



# Capítulo 1

## Fertilización y uso de enmiendas agrícolas

ANDREA DEL PILAR VILLARREAL NAVARRETE, MAURICIO CAMELO RUSINQUE

Para el manejo integrado de la fertilidad de un sistema productivo deben tenerse en cuenta los conceptos de fertilidad y nutrición y las diferencias entre un fertilizante y una enmienda agrícola. La fertilidad en los sistemas agrícolas es la capacidad que tiene el suelo de aportar los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo cual mejora el rendimiento de los cultivos (Arévalo & Castellano, 2009; Damian et al., 2018). Por su parte, la nutrición es el proceso mediante el cual las plantas asimilan los nutrientes necesarios para el crecimiento y el mantenimiento de sus funciones vitales (Arévalo & Castellano, 2009).

Es necesario aclarar que un fertilizante es el resultado de una mezcla química, natural o sintética, con elementos que nutren los cultivos y enriquecen el suelo con nutrientes. En cambio, las enmiendas agrícolas mantienen o mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, contribuyen a la asociación de las plantas con el recurso suelo y, de esta manera, aumentan el rendimiento en los cultivos (Arévalo & Castellano, 2009). Asimismo, cabe destacar que las enmiendas pueden producirse a partir de productos químicos u orgánicos, de lo cual depende su clasificación, como se especifica más adelante. Aclarados estos conceptos, el propósito de los planes de fertilización es mantener la fertilidad del suelo a un nivel adecuado para que las plantas absorban los nutrientes necesarios y devolver al sistema los elementos extraídos durante el ciclo de cultivo (Arévalo & Castellano, 2009; Damian et al., 2018).

Como su nombre lo indica, la fertilización consiste en la utilización de fertilizantes orgánicos o inorgánicos que potencian la producción de los cultivos. Esta práctica

incluye el uso de enmiendas, la rotación de cultivos y la implementación de prácticas de labranza de acuerdo con las condiciones del terreno, entre otras estrategias. La fertilización debe garantizar que el cultivo extraiga la mínima cantidad de nutrientes de las reservas del suelo para conservar sus propiedades físicas y químicas (Arévalo & Castellano, 2009; Damian et al., 2018) y mantener un balance entre los elementos del suelo y las plantas. La mala implementación de estas técnicas puede degradar el suelo por cambios en su estructura, por pérdida de nutrientes y por salinización o acidificación (Damian et al., 2018), factores que ponen en riesgo la sostenibilidad ambiental para el desarrollo del sistema productivo.

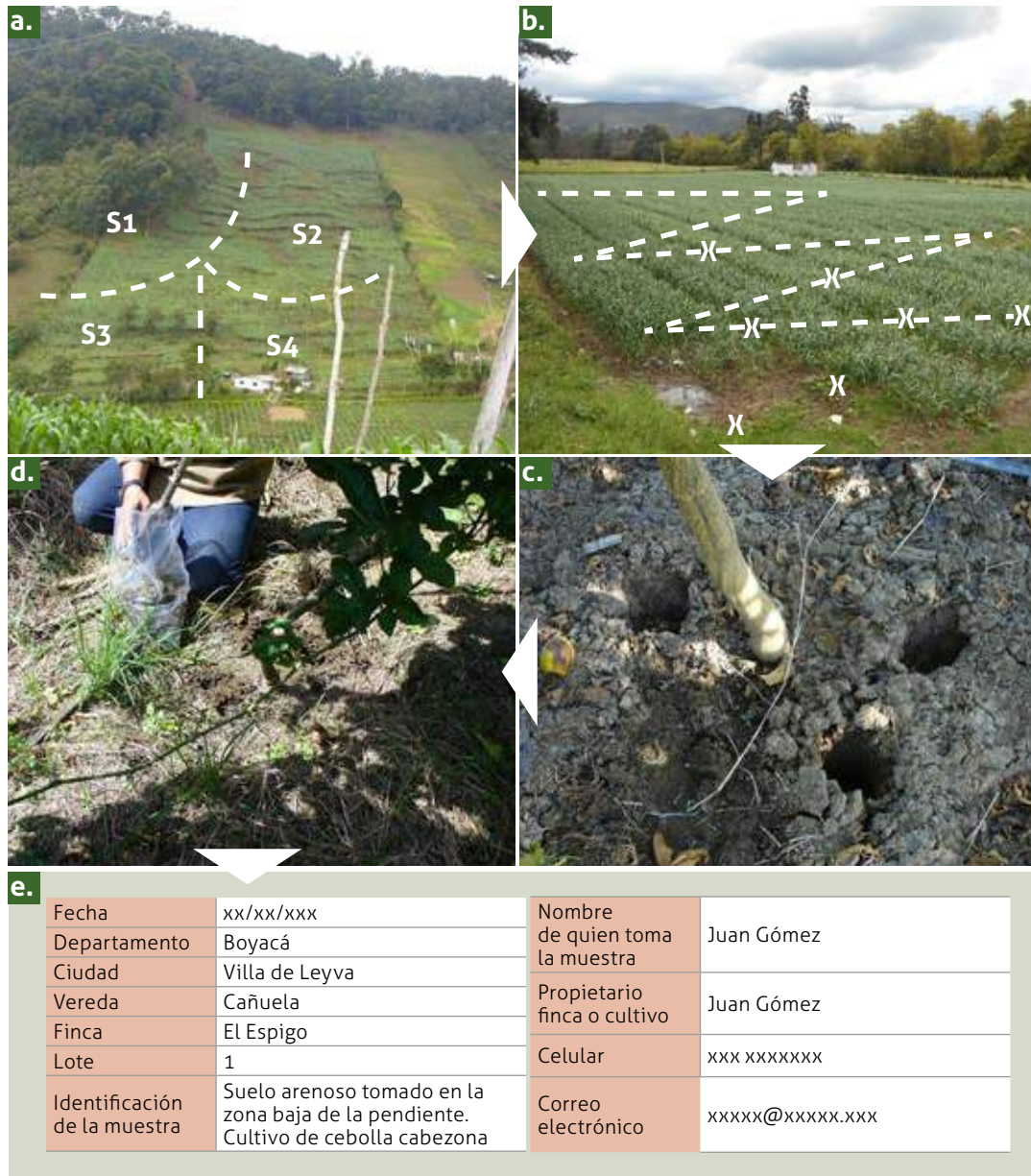
Así pues, el análisis de suelos es parte esencial de un programa de manejo agronómico, ya que permite conocer la fertilidad del suelo donde se realiza el cultivo, monitorear la disponibilidad de nutrientes a través del tiempo y diseñar un plan adecuado de fertilización. De esta manera se podrá optimizar el uso de fertilizantes, definir el tipo de enmiendas a utilizar y predecir potenciales problemas nutricionales (Román et al., 2013). Con esta actividad el productor asegura la inversión en el cultivo y alcanza el rendimiento deseado.

