

# FERTILIZANTES: CARACTERÍSTICAS Y MANEJO

Editado por: Gloria Meléndez y Eloy Molina







Esta publicación ha recibido soporte financiero del proyecto COSTACAN, convenio conjunto entre las Asociaciones de Suelos de Costa Rica y Canadá. Auspiciado por AIC (Agricultural Institute of Canada) con fondos de CIDA (Canadian International Development Agency)

## COMITÉ ORGANIZADOR

---

M<sup>a</sup> de los Ángeles Córdoba Pérez  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[cordobap@cariari.ucr.ac.cr](mailto:cordobap@cariari.ucr.ac.cr)

Marisa Coto Quintana  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[marisac@cariari.ucr.ac.cr](mailto:marisac@cariari.ucr.ac.cr)

Carmen Gutiérrez Rojas  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[carmeng@cariari.ucr.ac.cr](mailto:carmeng@cariari.ucr.ac.cr)

Gloria Meléndez Celis  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[gmelende@cariari.ucr.ac.cr](mailto:gmelende@cariari.ucr.ac.cr)

---

## CONFERENCISTAS

---

M.Sc. Floria Bertsch Hernández  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo  
[fbertsch@cariari.ucr.ac.cr](mailto:fbertsch@cariari.ucr.ac.cr)

Dr. Carlos Henríquez Henríquez  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[carlosh@cariari.ucr.ac.cr](mailto:carlosh@cariari.ucr.ac.cr)

M.Sc. Eloy Molina Rojas  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[eamolina@cariari.ucr.ac.cr](mailto:eamolina@cariari.ucr.ac.cr)

Dr. Rafael Salas Camacho  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[resalas@cariari.ucr.ac.cr](mailto:resalas@cariari.ucr.ac.cr)

---

## **PRESENTACIÓN**

El Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica es una institución mixta de investigación que desde sus inicios se ha dedicado a realizar labores de investigación, experimentación y asistencia técnica en diferentes campos de la agronomía, con particular énfasis en las áreas de suelos, nutrición de cultivos, biotecnología y poscosecha.

Dentro de la actividad científica del Centro, la divulgación de los resultados y la asistencia técnica a profesionales y agricultores nacionales son la principal misión del quehacer cotidiano. Es por esta razón que periódicamente realiza seminarios, cursos de capacitación y talleres dirigidos a estudiantes, agricultores, profesionales y público en general con el objeto de contribuir a que los productos de la investigación del Centro, lleguen con mayor fluidez a los usuarios. En esta ocasión la actividad divulgativa está orientada al campo de los fertilizantes para conocer sus características y manejo. El uso racional y eficiente de los fertilizantes es un aspecto de gran importancia en la agricultura actual, por su repercusión en los rendimientos de los cultivos y su impacto ambiental en suelos y aguas. El contenido de la información que se difunde dado lo amplio del tema, es generado y recopilado por los miembros del Centro y por los proyectos que se llevan a cabo. El Centro de Investigaciones Agronómicas y la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo han programado este curso de capacitación, en espera que estos encuentros de transmisión de conocimientos, fortalezcan el desempeño de las personas y organizaciones que participan en el evento.

Esperamos que esta actividad cumpla las expectativas de todos los participantes.

Julio, 2003

**FERTILIZANTES: CARACTERÍSTICAS Y MANEJO**  
**Curso de Capacitación**

**ÍNDICE**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Página</b>
Nutrición mineral de plantas y el uso de fertilizantes. Dr. Rafael Salas C.	1
Fertilizantes: conceptos básicos y definiciones. M.Sc. Eloy Molina R.	20
Características y manejo de fertilizantes que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. M.Sc. Eloy Molina R.	30
Características y manejo de fertilizantes que contienen calcio, magnesio y azufre. M.Sc. Eloy Molina R. y Dr. Carlos Henríquez H.	58
Características y manejo de fertilizantes que contienen micronutrientes. M.Sc. Eloy Molina R. y Dr. Carlos Henríquez H.	69
Fertilizantes líquidos y para fertirriego. M.Sc. Eloy Molina R.	79
Fertilizantes foliares. M.Sc. Eloy Molina R.	89
Fertilizantes de lenta liberación. M.Sc. Eloy Molina R.	103
Abonos orgánicos. Manejo de la fracción orgánica y de los aspectos biológicos del suelo. M. Sc. Floria Bertsch H.	112

# NUTRICIÓN MINERAL DE PLANTAS Y EL USO DE FERTILIZANTES

---

Dr. Rafael E. Salas Camacho  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[resalas@cariari.ucr.ac.cr](mailto:resalas@cariari.ucr.ac.cr)

## 1. INTRODUCCIÓN

La nutrición vegetal es definida por Martin-Prével *et al.* (1983) como el conjunto de relaciones existentes entre determinados componentes químicos y la planta, bien en su seno o en sus interfases con el medio exterior. Esta concepción contempla los procesos de absorción, transporte, utilización y eliminación de los nutrimentos. Considerada esta última como una absorción de signo negativo, y el transporte como una absorción entre célula y célula.

La creación de una nueva célula en una planta requiere el aporte adecuado de nutrimentos para su expansión y funcionamiento apropiado. Estos nutrimentos pueden provenir de otras partes de la planta, pero el aumento neto en tamaño de la planta, dependerá de la adquisición de cantidades apropiadas de nutrimentos por la raíz y hojas. Esto no quiere decir que la dinámica de crecimiento esté controlada por las disponibilidades de nutrimentos, sino que sus niveles de absorción estarán determinados por la demanda derivada del crecimiento real de la planta (Clarkson y Hanson 1980). Esto es cierto para la mayoría de los macronutrimentos, pero lo es menos para los micronutrimentos, con los cuales se presentan, con frecuencia, problemas de toxicidad derivados de absorciones superiores a las necesidades de la planta.

Cuando la planta sufre un cierto grado de deficiencia de algún nutrimento, la planta adapta un ritmo de desarrollo de acuerdo con la disponibilidad de dicho nutrimento, manteniendo su concentración por unidad de peso dentro de ciertos límites definidos, solo cuando la disponibilidad del nutrimento alcanza un nivel muy bajo, se manifiestan en sentido estricto, los síntomas de su deficiencia. La rapidez con que la planta manifiesta una deficiencia dependerá del nutrimento, ya que con nutrimentos móviles como nitrógeno, fósforo y potasio por ejemplo, la planta arbitrariamente produce un transporte vía floema de una a otra parte de la planta, especialmente de los órganos maduros o senescentes a los más jóvenes. Por el contrario, aquellos nutrimentos que tienen escasa o nula movilidad, como el caso del calcio y el boro, se produce una rápida cesación de crecimiento, con aparición de síntomas visuales de deficiencia cuando su concentración es muy baja (Baker 1983).

Por la naturaleza de los nutrimentos que intervienen y por las características de los procesos implicados, la nutrición de la planta puede considerarse desde una triple perspectiva:

1. **Nutrición Hídrica**, en la que el agua penetra fundamentalmente por las raíces, pasando luego a la atmósfera, vía órganos aéreos, por transpiración. El rendimiento neto es positivo, pero el volumen de agua en tránsito es muy superior al retenido.
2. **Nutrición carbonada**, caracterizada por cambios gaseosos contrapuestos con la atmósfera. Por la fotosíntesis, que tiene lugar en los órganos aéreos provistos de clorofila, la

planta toma  $\text{CO}_2$  y libera  $\text{O}_2$  en la atmósfera, mientras que por la respiración, que ocurre en todos los órganos de la planta, esta adquiere  $\text{O}_2$  y libera  $\text{CO}_2$ . La actividad fotosintética domina sobre la respiratoria, de forma que el balance de  $\text{CO}_2$  es positivo.

**3. Nutrición mineral**, que está relacionada con los restantes elementos que no sean  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ , y C. Su incorporación a la planta tiene lugar casi exclusivamente vía absorción radicular y, por tratarse de elementos fijos, su salida va solo ligada a la senescencia y abscisión de ciertos órganos (hojas, frutos, etc.). Cuantitativamente, los llamados componentes minerales representan menos del 10% del peso seco de la planta, frente a un 40-50% de C, un 42-44% de  $\text{O}_2$  y un 6-7% de  $\text{H}_2$ .

## 2- ELEMENTOS ESENCIALES

La presencia de un nutrimento en la planta no constituye un criterio de su necesidad para un desarrollo normal. La raíz no es un órgano inteligente, en el sentido de que solo absorba los nutrimentos necesarios, pudiendo la planta llegar a acumular cantidades notables de nutrimentos, no solo innecesarios, sino potencialmente perjudiciales. Arnon y Stout (1939) propusieron los siguientes criterios para definir el criterio de esencialidad:

- La planta no podrá completar su ciclo vegetativo normal cuando el elemento sea eliminado del medio.
- Su función no podrá ser reemplazada por otro elemento; es decir, será totalmente específico.
- El elemento esencial deberá ser identificado como integrante de un metabolito u otra estructura química de la planta.

A estos criterios hoy en día se puede agregar que con frecuencia un elemento sustituye parcialmente a otro, considerado esencial, cuando este se encuentra disponible en cantidades limitadas. Otras veces, un elemento se muestra esencial circunstancialmente para contrarrestar los efectos dañinos o las elevadas concentraciones de otros. Además, un elemento puede mostrarse esencial para una determinada especie y no para las restantes.

Aún cuando las nuevas técnicas analíticas han indicado la existencia de nuevos elementos esenciales, los hasta ahora denominados como esenciales son 16. Estos elementos se pueden clasificar en función de caracteres estructurales, de los que dependen los tipos de enlaces en que intervienen y, en última instancia, al papel biológico que desempeñan. Pueden también clasificarse atendiendo a su concentración en la planta, criterio menos preciso por depender de la especie y/o variedad, de su ontogenia, y aún de las circunstancias ambientales en que se desarrolle.

De acuerdo con el criterio estructural de Mengel y Kirkby (1978), los nutrimentos se clasifican en cuatro grandes grupos:

- 1. Grupo 1:** C,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , y S, que en forma general (excepto el  $\text{H}_2$ ), se encuentran covalentemente ligados como integrantes fundamentales de la materia orgánica.
- 2. Grupo 2:** P y B, existentes en forma de oxianiones, fosfato o borato.
- 3. Grupo 3:** Ca, Mg, K, Mn y Cl, presentes en forma iónica como reguladores osmóticos, aunque algunos pueden desempeñar funciones más específicas como integrantes de sistemas

enzimáticos, generalmente en forma de complejos metal-proteína, más que de auténticos metaloenzimas.

**4. Grupo 4:** Fe, Cu, Zn, Mn y Mo, existentes como quelatos o metaloenzimas que participan en procesos de óxido-reducción o de otra naturaleza.

En el Cuadro 1, se indican para cada elemento, los límites de concentraciones, expresada en materia seca, encontrados en el reino vegetal. Entre paréntesis se incluye el valor medio más frecuente, según Price (1970), así como las relaciones atómicas derivadas de él en relación con el Mo, elemento minoritario.

**Cuadro 1. Elementos esenciales en la nutrición de las plantas**

Elemento	Concentración en materia seca	Nº relativo de átomos en relación al Mo
Molibdeno	0,02-150 (0,1) $\mu$ g/g	1
Cobre	0,2-200 (6) $\mu$ g/g	100
Zinc	4-420 (20) $\mu$ g/g	300
Manganeso	7-3000 (50) $\mu$ g/g	1000
Boro	5-1000 (20) $\mu$ g/g	2000
Hierro	25-1200 (100) $\mu$ g/g	2000
Cloro	100-60000 (100) $\mu$ g/g	3000
Azufre	0,06-1,5 (0,1) %	30000
Fósforo	0,02-1,4 (0,2) %	60000
Magnesio	0,05-2,0 (0,2) %	80000
Calcio	0,04-7,0 (0,5) %	125000
Potasio	0,10-12,0 (1,0) %	250000
Nitrógeno	0,25-7,5 (1,5) %	1000000
Oxígeno	(45) %	35000000
Carbono	(45) %	35999999
Hidrógeno	(6) %	60000000

En el cuadro aparece una solución de continuidad entre el Cl y S. Aún cuando las concentraciones límite no permiten diferenciar, clásicamente se han separado los elementos entre minoritarios o micronutrientes, también denominados elementos traza u oligoelementos aquellos elementos cuya concentración no sobrepasa los 1000  $\mu$ g/g en peso seco y los macronutrientes, a los de concentración superior. Otros han definido a los macronutrientes como elementos plásticos por su participación en la construcción de estructura celular y a los micronutrientes como elementos católicos o metabólicos por su participación en la dinámica celular o tisular. Esta última definición va perdiendo validez, ya que hay elementos como el potasio, que no está directamente relacionado en la arquitectura de las estructuras vivas, mientras que otro elemento menos abundante como el azufre es esencial a la misma.

Sin considerar el H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, que carecen de características específicas en el reino vegetal y del C, cuya participación a nivel de fotosíntesis podría ser objeto de un libro exclusivo, se van a

analizar los restantes nutrimentos en función de sus estructuras, tipo de compuestos, su función y la dinámica a que se ven sometidos en la planta.

## 2. Nitrógeno

Es uno de los elementos más importantes para todos los seres vivos. En estado puro (como  $N_2$ ) es un gas, inerte, inodoro e insípido. Aproximadamente el 80% del aire que nos rodea está formado por este gas, aunque en este estado no resulta asimilable por los seres vivos, a excepción de algunos microorganismos. Para que las plantas puedan aprovecharlo debe hallarse formando compuestos a base de combinación con otros elementos. En las plantas el nitrógeno está presente en la composición de numerosas sustancias orgánicas tales como proteínas, clorofila, aminoácidos, ácidos nucleicos, etc., sustancias que son la base de los procesos que controlan el desarrollo, el crecimiento y la multiplicación de las mismas. Resulta evidente, por lo tanto, la importancia de este elemento en la vida de las plantas. En las plantas el nitrógeno es asimilado vía radicular en forma de  $NO_3^-$  y de  $NH_4^+$ .

La absorción del nitrato por la planta es muy alta y ocurre por transporte activo y es favorecido por pH bajos en la rizosfera. Además, la presencia de amonio disminuye la absorción del nitrato. Para la planta la fuente de nitrógeno ideal sería el amonio, ya que produce un ahorro de energía en la síntesis de proteína. El nitrato a diferencia del amonio debe ser reducido antes de ser incorporado en las proteínas. Este proceso de reducción consume energía utilizando dos ATP por cada molécula de nitrato (Tisdale *et al.* 1985). En el caso de las leguminosas, merced a la asociación simbiótica que a nivel radicular se establece con algunas bacterias, la planta puede, de forma adicional, asimilar más de un 60% de su nitrógeno por fijación biológica.

Los síntomas de deficiencia de nitrógeno pueden variar según la especie y el género, pero en general, los signos externos más característicos que podemos apreciar son una reducción en el crecimiento, debilitamiento generalizado del color verde, amarillamiento que comienza en las hojas inferiores más viejas de la planta y que por lo general, avanza desde el ápice hacia la base, llegando a producir la muerte de los tejidos y la caída de las hojas.

### 2.1 Fósforo

El fósforo se encuentra vinculado en los seres vivos a la recepción, conservación y transferencia de energía, merced al establecimiento de enlaces altamente energizados. De ellos, el de mayor importancia biológica es el enlace anhídrido P-O-P, que da origen al grupo de los polifosfatos. Los compuestos con enlace P-O-P de mayor importancia energética son el adenosin-trifosfato (ATP) y el adenosin-disfosfato (ADP), con dos y un enlace anhídrido, respectivamente. La hidrólisis de dichos enlaces conlleva el alto valor de energía libre que, en las reacciones biológicas en que intervienen, es transferida (Bielecki 1973).

