



## 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
<b>Nitrógeno (N)</b>	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 <b>traslocación</b> al grano de cacao en etapa de fructificación (Puentes-Páramo et al., 2014).
<b>Fósforo (P)</b>	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).
<b>Potasio (K)</b>	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.
<b>Calcio (Ca)</b>	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).
<b>Magnesio (Mg)</b>	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).
<b>Azufre (S)</b>	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:

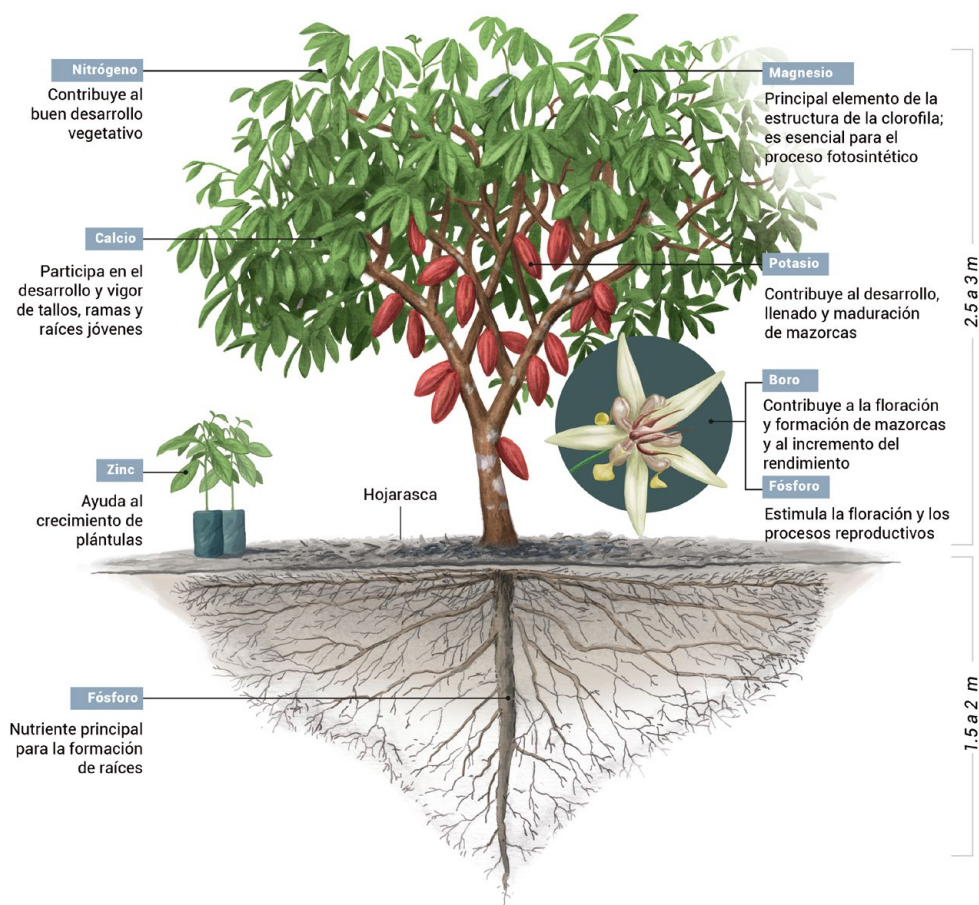
proceso de transporte de nutrientes absorbidos por las raíces, a través del xilema y floema, hacia hojas, tallos y frutos; esto permite el crecimiento, la fotosíntesis y el metabolismo.

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
<b>Boro (B)</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).
<b>Zinc (Zn)</b>	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).
<b>Hierro (Fe)</b>	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.
<b>Cobre (Cu)</b>	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).
<b>Manganeso (Mn)</b>	Controla procesos metabólicos como la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de aminoácidos (Yomso & Baharli, 2021).
Fuente: Elaboración propia	