## **Toma de muestras y análisis de suelos**

La eficacia del uso de los resultados de un análisis de suelos depende en gran medida de la toma adecuada de la muestra de suelo del cultivo. Esta debe ser representativa del lote, por lo que se recomienda que se tome una muestra por cada hectárea de terreno, compuesta por entre 15 y 20 submuestras de suelo (Arévalo & Castellano, 2009).

Para tomar la muestra de suelo se necesitará una pala o barreno, un azadón, un balde y bolsas plásticas. Cabe destacar que los utensilios utilizados para la toma de la muestra deben estar bien lavados. Teniendo los elementos listos, el muestreo de suelos para el análisis inicia definiendo el patrón de muestreo en el lote. Este patrón es una línea imaginaria en zigzag, en cuadrícula o lineal, que cubre todo el terreno. En cada punto de muestreo debe retirarse totalmente la vegetación y hojarasca que cubre la capa superficial del suelo con ayuda de un azadón. En caso de utilizar una pala para coleccionar la porción de suelo, se debe cavar un hoyo en forma de V del ancho de la herramienta a una profundidad de 10 a 40 cm dependiendo del desarrollo radical del cultivo a establecer. Posteriormente, se debe cortar una porción de suelo de 2 a 5 cm de grueso en la pared del hueco y eliminar la tierra de

los dos lados del corte. Las muestras se depositan en un balde o costal limpio para mezclar las submuestras (Arévalo & Castellano, 2009; Múnera, 2012) (figura 1.1). Si se utiliza un barreno, la herramienta limpia se debe enterrar a la profundidad deseada y la muestra colectarse directamente del instrumento.



**Figura 1.1.** Proceso para la toma de muestras de suelo. a. División del lote por diferencias topográficas, de vegetación o características especiales del terreno; b. Recorrido imaginario y puntos de muestreo (señalados con X en la fotografía). c. Toma de submuestras de suelo. d. Mezcla de submuestras. e. Propuesta de etiquetado.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Andrea del Pilar Villarreal Navarrete

Después de mezclar las submuestras, se toma una cantidad aproximada de 2 kg de suelo en una bolsa plástica limpia marcada con la información del propietario del lote o cultivo, el nombre de la finca o la dirección, la identificación del lote al que corresponde la muestra, la vereda, el municipio y el departamento (Múnera, 2012). Al momento de recepción de la muestra, el laboratorio de análisis solicitará otros datos complementarios y específicos del cultivo para realizar la correspondiente recomendación de fertilización. Asimismo, se debe enviar una muestra por cada porción de lote que muestre variaciones importantes, por ejemplo, cambios en la topografía, la humedad o el tipo de vegetación. Las muestras de suelo pueden conservarse a temperatura ambiente, protegidas de la humedad. Igualmente, se recomienda tomar la muestra de suelo dos meses antes de sembrar para asegurar la disponibilidad de los resultados y la ejecución del plan de fertilización antes del establecimiento del cultivo.

## Interpretación de los análisis de suelo

A continuación, se pone a disposición de los lectores una guía para interpretar los análisis químicos de suelos.

**Tabla 1.1.** Guía de interpretación general de un análisis químico de suelos

Reacción del suelo pH			
< 3,5	Ultra ácido	6,6 - 7,3	Neutro
3,5 – 4,5	Extremadamente ácido	7,4 - 7,8	Ligeramente alcalino
4,5 – 5	Muy fuertemente ácido	7,9 - 8,4	Moderadamente alcalino
5,1 -5,5	Fuertemente ácido	8,5 -9,0	Fuertemente alcalino
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido	> 9,0	Extremadamente alcalino
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido		

### Carbono orgánico (Walkey Black)

Clima	Unidad	Bajo	Medio	Ideal	Alto
Frío	%	< 2,9	3,0 - 5,7	5,8 - 7,0	> 7,0
Medio	%	< 1,7	1,8 - 2,9	3,0 - 4,0	> 4,0
Cálido	%	< 1,1	1.2 - 2.3	2.4 - 2.5	> 2.5

### Materia orgánica = carbono orgánico x 1,72

Parámetro	Unidad	Deficiente	Medio	Ideal	Exceso
P (Bray II)	ppm (mg/Kg)	< 15	15 - 25	25 - 40	> 40

S (SO <sub>4</sub> )	ppm (mg/Kg)	< 10	10 - 15	15 - 20	> 20
CICE		< 5	5 - 10	15 - 20	> 20