En la naturaleza el fósforo no se encuentra en estado puro, sino en forma de diferentes compuestos como resultado de su combinación con otros elementos. Aunque estos son muy numerosos, es de destacar que en la mayoría de ellos se encuentra como fosfato. Los efectos más notables que se le atribuyen al fósforo son: estimular un desarrollo precoz de la raíz y del crecimiento de la planta, desarrollo rápido y vigoroso de las plantas jóvenes, aumentar la resistencia de las plantas ante condiciones desfavorables, acelerar la floración y la

fructificación. Teniendo en cuenta las variaciones naturales que pueden haber entre diferentes especies de plantas, los signos más característicos y generales de una deficiencia de fósforo son: a) la planta presenta un tamaño reducido; hay un evidente retraso en el desarrollo y la maduración, b) las hojas adquieren un color verde muy fuerte y, en ocasiones, puede llegar a aparecer un tono púrpura en diferentes partes de las hojas, en el tallo y en las ramas.

La asimilación del fósforo se da en tres formas iónicas distintas, de ellas la más aprovechable por las plantas es el fosfato monobásico, el fosfato dibásico también es asimilable aunque no tanto como el monobásico, y el fosfato tribásico está prácticamente fuera del alcance de las plantas. Los requerimientos de fósforo para un óptimo crecimiento está en el ámbito de 0,3 a 0,5% en peso seco durante el contenidos son mayores al 1% en peso seco. Sin embargo, en muchos cultivos de leguminosas tropicales la toxicidad puede ocurrir con contenidos en los puntos de crecimiento de 0.3 a 0,4% (Bell *et al.* 1990).

## 2.2 Potasio

Este elemento juega un papel muy importante en la neutralización de los abundantes radicales ácidos que se producen continuamente en el metabolismo. Constituye uno de los principales papeles del potasio, especialmente en el cloroplasto y mitocondria a los que, por su difusibilidad, puede llegar sin dificultad. El potasio además, es esencial en la economía del agua en la planta, lo que se debe a su fácil hidratación y a su contribución, dada su alta abundancia y alta solubilidad, al mantenimiento de la presión osmótica celular y de los vasos conductores, favoreciendo la absorción del agua por la raíz (Hsiao and Lauchli 1986). El potasio está implicado en el proceso de cierre y apertura de estomas, debido que al aumentar su concentración en las células guarda que da como resultado un aumento en la presión osmótica, incrementando su turgor y por ende produciendo la apertura de los estomas (Edwards *et al.* 1988). Además, participa en el control de la actividad fotosintética, regulando la absorción del CO<sub>2</sub> a través de los estomas (Humble y Raschke 1971).

El potasio no solo es un elemento móvil, sino que aumenta la movilidad en la planta de diversos compuestos especialmente de ácidos dicarboxílicos, además es un estimulante de la división celular. Por ello, este elemento tiende a acumularse en las zonas meristemáticas, siendo las partes más viejas de la planta las primeras en manifestar los síntomas de su deficiencia que está asociado a una deshidratación gradual.

## 2.3 Calcio

Las funciones del calcio en las plantas han sido intensamente revisadas por Hanson (1984) y Kirkby y Pilbeam (1984). Hoy en día el calcio recibe mucho interés en fisiología y biología molecular por la función de ser un elemento conductor de señales entre factores ambientales y respuesta de la planta en términos de crecimiento y desarrollo. El calcio unido al pectato es esencial para la fortaleza de las paredes celulares y de los tejidos de la planta. Esta función del calcio es claramente reflejada por la alta correlación entre la capacidad de intercambio catiónico de las paredes celulares y el contenido de calcio en los tejidos de la planta requerido para óptimo crecimiento (Konno *et al.* 1984).

El contenido de calcio en las plantas varía desde 0,1 hasta >5% en peso seco dependiendo del estado de crecimiento, especie y órgano de la planta. Los requerimientos de calcio para un

óptimo crecimiento es mucho menor en monocotiledoneas que en dicotiledonias (Loneragan y Snowball 1969). Una función poco reconocida del calcio es su papel antitóxico. Contribuye a neutralizar la acidez excesiva que pueda originarse en el interior celular, pero, además, bloquea por insolubilización la toxicidad específica de ciertos aniones, como el oxálico, neutralizado en forma de cristales de oxalato cálcico. No es este el caso del fitato de calcio, que constituye una forma de reservorio, tanto de fósforo como de calcio.

El antagonismo Ca/K es bien reconocido y se da básicamente por una competencia en la neutralización de la acidez celular, ya que el calcio por su papel de regulador de la permeabilidad de la pared celular controla la toxicidad que el exceso de potasio pueda producir. En esta misma línea, el exceso de calcio disminuye la utilización de micronutrientes como el hierro, manganeso y zinc. Finalmente el calcio desempeña, a nivel de raíz, una función de protección frente a la acidez, elementos tóxicos, salinidad y el efecto de desbalance iónico en el suelo. Por lo anteriormente comentado se desprende que el calcio es de escasa movilidad en la planta, con desplazamiento limitado en sentido ascendente, vía floema. Ello produce una acumulación progresiva e irreversible del calcio en los tejidos máxime en los órganos senescentes. Por ello, a diferencia de otros nutrientes, una deficiencia de calcio se manifiesta preferentemente en los tejidos jóvenes.

## **2.4 Magnesio**

La función principal de este elemento está relacionada con su capacidad de interactuar con fuertes ligandos nucleofílicos a través de enlaces iónicos y también de servir de puente para formar complejos de diferente estabilidad (Clarkson y Hanson 1980). El ión magnesio presenta un radio iónico inferior a los iones calcio y potasio y como consecuencia, una mayor energía de hidratación, lo que condiciona la estructura de sus complejos. Se comporta como un enérgico aceptor de electrones de ligandos de nitrógeno y oxígeno, con los que forma complejos estables de coordinación octaédrica. En la biosíntesis de clorofila, el magnesio juega un papel muy importante al participar en la activación de la enzima magnesio-quelatasa y de ser parte estructural de la porfirina que es el primer paso en la formación de clorofila (Walker y Weinstein 1991). El magnesio en la clorofila no representa más del 5 - 15% del total en la planta. Existe una larga lista de enzimas que, con mayor o menor especificidad, son activados por el magnesio, en especial vinculados a reacciones que transfieren fosfatos, restos nucleotídicos o carboxilos.

El magnesio es el catión preferente en la neutralización del fosfato, tanto en los polifosfatos energéticos, como azúcares fosforilados, formando sales altamente solubles, comportándose, por tanto, como un movilizador de los mismos hacia las partes jóvenes de la planta, manifestándose los síntomas de carencia primeramente en los tejidos senescentes; si la deficiencia es profunda o prolongada, quedan también afectadas las zonas jóvenes, con alteraciones de la morfogénesis. No obstante, e igual le ocurre al calcio, en situación de aporte normal el magnesio tiende a acumularse con la edad de los tejidos.

El magnesio requerido para óptimo crecimiento de la planta se encuentra en el ámbito de 0,15 a 0,35% en peso seco. Por su participación en la síntesis de proteína nitrogenada, su deficiencia en las hojas se manifiesta como una clorosis generalizada. Además, afecta el índice de área foliar, así como las unidades de clorofila existentes. Altas concentraciones de magnesio

en las hojas (>1,5% en peso seco) pueden ser críticas en condiciones de estrés hídrico, ya que pueden inhibir la fosforilación y la fotosíntesis (Rao *et al.* 1987).

## 2.5 Azufre

Este elemento es el constituyente de los aminoácidos cisterna y metionina de numerosas metalproteínas. Interviene activamente en el acomplejamiento de átomos metálicos, como en las sulfoferroproteínas, de las que la ferredoxina es el principal ejemplo. El contenido de este elemento en las plantas varía entre 0,1 y 0,5% en peso seco. El requerimiento de azufre en las plantas aumenta de acuerdo con las familias de plantas en el orden de Crucíferas > Leguminosas > Gramíneas, que también se refleja en el contenido en las semillas. Al igual que la deficiencia de nitrógeno, la deficiencia de azufre afecta más el crecimiento de los rebrotes que el crecimiento de la raíz. La falta de azufre en forma continua en pocos días, disminuye la conductividad hidráulica de la raíz, la apertura estomacal y la fotosíntesis (Karmorker *et al.* 1991). La disminución en el área foliar en plantas deficientes de azufre es el resultado de menor tamaño y menor número de células en la hoja. La clorosis que se manifiesta en las hojas por la falta de azufre se debe a una disminución en el contenido de clorofila y a la síntesis de proteína, producto de la falta de los aminoácidos cisteína y metionina. Además, la deficiencia de este elemento produce una acumulación de nitrato y de nitrógeno soluble en la planta (Karmorker *et al.* 1991).

## 2.6 Micronutrientes

Como se indicó, son elementos esenciales que se encuentran en las plantas en concentraciones inferiores a los 1000  $\mu\text{g/g}$  en peso seco. Los micronutrientes son iones aceptores de electrones, fundamentalmente de átomos de nitrógeno, azufre y oxígeno de proteínas u otras moléculas, formando complejos que, por su fuerte poder polarizante, juegan un papel básico como centros activos de sistemas enzimáticos. En dicha función, estos iones, a diferencia de los macronutrientes, gozan de un alto grado de especificidad que afecta, no solo a su selectividad en reacciones concretas, sino también a una falta de competencia por otros iones frente a las mismas (Hewitt 1983). Esta selectividad deriva de la concentración del ión en el lugar de síntesis del compuesto de que forma parte, generalmente el citoplasma, lo que a su vez depende de la absorción radicular, translocación y permeabilidad de las membranas y de la afinidad por la estructura en que se ha de insertar. Esta afinidad es afectada por la selectividad de coordinación. Así, el zinc se coordina más fuertemente con el azufre que con el nitrógeno u oxígeno, el cobre con el nitrógeno y el manganeso con el oxígeno. Varios de estos micronutrientes se encuentran implicados más o menos directamente en la biosíntesis de la clorofila u otros pigmentos fotosintéticos, por lo que su carencia se traduce, entre otros síntomas, en una decoloración foliar, con matizaciones típicas del elemento deficiente, derivadas de la acumulación de unos u otros pigmentos precursores, según el paso metabólico inhibido.

## 2.7 Hierro

Este microelemento tiene dos estados de oxidación  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ . El hierro entra en la planta preferentemente como  $\text{Fe}^{2+}$  o como quelatos del mismo, pero esto depende de la especie de planta (Stocking 1975). El hierro es un elemento poco móvil en la planta, por lo que su reutilización por la planta se encuentra muy localizada. Por ello, su deficiencia afecta

principalmente a las zonas de crecimiento. El papel principal del hierro en la planta es su participación en procesos de óxido-reducción, especialmente en mitocondrias y cloroplastos. Estos contienen el 80% del hierro total de la planta, en forma de depósitos de fitoferritina, ferrosulfoproteínas, etc. Cabe mencionar el papel relevante del hierro, en forma de ferredoxina, en los procesos de asimilación reductora del nitrato y sulfato; sólo la nitrito reductasa, una sirohemoproteína que reduce el  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NH}_4^+$ , consume seis equivalentes de ferredoxina en dicho proceso. El hierro interviene también en sistemas enzimáticos no oxidoreductores en los que, generalmente, actúa de elemento puente en el establecimiento del complejo enzimático. En esta línea, el hierro desempeña un papel fundamental en la biosíntesis de clorofila. Finalmente, el hierro constituye un elemento clave en el proceso de fijación de  $\text{N}_2$  en la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa, formando parte del sistema enzimático de reducción de  $\text{N}_2$  a  $\text{NH}_4^+$ .

A nivel foliar los contenidos de hierro oscilan entre 50 y 150 mg/kg en peso seco. Este contenido se refiere al hierro total y es por esa razón, que es un valor limitado para realmente conocer el estado nutricional de hierro en la planta. En general, plantas especie  $\text{C}_4$  requieren una mayor cantidad de hierro que las especies  $\text{C}_3$ , pero su nivel crítico es muy similar (72 mg/kg para  $\text{C}_3$  y 66 mg/kg para  $\text{C}_4$ ) (Smith *et al.* 1984). En tejidos de rápido crecimiento o meristemáticos, el nivel crítico es mayor y es de alrededor de 200 mg/kg en peso seco para el hierro total y de 60 a 80 mg/kg para el hierro activo. Por otra parte, la toxicidad de hierro se puede presentar en suelos inundados, y su valor crítico es arriba de 500 mg/kg en peso seco, pero puede variar dependiendo del contenido de otros nutrimentos (Yamauchi 1989).

## 2.8 Manganese

Este micronutriente se presenta en sistemas biológicos en varios estados de oxidación. En las plantas, la forma de  $\text{Mn}^{2+}$  es la más dominante, y puede ser rápidamente oxidada a  $\text{Mn}^{3+}$  y  $\text{Mn}^{4+}$ , por tal razón el manganeso juega un papel importante en las reacciones redox de la planta (Hughes y Williams 1988). Este elemento es absorbido por la raíz como ión  $\text{Mn}^{2+}$ , vía un proceso activo que se deprime en presencia de magnesio o calcio. Como tal, alcanza la hoja de la que puede ser parcialmente movilizado, vía floema, a otras partes de la planta. El manganeso tiene una clara ubicación cloroplástica, donde desempeña un papel fundamental como integrante del complejo responsable de la lisis del agua, en el lado oxidante del fotosistema II de la cadena de transporte electrónico de la fotosíntesis.

El manganeso activa a numerosas enzimas, en general, las mismas que son activadas por el magnesio, elemento que es capaz de reemplazar, a veces, incluso, con efectividad superior. Sin embargo, si tenemos en cuenta la concentración tisular del magnesio (entre 50 y 100 veces superior a la del manganeso), resulta improbable la sustitución de aquel por este. El contenido de manganeso foliar en las plantas varía de acuerdo con especies y cultivares (Reuter *et al.* 1988). Sin embargo, el nivel crítico de deficiencia en muchas plantas varía entre 10 y 20 mg/kg en peso seco. Por debajo de esos niveles críticos, se reduce notablemente la producción de materia seca, fotosíntesis y el contenido de clorofila aún cuando la respiración y transpiración no se ven afectados (Ohki *et al.* 1979). En dicotiledonias, clorosis intervenal de hojas jóvenes es la característica más sobresaliente, mientras que en los cereales, puntos color verde grisáceos en las hojas basales, es la deficiencia más común, en contraste con los ámbitos de concentración foliar de manganeso en plantas deficientes. La toxicidad varía también mucho entre especies de plantas y de condiciones ambientales, es así como en plantas de maíz la

toxicidad de manganeso se da con niveles de 200 mg/kg, mientras que en girasol, la toxicidad se presenta con valores de 5300 mg/kg. Dentro de los factores ambientales que afectan la toxicidad de manganeso, la temperatura es la más importante. A altas temperaturas, el nivel de toxicidad aumenta considerablemente. Los síntomas de toxicidad se manifiestan comúnmente como manchas café en las hojas viejas; en otras especies, la toxicidad se manifiesta con la pérdida de dominancia apical y la aparición de brotes laterales (Horst 1988).

## 2.9 Cobre

Es un micronutriente que presenta muchas similitudes con el hierro tales como, la formación de complejos estables y la transferencia de electrones. El cobre es capaz de quelatarse fuertemente con numerosos ligandos, especialmente nitrógeno, dando complejos azules o verdes muy estables. Forma parte de numerosas oxidasas: tirosinasa, ascórbico oxidasa, citocromo oxidasa, mono y diamino oxidasas, etc. que exhibiendo un potencial redox suficientemente alto, aceptan electrones para dar complejos relativamente estables de cobre (Hodgson *et al.* 1961). La mayor parte del cobre en la planta se encuentra en el cloroplasto, correspondiendo alrededor del 50% a la plastocianina, una proteína no enzimática, donador primario de electrones del fotosistema I en la cadena de transporte electrónico de la fotosíntesis. Se ha indicado un efecto negativo de la falta de cobre sobre el desarrollo nodular y la fijación de N<sub>2</sub> en la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa.

