International Fertilizer Industry Association. https://www.fertilizer.org/wp-content/uploads/1992/06/IFA_World_Fertilizer_Use_Manual.pdf
- Wood, G. A. R., & Lass, R. A. (1985). *Cocoa*. (4.º ed.). Blackwell Science.
- Yomso, A., & Baharli, B. (2021). Roles of manganese in plants at physiological and biochemical perspectives. *The Pharma Innovation Journal*, 10(2), 53-66.
- Zabala, A., Fuentes, J., Castillo, J., & Roa-Ortiz, S. (2019). The importance of non-monetary cost in start-up and annual cacao [*Theobroma cacao* L.] production activities in Santander, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 37(1), 74-84. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n1.71681>
- Zhang, S., Yang, W., Muneer, M. A., Ji, Z., Tong, L., Zhang, X., Li, X., Wang, W., Zhang, F., & Wu, L. (2021). Integrated use of lime with Mg fertilizer significantly improves the pomelo yield, quality, economic returns and soil physicochemical properties under acidic soil of southern China. *Scientia Horticulturae*, 290, 110502. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110502>







Impresión y encuadernación:
DGP Editores S. A. S.

Terminó de imprimirse
en marzo de 2025, Bogotá, D. C., Colombia

El sector cacaotero es importante en la economía agrícola de Colombia, ya que contribuye al fortalecimiento del modelo de agricultura campesina, familiar, étnica y comunitaria. La producción de cacao en los municipios con Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET) de la subregión del Catatumbo se da en zonas de vida con una amplia gama de ambientes agroecológicos. En dichas zonas, es imprescindible adoptar prácticas adecuadas para la sostenibilidad del cultivo, que aporten al mejoramiento de las condiciones biológicas, físicas y químicas del suelo, mediante el uso de prácticas sostenibles que permitan aprovechar los recursos, la conservación de la biodiversidad y la recuperación de áreas degradadas. El manejo eficiente de la fertilización integrada es una práctica que mejora la competitividad y sostenibilidad de la producción de cacao, lo cual ayuda a reducir las brechas tecnológicas en el ámbito productivo y ambiental.

Este manual obedece a un proceso de investigación que presenta aspectos fundamentales sobre el cultivo de cacao y las propiedades del suelo, así como los resultados de la evaluación de la implementación de un plan de manejo eficiente de la fertilización integrada en un sistema productivo de cacao en la zona del Catatumbo. Con esto se busca sensibilizar al público objetivo para fortalecer las capacidades sobre el manejo responsable de los nutrientes y propender al manejo sostenible y resiliente de los sistemas productivos de cacao en la zona de estudio.



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

correo: bac@agrosavia.co
teléfono: (57 1) 422 73 00 ext. 1257 o 1274

Distribución gratuita
Prohibida su venta

Centro de Investigación Tibaitatá.
Km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca.
Código postal 250047, Colombia.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co