#### Cationes intercambiables (acetato de amonio 1N, absorción atómica)

Parámetro	Unidad	Deficiente	Medio	Ideal	Exceso
K	cmol/kg	< 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	> 0.4
Ca	cmol/kg	< 3,0	3 - 5	5 – 10	> 10
Mg	cmol/kg	< 1,5	1,5 – 2,5	2,5 – 3,0	> 3
Na	cmol/kg			< 1,0	> 1
Al (KCl 0,1 N)	cmol/kg			< 1,0	> 1

#### Saturación de cationes

Parámetro	Unidad	Deficiente	Medio	Ideal	Exceso
Al	%			< 20	> 20
K	%	< 3.0	3 - 4	4 - 5	> 5
Ca	%	< 50	50 - 60	60 - 70	> 70
Mg	%	< 10	10 - 15	15 - 20	> 20
Na	%		5 - 7	>5	> 15

#### Elementos menores (Olsen/AA)

Parámetro	Unidad	Deficiente	Medio	Ideal	Exceso
Fe	ppm (mg/kg)	< 20	20 - 50	50 - 100	> 100
Mn	ppm (mg/kg)	< 10	10 - 15	15 - 20	> 20
Cu	ppm (mg/kg)	< 1	1 - 2	2 - 3	> 3
B	ppm (mg/kg)	< 0.3	0.3 - 0.4	0.4 - 0.6	> 0,6
Zn	ppm (mg/kg)	< 2	2 - 3	3 - 4	> 4

#### Salinidad y sodicidad

Parámetro	Unidad	Normal	Salino	Sódico	Salino sódico
CE	DS/M	< 2	> 4	< 4	> 4
Na	%	< 5	< 7	> 7	> 7

**Fuente:** Elaboración propia con base en Gómez (2006)

La interpretación de los resultados del análisis de suelos permite determinar las necesidades de fertilización de los cultivos. Por lo general, cada laboratorio envía los resultados con el rango de interpretación del contenido de nutrientes del suelo. Sin embargo, existen criterios generales para interpretar un análisis de suelo, los cuales se resumen en la tabla 1.1. Cabe destacar que la interpretación de los resultados del análisis y el diseño del plan de fertilización debe realizarse con el asistente técnico.

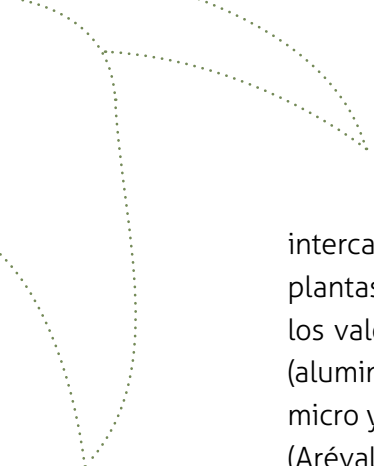
A continuación, se presentan algunos términos para tener en cuenta durante la interpretación de los resultados de los análisis de suelos.

- **pH:** indica la acidez o alcalinidad del suelo (Múnera, 2012). El nivel de pH promedio en el cual todos los nutrientes están disponibles para ser absorbidos por las plantas oscila entre 5,7 y 6,5 (Arévalo & Castellano, 2009).
- **Materia orgánica:** la materia orgánica es el resultado de la descomposición de los residuos orgánicos. Se calcula con base en la cantidad de carbono orgánico de la muestra de suelo (Arévalo & Castellano, 2009).
- **Disponibilidad de nutrientes:** los nutrientes minerales para las plantas no están disponibles en su totalidad en el suelo, por lo cual es necesario conocer en qué proporción se encuentran los elementos en su forma disponible teniendo en cuenta que los contenidos totales de nutrientes muestran las formas solubles e insolubles (Múnera, 2012). Los resultados de los análisis de suelos muestran las cantidades de nutrientes disponibles en la muestra.
- **Conductividad Eléctrica (CE):** este es un valor que indica la salinidad del suelo, con lo cual se puede definir el manejo que debe dársele al agua de riego, las fuentes de fertilizantes y el tipo de material vegetal a sembrar.
- **Textura:** determina la cantidad de las partículas minerales del suelo, las cuales le confieren sus diferentes propiedades fisicoquímicas. Permite elegir cuál es la mejor estrategia de riego e indica cuál es la capacidad de retención de nutrientes del suelo. Estas características permiten definir qué elementos deben ser aportados, en qué dosis y qué forma química de aplicación es la más recomendable (Múnera, 2012).

## Enmiendas agrícolas

El uso de enmiendas en la agricultura es una práctica que se está popularizando para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos naturales y mitigar el impacto ambiental generado en la producción primaria, exigencia de consumidores y gobiernos. La aplicación de enmiendas mejora las propiedades del suelo, además de ser un complemento al aporte de las fuentes inorgánicas incluidas en los planes de fertilización (Carrasco et al., 2012).

El uso de enmiendas tiene como objetivo mejorar las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos, dentro de las que destacan: el aumento de la capacidad de retención de agua, el mejoramiento de la estructura y de la capacidad de



intercambio catiónico (CIC), el incremento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, el mejoramiento de la aireación para el desarrollo de las raíces, el ajuste de los valores de pH, la neutralización de algunos elementos que pueden ser tóxicos (aluminio, hierro, manganeso o metales pesados), el aumento de la diversidad de micro y macroorganismos y la supresión de algunos microorganismos fitopatógenos (Arévalo & Castellano, 2009; Cuervo et al., 2016; Damian et al., 2018; Delgado, 2017; García, 2008; Jaramillo et al., 2013; Peña et al., 2002; Pérez et al., 2008).

Sin embargo, el mal uso de las enmiendas orgánicas por tratamientos inadecuados en su preparación y las dosis altas o inapropiadas pueden convertir este complemento de la fertilización en una fuente de contaminación de los recursos aire, suelo y agua superficial y subterránea (Carrasco et al., 2012). Esto se debe, principalmente, al aporte de metales pesados, microorganismos patógenos y exceso o deficiencia de nutrientes y salinidad (García, 2008), lo cual hace necesario mejorar la selección y el tratamiento de los residuos o enmiendas y el plan de fertilización.