Las necesidades de cobre en las plantas son bajas, entre 3 y 10 µg/g en peso seco. Puesto que la concentración en los suelos es relativamente alta, la existencia de una deficiencia de cobre es poco probable. No obstante, dada la poca movilidad en la planta, en algunos casos por condiciones edáficas, se pueden producir síntomas de deficiencia como clorosis, enroscamiento, necrosis en las puntas de las hojas y curvatura de ramas jóvenes (Robson and Reuter 1981). El cobre en exceso constituye un elemento tóxico para la planta, lo que podría vincularse a la fuerte energía de enlace que mantiene en su quelación con nitrógeno, llevando a un bloqueo de proteínas esenciales. Existe una fuerte correlación positiva entre el contenido foliar de cobre y nitrógeno en plantas tolerantes a altos niveles de cobre en el suelo, lo que sugiere un efectivo mecanismo de destoxificación. Numerosos trabajos prueban que la toxicidad de cobre se debe a una inhibición del transporte electrónico fotosintético a nivel de fotosistema I y II (Cedeño *et al.* 1972). El nivel crítico de deficiencia de cobre en la parte foliar de las plantas generalmente oscila entre 1 y 5 µg/g en peso seco, dependiendo de la especie, del órgano, estado fenológico y contenido de nitrógeno. Con respecto al nivel crítico de toxicidad foliar, el rango reportado oscila entre 20 y 30 µg/g en peso seco. Sin embargo, hay una marcada tolerancia entre especies de plantas, por ejemplo el frijol es más tolerante que el maíz a la toxicidad de cobre (Robson and Reuter 1981).

## 2.10 Zinc

El zinc participa en tres enzimas: alcohol deshidrogenasa, carbónico anhidrasa y Cu-Zn-superóxido dismutasa, aunque el cuadro de deficiencias que induce este micronutriente haga sospechar un papel enzimático más amplio. Desde hace varios años se ligó al zinc con el metabolismo de las auxinas, con interpretaciones dispares, Según unos, este elemento previene la oxidación del ácido indolacético por los sistemas peroxidásicos, mientras que otros se inclinan por su participación en la síntesis del triptófano, el inmediato precursor auxínico. Esto explica las malformaciones en el crecimiento derivadas de su deficiencia (hojas

punteagudas o de escasas dimensiones, entrenudos cortos, etc.), lo que podría también vincularse a un papel de zinc en la activación de RNA y DNA-polimerasas, según otros. En hojas, el nivel crítico de deficiencia oscila entre 15 y 20  $\mu\text{g/g}$  en peso seco y la producción de granos y semillas se ve más afectado que la producción de materia seca, debido probablemente a la disminución de la fertilidad del polen en plantas deficientes (Zhang *et al.* 1991).

## 2.11 Boro

Es el único micronutriente que, siendo esencial a las plantas superiores, no lo es a la vida animal, lo que indica su vinculación a procesos específicos de las plantas. La planta lo absorbe del suelo con el flujo hídrico en forma de  $\text{B}(\text{OH})_3$ , fundamentalmente en un proceso pasivo, aunque se admite la existencia de una pequeña fracción absorbida de forma activa. Su distribución en la planta está principalmente gobernada por el proceso de transpiración (Shelp 1993). Es transportado vía xilema a las partes aéreas de la planta, de las que puede ser retranslocado dado que también tiene movilidad vía floema. Su papel biológico hoy en día es motivo de especulación, pues no se conoce ninguna enzima ni estructura molecular de la planta que contenga boro (Pilbeam y Kirby 1983). Primeramente se le asignó un papel en el transporte de azúcares, otra función propuesta es la de control del nivel de fenoles, proceso que es de detoxificación de la planta. Sin embargo, la función más admitida para el boro deriva de las anomalías meristemáticas e irregularidades en el crecimiento inducidas por su carencia, manifestadas en necrosis y pardeamiento de las zonas terminales de ramas jóvenes. Shelp (1993) indica que en plantas deficientes de boro, la síntesis de paredes celulares se ve muy afectada produciendo un ensanchamiento de las mismas denominado corcho. El papel del boro en la formación de pared celular y en su funcionamiento, también es muy evidente en la formación y crecimiento del tubo polínico.

La deficiencia de boro ha sido asociada a una serie de alteraciones morfológicas y de cambios en la diferenciación de tejidos en las plantas. Sin embargo, esos mismos cambios se han relacionado con cambios fuertes en los niveles de ácido indolacético, por lo que se ha correlacionado al boro como elemento importante en el metabolismo de dicho ácido (Lewis 1980). Las plantas difieren en su capacidad de tomar boro del medio, lo que refleja que existen diferencias entre especies en cuanto a la demanda de boro para desarrollar su ciclo. Por ejemplo en gramíneas, el nivel crítico de boro oscila entre 5 y 10 mg/kg, mientras que en la mayoría de dicotiledóneas, el nivel está entre 20 y 70 mg/kg, llegando en plantas que producen exudados como el caucho a niveles de 80 a 100 mg/kg (Bergmann 1992). Plantas expuestas a altas temperaturas tienen una mayor demanda de boro. Este mayor requerimiento ha sido relacionado con el alto nivel de fenoles encontrados en plantas expuestas a altas intensidades lumínicas (MacInnes y Albert 1969). La tolerancia a la toxicidad de boro difiere entre plantas, especies y cultivares, por ejemplo un nivel tóxico para maíz es de 100 mg/kg, en pepino 400 mg/kg, en ayote 1000 mg/kg y en trigo de 100 a 270 mg/kg (Paull *et al.* 1992).

## 2.12 Cloro

Su concentración en plantas oscila entre amplísimos límites, que pueden ir hasta 60000  $\mu\text{g/g}$  o más en las halofitas. Este elemento participa como ión  $\text{Cl}^-$  lo cual lo convierte en un contraión del potasio ( $\text{K}^+$ ). Aunque algunos piensan que esta compensación de cargas se hace fundamentalmente por aniones inorgánicos tipo malato, razones de concentración sugieren un papel más relevante del cloro.

Además del mantenimiento de la presión osmótica general de la célula, el cloro acompaña al potasio en el rápido flujo que, inducido por la luz, experimenta hacia las células guarda de los estomas, estimulando la toma de agua y la turgencia de las mismas. El cloro específicamente participa en el funcionamiento de la cadena de transporte electrolítico de la fotosíntesis, en el lado oxidante del fotosistema II, a nivel del complejo responsable de la lisis del agua. En promedio el contenido de cloro en las plantas oscila entre 0,2 y 2,0 % en peso seco contenidos considerados dentro del rango de macronutrientes. Sin embargo, en muchas especies de plantas, el contenido apropiado para óptimo crecimiento varía de 0,2 a 0,4 % en peso seco.

La deficiencia de boro se manifiesta por la pérdida de turgencia o marchitamiento de las hojas, especialmente en el margen de las mismas. En palmas cuya demanda de cloro es de alrededor de 0,6 % en peso seco, aparte del marchitamiento y la prematura senescencia de las hojas, se produce la fractura o corrugamiento del tallo tierno. Al contrario de la deficiencia, la toxicidad, al igual que con otros elementos, difiere con las especies de plantas. Existen plantas sensitivas que con más de 3,5 % en peso seco se intoxican, como lo son la mayoría de árboles frutales, frijoles y algodón. Mientras que cultivos como la cebada, espinaca, lechuga y remolacha azucarera entre otras, soportan niveles foliares hasta de 2,0 a 3,0 % en peso seco. Las diferencias genotípicas en cuanto a tolerancia al cloro, está muy relacionada con los mecanismos de tolerancia a la salinidad por la planta.

### 2.13 Molibdeno

Su necesidad para las plantas fue difícil de demostrar, por la dificultad de inducir una deficiencia experimental, dado el aporte suficiente de molibdeno que, como impureza, introducen los reactivos. Solamente la inducción de la síntesis de nitrato reductasa después de una represión de la misma por cultivo en presencia de  $\text{NO}_2^-$  o  $\text{NH}_4^+$ , y la rápida sustitución de estos por  $\text{NO}_3^-$  en presencia del isótopo radioactivo de  $^{99}\text{Mo}$ , se pudo demostrar la presencia de Mo en la enzima. Aunque en microorganismos y en el reino animal existen descritas otras enzimas con Mo, en plantas solo forma parte de la nitrato reductasa, que reduce el ión  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$ , como primer paso de la asimilación del nitrógeno en la planta. Por ello, los niveles de nitrato reductasa disminuyen cuando a la planta se le suministra nitrógeno en forma de  $\text{NO}_2^-$  o de  $\text{NH}_4^+$ .

El molibdeno forma parte, junto con el hierro, del sistema nitrogenásico de los fijadores de  $\text{N}_2$  atmosférico, tanto libres (*Azotobacter*) como en simbiosis con leguminosas (*Rhizobium*) u otras especies (*Actinomyces*). Precisamente este papel puso por primera vez de manifiesto la esencialidad del molibdeno en seres vivos. En la planta es un elemento móvil en xilema y floema. La forma en que el molibdeno es translocado no está bien clara, pero las propiedades químicas indican que transporta en forma de  $\text{MoO}_4^{2-}$  y no en forma de complejos. Dependiendo de la especie y de la fuente de nitrógeno aplicada, el nivel crítico de deficiencia varía entre 0,1 y 1,0  $\mu\text{g/g}$  en peso seco. La deficiencia de molibdeno se manifiesta como una deficiencia de nitrógeno, con reducción en crecimiento y clorosis en hojas jóvenes. En dicotiledoneas se produce una drástica reducción en tamaño de la planta y se presentan irregularidades en la lámina de la hoja, siendo la forma de látigo la más común, causado por necrosis del tejido y una insuficiente diferenciación vascular en los primeros estados de desarrollo de las hojas (Bussler 1981). En la nutrición por molibdeno en plantas, lo claro es la brecha tan amplia entre la deficiencia y la toxicidad que generalmente va de 0,1 a 1000  $\mu\text{g/g}$  en

peso seco o sea un factor de  $10^4$ , comparada con el factor de 10 para el boro y el manganeso. La toxicidad de molibdeno se manifiesta como una malformación de las hojas y una coloración amarillenta dorada en los puntos de crecimiento. En algunos pastos, niveles arriba de 5 a 10 mg/kg en peso seco de molibdeno, producen la toxicidad conocida como molibdenosis. Cuando existe una alta disponibilidad de molibdeno en el medio que puede causar toxicidad, aplicaciones de sulfato disminuyen la absorción de molibdeno (Guyete *et al.* 1989).

## 2.14 Sodio

Las características atómicas del ión  $\text{Na}^+$  difieren bastante de las del  $\text{K}^+$ , pero en situaciones de fuerte deficiencia en potasio, existen especies en que el sodio puede asumir algunos de los papeles del potasio. Aunque algunas funciones específicas como mecanismo de apertura de estomas, el sodio puede sustituir al potasio en algunas especies, pero no es posible pensar rigurosamente que el sodio sea un elemento indispensable a las mismas. Las únicas especies en que se puede hablar de una esencialidad de sodio son ciertas plantas halófitas con fotosíntesis tipo  $\text{C}_4$ , en que después de una deficiencia inducida de sodio, solo se recuperan cuando se alcanza una concentración foliar de 10000  $\mu\text{g/g}$ , valor que da carácter de macronutrimiento a este elemento. En estos casos, el sodio parece jugar un papel esencial en la fijación de  $\text{CO}_2$  por la p-enolpiruvato carboxilasa. La respuesta al sodio por las plantas difiere entre especies y entre genotipos de especies. Cuando el 95% del potasio fue sustituido por sodio, el peso seco de las plantas no se afectó, pero la producción de sucrosa se vio muy disminuida (Marschner *et al.* 1981).

## 2.15 Silicio

Este elemento es absorbido como  $\text{SiO}_3\text{H}_2$  en cantidades mínimas por caso todas las plantas, pero solo algunas lo llegan a acumular en cantidades que pueden llegar hasta un 20% del peso seco, bien como ácido polimerizado, bien como gel de sílice amorfo. En algunas plantas el silicio las pequeñas cantidades absorbidas no pasan de la raíz, mientras que en otras, este elemento emigra hacia las partes aéreas, donde se deposita en tallo y hojas, impregnando las paredes de los tejidos vasculares y células epidérmicas. Parece que al menos, parte del  $\text{SiO}_3\text{H}_2$  forma complejos con los grupos polihidroxilo de las cadenas pectínicas y celulósicas de dichas paredes. En cualquier caso proporciona consistencia a los tejidos, impiden la pérdida excesiva de agua por transpiración, y sirve de defensa frente a parásitos. Una función adicional recientemente sugerida, es de neutralización de la toxicidad por exceso de hierro o manganeso. El contenido foliar difiere entre especies de plantas, es así como encontramos al arroz, caña de azúcar y algunos cereales con contenidos de 10 a 15% en peso seco, algunas dicotiledóneas con 1 a 3% y las leguminosas con <0.05% (Epstein 1994). La esencialidad del silicio en plantas está bien establecida, en arroz la falta de silicio disminuye la producción de grano y los síntomas son la necrosis de hojas adultas y la marchitez de toda la planta (Lewin y Reimann 1969). La caña de azúcar es otro cultivo que responde al silicio, Anderson (1991) reporta que para óptimos rendimientos, el nivel foliar de silicio debe ser alrededor de 1% en peso seco (2.1%  $\text{SiO}_2$ ) y que contenidos de 0.25% de silicio foliar reducen hasta en un 50% el rendimiento. Esta drástica reducción está asociada con síntomas visibles de deficiencia en hojas caracterizada por manchas pequeñas y claras (pecas). Bajo condiciones de invernadero, la caña de azúcar no presenta los síntomas de deficiencia aún con niveles bajos, lo que pone en duda la esencialidad del silicio en este cultivo (Gascho 1977).

## 2.16 Otros elementos

A los elementos esenciales anteriormente descritos, se pueden agregar otros que son de importancia en las plantas. Dentro de ellos se pueden citar al cobalto, selenio, yodo y el vanadio. El cobalto es necesario al establecimiento de la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa, por cuanto resulta esencial para la bacteria. Aunque sin papel definido, el cobalto llega a alcanzar niveles de 1000  $\mu\text{g/g}$ , sin toxicidad alguna, en ciertas especies tropicales. Algo similar se ha reportado para el níquel, con contenidos de 4000  $\mu\text{g/g}$ , y para el selenio en algunas leguminosas del género *Astragalus*, con niveles de 1500  $\mu\text{g/g}$  o más. Finalmente, el yodo y el vanadio esenciales para el desarrollo de cierto tipo de algas.

## 3. TRANSPORTE ACTIVO Y PASIVO DE IONES EN LA PLANTA

El movimiento de iones en las células de las plantas es de dos tipos: activo o pasivo. En el proceso pasivo, los iones se mueven de mayor a menor concentración o hacia una menor gradiente química o potencial de energía. En el caso del movimiento activo, los iones se mueven en contra de un gradiente de concentración y el movimiento del ión depende de un gradiente de electroquímica. En el transporte activo, los cationes son atraídos por un potencial electronegativo, mientras que los aniones son atraídos por un potencial electropositivo.

Los potenciales electroquímicos se establecen a través de las membranas por una distribución desigual de cargas. La diferencia entre el potencial en la membrana y el potencial actual causado por la distribución desequilibrada de iones en su alrededor, es una medida de la cantidad de energía requerida para cada movimiento. Medidas del potencial electroquímico dentro y fuera de la célula, así como de la concentración iónica en la célula y en el medio que la rodea, dan una indicación si el movimiento será activo o pasivo. Al calcular el valor del potencial eléctrico en estos medios por medio de la ecuación de Nernst, podemos establecer si el valor es negativo, los cationes serán tomados por la planta en forma pasiva, mientras que si el valor es positivo la absorción de los cationes será de forma activa.