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

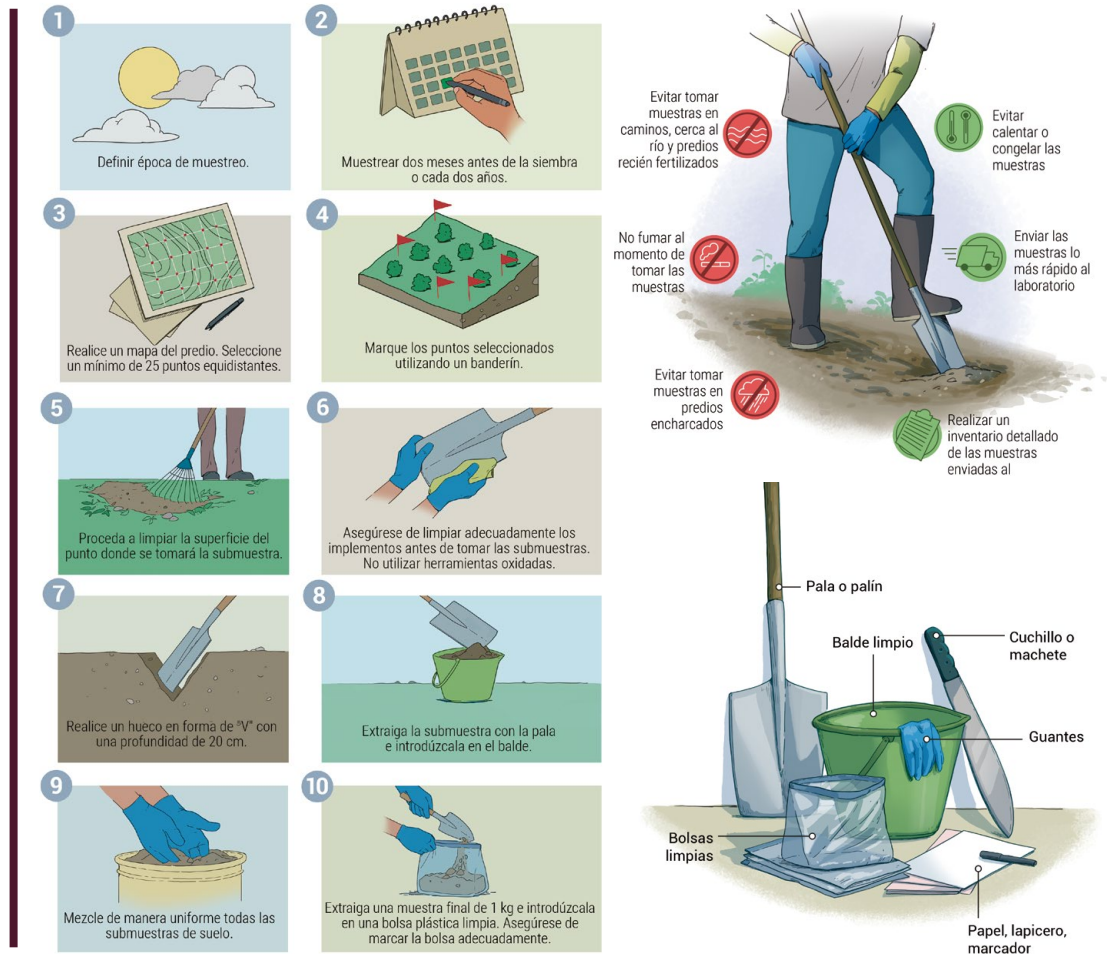
## Importancia del análisis del suelo para la fertilización eficiente

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



**Información complementaria:**

¡Antes de sembrar, el suelo debe analizar!



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.

**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.
- ¿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.


**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.

**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
<b>Puentes-Páramo (2016)</b>	16,1-18,3	1,2-1,9	9,1-12,7	16,9-24,5	4,4-7,1	2,0-2,3
<b>Sodré (2002)</b>	23,4-24	2,1-2,2	16,5-17,1	8,3-9,0	4,3-4,5	
<b>Malavolta et al. (1997)</b>	19-23	1,5-1,8	17,0-20,0	9,0-12,0	4,0-7,0	1,7-2,0
<b>Abreu (1996)</b>	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	
<b>Puentes-Páramo (2016)</b>	24,9-39,0	15,9-73,0	195-346	354-547	34-62	
<b>Sodré (2002)</b>		38,9-44,0	62,7-83,4	194,2-226,4	115,9-129,7	
<b>Malavolta et al. (1997)</b>	30,0-40,0	10,0-15,0	150-200	150-200	50,0-70,0	
<b>Abreu (1996)</b>		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<sup>-1</sup> de N y 58,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ácido fosfórico). Por su parte, Appiah et al. (2000) sugirieron que para alcanzar un rendimiento superior a los 280 kg ha<sup>-1</sup> anuales en plantaciones híbridas de cacao en Ghana (África), es crucial aplicar 129 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 76,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (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 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (nitrato de calcio), 75 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 150 g de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (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<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 160 (g) de K<sub>2</sub>O. En Panamá, Villalaz-Pérez et al. (2022) propusieron para el clon CCN-51 la aplicación de 123 kg ha<sup>-1</sup> de N, 14 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 20 kg ha<sup>-1</sup> de CaO (cal viva) y 49 kg ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> de cabrinaza. En Ghana, Dogbatse et al. (2021) recomendaron la aplicación de 27 t/ha<sup>-1</sup> 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 sombrío. 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