En la literatura hay varias clasificaciones de enmiendas agrícolas de acuerdo con su composición o su origen, aunque la principal diferenciación que debe hacerse es entre enmiendas orgánicas y químicas. Las enmiendas orgánicas son producto de diversas actividades agropecuarias: pueden ser compostadas o no compostadas y pueden ser de origen animal, vegetal o mixto. Las enmiendas químicas tienen su origen en productos minerales como rocas calizas y fosfóricas, entre otras (Damian et al., 2018).

La composición química de las enmiendas orgánicas y su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo varían de acuerdo con las materias primas usadas, el proceso de elaboración, la duración del proceso, la actividad biológica y el tipo de materiales que se utilicen (Pérez et al., 2008).

De acuerdo con su composición, las enmiendas químicas pueden clasificarse en: fuentes simples (cal agrícola, cal dolomita, roca fosfórica, silicato de magnesio (Mg) y yeso agrícola); enmiendas a las que a través de un proceso industrial se les confiere un adecuado balance de bases y una mayor efectividad (cal viva, cal apagada, dolomita calcinada, sulfato de Mg, yeso químico y mezclas orgánico minerales) y enmiendas que proporcionan un doble beneficio, pues nutren a las plantas y corrigen el suelo (termofosfatos, óxidos de Mg y enmiendas específicas con mezclas de productos minerales y químicos).

Dentro de las enmiendas orgánicas se incluye un grupo muy variado de mezclas como compost, lombricompost y preparados como el bocashi —un abono orgánico producto de un proceso de fermentación que acelera la degradación de la materia orgánica animal y vegetal en menor tiempo que el compostaje tradicional, entre 12 y 21 días— (Arévalo & Castellano, 2009; Pérez et al., 2008).

Las enmiendas orgánicas como el compost se obtienen por descomposición aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos (vegetales y animales), proceso realizado naturalmente por microorganismos termófilos, es decir, que crecen a altas temperaturas (entre 40 y 70 °C). En general, los residuos orgánicos deben ser tratados para evitar la pudrición por exceso de agua, la cual impide la aireación u oxigenación y genera malos olores (Arévalo & Castellano, 2009). El manejo adecuado de los materiales para el compost y la técnica de compostaje se presentan en el segundo capítulo de este manual.

Las enmiendas compostadas se dividen en dos categorías: las que requieren calor, como el compostaje tradicional, y las que no, como el lombricompostaje. El lombricompostaje nunca supera la temperatura ambiental y consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de la lombriz (*Eisenia foetida*) y los microorganismos mesófilos, los cuales crecen entre 20 y 40 °C (Jack & Thies, 2006). Tras alimentarse de la materia orgánica, las lombrices la transforman en humus, una fuente de nutrientes para las plantas y la micro- y macrofauna presentes en el suelo (Arévalo & Castellano, 2009).

El bocashi es un abono orgánico fermentado elaborado a base de desechos vegetales y animales (generalmente secos). Al igual que el compostaje, la técnica se basa en procesos de descomposición aeróbica de los residuos a temperaturas controladas realizados por microorganismos. Sin embargo, el proceso de descomposición no es completo y se obtienen productos estabilizados que pueden ser usados como enmiendas en la preparación del suelo para el cultivo. El bocashi es usado para activar y aumentar la cantidad de microorganismos benéficos en el suelo y proporcionar nutrientes a los cultivos (Arévalo & Castellano, 2009; Pérez et al., 2008).

Dentro de las sustancias no compostadas que suelen usarse como enmiendas, destacan los extractos húmicos y de alga, el biocarbón, los desechos orgánicos o las partes de plantas sin compostar. También se usan sustancias de origen animal como emulsiones de pescado, desechos cárnicos, sangre y huesos (Stewart-Wade, 2019).

## Aporte nutricional de las enmiendas a los cultivos

Como se mencionó anteriormente, el principal aporte de las enmiendas orgánicas es su capacidad para ajustar el pH, la aireación y el aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos. Estos factores mejoran la disponibilidad de nutrientes para las plantas. El contenido nutricional de una enmienda se divide en una fracción orgánica y una soluble o disponible para ser absorbida por las plantas. La forma orgánica es transformada a formas solubles a través de la mineralización realizada por los microorganismos presentes en el suelo (Hirzel & Salazar, 2011).

La composición nutricional de las enmiendas depende de varios factores como el origen de los residuos animales usados en la producción de la enmienda (especie, raza, dieta suministrada), el manejo y las condiciones de almacenamiento de estos residuos y su tratamiento, entre otros. Por esta razón, se recomienda caracterizar la enmienda antes de utilizarla para estimar el aporte real de nutrientes al suelo y, de esta manera, definir el plan de fertilización a implementar complementándolo con fertilizantes inorgánicos (Hirzel & Salazar, 2011).

## Recomendaciones para la aplicación de enmiendas orgánicas

El manejo de enmiendas incluye un análisis previo de suelos para establecer la cantidad de macro y micronutrientes del suelo y otras características fisicoquímicas y así seleccionar el tipo de enmienda a utilizar, la dosis y la forma de aplicación. Este proceso es similar a la definición del plan de fertilización química, el cual depende de los requerimientos nutricionales de cada cultivo.