Para los aniones, potenciales eléctricos negativos son indicadores de un transporte activo y valores positivos producen un transporte pasivo (Mengel y Kirkby 1982). Una vez que el nutrimento entró en la planta, su movilidad dependerá de la naturaleza del elemento, de las reacciones que el elemento produzca con otros compuestos y de la forma iónica en que se movilice. En términos generales, según su movilidad, los nutrimentos se agrupan de la siguiente manera (Bertsch 1995):

Nutrimento	Movilidad
N – K – Na	Muy alta
P – Cl – S – Mg	Alta
Zn – Cu – Mn – Fe – Mo	Mediana o escasa
B – Ca	Muy escasa

### 3.1 Interacciones iónicas

De acuerdo con Mengel y Kirkby (1982), la absorción catiónica es un proceso relativamente específico, dependiendo de la concentración de cationes de la solución y en algunos casos de la permeabilidad específica de la membrana celular a ciertas especies de cationes. De esta forma, el aumento del suministro en la solución nutritiva puede deprimir el contenido de otros cationes en tejido vegetal. Ese tipo de interacción iónica es entendida como un proceso de inhibición competitiva, donde dos iones compiten por mismo sitio cargador. Los iones presentes en solución pueden interactuar entre sí, de tal forma que la presencia de un ión inhibe o estimula la absorción de otro por la célula vegetal. Estos mismos autores, indican que la aplicación de dosis crecientes de magnesio disminuyeron los tenores de calcio y sodio en plantas de girasol. Otros ejemplos de efectos interiónicos son citados por Malavolta *et al.* (1989), como la inhibición competitiva entre el potasio y el calcio (alta concentración), o sinergismos entre potasio y calcio (en baja concentración) y el antagonismo entre el cobre y el calcio.

Según Jones *et al.* (1991) el potasio, calcio y magnesio son tradicionalmente considerados en conjunto, debido al efecto de uno de ellos sobre el tenor de los otros. El potasio parece el más activo de los tres cationes, teniendo mayor efecto depresor sobre la absorción de calcio y magnesio del que estos tienen sobre la absorción de potasio. Por otro lado, el magnesio deprime mucho más el contenido de potasio que del calcio. Este último a su vez es menos antagonístico al magnesio que para el potasio.

Estos efectos competitivos probablemente se relacionan debido a que el potasio es más rápidamente absorbido, en forma activa o por difusión facilitada por la célula. De esta forma, ante la ausencia de potasio es provocado un aumento de absorción de otros cationes, debido a la falta de competición en el proceso de absorción (Mengel y Kirkby 1982). De acuerdo con Jones *et al.* (1991), cualquiera sea la relación potasio, calcio y magnesio en el tejido vegetal, los valores críticos de cada elemento no son seriamente afectados, a menos que la razón entre ellos sea muy amplia. Como por ejemplo, para maíz la razón entre el tenor foliar de potasio:magnesio de 10:1 es satisfactoria, en cuanto que relaciones mayores como 14:1, promueven gran restricción del crecimiento, aunque las hojas contengan más que la concentración crítica de 0.30% de magnesio.

Los constituyentes de la membrana celular son particularmente fosfo y sulfolípidos y proteínas, que son grupos cargados eléctricamente. Los iones en solución interactúan con esos grupos y la fortaleza de la interacción sigue el siguiente orden: moléculas sin carga < cationes  $+$ , aniones  $-$  < cationes  $2^+$ , aniones  $2^-$  < cationes  $3^+$ , aniones  $3^-$ , pero la absorción se lleva a cabo en orden contrario, lo que indica que el grado de hidratación y la valencia del ión también juegan un papel importante (Marschner 1995).

## 4. LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS CULTIVADAS Y EL USO DE FERTILIZANTES

La particularidad nutricional de las plantas radica en poder obtener los elementos nutritivos del suelo o la atmósfera en función de la fotosíntesis y del intercambio de energía con los microorganismos. Además de otras necesidades de los cultivos, hay que conocer la cantidad de

elementos que los cultivos sacan del suelo y que habrá que reponer de una u otra forma, esto es lo que se llama el principio de restitución y es algo inevitable. Si nos preguntamos ¿cómo se alimenta una planta? nos damos cuenta que el aire, con su aporte de oxígeno y gas carbónico y las sales minerales disueltas en la solución del suelo, constituyen el alimento necesario. Las sales minerales tan importantes para la planta, proceden de las reservas orgánicas del suelo o bien de su aporte al suelo en forma de fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes en la agricultura se realiza con el objeto de suministrarle a la planta aquellos elementos que el suelo por su naturaleza o por agotamiento de los mismos no tiene capacidad de suministrar. En la fertilización de cultivos se tienen que considerar varios aspectos importantes como lo son: 1) los requerimientos del cultivo, 2) las características del suelo, 3) el clima, 4) los rendimientos deseados, 5) tipo de fertilizante y su efecto en el suelo y 6) el factor económico involucrado en la aplicación.

- 1- **Requerimiento del cultivo:** En este aspecto se debe conocer claramente el ciclo fenológico del cultivo, para con ello establecer el mejor momento de fertilización. Para lograr este objetivo, el uso u obtención de las curvas de absorción de nutrimentos juega un papel vital para aplicar los nutrimentos de acuerdo con la época de mayor demanda de los mismos. Si esta información no está disponible, se podría obtener al menos la extracción total de elementos en la cosecha y con ello calcular el requerimiento de fertilizantes de acuerdo con la disponibilidad de nutrimentos en el suelo. Además de considerar los requerimientos del cultivo, es importante también conocer la variabilidad inherente del cultivo cuando se tienen diferentes híbridos y especies dentro del mismo.
- 2- Las características del suelo son importantes de considerar, ya que de las mismas se podrán seleccionar los fertilizantes más apropiados de acuerdo con aspectos como pH, poder de fijación de ciertos elementos, capacidad de retención de nutrimentos y la más importante que es la reacción química que tendrá el fertilizante en ese suelo.
- 3- El factor clima, es un factor universal de considerar, ya que la efectividad de una fertilización dependerá en mucho de factores climáticos tales como luminosidad, temperatura, precipitación, entre otros.
- 4- Si los anteriores factores han sido controlados apropiadamente, otro aspecto a considerar es la cantidad de fertilizante a aplicar para unos rendimientos esperados. Este aspecto es muy importante ya que en algunos cultivos se conoce claramente que los rendimientos van disminuyendo con la edad del cultivo, por esa razón, las dosis a aplicar de fertilizante deben de estar acordes con el rendimiento a obtener. En otros cultivos a veces la fertilización estará más acorde con el precio del producto producido en el mercado.
- 5- Los fertilizantes pueden presentar diferentes formas, el tipo de fertilizante que elijamos va a depender de las necesidades de las plantas y de la frecuencia con que se aplique. Así pues, podemos hablar de los siguientes tipos de fertilizantes: a) fertilizantes sólidos, que son los más usados en forma de polvo o gránulos. b) fertilizantes líquidos, que se diluyen con agua y la mayoría de ellos se aplican en las raíces, aunque algunos de estos se puedan utilizar para rociar las hojas. A la hora de aplicar el fertilizante

debemos de tener en cuenta el momento de aplicación. Esta se debe hacer en el momento oportuno, ya que una aplicación tardía puede provocar un crecimiento débil y que la planta se vea seriamente afectada ante la aparición de síntomas de deficiencia. Además, debemos escoger el fertilizante que más se adecúe a las necesidades de la planta en función de la época del año en que vamos a aplicarlo. Además de lo anteriormente citado, es de suma importancia conocer la reacción química del fertilizante en el suelo, ya que algunos fertilizantes al aplicarse en suelo con pH ligeramente alcalino, se volatilizan rápidamente. Otros fertilizantes producen una reacción ya sea ácida o básica en el suelo que afecta la absorción de nutrimentos por la planta. Y por último, algunos fertilizantes producen salinidad en el suelo que afecta el desarrollo y funcionamiento del sistema radical.

- 6- Por último, el factor económico de la aplicación de un fertilizante se debe considerar, ya que como en toda actividad agrícola la relación costo beneficio es muy importante.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Anderson D.L. 1991. Soil and leaf nutrient interactions following applications of calcium silicate slag to sugarcane. *Fert. Res.* 30, 9-18.
- Arnon D.I. y Stout. 1939. En: *Plant Biochemistry*. 3<sup>era</sup> ed. J. Bonner y J.E. Varner Editors. Academic Press. New York. p. 562.
- Baker D.A. 1983. En «Metal and Micronutrients: Uptake and utilization by plants». D.A. Robb y W.S. Pierpoint, editors. Academic Press. London. p. 3.
- Bell R.W.; Edwards D.G. and Asher C.J. 1990. Growth and nodulation of tropical food legumes in dilute solution culture plant and soil 122, 249-258.
- Bergmann W. 1992. Nutritional disorders of plants. Development, visual and analytical diagnosis. Fischer Verlag, Jena.
- Bertsch F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1<sup>a</sup> ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Bielecki R.L. 1973. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24, 225.
- Bussler W. 1981. Microscopic possibilities for the diagnosis of trace elements stress in plants. *J. Plant Nutr.* 3, 115-128.
- Cedeño-Maldonado A.; Swader J.A. y Heath R.L. 1972. *Plant Physiol.* 50, 698.
- Clarkson D.T. and Hanson J.B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31, 239-298.
- Clarkson D.T. and Hanson J.B. 1980. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 31, 239.
- Edwards M.C.; Smith G.N. and Bowling D.J.F. 1988. Guard cells extrude protons prior to stomatal opening—a study using fluorescence microscopy and pH microelectrodes. *J. Exp. Bot.* 39, 1541-1547.
- Epstein E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 91, 11-17.
- Gascho G.J. 1977. Response of sugarcane to calcium silicate slag. I. Mechanisms of response in Florida. *Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla.* 37, 55-58.
- Guyette R.P., Cutter B.E. and Henderson G.S. 1989. Long term relationships between molybdenum and sulfur concentrations in red cedar tree rings. *J. Environm. Qual.* 18, 385-289.
- Hanson J.B. 1984. The function of calcium in plant nutrition. In *Advances in Plant Nutrition* (B. Tinker and A. Lauchli, eds.). Vol. 2, pp. 149-208. Praeger Scientific, New York.
- Hewitt E.J. 1983. En *Metals and Micronutrients. Uptake and utilization by plants*. D.A. Robb y W.S. Pierpoint, editors. Academic Press. London. p. 277.
- Hodgson J.F.; Lindsay W.L. and Trier-weiler J.T. 1966. Micronutrient cation complexing in soil solution, II. Complexing of zinc and copper indisplaced solution from calcareous soils. *Soil Sc. Soc. Am. Boc.* 30, 723.726.

- Horst W.J. 1988. The Physiology of manganese toxicity. In Manganese in Soils and Plants. (R.D. Graham, R.J. Hannam and N.C.Uren, eds.) pp. 175-188. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Hsiao T.C. and Lauchli A. 1986. Role of potassium in plant-water relations. In Advances in Plant Nutrition (B. Tinker and A. Lauchli, eds.). Vol. 2, pp. 281-312. Praeger Scientific, New York.
- Hughes N.P. and Williams R.J.P. 1988. An Introduction to manganese biological chemistry. In Manganese in Soil and Plants (R.D. Graham, R.J. Hannam and N.C.Uren, eds.) pp. 7-19. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Humble G.D. y Raschke. 1971. Plant Physiol. 17, 47.
- Jones Jr. J.B.; B. Wolf and H.A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical, Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing. Athens, G.A.
- Karmoker J.L.; Clarkson D.L.; Saker L.R.; Rooney J.M. and Purves J.V. 1991. Sulphate deprivation depresses the transport of nitrogen to the xylem and the hydraulic conductivity of Barley (*Hordeum vulgare* L.) roots. Plants 185, 269-278.
- Kirk G.J. and Loneragan J.F. 1988. Functional boron requirement for leaf expansion and its use as a critical value for diagnosis of boron deficiency in soybean. Agron. J. 80, 758-762.
- Kirkby E.A. and Pilbeam D.J. 1984. Calcium as a plant nutrient. Plant Cell Environ. 7, 397-405.
- Konno H., Yamaya T., Yamasaki Y. and Matsumoto H. 1984. Pectic polysaccharide break-down of cell walls in cucumber roots growth with calcium starvation. Plant Physiol. 76, 633-637.
- Lewin J. and Reimann B.E.F. 1969. Silicon and plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol. 20, 289-304.
- Lewis D.H. 1980. Are there inter-relations between the metabolic role of boron, synthesis of phenolic phytoalexins and germination of pollen? New Phytol. 84, 261-270.
- Loneragan J.F.; Snowball K. 1969. Calcium requirement of plants. Aust. J. Agric. Res. 20, 465-478.
- MacInnes C.B. and Albert L.S. 1969. Effect of light intensity and plant size on rate of development of early boron deficiency symptoms in tomato root tips. Plant Physiol. 44, 965-976.
- Malavolta E.; Vitti G.C.; Oliveira S.A. DE. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, S.P., Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato. p. 1-7.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, New York.
- Marschner H.; Kylin A. and Kuiper P.J.C. 1981. Genotypic differences in the response of sugar beet plants to replacement of potassium by sodium. Physiol. Plant 51, 239-244.
- Martin-Prével P.; Gagnard J. y Gautier P. 1983. L'Analyse Vegetale dans le contrôle de L'Alimentation des Plantes. Technique et Documentation, París. pág. 9.
- Mengel K. and E.A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. 3<sup>rd</sup> ed. International Potash Institute, Bern.
- Mengel K. y Kirby E.A. 1978. Principles of plant nutrition. Int. Potash Inst. Bern.

- Ohki K.; Boswell F.C.; Parker M.B.; Shuman L.M. and Wilson D.O. 1979. Critical manganese deficiency level of soybean related to leaf position. *Agron. J.* 71, 233-234.
- Paul J.G., Nable R.O. and Rathjen A.J. 1992. Physiological and genetic control of the tolerance of wheat to high concentration of boron and implications for plant breeding. *Plant Soil* 146, 251-260.
- Pilbeam D.J. and Kirby E.A. 1983. *J. Plant Nutrition*, 6, 563.
- Price C.A. 1970. *Molecular approaches to plant physiology*. McGraw-Hill. New York. p. 122.
- Rao I.M.; Sharp R.E. and Boyer J.S. 1987. Leaf magnesium alter photosynthetic response to low water potentials in sunflower. *Plant Physiol.* 84, 1214-1219.
- Reuter D.J.; Alston A.M. and McFarlane J.D. 1988. Occurrence and correction of manganese deficiency in plants. In *Manganese in Soils and Plants*. (R.D. Graham, R.J. Hannam and N.C.Uren, eds.) pp. 205-224. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Robson A.D. and Pitman M.G. 1983. Interactions between nutrient in higher plants. In *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series* (A. Lauchi and R.L. Bieleleski, eds.). Vol. 15A, pp. 147-180. Springer-Verlag, Berlin and New York.
- Rodson A.D. and Reuter D.J. 1981. Diagnosis of copper deficiency and toxicity. In *Copper in Soils and Plants*. (J.F. Loneragan, A.D. Rodson and R.D. Graham, eds.). pp. 287-312. Academic Press, London.
- Ruano A.; Poschenrieder Ch. And Barcelo J. 1988. Growth and biomass partitioning in zinc-toxic bush beans. *J. Plant Nutr.* 11, 577-588.
- Shelp B.J. 1993. Physiology and biochemistry of boron in plants. In *Boron and its role in crop production* (U.C. Gupta, eds.). pp. 53-85. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Smith G.S.; Cornforth I.S. and Henderson H.V. 1984. Iron requirements of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants. *New Phytol.* 97, 543-556.
- Stocking C.R. 1975. *Plant Physiol.* 19, 239.
- Tisdale S.L.; Nelson W.L. y Beaton J.O. 1985. *Soil fertility and fertilizer*. 4th edition. McMillan Publishing Company. New York.
- Walker C.J. and Weinstein J.D. 1991. Further characterization of the magnesium chelatase in isolated developing cucumber chloroplast. *Plant Physiol.* 95, 1189-1196.
- White M.C.; Decker A.M. and Choney R.L. 1979. Differential cultivar tolerance in soybean to phytotoxic levels of soil Zn. I. Range of cultivar response. *Agron. J.* 71, 121-126.
- Yamauchi. 1989. Rice bronzing in Nigeria caused by nutrient imbalances and its control by potassium sulfate application. *Plant Soil* 117, 275-286.
- Zhang F.; Romheld V. and Marschner H. 1991. Diurnal rhythm of release of phytosiderophores and uptake rate of zinc in iron-deficient wheat. *Soil Sci. Plant. Nutr.* 37, 671-678.