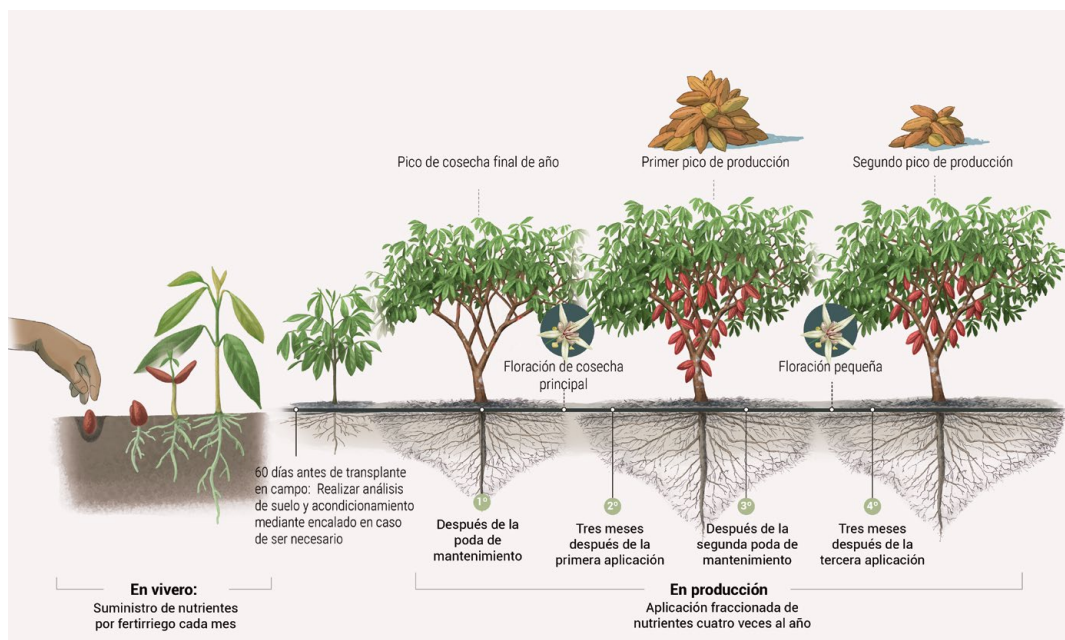
Autor	Departamento	Dosis (kg/ha)						Rendimiento (kg/ha)
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SO <sub>4</sub>	
<b>Quiroz et al. (1981)<sup>1</sup></b>	Magdalena	45,5	91	14	-	-	-	1.077
		42	21	77	-	7	-	1.020
<b>Uribe et al. (1998)<sup>2</sup></b>	Santander	150	90	200	-	-	-	1.160
<b>Mejía (1999)<sup>3</sup></b>		90	90	100	-	-	40	1.130
<b>Mejía &amp; Palencia (1999)<sup>4</sup></b>		80	150	100	-	-	-	511 <sup>4a</sup>
		120	90	160	-	-	-	667 <sup>4b</sup>
<b>Ruales-Mora et al. (2011)<sup>5</sup></b>	Caldas	179	24	216	109	72	77	2.910 <sup>5a</sup> 2.486 <sup>5b</sup>
		90	12	108	55	36	28	1728 <sup>5c</sup>
		-	-	16	-	7	12	1.267 <sup>5d</sup> 2.851 <sup>5e</sup>
<b>Puentes-Páramo et al. (2014a)<sup>6</sup></b>	Cauca	61	29	183	-	-	-	2.020 <sup>6a</sup>
		73	35	220	-	-	-	1.337 <sup>6b</sup> 1.340 <sup>6c</sup> 1.634 <sup>6d</sup>
<b>Ballesteros et al. (2022)<sup>7</sup></b>	Nariño	98	126	89	1	5	-	828 <sup>7a</sup> 2.250 <sup>7b</sup>
		49	63	44,5	0,5	2,5	-	2.046 <sup>7c</sup>

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).