Teniendo en cuenta que las enmiendas agrícolas son usadas principalmente como acondicionadores de suelo y que la importancia del aporte nutricional es clave en los balances generados sobre el pH, para hacer más eficiente el uso de las enmiendas y reducir el riesgo de contaminación ambiental, se sugiere aplicar las enmiendas de manera previa a la siembra del cultivo (7 a 15 días antes) e incorporar el producto en el suelo. De esta forma, se reducen los daños en las semillas y plántulas por acumulación de sales y los posibles cambios en la temperatura de la enmienda, pues estos materiales continúan sus procesos de transformación biológica en el suelo. Esta aplicación anticipada permite balancear el pH, mejorar la actividad microbiana de los suelos y, por ende, mejorar la disponibilidad de nutrientes en el cultivo.

## Dosis de aplicación de enmiendas

El manejo de la fertilidad en los cultivos implica calcular las dosis de aplicación de fertilizantes inorgánicos y de enmiendas orgánicas, los rendimientos esperados de los cultivos, la capacidad de aporte del suelo, la rotación de cultivos previa y las aplicaciones de residuos orgánicos y fertilizantes en años anteriores.

Para establecer las dosis de las enmiendas orgánicas a aplicar, se debe considerar la composición nutricional de cada enmienda. Debido a los riesgos de contaminación ambiental que acarrear los desbalances de nitrógeno (N) y fósforo (P) y a la sensibilidad de las plantas ante estos dos nutrientes, la dosis de la enmienda se debe determinar en función de estos elementos, de acuerdo con las necesidades nutricionales de cada cultivo. De esta forma, se puede trabajar con un sistema de fertilización combinada que permita la utilización de ambas fuentes nutricionales (enmiendas orgánicas y fertilizantes convencionales).

## Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*)

El crecimiento y desarrollo de las plantas depende de varios factores ambientales, incluyendo la luz, el agua, el CO<sub>2</sub> y los nutrientes minerales, cuyos requerimientos son diferentes para cada especie vegetal. La disponibilidad de elementos nutritivos esenciales en tomate garantiza el funcionamiento fisiológico y el desarrollo completo del ciclo vegetativo. Los elementos considerados esenciales para las plantas se dividen en macronutrientes (carbono, C; oxígeno, O; hidrógeno, H; nitrógeno, N; fósforo, P; potasio, K; calcio, Ca) y micronutrientes (azufre, S; magnesio, Mg; hierro, Fe; boro, B; manganeso, Mn; cobre, Cu; zinc, Zn; molibdeno, Mo y cloro Cl) ( Arévalo & Castellano, 2009; Azcón & Talón, 2008).

Las plantas de tomate requieren muchos nutrientes y la extracción y acumulación de estos aumenta a medida que avanza el desarrollo de la planta, por lo cual la floración y la fructificación son las etapas más críticas para la absorción de nutrientes. La absorción de P y S por parte de la planta es estable durante el ciclo de vida. Por su parte, la absorción de N, K, Ca y Mg incrementa intensamente a partir de la floración y hasta el inicio de la maduración de los frutos (el K es el elemento más demandado) (73 %) (Jaramillo et al., 2007).

Los balances nutricionales, principalmente de N y K, deben mantenerse durante el ciclo de vida de la planta. Desde el establecimiento del cultivo hasta la floración, la relación de N y K debe ser 1:1. Cuando comienza el llenado del fruto, se requiere una cantidad mayor de K para la maduración y el llenado, así que la relación debe mantenerse en 1:2 o 1:3. El exceso de N puede llevar a un desarrollo vegetativo abundante con bajo porcentaje de formación de frutos (Jaramillo et al., 2013).

El K debe ser suministrado con especial cuidado en el cultivo ya que es antagonista del Ca: un exceso de K afecta negativamente los contenidos de Ca e induce problemas principalmente durante la poscosecha. En el caso del P, el cultivo de tomate no es muy exigente en su absorción. Sin embargo, es importante para aumentar el desarrollo radicular. Es común encontrar altas concentraciones de este mineral en los suelos de las zonas productoras de tomate en Colombia, pero dada su baja movilidad en el suelo y la fijación en arcillas coloidales abundantes en estas zonas del país, ocasionalmente aparecen plantas de tomate con deficiencias de P.

Ahora bien, el cálculo de la dosis de fertilizantes y la etapa del cultivo en la que deben aplicarse depende de las recomendaciones del asistente técnico, quien revisa los análisis de suelo y los requerimientos del cultivo.

En la tabla 1.2 se resumen las principales funciones de los nutrientes en las plantas y los síntomas de deficiencia asociados a estos con énfasis en las plantas de tomate.

**Tabla 1.2.** Principales funciones de los nutrientes en las plantas y los síntomas de deficiencia

Elemento	Función en la planta	Síntomas de deficiencia en la planta
Nitrógeno (N)	Componente esencial de aminoácidos, proteínas, enzimas, clorofila, ADN y ARN. Estimula el crecimiento de la planta. Contribuye a la formación de frutos y granos.	Alargamiento de tallos y hojas delgadas y erguidas. Primeros síntomas en hojas maduras. Debilidad en tejidos y cambios de color en las hojas (clorosis). Crecimiento de la raíz disminuye. Con deficiencia severa toda la planta se vuelve amarilla o verde pálido y puede presentarse aborto floral y frutos pequeños.