# FERTILIZANTES: CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES

---

Ing. Eloy Molina, M. Sc.  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[eamolina@cariari.ucr.ac.cr](mailto:eamolina@cariari.ucr.ac.cr)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes son materiales que contienen nutrientes para las plantas y que son agregados generalmente a través del suelo, el agua o aspersiones foliares. Los fertilizantes ejercen diversos efectos favorables sobre las plantas, como incrementar el crecimiento y productividad de los cultivos, mejorar la calidad de la cosecha y la sanidad de la planta. También tienen un efecto positivo sobre el suelo mediante el mejoramiento y restitución de la fertilidad. Los fertilizantes se encuentran entre los principales insumos utilizados en la agricultura debido al impacto que tienen sobre la producción.

Algunos de los beneficios del uso de fertilizantes se resumen a continuación:

- Suplir deficiencias nutricionales de los cultivos
- Restituir nutrientes extraídos por la cosecha
- Mantener o mejorar la fertilidad del suelo
- Mejorar resistencia de los cultivos a enfermedades
- Mejorar calidad de las cosechas
- Incrementar los rendimientos
- Aumentar la rentabilidad del cultivo

La mayoría de los fertilizantes que se utilizan en la agricultura moderna son productos químicos o minerales, abonos orgánicos y residuos de plantas.

Los fertilizantes son utilizados básicamente para nutrir a las plantas. A menudo se confunden los términos “nutrición mineral” y “fertilización”. Nutrición mineral se refiere a las necesidades y usos de los elementos químicos básicos por las plantas. Fertilización es el término empleado cuando estos materiales son suministrados a las plantas como fuentes de nutrientes.

La producción mundial de fertilizantes se ha incrementado más de 10 veces desde 1950. Este extraordinario incremento en la producción se correlaciona con el aumento en la población mundial que demanda un mayor suministro de alimentos, fibra y combustibles. Además, los rendimientos de los cultivos también se han incrementado, con el consiguiente aumento en la extracción de nutrientes por las plantas y el agotamiento de reservas nutricionales del suelo. Otros factores que han sido determinantes para el incremento en el consumo de fertilizantes incluyen también el desarrollo de un mayor conocimiento de los problemas de fertilidad de suelos, el manejo de nutrientes, las técnicas de diagnóstico nutricional, técnicas de fabricación de fertilizantes, etc.

## 2. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA:

### 2.1 Fertilizante:

Cualquier material orgánico o inorgánico natural o sintético que suministre a las plantas uno o más de los elementos químicos necesarios para su normal crecimiento.

### 2.2 Aprovechamiento del fertilizante:

Fertilizante comercial que contiene al menos uno de los nutrimentos primarios en forma asimilable y en proporción conocida, con diferente grado de solubilidad en agua. Sin embargo, algunos fertilizantes tienen solubilidad limitada en agua y una parte del mismo es soluble en otros reactivos como citrato de amonio. Los fertilizantes con N y K generalmente son muy solubles en agua. Los fertilizantes con P varían mucho en su grado de solubilidad en agua, se utiliza también la solubilidad de  $P_2O_5$  en soluciones neutras o alcalinas de ácido cítrico.

### 2.3 Expresión del contenido nutricional:

En la mayoría de los países se expresa el contenido de nutrientes primarios en términos de % de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , aunque la forma química de estos elementos que contiene el fertilizante debe ser la misma como las plantas los absorben (Cuadro 1). El Ca y Mg usualmente se expresan como CaO y MgO, en tanto que los otros nutrientes se expresan en su forma elemental; S, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Cl. En el Cuadro 2 se presentan los factores de conversión para pasar contenidos de óxidos a elemento puro o viceversa.

Cuadro 1. Forma de absorción y expresión química de los nutrientes en el fertilizante

Elemento	Forma de absorción	Expresión química en el fertilizante
Nitrógeno	$NH^{+4}$ , $NO^{-3}$	N
Fósforo	$H_2PO_4^{-}$ , $HPO_4^{-2}$	$P_2O_5$
Potasio	$K^{+}$	$K_2O$
Calcio	$Ca^{+2}$	CaO
Magnesio	$Mg^{+2}$	MgO
Azufre	$SO_4^{=}$	S
Hierro	$Fe^{+2}$	Fe
Cobre	$Cu^{+2}$	Cu
Zinc	$Zn^{+2}$	Zn
Manganeso	$Mn^{+2}$	Mn
Boro	$B_4O_7^{-2}$ , $H_2BO_3^{-}$	B
Cloro	$Cl^{-}$	Cl
Molibdeno	$MoO_4^{-2}$	Mo

**Cuadro 2. Factores de conversión de nutrientes de la expresión con base en óxido a la expresión con base elemental y viceversa**

$P_2O_5 \times 0,44 = P$	$Ca \times 1,40 = CaO$
$P \times 2,29 = P_2O_5$	$MgO \times 0,60 = Mg$
$K_2O \times 0,83 = K$	$Mg \times 1,66 = MgO$
$K \times 1,20 = K_2O$	$SO_4 \times 0,50 = S$
$CaO \times 0,71 = Ca$	$S \times 2,99 = SO_4$

#### 2.4 Grado:

Contenido nutricional expresado en % por peso de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , en ese orden, también llamado “fórmula”. Usualmente se utilizan tres números para dar el grado de un fertilizante, y se refiere a los nutrientes primarios y éstos no son necesarios identificarlos ya que se respeta el orden de aparición. La presencia de un cuarto número en la fórmula indica el % de MgO, y un quinto número indica el % de B en caso que el fertilizante contenga estos elementos. Si el cuarto y/o quinto número no corresponden a Mg y B, se debe indicar entre paréntesis el símbolo o unidad de expresión del nutriente, por ejemplo podría ser Ca, S, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Cl.

#### 2.5 Fertilizante simple:

Fertilizante que contiene solamente un nutriente.

#### 2.6 Fertilizante compuesto:

Fertilizante que contiene dos o más nutrientes.

#### 2.7 Mezcla física:

Es un fertilizante que resulta de la mezcla mecánica de dos o más materiales fertilizantes, sin que medien reacciones químicas.

#### 2.8 Fertilizante químico:

Usualmente se refiere a un producto que contiene dos o más nutrientes y que ha sido fabricado mediante reacción o mezclado químico de materias primas. Generalmente involucra el uso de  $NH_3$  y  $HNO_3$  o  $H_3PO_4$ . El fertilizante químico es un material muy homogéneo en composición química y no es afectado por la segregación. También se le denomina Fertilizante complejo.

#### 2.9 Fertilizante granular:

Fertilizante formado por partículas de gránulos de tamaño variable y cuyo diámetro oscila entre 1 y 4 mm.

#### 2.10 Fertilizante prilado:

Presenta granulación esférica formada mediante solidificación de gotas durante su caída libre en el aire u otro material fluido, como en nitrato de amonio y urea priladas.

**2.11 Fertilizante revestido:**

Fertilizante granular que ha sido revestido con una delgada capa de alguna sustancia como arcilla para controlar la tasa de liberación.

**2.12 Fertilizante acondicionado:**

Fertilizante tratado con un aditivo para mejorar la condición física o prevenir el aglutinamiento.

**2.13 Fertilizante líquido:**

Incluye fertilizantes total o parcialmente en solución y puede considerarse como un líquido. Incluye líquidos claros, líquidos que contienen sólidos en suspensión, y líquidos que contienen un gas disuelto como el amoníaco.

**2.14 Fertilizante de especialidad**

Es un fertilizante utilizado principalmente en invernaderos de ornamentales, viveros, jardines, canchas de golf o plantas de interior en casas y oficinas. Es un producto especial que no es utilizado en agricultura convencional, de alto precio, generalmente muy soluble en agua, y de muy buena calidad física y química.

**3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS FERTILIZANTES**

Las propiedades físicas de un fertilizante son de gran importancia porque repercuten tanto en su eficiencia agronómica como en su manejo, transporte y almacenamiento. Muchos de los problemas que se presentan durante el almacenamiento de fertilizantes, tales como compactación, segregación o higroscopicidad son el resultado de inadecuadas propiedades físicas.

**3.1 Tamaño de partícula**

Es muy importante en el control de la tasa de liberación del fertilizante en el suelo. Los fertilizantes con baja solubilidad en agua pueden tener un tamaño de partícula más fino para asegurar su disolución y un mejor aprovechamiento por las plantas. Ejemplos: roca fosfórica, escorias Thomas, fosfato bicálcico, cal, dolomita, etc.

La tasa de liberación es inversamente proporcional al tamaño de la partícula. Fertilizantes de alta solubilidad presentan un tamaño de partículas mayor, como los nitrogenados. Los fertilizantes fosfatados con un tamaño de partícula mayor de 5 mm, aumentan su eficiencia en suelos altamente fijadores de P, ejemplo: superfosfatos y fosfatos de amonio.

La granulación mejora la eficiencia y el manejo. Antes de 1950, la mayoría de los fertilizantes se producían en polvo o cristales finos, lo cual hacía muy engorroso su manejo y eran susceptibles a sufrir compactación durante su almacenamiento. El inicio de las técnicas de granulación permitió mejorar algunas de las propiedades físicas de los fertilizantes.

El estado físico o tamaño de partículas de los fertilizantes se puede resumir a continuación:

- a) Abonos en polvo, con grado de finura variable según el tipo de fertilizante.

- b) Abonos estándar: gránulos muy pequeños, similar en tamaño a prilados, generalmente  $< 1$  mm
- c) Abonos granulados: fertilizantes en los que al menos el 90 % de las partículas presentan un tamaño de 1-4 mm. Esta presentación permite un manejo más cómodo, un mejor funcionamiento de las abonadoras, una dosificación más exacta y una distribución sobre el terreno más uniforme.
- d) Abonos cristalinos: facilitan la manipulación y distribución, son muy solubles en agua, grado estándar.
- e) Abonos prilados (*prill*): mediante el sistema de pulverización en una torre de gran altura, se obtienen esferas de tamaño muy uniforme, al solidificarse las gotas durante la caída.
- f) Abonos macrogranulados: constituidos por grandes gránulos, de 2-5 cm de diámetro e incluso mayores, de liberación progresiva de los elementos nutritivos.

### 3.2 Segregación

Ocurre cuando partículas o gránulos individuales difieren en propiedades físicas, dando como resultado que las partículas similares tiendan a congregarse, disminuyendo su homogeneidad en el fertilizante y dificultando su manejo. Es un problema serio en mezclas físicas de fertilizantes, con partículas de diferente tamaño y composición química. La característica física que más influye en la segregación es el tamaño de la partícula. Partículas de tamaños diferentes tienden a segregar. La segregación es un problema serio en mezclas físicas en las que sus componentes tienen diferentes tamaños de partículas. En los fertilizantes complejos o químicos en el que todas las partículas tienen la misma composición, la segregación no es un problema.

### 3.3 Consistencia del gránulo

Los gránulos deben tener suficiente estabilidad mecánica, con el objeto de mantener sus propiedades físicas. Se mencionan tres tipos de consistencia mecánica:

- a) Resistencia al rompimiento
- b) Resistencia a la abrasión.
- c) Resistencia al impacto.

### 3.4 Densidad aparente

Se refiere al peso por unidad de volumen. Su importancia radica en que permite calcular el tamaño de los empaques, determinar la capacidad de almacenamiento en bodegas o vehículos y en ocasiones para calibrar dosificadores volumétricos de abonos. Por ejemplo la urea y el nitrato de amonio tienen una baja densidad, por lo tanto ocupan mucho volumen y hace necesario mayor espacio de almacenamiento. Los sacos de urea y nitrato de amonio usualmente son de 45 kg para facilitar su manipulación.

### 3.5 Humedad relativa

Es la humedad de la atmósfera por encima de la cual el material absorbe humedad. Es deseable que el fertilizante tenga una alta humedad relativa crítica, porque facilita su manejo sin que se humedezca y pierda fluidez. Determina además el tipo de empaque, manejo y

almacenamiento. Muchos fertilizantes poseen alta higroscopicidad, esto es que pueden adsorber humedad del ambiente. Esto puede perjudicar el almacenamiento y la manipulación del fertilizante. El nitrato de amonio es muy higroscópico debido a que tienen muy baja humedad relativa crítica (Cuadro 3).

### 3.6 Compactación

Es importante durante el período de almacenamiento.

#### Causas:

Desarrollo de enlaces cristalinos entre las partículas o gránulos del material que se desarrollan durante el período de almacenamiento, también por efecto térmico que provoca cristalización de sales.

#### Factores:

Tamaño de partículas, humedad relativa, temperatura, consistencia.

Para disminuir la compactación, se utilizan tratamientos como:

- a) Secamiento o curado.
- b) Acondicionadores.

### 3.7 Compatibilidad química

Cuando se mezclan dos o más fertilizantes es necesario que sean compatibles químicamente. Afortunadamente la mayoría de los fertilizantes utilizados para hacer mezclas físicas son compatibles entre sí, salvo algunas excepciones. La incompatibilidad puede presentarse por :

- a) Desarrollo de calor en la mezcla.
- b) Desarrollo de humedad.
- c) Producción de gas.
- d) Compactación.
- e) Aumento de la higroscopicidad.

Ejemplo:

**urea + nitrato de amonio --- incompatible, disminuye humedad relativa a 18%**

### 3.8 Acidez y basicidad

El uso de fertilizantes con frecuencia tiende a cambiar el pH del suelo. La acidez o basicidad fisiológicas determinan el grado de variación de la acidez o basicidad del suelo cuando se aplica una dosis dada de fertilizante.

**Acidez fisiológica**, de un fertilizante se expresa en términos del peso del carbonato de calcio que podría neutralizar el efecto de la acidez, causada por el fertilizante en el suelo.

**Basicidad fisiológica**, peso de carbonato de calcio que podría causar un efecto similar en el suelo.

La aplicación continua de fertilizantes de reacción ácida en el suelo, puede provocar un efecto acumulativo acidificando el suelo. Las fuentes amoniacaes dejan acidez residual en el suelo debido a la liberación de iones  $H^+$  de la nitrificación del  $NH_4$ . Fuentes como sulfato de

amonio, cloruro de amonio y fosfatos de amonio presentan reacción ácida, debido a que el N está acompañado por un anión formador de ácido.

El nitrato de sodio, potasio y calcio son básicos, debido a que la acidez generada por el N es neutralizada por la basicidad generada por el catión acompañante. En el Cuadro 3 se presentan los valores de acidez o basicidad fisiológica de algunos fertilizantes.