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

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

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

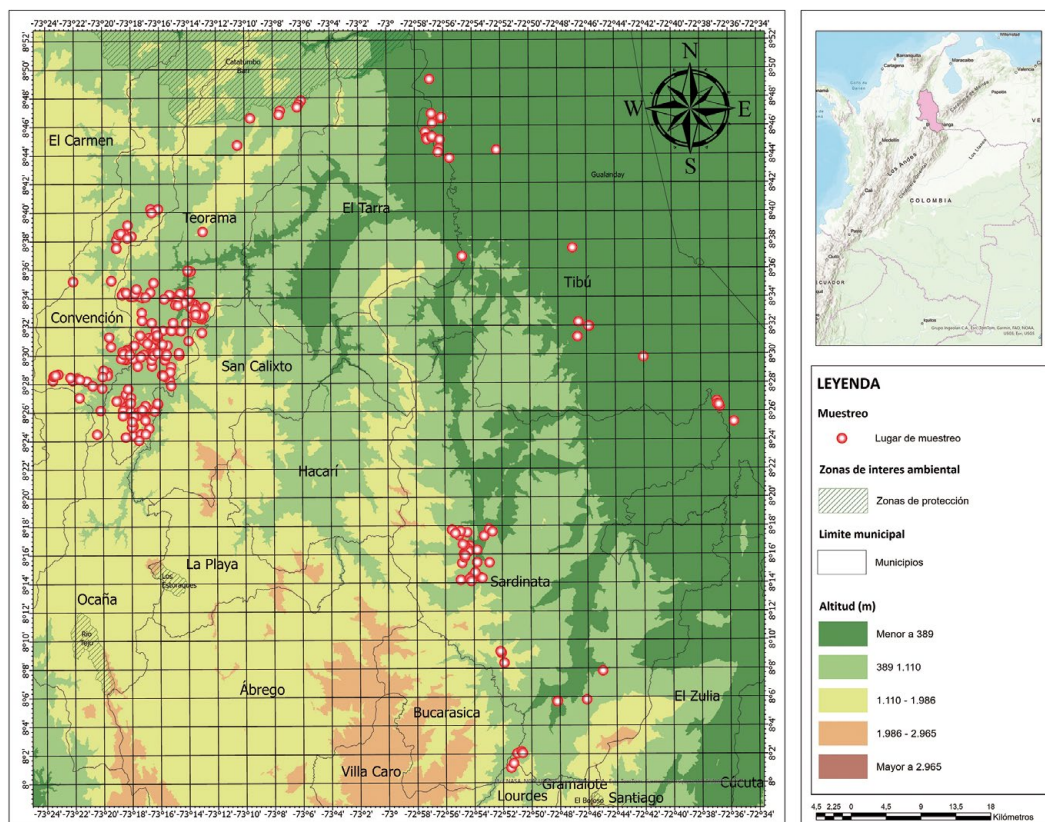
nutrientes, como potasio, calcio, magnesio y boro. Asimismo, indican que, debido a la baja movilidad del fósforo en el suelo, este nutriente debe ser aplicado una sola vez.

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.





**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”.

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).

**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
<b>Ar (arcillosa)</b>	11%	3%	20%	4%
<b>Ar-A (arcillo-arenosa)</b>	4%		1%	2%
<b>Ar-L (arcillo-limosa)</b>	2%			
<b>F (franca)</b>	18%	10%	8%	16%
<b>F-A (franca arenosa)</b>	7%	46%	8%	18%
<b>F-Ar (franca arcillosa)</b>	38%	6%	47%	11%
<b>F-Ar-A (franca arcillo-arenosa)</b>	20%	34%	16%	31%
<b>F-L (franca limosa)</b>				7%
<b>F-Ar-L (franca arcillo-limosa)</b>				5%
<b>A (arenosa)</b>				4%
<b>A-F (arenosa franca)</b>				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 Tibu

Parámetros químicos del suelo	Unidad	Valor promedio $\pm$ sd	Categorías			
			No apta	Marginalmente apta	Moderadamente apta	Supremamente apta
pH		5,27 $\pm$ 0,04	> 7,5 y < 5	6,0-7,5		5,0-6,0
Materia orgánica (Mo)	g/100g	2,17 $\pm$ 0,05	< 3,0	3,0-6,0		> 6
Fósforo (P) (Bray II)	mg/kg	10,18 $\pm$ 0,80	< 6,0	6,0-15		> 15
Boro (B)	mg/kg	0,21 $\pm$ 0,01	< 0,16 y > 0,90	0,16-0,90		
Calcio (Ca)	cmol <sup>(+)</sup> /kg	3,78 $\pm$ 0,24	< 3,5 y > 12,0	4,0-12,0		3,5-4,0
Magnesio (Mg)	cmol <sup>(+)</sup> /kg	1,10 $\pm$ 0,09	< 0,8	0,8-4,4		> 4,4
Potasio (K)	cmol <sup>(+)</sup> /kg	0,22 $\pm$ 0,01	< 0,15	0,15-0,4		> 0,4
Hierro (Fe) (Olsen)	mg/kg	157,27 $\pm$ 7,32	< 19,0 y > 45,0	19,0-45,0		
Cobre (Cu) (Olsen)	mg/kg	1,43 $\pm$ 0,06	< 0,4 y > 1,8	0,4-1,8		
Manganeso (Mn) (Olsen)	mg/kg	19,64 $\pm$ 1,00	< 3,0 y > 12,0	3,0-12,0		
Zinc (Zn) (Olsen)	mg/kg	2,66 $\pm$ 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 mg kg<sup>-1</sup>), con un valor máximo 102,35 mg kg<sup>-1</sup>. 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 micronutrientes. 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.