Elemento	Función en la planta	Síntomas de deficiencia en la planta
Fósforo (P)	Participa en procesos como fotosíntesis, respiración y transferencia de energía. Constituye coenzimas, ADN y ARN. Hace parte del ATP. Promueve el crecimiento y el desarrollo radical. Ayuda a desarrollar resistencia a enfermedades.	Hojas y tallos maduros de color verde oscuro o morado y muy delgados. Las hojas pueden enrollarse. Desarrollo lento y retrasos en la floración. Pobre sistema radical. Susceptibilidad a plagas y enfermedades.
Potasio (K)	Importante en fotosíntesis, transporte de carbohidratos y síntesis de proteínas. Participa en osmorregulación y potencial de membrana. Importante en el llenado, firmeza, maduración y calidad del fruto.	Clorosis marginal e intervenal que se manifiesta en la coloración bronce de las hojas, que luego se necrosan. Enrollamiento en hojas maduras. Entrenudos cortos. Sistema radical pobre. Baja tolerancia a estrés biótico y abiótico. Limita apertura estomática e intercambio de gases. Maduración irregular de frutos y reducción en su calidad.
Calcio (Ca)	Hace parte de las paredes celulares. Confiere estructura y permeabilidad. Activa las enzimas amilasa y ATPasa. Favorece el crecimiento de raíces y estimula la actividad microbiana de la rizosfera.	La baja o alta humedad relativa y la temperatura elevada del suelo o el aire inducen las deficiencias en la toma de Ca por parte de la planta. Los síntomas de deficiencia inician en hojas jóvenes con amarillamientos en los bordes y coloración oscura en el envés. Meristemos apicales y yemas deformados o pequeños. Aborto de brotes y flores. Pérdida de turgencia. En los frutos se presenta una pudrición en el extremo apical (culillo).
Magnesio (Mg)	Es el elemento principal de la molécula de clorofila. Actúa como activador de enzimas. Participa en la formación de azúcares, aceites y grasas.	Clorosis intervenal y necrosis que inicia en hojas maduras, las cuales se tornan quebradizas y enrolladas.
Azufre (S)	Parte integral de los aminoácidos cisteína y metionina. Presente en la estructura de las proteínas	Clorosis en las hojas jóvenes. Los tallos y las venas se tornan morados. Menor diámetro y mayor longitud de raíces y tallos. Sistema radical débil y tallos rígidos y quebradizos. Deficiencia similar a la del N, pero se manifiesta en las hojas más jóvenes.
Boro (B)	Importante en translocación de azúcares. Relacionado con desarrollo de pared celular, frutas y semillas. Actúa en diferenciación de tejidos y síntesis de fenoles y auxinas; interviene en la germinación y crecimiento del tubo polínico.	Adelgazamiento de tallos y peciolo. Las hojas jóvenes se vuelven delgadas y con malformaciones. Retraso en la producción de flores y fácil pudrición de frutos.

Elemento	Función en la planta	Síntomas de deficiencia en la planta
Cloro (Cl)	Implicado en la turgencia de la planta y en el crecimiento celular en condiciones de estrés. Ayuda en el metabolismo del N.	Clorosis en hojas maduras. Marchitamiento, reducción del crecimiento y menor transpiración.
Cobre (Cu)	Implicado en la síntesis de clorofila. Constituyente de plastocianina y proteínas de reacciones redox. Participa en síntesis de ADN y ARN. Induce formación de polen viable.	Entrenudos cortos, hojas jóvenes débiles con malformaciones, puntos necróticos y coloraciones oscuras. Reducción en desarrollo radical y en floración y fructificación.
Manganeso (Mn)	Activación de enzimas que participan en respiración, síntesis de proteína y otros procesos como oxidación, reducción e hidrólisis. Está relacionado con la producción de oxígeno durante la fotosíntesis.	Clorosis intervenal las hojas apicales, medias y viejas. La vena central y algunos bordes se mantienen verdes, mientras que el resto de la hoja es amarillo. En casos severos se producen puntos necróticos y caída de hojas. Formación de flores se reduce o se detiene.
Hierro (Fe)	Implicado en la respiración y fotosíntesis a través de la transferencia de electrones y transporte de oxígeno.	Clorosis marginal en hojas terminales que se extiende por la hoja y mantiene las venas verdes. Manchas angulares intervenales y daños con apariencia de quemadura en el margen de las hojas. Disminución del crecimiento y aborto floral.
Molibdeno (Mo)	Implicado en fijación de N, en metabolismo de carbohidratos y en síntesis de ácido abscísico (ABA). Protege las plantas contra factores de estrés; Favorece la formación de polen viable.	Clorosis intervenal que suele confundirse con deficiencia de N. Manchas y enrollamientos en los bordes de las hojas.
Zinc (Zn)	Activación de enzimas involucradas en la síntesis de ADN, ARN, proteínas y algunas hormonas. Interviene en la absorción y uso del agua y algunos nutrientes. Favorece la resistencia a bajas temperaturas.	Crecimiento atrofiado y acortamiento de entrenudos que produce arrosamientos. Hojas pequeñas amarillas o café y con manchas irregulares. Raíces y tallos con malformaciones. Aborto floral.

**Fuente:** Elaboración propia con base en Azcón & Talón (2008) y Jaramillo et al. (2013)

Los requerimientos del cultivo son calculados con base en un rendimiento promedio de fruta y las curvas de absorción se presentan de acuerdo con esta cifra considerando lo extraído por toda la planta (hojas, tallos y frutas). Para rendimientos promedio de 40 kg/m o 400 t/ha, se presentan los promedios de absorción de nutrientes en la tabla 1.3.

**Tabla 1.3.** Promedio de absorción de nutrientes de un cultivo de tomate bajo condiciones protegidas

	kg nutriente/ton fruta
N	2,2
P	0,5
K	3,9
Ca	1,6
Mg	0,4
S	0,6

Fuente: Jaramillo et al. (2013)

Para mayor claridad, en la tabla 1.4 se presenta un resumen de los requerimientos nutricionales del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas de acuerdo con las etapas fenológicas.