**Cuadro 3. Equivalentes de acidez o basicidad, índice de salinidad y humedad relativa crítica de algunos fertilizantes**

Fuente	Equivalente de acidez (-) o basicidad (+) (Kg CaCO <sub>3</sub> /100 Kg material)	Índice salino (%)	Humedad relativa crítica (%)
Nitrato de amonio	-63	104,7	63
Sulfato de amonio	-112	69,0	81
Urea	-84	75,4	81
Fosfato monoamónico	-65	34,2	92
Fosfato diamónico	-64	29,9	83
Amoníaco anhidro	-148	47,1	--
Azufre	-312	--	--
Nitrato de sodio	+29	100	--
Triple superfosfato	0	10,1	94
Cloruro de potasio	0	116,3	84
Nitrato de potasio	+23	73,6	--
Sulfato de potasio	0	46,1	96
Nitrato de calcio	+20	52,5	--
Sulfato de K y Mg	0	43,2	--
Cal calcítica	+80 - +95	4,7	--
Cal dolomítica	+90 - +100	0,8	--
Roca fosfórica	+56	--	--
Sulfato de calcio	0	8,1	--

### 3.9 Índice de salinidad

Casi todos los fertilizantes minerales son sales. El Índice de salinidad es una cifra indicativa del grado en el cual una cantidad dada del fertilizante incrementa la presión osmótica de la solución del suelo. Se interpreta como el incremento relativo en la presión osmótica de la solución del suelo, en comparación con el aumento obtenido con la aplicación de una cantidad similar de nitrato de sodio (I.S.=100 %). El Índice de salinidad permite comparar entre fertilizantes y prever prácticas de aplicación más adecuadas, con el objetivo de evitar quema de semillas, raíces o acumulación de sales en los suelos. También ayuda a seleccionar el fertilizante que debe ser aplicado en contacto o muy cerca de la semilla.

#### 4. COMPATIBILIDAD EN MEZCLAS FÍSICAS

La compatibilidad en mezclas físicas es la habilidad de dos o más materias primas (Cuadro 4) para permanecer completamente mezcladas durante el almacenamiento, manipulación y aplicación. La segregación es el principal problema durante la manipulación de mezclas físicas y es causada por diferencias en tamaño de partículas. El procedimiento más común para determinar la compatibilidad física en las mezclas es el análisis del tamaño de partículas de cada ingrediente o materia prima y comparar los datos entre ellos. Una de las técnicas más empleadas es la de distribución acumulativa del tamaño de partículas, la cual compara el tamaño de cada fracción retenida acumulada de un ingrediente con el de otro ingrediente, luego de pasarlos a través de una secuencia de cribas o mallas de diferente tamaño.

**Cuadro 4. Principales materias primas utilizadas para hacer mezclas físicas**

<b>UREA</b>	<b>46-0-0</b>
<b>MAP</b>	<b>10-50-0</b>
<b>DAP</b>	<b>18-46-0</b>
<b>KCl</b>	<b>0-0-60</b>
<b>K-MAG</b>	<b>0-0-22-18-22(S)</b>
<b>SULFATO DE POTASIO</b>	<b>0-0-50-17(S)</b>
<b>NITRATO DE AMONIO</b>	<b>33.5-0-0</b>
<b>SULFATO DE AMONIO</b>	<b>21-0-0-24(S)</b>
<b>ULEXITA</b>	<b>10% B</b>
<b>SULFATO DE ZINC</b>	<b>31% Zn</b>

Para determinar si las materias primas son de tamaño adecuado, muestras representativas de éstas deben ser analizadas a través de cribas. El análisis se hace cribando un peso conocido del fertilizante a través de un tamiz que va de tamaños de malla de 6 al 16. Las cribas que se usan son las mallas 6, 8, 12 y 16, con aberturas de 1 a 3,35 mm de diámetro, que es generalmente el tamaño de los gránulos de fertilizantes. En este análisis se determina la cantidad de materia prima retenida en las diferentes mallas, que se denomina como el % retenido. El % acumulado retenido se calcula al sumar el % retenido en una malla con el % retenido en mallas más grandes. La compatibilidad de tamaño de dos fertilizantes puede ser determinada al comparar los porcentajes de valores retenidos acumulados. La diferencia en porcentajes retenidos acumulados de diferentes fertilizantes se conoce como divergencia. En el Cuadro 5 se presenta una guía para determinar la compatibilidad física de materias primas.

**Cuadro 5. Guía para determinar la compatibilidad física de materias primas**

<b>Diferencia en % retenido acumulado</b>	<b>Compatibilidad esperada</b>
<b>0-10%</b>	<b>Buena compatibilidad</b>
<b>10-20%</b>	<b>Compatibilidad moderada (se deben tomar algunas precauciones en la manipulación para reducir la tendencia a la segregación)</b>
<b>&gt; 20%</b>	<b>Incompatible</b>

Si existe una diferencia en % retenido acumulado > 20%, las materias primas son incompatibles por tamaño de partículas y ocurrirá segregación. En la figura 1, tomada del Manual de Fertilizantes del IFDC, se ilustra con un ejemplo la forma de evaluar los ingredientes mezclados por compatibilidad física por el procedimiento de distribución acumulativa del tamaño de partículas. La mezcla de DAP y KCl granular muestra una diferencia en el % retenido acumulado en las mallas de 2,35 y 1,70 mm de 11 y 12%, respectivamente, por lo que ambas materias primas son compatibles de acuerdo con el cuadro 4. En la mezcla de DAP y KCl "coarse", se presentó una diferencia de 57% de material retenido acumulado en la malla de 1,7 mm, lo que indica claramente que ambos materiales son incompatibles.

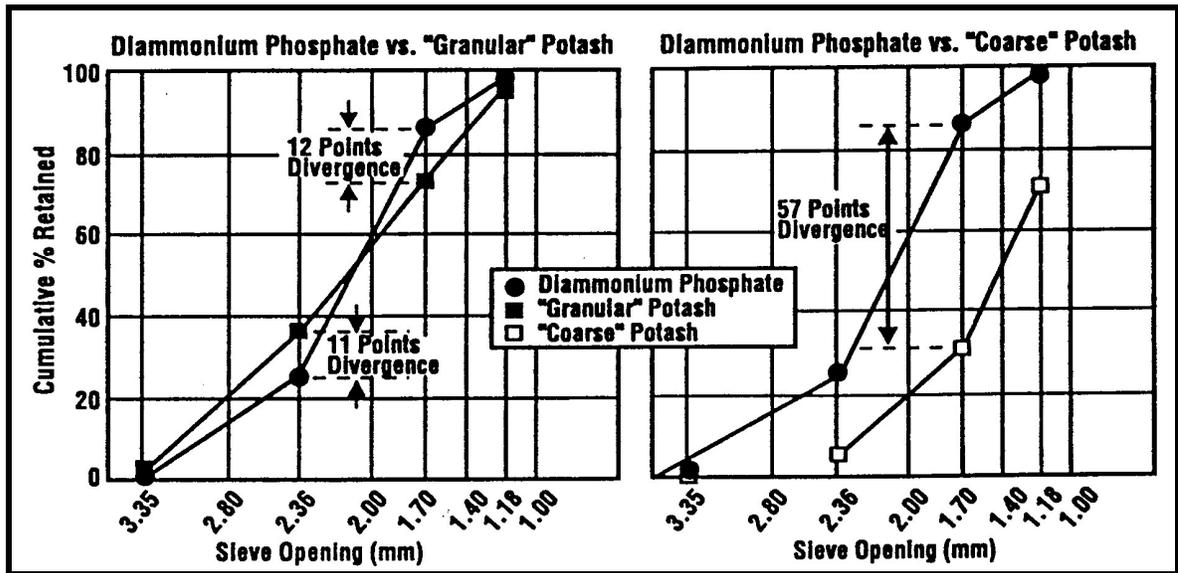


Fig. 1. Compatibilidad Física de Fertilizantes de Acuerdo a la Distribución Acumulativa de Tamaño de Partícula

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Agricultural Retailer Association. 1984. Fluid Fertilizers, Vol. 1. ARA, Saint Louis, Missouri, USA. 161 p.
- Bertsch, F. 1995. La Fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, ACCS. 157
- Dominguez, A. 1993. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 217 p.
- Enyelstad, O. 1985. Fertilizer technology and use. 3th ed. SSSA Madison, Wisconsin. 663 p.
- International Fertilizer Development Center. 1998. Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA. 615 p.
- Guerrero, R. 1981. Características físico-químicas de fertilizantes. Monómeros Colombianos, Bogotá, Colombia. 46 p.
- Lorenz, O.; Maynard, D. 1988. Knott's Handbook for vegetable growers. 3° ed. John Wiley and Sons, New York. 456 p.
- Potash And Phosphate Institute. 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. PPI, Georgia, USA.
- Tisdale, S. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5ª ed. McMillan Co., Columbus, Ohio. 454 p.

# CARACTERÍSTICAS Y MANEJO DE FERTILIZANTES QUE CONTIENEN NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO

---

Ing. Eloy Molina, M. Sc.  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[eamolina@cariari.ucr.ac.cr](mailto:eamolina@cariari.ucr.ac.cr)

## 1. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno, fósforo y potasio son considerados los macronutrientes de las plantas porque estas los requieren en cantidades muy altas. Los macronutrientes son los elementos básicos en los programas de fertilización de la mayoría de los cultivos y generalmente son incluidos en las fórmulas completas de fertilizantes, las cuales se fabrican a partir N, P y K como componentes. La fertilización balanceada de estos nutrientes tiene gran efecto en el rendimiento de los cultivos.

En la mayoría de los suelos y cultivos, la obtención de rendimientos altos está muy relacionada con el suministro adecuado de N, P y K. De ahí que la industria de fertilizantes se haya desarrollado a partir de estos tres elementos básicos. Las deficiencias de estos macronutrientes son frecuentes en muchos suelos ácidos de regiones tropicales. Este factor junto con el mejoramiento de la tecnología agrícola y el establecimiento de nuevas variedades de mayor rendimiento y extracción de nutrientes, han incrementado el consumo de fertilizantes durante los últimos años.

## 2. NITRÓGENO

El nitrógeno es quizás el nutriente que con mayor frecuencia limita los rendimientos en zonas tropicales. La mayoría de los cultivos responden a la aplicación de fertilizantes nitrogenados. El N es el responsable del crecimiento vegetal y del color verde de las hojas, es además constituyente de los aminoácidos, y por lo tanto es esencial en la síntesis de proteínas. También forma parte de los ácidos nucleicos, los cuales controlan la formación de proteínas y las características genéticas de la planta. El N junto con el Mg forma parte de la molécula de clorofila, por lo cual está asociado con la coloración verde de los tejidos vegetales y la captación de energía lumínica en la fotosíntesis. El adecuado suministro de N promueve el crecimiento vegetal, incrementa la relación biomasa/raíces, y es esencial para la formación de frutos y granos.

La deficiencia de N usualmente se inicia con la aparición de un color verde pálido o amarillento en las hojas inferiores debido a que es un elemento móvil dentro de la planta. Posteriormente, las hojas más viejas comienzan a necrosarse desde el extremo apical hasta los bordes y el centro de la lámina foliar. Los síntomas pueden extenderse a toda la planta, causando reducción del crecimiento, muerte de hojas y disminución de la floración y producción de frutos y granos.

La materia orgánica es la principal fuente de N en los suelos, siendo más del 90% del N nativo del suelo de origen orgánico. Sin embargo, la mayoría de los suelos contienen poca

cantidad de materia orgánica, usualmente menos de 5%, lo que limita el suministro de N para las plantas.

En el pasado, casi todos los fertilizantes nitrogenados utilizados en agricultura eran de origen orgánico: residuos de pescado, sangre seca, cáscaras de semillas, residuos de cosecha, estiércol de ganado y aves, etc. Actualmente la mayoría de las fuentes utilizadas son inorgánicas y provienen del amoníaco. Este compuesto puede ser obtenido como subproducto de la industria del carbón, o puede ser sintetizado por reacción de N e H. Este último proceso es el más usado actualmente. Hasta 1940, el sulfato de amonio y el nitrato de sodio fueron los fertilizantes nitrogenados más utilizados. En la actualidad, el mercado de fertilizantes está dominado principalmente por el uso de urea y nitrato de amonio, debido a su alta concentración de N.

Los fertilizantes nitrogenados se fabrican utilizando N atmosférico mediante tres procesos principales:

- a) **Oxidación directa del N**
- b) **Cianamida (Frank y Caro 1898)**
- c) **Producción sintética de amoníaco**, en la que se utiliza el método original de Haber- Bosch, el cual fue desarrollado en Alemania en 1910. La síntesis de amoníaco está basada en la reacción de N e H en presencia de un catalítico, que normalmente está constituido de magnetita con adiciones de Al, K y Ca, a temperaturas por encima de 1200° C. La reacción es expresada por la siguiente ecuación:



Este proceso consume mucha energía y es de alto costo, lo que ha impedido el establecimiento de una planta de fabricación de NH<sub>3</sub> en Costa Rica.

## 2.1 Fertilizantes derivados de NH<sub>3</sub>

El NH<sub>3</sub> es un gas que se mantiene en estado líquido mediante su almacenamiento en recipientes con altas presiones y bajas temperaturas. Presenta 82% de N y puede ser utilizado como fertilizante en aplicación al suelo o como materia prima para fabricar otras fuentes de fertilizantes nitrogenados. Se requiere equipo especial de almacenamiento, transporte y aplicación como fertilizante. En USA cerca del 40% del N aplicado como abono proviene directamente del uso del amoníaco.

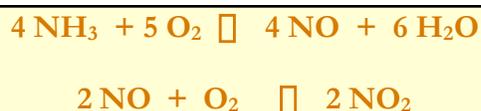
El amoníaco se aplica al suelo por medio de tubos inyectoros colocados en la parte posterior de un disco o navaja que se introduce en el suelo. Se puede aplicar también por medio de infiltración del producto diluido en el agua de riego. La aplicación directa de amoníaco con inyectoros requiere de ciertas condiciones químicas y físicas. Por ejemplo, es necesario que el suelo esté húmedo para garantizar que el corte del disco se cierre después de la aplicación. La

incorporación debe ser profunda para evitar la pérdida de  $\text{NH}_3$  por volatilización, y los suelos deben tener algo de arcilla para que retengan el  $\text{NH}_3$ . Con este producto es posible fabricar urea y nitrato de amonio. Se ha utilizado en Costa Rica como materia prima para la fabricación de ácido nítrico y nitrato de amonio, y también para la formulación de fertilizantes líquidos.

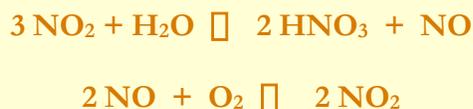
### 2.1.1 Ácido nítrico

Se fabrica a partir de la reacción de  $\text{NH}_3$  con aire a  $950^\circ\text{C}$ , en presencia de un catalizador de platino. Requiere dos pasos esenciales:

#### Oxidación:



#### Absorción:



### 2.1.2 Nitrato de amonio 33,5% N

Es uno de los fertilizantes nitrogenados de mayor uso. Se fabrica a partir de la reacción de ácido nítrico y amoníaco:



El amoníaco y el ácido nítrico son mezclados en estado líquido en un neutralizador el cual es sobrecalentado. La reacción es exotérmica y el calor de reacción es suficiente para concentrar la solución neutralizada a 83% . De aquí la solución es atomizada y en su caída hasta el fondo de la torre, a través de un flujo de aire caliente, las gotas se enfrían y se solidifican. Los gránulos sólidos son recogidos del fondo de la torre, seleccionados para remover material pasado de tamaño, y luego se colocan en secadores a base de aire caliente para remover la humedad hasta menos de 0,5%. Los gránulos son nuevamente enfriados y se aparta el material grueso. Al nitrato de amonio frío y grueso se le agrega 3% de diatomita u otro agente para reducir la humedad de la atmósfera.

El nitrato de amonio es producido en Costa Rica desde 1963, cuando FERTICA inició sus operaciones con el complejo industrial en Carrizal de Puntarenas. FERTICA posee dos plantas productoras de nitrato de amonio, con capacidad para producir 105.000 TM/año. Este producto también es importado de otros países como Noruega, Rusia, etc.

El nitrato de amonio es una fuente muy popular en Europa. Es un sólido blanco, cristalino, con 33.5% de N, la mitad en forma de amonio y la otra en forma nítrica. Tiene la desventaja de que es muy higroscópico por lo que su manipulación y almacenamiento requiere de ciertos cuidados para evitar su deterioro físico y el endurecimiento. También es uno de los fertilizantes con mayor índice salino (104,7). El nitrato es rápidamente utilizado por la mayoría de los cultivos, aunque puede ser lixiviado con facilidad. El amonio puede ser adsorbido por las arcillas y retenido por mucho más tiempo que el nitrato. En el mercado existen otras fuentes que contienen nitrato de amonio como materia prima combinado con otros nutrientes, tal es el caso del nitrato de amonio calcáreo (20-0-0-8-11CaO), que se conoce con las marcas comerciales de Nitramón y Magnesamón. Otras variantes de este producto son el NitroCalcio (26-0-0-12CaO), y el Hydrosulfán 24-0-0-10.7(CaO)-6.1(S).

### 2.1.3 Sulfato de amonio 21-0-0-24(S)

Es uno de los fertilizantes nitrogenados más antiguos, y fue manufacturado por muchos años como subproducto de la industria de acero, caprolactona, etc. También es sintetizado a partir de amoníaco y ácido sulfúrico:



Es un sólido blanco cristalino, de baja higroscopicidad, con 21% N y 24% de S. Presenta una alta acidez fisiológica, por lo que no es recomendado para uso continuo en suelos ácidos. Su bajo contenido de N le ha hecho perder popularidad debido a que el costo por unidad de N es mayor que el de otros fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, el sulfato de amonio es muy utilizado en mezclas físicas como fuente de S para los cultivos.

### 2.1.4 Urea 46-0-0

Es un fertilizante nitrogenado de origen orgánico, carbamida, con 46% de N. Es fabricado a partir de la reacción de amoníaco y dióxido de carbono, a alta presión:



La reacción se lleva a cabo en una autoclave, a 180-195°C. Se forma urea y carbonato de amonio. La solución del reactor es calentada para deshidratar el carbonato y formar urea y agua. La urea es fabricada bajo el proceso prilado, que consiste en una granulación esférica que se forma mediante la solidificación de gotas durante su caída libre en el aire u otro medio fluido. La urea es un sólido blanco, cristalino, muy soluble en agua. Como ventajas se

destacan su alto contenido de N (46%), su menor grado de higroscopicidad en comparación con el  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , y su menor riesgo de explosión. Como desventajas se pueden mencionar el riesgo de pérdida de N por volatilización de  $\text{NH}_3$  en aplicaciones superficiales, su relativa alta capacidad de acidificación del suelo, y el riesgo de fitotoxicidad por presencia de biuretos.

El contenido de biureto es importante para definir el uso de urea. El biureto es un dímero formado por la descomposición térmica de la urea, que interfiere en la síntesis de proteínas, por lo que es fitotóxico para muchos cultivos como cítricos, piña, café, etc., principalmente si se utiliza en aplicaciones foliares. Las técnicas actuales de fabricación de urea han reducido en gran medida los contenidos de biureto en muchos caso a contenidos de 1% o menos.

Una vez que la urea es aplicada al suelo, se hidroliza mediante la acción de una enzima conocida como ureasa y que se encuentra en muchos hongos, bacterias y actinomicetes, produciendo carbonato de amonio, el cual puede descomponerse rápidamente a amoníaco y dióxido de carbono. Esta reacción tiende a elevar súbitamente el pH en la zona alrededor del fertilizante. Bajo condiciones de adecuada humedad en el suelo o presencia de donadores de  $\text{H}^+$ , el amoníaco resultante de la descomposición de la urea se convertirá en amonio, el cual puede ser retenido en el suelo y/o ser nitrificado por las bacterias del suelo. La hidrólisis de la urea puede ocurrir rápidamente si hay condiciones adecuadas de humedad y alta temperatura. Si bien la reacción inicial de hidrólisis de la urea causa una elevación del pH, la nitrificación posterior del amonio genera acidez en el suelo.



La urea es susceptible de perderse por volatilización, lo cual se favorece bajo las siguientes condiciones:

- a) pH alto, aumenta la conversión de amonio a amoníaco
- b) Suelos arenosos, con baja CIC
- c) Suelos altos en carbonato de Ca, por su efecto directo sobre el pH
- d) Temperatura alta favorece la hidrólisis aumentando la relación  $\text{NH}_3/\text{NH}_4$ , además disminuye la solubilidad del amoníaco en agua y aumenta la difusión de gases.
- e) La aplicación superficial de urea en suelos de pH alto, secos y calientes favorece las pérdidas por volatilización.

La aplicación de urea en banda cubierta por una capa de 5-10 cm de suelo puede disminuir en gran medida las pérdidas por volatilización. La nitrificación del amonio proveniente de la urea puede tomar unos días si existen condiciones adecuadas en el suelo. El uso de la urea se ha incrementado considerablemente en los últimos 25 años debido a sus características

agronómicas y su alto contenido de N, lo que reduce los costos por unidad de N y transporte.

Existen otras fuentes a base de urea:

- **Urea-azufre:**
- Puede ser fabricado a partir de la mezcla química de urea con azufre líquido, o de urea con sulfato de amonio. Normalmente tiene grado de 40% de N y 5-10% de S.
- **Urea recubierta con azufre (SCU)**
- Es un producto de baja solubilidad fabricado mediante la atomización de azufre fundido a 143°C sobre urea en un tambor rotatorio. El producto final contiene 36% de N y 17% de S.
- **Urea formaldehído**
- **Urea-fosfato**

### 2.1.5 Cloruro de amonio 26-0-0-66 (Cl)

Posee **25-28% de N**. Es una fuente conocida en algunos países asiáticos, especialmente en Japón donde se utiliza en arroz inundado. También se ha utilizado en cultivos exigentes en cloro, como coco, palma, kiwi, etc. Es similar al sulfato de amonio en producción de acidez en el suelo. No es recomendado en cultivos sensibles a cloruros. Otros fertilizantes nitrogenados derivados del  $\text{NH}_3$  incluyen los fosfatos de amonio (MAP y DAP), los cuales serán discutidos en el capítulo de fertilizantes fosfatados.

## 2.2 Fertilizantes a base de nitrato

En adición al nitrato de amonio mencionado anteriormente, existen otras sales fertilizantes que contienen  $\text{N-NO}_3$ , tales como el nitrato de sodio, nitrato de potasio y nitrato de calcio. Estas fuentes son bastante solubles y móviles en la solución del suelo, y de rápida absorción por las plantas, aunque son susceptibles a perderse por lixiviación en climas muy húmedos. Tienen la ventaja de que no producen acidez residual en el suelo, sino más bien causan un ligero efecto alcalinizante.

### 2.2.1 Nitrato de sodio $\text{NaNO}_3$ 16-0-0

Durante una época fue la principal fuente de origen natural en la industria de fertilizantes nitrogenados. La mayoría provenía de yacimientos ubicados en el oeste de la costa de Chile. También es fabricado sintéticamente a partir de la reacción de cloruro de sodio con ácido nítrico. En la actualidad es poco utilizado debido a su bajo contenido de N (16%), presencia de Na, y alto índice salino.

### 2.2.2 Nitrato de potasio $\text{KNO}_3$ 13-0-44

Este fertilizante contiene dos elementos esenciales para la nutrición de las plantas. Su grado es de 13% de N y 44% de  $\text{K}_2\text{O}$ . Es fabricado por un proceso de destilación a alta temperatura basado en el ataque directo de ácido nítrico concentrado sobre el KCl. Es muy utilizado en cultivos intensivos como hortalizas, flores y ornamentales, y como fuente de K en cultivos sensibles a los cloruros, como tabaco, papa y cítricos. Posee algunas ventajas:

moderado índice salino, presencia de N nítrico, favorable relación N/K para cultivos exigentes en K, ausencia de cloro, efecto alcalino en el suelo. Sin embargo, su costo alto comparado con otras fuentes, ha limitado su uso a cultivos de alta rentabilidad y en sistemas de fertirrigación como fuente de K principalmente. El  $\text{KNO}_3$  es muy utilizado en fertilización foliar debido a su facilidad de absorción a través de la cutícula de las hojas.

Existe un nitrato de potasio simple de la empresa SQM, fabricado a partir de yacimientos de salitre en el desierto de Atacama en Chile, cuya fórmula es 15-0-14, de muy buenas características.

### 2.2.3 Nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 15-0-026 (CaO)

La mayoría del nitrato de calcio es fabricado en Europa a partir de dos procesos principales. En el primero, el carbonato de calcio es tratado con ácido nítrico, y la solución resultante posee 40% de nitrato de calcio, el cual luego es clarificado y condensado en un evaporador:



También puede ser obtenido como subproducto de la fabricación de nitrofosfatos. Es un sólido blanco, cristalino, muy higroscópico, lo cual dificulta su manejo y requiere ser almacenado en empaques fuertemente resistentes a la humedad. No es recomendable para usar en zonas muy húmedas. Es muy soluble en agua lo cual lo hace ideal para aplicación líquida. Es muy útil en suelos con problemas de altos niveles de sodio, ya que el Ca puede desplazar al Na en el complejo coloidal. Posee 15,5% N y 19,4% de Ca. Es más caro que otras fuentes por lo que en Costa Rica solo se utiliza como fuente de calcio en fertirrigación de cultivos como flores, ornamentales, melón, hortalizas, etc. y en fertilización foliar.

## 2.3 Transformaciones de los fertilizantes nitrogenados en el suelo

### 2.3.1 Nitratos

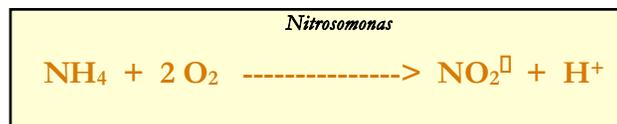
Las fuentes de nitrato son fácilmente transportadas en el agua debido a su alta solubilidad y a que son poco adsorbidas en el complejo de intercambio del suelo. Las pérdidas de nitratos en la superficie del suelo no son muy altas, excepto si la pendiente es elevada, en cuyo caso puede ocurrir percolación después de un fuerte aguacero. Las pérdidas de nitratos por lixiviación pueden ser muy significativas, especialmente en períodos prolongados de lluvia. La intensidad de este fenómeno dependerá de factores tales como la cantidad y frecuencia de lluvia, tipo de suelo, velocidad de infiltración, capacidad de absorción del cultivo, etc. Los suelos de texturas livianas tienden a presentar alta velocidad de infiltración, incrementando la pérdida de nitratos por lixiviación.

### 2.3.2 Amonio

El N de fuentes amoniacaes puede ser adsorbido por intercambio catiónico. Por su alta capacidad de adsorberse a las cargas negativas de las arcillas, el amonio es poco susceptible a moverse por el agua del suelo. Sin embargo, la magnitud de la adsorción depende de la CIC del suelo y de la tasa de nitrificación del amonio. Suelos con muy baja CIC, como los Ultisoles, tienen poca capacidad de adsorción de amonio. El amonio puede ser también fijado por minerales de arcilla del tipo 2: 1 (montmorillonita, vermiculita), los cuales pueden ser encontrados en suelos de Costa Rica (Vertisoles, Molisoles, Inceptisoles), principalmente en Guanacaste.

### 2.3.3 Nitrificación

La nitrificación es la oxidación biológica del amonio a nitrato:



Este proceso es afectado por las condiciones ambientales y produce un efecto acidificante en el suelo. La nitrificación se favorece a pH ligeramente alcalino; requiere suficiente humedad y aireación, y temperaturas de 25-35°C. La nitrificación es un fenómeno importante para aumentar el aprovechamiento de los fertilizantes amoniacaes ya que las plantas absorben N principalmente como nitrato.

### **2.3.4 Pérdidas de amoníaco por volatilización**

La volatilización del amoníaco es la mayor fuente de pérdida de N en suelos alcalinos o calcáreos, principalmente cuando se aplica urea y amoníaco anhidro. Las pérdidas varían entre 5 y 20%, pero en casos extremos pueden llegar hasta 70% del N aplicado.

El amoníaco anhidro puede perderse por volatilización debido a su rápida conversión de líquido a gas, durante y después de la inyección en el suelo. Estas pérdidas pueden evitarse aplicando el fertilizante a una profundidad adecuada y en suelos con propiedades físicas y condiciones de humedad que garanticen un rápido cierre del canal de inyección.

Las pérdidas de N por volatilización se incrementan a pH alto (>7), pero también pueden ocurrir en suelos ácidos si el fertilizante se aplica sobre la superficie. Los iones amonio provenientes de la hidrólisis de la urea pueden convertirse en amoníaco si el pH es alto y el suelo está seco. El pH circundante a la zona de aplicación del fertilizante es muy importante. La hidrólisis de la urea es un proceso que inicialmente eleva el pH alrededor del fertilizante, aumentando la relación  $\text{NH}_3/\text{NH}_4$ . Esto puede favorecerse cuando se aplican dosis altas de urea en forma muy localizada. La temperatura incrementa la velocidad de hidrólisis de la urea, elevando la relación anterior, y favoreciendo la pérdida de N por volatilización. La incorporación de la urea a 5-10 cm de profundidad como mínimo, puede disminuir o eliminar las pérdidas de N.

### **2.3.5 Denitrificación**

Es la reducción de nitratos bajo condiciones de alta humedad y poca aireación en el suelo. En este proceso, el nitrato es reducido a formas de N gaseoso que se pierden en la atmósfera. Por este motivo las fuentes nítricas son inefectivas en el cultivo de arroz anegado. Las pérdidas de N por denitrificación oscilan entre 0 y 70%, aunque en la mayoría de los casos se ubican en un rango de 10-30%.

## **2.4 Factores que influyen la selección de la fuente**

Los fertilizantes nitrogenados pueden ser clasificados en tres grupos, de acuerdo con la forma de N presente: amoniacal, nítrico o combinación de ambos. Los fertilizantes amoniacales tienen algunas características en común. La mayoría de las plantas no puede utilizar el N amoniacal en forma efectiva, con excepción del arroz. De tal manera que su mejor utilización depende de la conversión de amonio a nitrato en el suelo. Esta conversión se lleva a cabo a través de una serie de procesos microbiológicos que usualmente son bastante rápidos en suelos de zonas cálidas. Sin embargo, es necesario que el suelo esté suficientemente aireado, ya que la nitrificación es un proceso aeróbico. En suelos inundados la nitrificación no ocurre. La disminución de la temperatura del suelo puede bajar la tasa de nitrificación, y a temperaturas menores de 10°C la nitrificación cesa. Por este motivo, las fuentes nítricas son más eficientes en climas muy fríos.

El N amoniacal puede ser retenido por los coloides del suelo, y por lo tanto resistir las pérdidas por lixiviación. Sin embargo, la nitrificación normalmente es muy rápida en condiciones favorables de pH, temperatura y humedad, lo cual minimiza el efecto favorable de la retención de amonio. En suelos inundados dedicados a la producción de arroz, la adsorción de amonio por el complejo coloidal es bastante importante debido al ambiente de

reducción en el suelo que impide la nitrificación, por lo que las pérdidas de N por lixiviación se reducen.

La aplicación de fuentes amoniacales en forma superficial podría propiciar las pérdidas de amoníaco por volatilización, dependiendo del tipo de fertilizante, pH del suelo, temperatura, etc. Por este motivo el  $\text{NH}_3$  anhidro y otras fuentes amoniacales como la urea deben ser incorporados al suelo para reducir las pérdidas por volatilización. La urea presenta la ventaja con relación a las otras fuentes granuladas de que posee un contenido más alto de este elemento.

Los fertilizantes amoniacales son formadores de ácido en el suelo, principalmente el sulfato de amonio y el cloruro de amonio (Cuadro 1). Esto podría ser una ventaja en suelos alcalinos o cultivos que requieren suelos ácidos, pero en otros casos la acidez residual del fertilizante podría ser desventajoso al incrementar los problemas de acidez en los suelos.

El anión acompañante de la sal de amonio debe ser considerado al seleccionar una fuente de N. Para los cultivos que requieren un buen suministro de P, los fosfatos de amonio constituyen una fuente de gran valor por su alta concentración de P. En suelos deficientes de S, el sulfato de amonio es una buena alternativa. En los pocos casos de cultivos que responden al cloro, el cloruro de amonio sería una buena opción. Sin embargo, en cultivos sensibles a cloruros, o en suelos de zonas áridas o con problemas de salinidad, deben ser evitados los fertilizantes con cloruros.