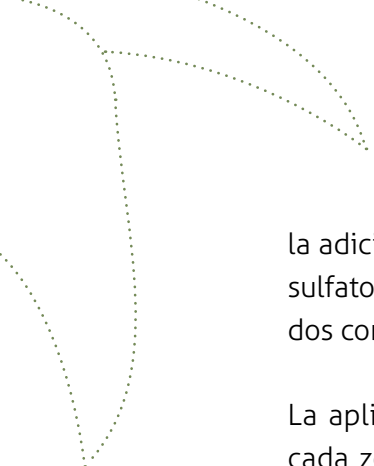
**Tabla 1.4.** Requerimientos nutricionales por etapa fenológica del cultivo de tomate

Etapa fenológica	Días después de trasplante	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	CaO (kg/ha)	MgO (kg/ha)	S (kg/ha)
Trasplante – establecimiento	0 – 28	47	34	60	30	25	19
Inicio de floración a formación de fruta	29 – 63	110	33	185	60	40	30
Formación de fruta – plena cosecha	64 – 112	94	33	180	53	35	26
Plena cosecha a término de cosecha	113 – 140	25	0	75	8	0	0
	Total	276	100	500	150	100	75

Fuente: Tjaling (2006)

## Actualidad de la fertilización de cultivos de tomate bajo condiciones protegidas en Colombia

En su mayoría, los cultivos de tomate bajo invernadero en Colombia cuentan con sistemas de fertirriego que se complementan con aplicaciones edáficas o foliares (Jaramillo et al., 2013). En programas de fertirriego es aconsejable usar fertilizantes de alta solubilidad en agua que permitan una rápida absorción de elementos nutritivos. Existen mezclas de elementos que contienen elementos mayores y menores y cuyas formulaciones se han diseñado para suplir las necesidades del cultivo de acuerdo con sus etapas de crecimiento. Estos requerimientos pueden ser suplementados con



La adición de fertilizantes simples como el nitrato de calcio, el nitrato de potasio, el sulfato de potasio, el fosfato monoamónico y el sulfato de magnesio complementados con una solución de micronutrientes que contenga Cu, B, Mo, Mn, Zn y Fe.

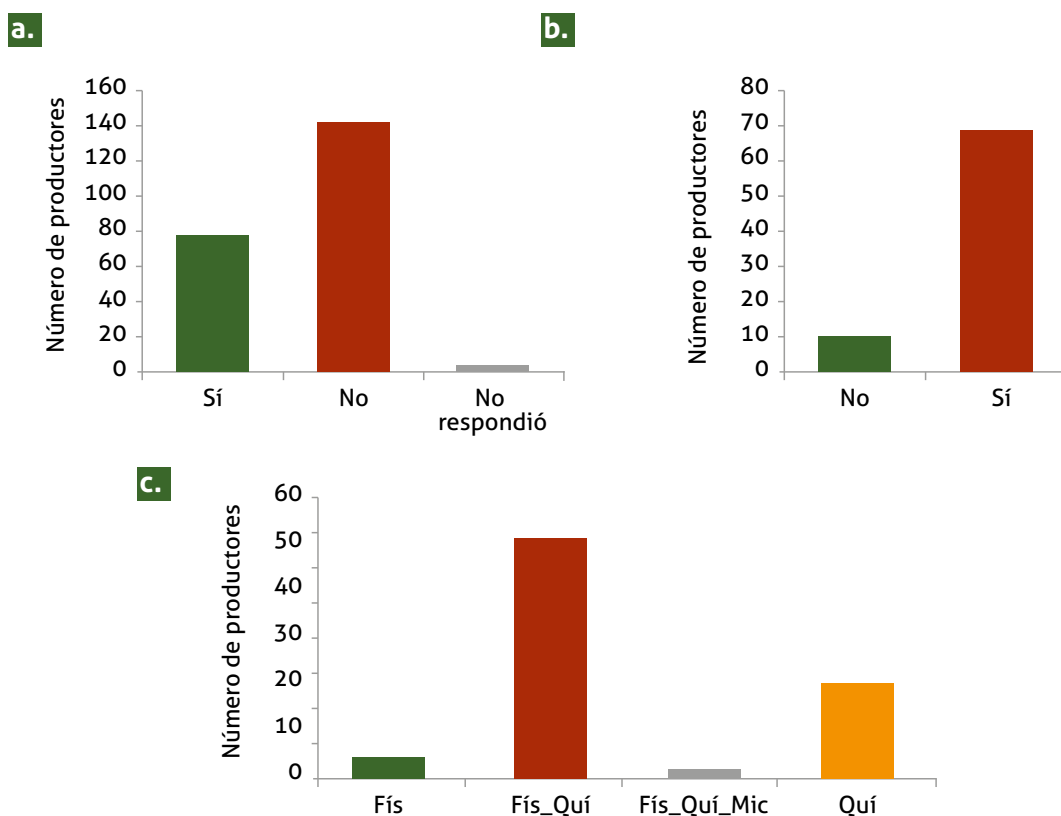
La aplicación de enmiendas químicas como la cal depende del pH del suelo de cada zona de cultivo. En Colombia, destaca la aplicación de enmiendas como la cal dolomítica en los departamentos de Cundinamarca y Antioquia, con lo cual se suplen los niveles de Ca y Mg requeridos por el cultivo. Los productores incorporan los demás elementos nutritivos durante la presiembra conforme preparan el terreno con fertilizantes edáficos de lenta liberación o con soluciones nutritivas durante el desarrollo del cultivo por medio del fertirriego.

Los resultados de la línea base levantada en el macroproyecto citado en la introducción de este manual, demostraron que cerca del 93,72 % de los productores de tomate bajo condiciones protegidas en Colombia no aplican un plan de fertilización y basan sus aplicaciones en conocimientos adquiridos por su experiencia con el cultivo o en sugerencias de agricultores de la región y asistentes técnicos.

## **Adopción de los análisis de suelo en sistemas de tomate bajo condiciones protegidas en Colombia**

El cultivo de tomate en Colombia es un sistema productivo llamativo para las casas comerciales de agroinsumos, las cuales tienen un vínculo estrecho con las oficinas de agricultura municipales. Estas últimas incentivan a los agricultores a realizar análisis de suelos como parte de su plan de manejo de la fertilidad y en algunas ocasiones acompañan el proceso hasta el diseño del plan de fertilización del cultivo. En otros casos, los agricultores tienen en cuenta la recomendación anexa a los resultados del análisis o siguen su propio criterio.

La línea base del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas realizada en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Boyacá dio cuenta de los bajos niveles de adopción de la práctica de análisis de suelos por parte de los agricultores. Solo el 35 % de los encuestados hizo análisis de suelo, de los cuales el 66 % realizó un análisis fisicoquímico completo y un 26 % solo realizó un análisis químico. Del 35 % de productores que realizaron análisis de suelo, la mayor parte acogió las recomendaciones suministradas por las entidades para elaborar el plan de fertilización (figura 1.2).



**Figura 1.2.** Tendencia de realización y aplicación de resultados de análisis de suelos en cultivos de tomate bajo invernadero en Cundinamarca, Antioquia y Boyacá. a. ¿Realiza análisis de suelo?; b. ¿Aplica los resultados de este análisis para el diseño de su plan de fertilización?; c. ¿Qué tipo de análisis realiza?

Nota: Fís = Físico; Quí = Químico; Mic = Microbiológico.

Fuente: AGROSAVIA (2017)

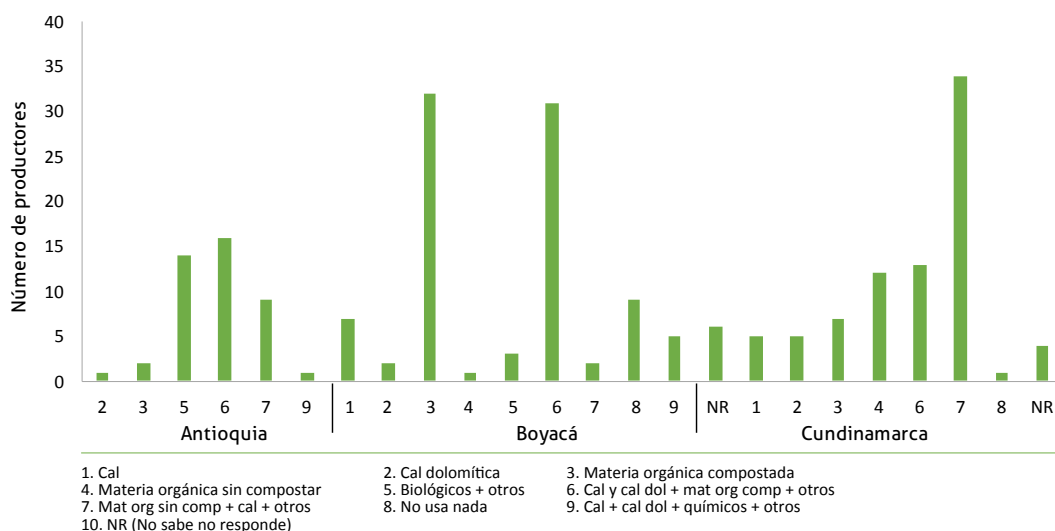
## Uso de enmiendas en el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Boyacá

Como recomendación general, se sugiere aplicar una enmienda agrícola antes de aplicar el fertilizante para corregir las condiciones del suelo y mejorar la efectividad de los nutrientes sobre el cultivo. También deben esperarse entre 20 y 30 días después de la aplicación de la enmienda agrícola para asegurar su efecto en el acondicionamiento del suelo antes de la fertilización.

El diagnóstico del sistema de producción de tomate bajo condiciones protegidas realizado en la línea base del proyecto ejecutado por AGROSAVIA permitió establecer las preferencias de los productores de los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Boyacá en relación con el uso de enmiendas edáficas. El 95,4 % de los productores de tomate aplica enmiendas orgánicas para mejorar los contenidos de materia orgánica del suelo y enmiendas químicas para mejorar las condiciones químicas del suelo, particularmente la acidez (AGROSAVIA, 2017).

Es común encontrar aplicaciones de cal dolomítica para elevar el pH del suelo, cuya dosis es calculada para que simultáneamente suministre los niveles de Ca y Mg requeridos por el cultivo. Los suelos de los departamentos de Antioquia y Cundinamarca tienen valores de pH cercanos a 5,5, por lo cual la aplicación de cal antes de la siembra es una práctica habitual. Por el contrario, los suelos de Boyacá tienen valores de pH cercanos a 8,5 debido a la aplicación constante de agroquímicos y a las condiciones geológicas propias de la región productora de tomate. Por lo tanto, el uso de enmiendas químicas no es una práctica usada en esta región (AGROSAVIA, 2017).

En cuanto a las enmiendas orgánicas, es importante notar que en los departamentos de Antioquia y Boyacá el uso de materia orgánica compostada es una práctica común realizada por productores de tomate. En cambio, en Cundinamarca destaca el uso de materias orgánicas sin compostar como la gallinaza (figura 1.3).



**Figura 1.3.** Uso de enmiendas en cultivos de tomate bajo condiciones protegidas en los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Boyacá (Colombia)

Fuente: AGROSAVIA (2017)

El uso de la gallinaza sin compostar aumenta los riesgos fitosanitarios, disminuye la inocuidad del producto cosechado y genera problemas relacionados con la integridad del suelo y su conservación. Este comportamiento puede atribuirse a que las zonas de producción de tomate bajo invernadero en Cundinamarca coinciden con las zonas de mayor producción avícola del departamento. Esta situación facilita el acceso a la gallinaza para los productores, quienes prefieren aplicarla de forma directa al cultivo, sin pasar por el proceso de compostaje.