**Cuadro 1. Índice de acidez fisiológica de fertilizantes nitrogenados**

Fuente de N	N %	Índice acidez fisiológica*
Sulfato de amonio	21	-112
Urea	46	-84
Fosfato diamónico	18	-74
Fosfato monoamónico	12	-65
Nitrato de amonio	33,5	-63
Nitrato de amonio calcáreo	20	0
Nitrocalcio	26	-21

\*kg  $\text{CaCO}_3$ /ha requeridos para compensar la acidificación del suelo causada por 100 kg de fertilizante.

Los nitratos son generalmente efectivos bajo todas las condiciones de suelo y cultivo, y son una alternativa para clima frío. En arroz inundado, los nitratos son denitrificados y se pierden por volatilización, por lo que no deben utilizarse.

Los nitratos de calcio, sodio y potasio tienen reacción básica en el suelo, por lo que son una ventaja para suelos ácidos. Una de las desventajas de estas fuentes es su bajo contenido de N que incrementa el costo por unidad de N. El nitrato de sodio puede ser perjudicial en suelos salinos y clima muy árido. El nitrato de calcio puede ser usado en suelos salinos, ya que el Ca reemplaza al Na del complejo de intercambio. El nitrato de amonio contiene N amoniacal y nítrico, y por lo tanto posee las ventajas y desventajas de ambas formas de N. Es una fuente ampliamente utilizada en diversas condiciones de suelo y cultivo, y de gran popularidad.

Uno de los aspectos que más influye en Costa Rica para la selección del fertilizante nitrogenado es el costo de la fuente y su disponibilidad. Esto ha originado una disminución en el consumo de sulfato de amonio debido a su bajo contenido de N. La mayoría de las fórmulas completas de fertilizantes que se distribuyen en el país contienen N. En el caso de las mezclas químicas, la materia prima principal de N es el ácido nítrico, y en menor proporción el fosfato monoamónico (MAP) y  $\text{NH}_3$ , por lo tanto el N de dichas mezclas es nítrico y amoniacal, en proporciones muy similares. En mezclas físicas, la fuente principal de N es la urea, aunque también se utiliza nitrato de amonio, sulfato de amonio, MAP y DAP.

Las otras fuentes de N tienen un uso limitado, debido a su mayor costo y a la dificultad de encontrarlas disponibles en la mayoría de los distribuidores de fertilizantes del país. Las fuentes como nitrato de calcio, potasio y magnesio, son utilizados principalmente en cultivos de alta rentabilidad y para aplicación líquida por medio de fertirrigación y fertilización foliar.

**Cuadro 2. Composición química de algunos fertilizantes nitrogenados**

Fuente	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	Cl
%							
Sulfato de amonio	21	-	-	-	-	24	-
Amoniaco anhidro	82	-	-	-	-	-	-
Cloruro de amonio	26	-	-	-	-	-	66
Nitrato de amonio	33.5	-	-	-	-	-	-
Nitrosulfato de amonio	26-30	-	-	-	-	5-6	-
Nitrato de amonio calcáreo (Nitramón, Magnesamón)	20-22	-	-	11	7-8	-	-
Nitrocalcio	26	-	-	10	-	-	-
Hydrosulfán	24	-	-	10.7	-	6.1	-
Nutrasul	27	-	-	-	-	8.33	-
Fosfato monoamónico	10	50	-	2	0.5	1-3	-
Fosfato diamónico	18	46	-	-	-	-	-
Polifosfato de amonio	10-11	34-37	-	-	-	-	-
Tiosulfato de amonio	12	-	-	-	-	26	-
Nitrato de calcio	15	-	-	26	-	-	-
Nitrato de potasio	13	-	44	0.5	0.5	0.2	1.2
Nitrato de sodio	16	-	-	-	-	-	0.6
Urea	46	-	-	-	-	-	-
Urea – S	40	-	-	-	-	5-10	-
Urea – Nitrato amonio	28-32	-	-	-	-	-	-
Urea Fosfato – Amonio	21-38	13-42	-	-	-	-	-
Urea – Fosfato	28	28	-	-	-	-	-
Cianamida de calcio	22	-	-	54	-	0.2	-

### 3. FÓSFORO

Es un nutriente de gran importancia debido a su papel como componente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, ATP, NAD y NADP. Participa en procesos como fotosíntesis, glucólisis, respiración y síntesis de ácidos grasos. El P fomenta el desarrollo de raíces,

aumenta el número de retoños, apresura la maduración de frutos, favorece la formación de semilla, evita el acame, etc.

Debido a que el P se mueve rápidamente de los tejidos viejos a los tejidos jóvenes, la deficiencia de P aparece primero en las partes bajas de las plantas. Las hojas viejas pueden tornarse de un color verde oscuro al principio, y luego pueden aparecer manchas o zonas de color púrpura o rojizo, especialmente en cultivos de gramíneas como maíz y sorgo. En muchos cultivos, la deficiencia de P es difícil de detectar en el campo. La deficiencia de P causa que las plantas se queden pequeñas o enanas, con escaso desarrollo radicular. También disminuye la tasa de crecimiento, reduce la floración, el cuaje de flores y el rendimiento de granos y frutos.

El P es un elemento que con frecuencia se presenta deficiente en muchos suelos ácidos de regiones tropicales. La causa principal se debe al grado de meteorización del suelo, su escasa movilidad, y al fenómeno de fijación de P por las arcillas del suelo. La mayor parte del P nativo en el suelo se encuentra en formas no disponibles para las plantas, principalmente como formas orgánicas, o como fosfatos inorgánicos de Fe, Al, y Ca.

El P es disponible para las plantas en forma de anión ortofosfato primario principalmente ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), aunque también lo absorben como ortofosfato secundario ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Estas formas de P son muy reactivas y escasas en los suelos. El anión ortofosfato reacciona fácilmente con minerales secundarios y otros coloides, formando fosfatos insolubles que no son disponibles para las plantas. Minerales como los óxidos e hidróxidos de Fe y Al, alofanas, caolinitas, haloisitas, etc, tienen diferente capacidad para fijar P, afectando su disponibilidad para las plantas.

La primera fuente de fertilizante fosfatado fueron los huesos de animal molidos, utilizados a principios del siglo XIX. Posteriormente, Liebig demostró en 1840 que el valor como fertilizante de los huesos podía ser aumentado tratándolos con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . En 1842 Lawes patentó un procedimiento por el cual se podía acidular la roca fosfórica con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , lo cual fue el inicio de la producción comercial del superfosfato sencillo en Inglaterra en 1843. La producción de Triple Superfosfato se inició años más tarde mediante la acidulación de la roca fosfórica con  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

### 3.1 Roca fosfórica

La roca fosfórica es la principal materia prima para la fabricación de fertilizantes fosfatados. Existen enormes yacimientos de este material en muchas partes del mundo, la mayoría de los cuales son de origen marino. Estos yacimientos quedaron en la superficie al levantarse grandes extensiones de tierra y mar; formándose capas de sales mezcladas con los esqueletos de la fauna marina después de la evaporación del agua. Los yacimientos más importantes se encuentran en Marruecos, China, Estados Unidos, Rusia, Brasil, Venezuela, Perú y Colombia. Las reservas de roca fosfórica son enormes, cerca de 40 billones de TM.

La roca fosfórica es un mineral llamado apatita, siendo el más común de ellos la fluorapatita. Es un fosfato tricálcico, que contiene además otros elementos como Si, Mg, F,  $\text{CO}_3$ , Na, etc. La roca es extraída por lo general de minas a cielo abierto. Luego de varios pasos de procesamiento y purificación, la roca fosfórica contiene entre 11,5 y 17,5% de P (27 a 41% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). El material purificado es molido finamente y de este modo está listo para su

aplicación directa al suelo. El P de la roca fosfórica es insoluble en agua, por lo que para que se disuelva en el suelo el material debe ser molido con fineza (malla 100 mesh).

La aplicación directa de roca fosfórica es utilizada en algunos países en suelos ácidos, en dosis que oscilan entre 0,5 y 1 ton/ha. Los rendimientos se incrementan luego del primer año de aplicación y se mantiene un efecto residual a mediano plazo. Sin embargo, la mayor parte de la roca fosfórica es utilizada como materia prima para producir fertilizantes fosfatados más solubles.

La roca fosfórica puede ser procesada a través de tres mecanismos principales:

#### a) Tratamientos físicos

Consiste en moler la roca fosfórica y usarla directamente como fertilizante. El valor agronómico de este material depende mucho del grado de fineza y la solubilidad de los fosfatos presentes. El pH también ejerce gran influencia, ya que conforme baja o se acidifica, la solubilidad aumenta. Por este motivo su uso no es satisfactorio en suelos de pH alcalino. La solubilidad también se incrementa en suelos de clima cálido y lluvioso, por lo que la roca fosfórica ha dado resultados satisfactorios en aplicación directa en Ultisoles y Oxisoles de regiones tropicales.

#### b) Tratamientos térmicos

A través del calor se logra la transformación de la apatita (roca) en compuestos más solubles, aumentando el grado de eficiencia agronómica.

#### c) Tratamientos químicos

Los fosfatos naturales son atacados con ácidos para solubilizar los fosfatos tricálcicos a dicálcicos o monocálcicos, o para producir ácido fosfórico. Este es el principal método, a partir de él se obtienen los fertilizantes sintéticos más importantes, tales como el Triple Superfosfato. La roca puede ser parcial o totalmente acidulada con HCL, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Figura 1).

El contenido de P en la roca es muy variable, aunque puede oscilar entre 27 y 41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. La cantidad de roca que puede ser solubilizada en citrato de amonio, sirve como parámetro para clasificar las rocas de acuerdo con su potencial agronómico, como se muestra a continuación:

<b>Rocas de alto potencial</b>	<b>&gt; 17% de P soluble en citrato</b>
<b>Rocas de medio potencial</b>	<b>12-17% de P soluble en citrato</b>
<b>Rocas de bajo potencial</b>	<b>&lt; 12% de P soluble en citrato</b>

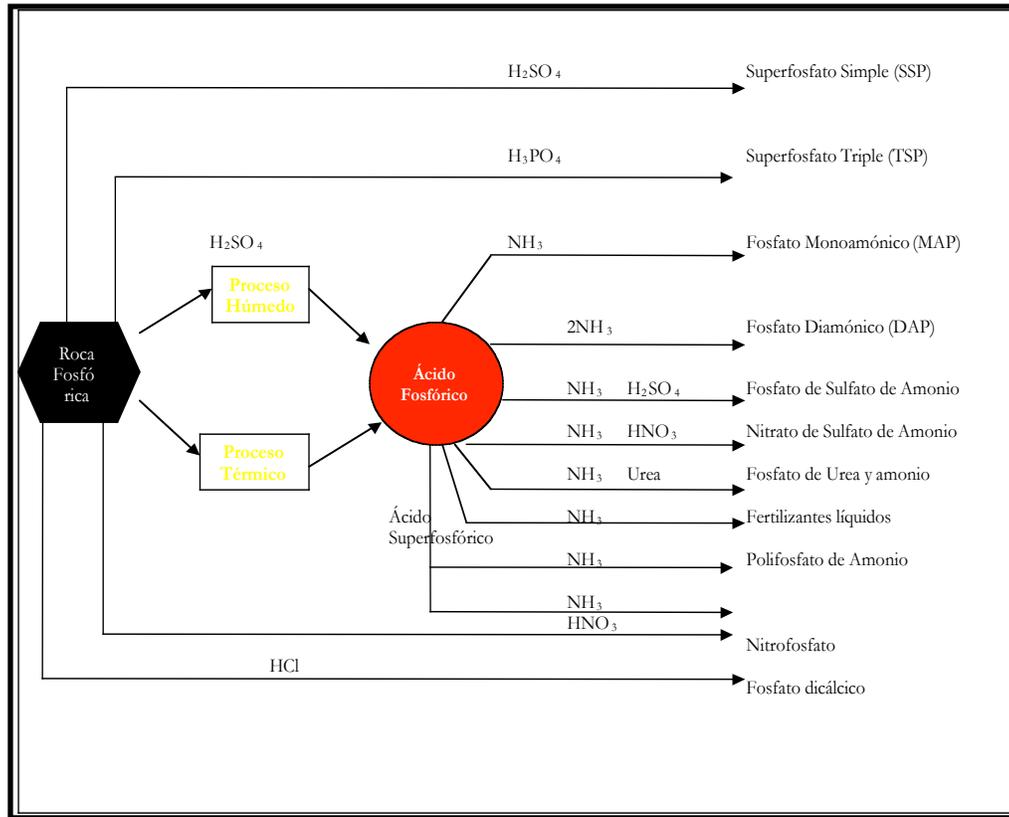


Figura 1. Esquema de fabricación de fertilizantes fosfatados

### 3.2 Superfosfato sencillo

Es el término usado para los fertilizantes producidos a partir de la acidulación de la roca fosfórica con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. El principal constituyente es el fosfato monocálcico monohidratado:



El HF reacciona con el CaCO<sub>3</sub> de la roca y forma CO<sub>2</sub>. La evolución de estos gases le da al superfosfato su característica estructura porosa. El superfosfato sencillo tiene 20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 12% de S y 20% de Ca. Más del 90% del P es soluble en agua. El consumo de esta fuente ha disminuido debido a su bajo contenido de P en comparación con otras fuentes.

### 3.3 Triple superfosfato

Se fabrica a partir de la acidulación de la roca fosfórica con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> para formar un fosfato monocálcico:



Posee 46% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (95 - 98% soluble en agua). Durante mucho tiempo fue una de las fuentes de P más utilizadas debido a su alto contenido de P. Es compatible con otros fertilizantes por lo que resulta apropiada para mezclas físicas. Sin embargo, en los últimos años el TSP ha venido siendo remplazado por los fosfatos de amonio.

### 3.4 Fosfatos de amonio

Estos fertilizantes comenzaron a ser importantes a partir de 1960. En la actualidad su consumo se ha incrementado aceleradamente, y en algunos países como los Estados Unidos son las fuentes de P más importantes. El aumento en el consumo de fosfatos de amonio se fundamenta en su alta concentración de P, y en la evidencia que existe de que la absorción de P por la planta se incrementa en presencia de  $\text{NH}_4$ .

Tanto el DAP como el MAP son fertilizantes granulados completamente solubles en agua, con alta concentración de P. Pueden ser usados como fuente de P en mezclas físicas, y en la preparación de fertilizantes líquidos. El MAP y el DAP se utilizan también como abonos de siembra en sustitución de otras fórmulas tradicionales como el 10-30-10 y 12-24-12.

#### a) Fosfato diamónico DAP $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

Se fabrica a partir de la reacción de ácido fosfórico con amoníaco:



Existen diversas formulaciones pero la más tradicional es 18-46-0. Suministra N y P completamente soluble en agua, y posee un ligero efecto acidificante en el suelo.

#### b) Fosfato monoamónico MAP $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

Este fertilizante es mucho más concentrado en P y de menor contenido de N. Algunas de las formulaciones más corrientes son: 10-50-0, 11-52-0, 10-54-0 y 12-60-0. Los fosfatos de amonio pueden ser utilizados en fertirrigación debido a su alta solubilidad en agua. Su precio es más elevado que el Triple Superfosfato y presentan cierto grado de higroscopicidad.

#### c) Polifosfatos de amonio

Se forman por la unión de dos o más tetraedros de  $\text{PO}_4^{3-}$  (ortofosfatos) a través de un proceso de remoción o de exclusión de una parte del agua químicamente combinada. La unión de dos moléculas produce pirofosfato, de tres moléculas tripolifosfato, de cuatro tetrapolifosfato. Este proceso puede continuar hasta formar cadenas con cientos de grupos

$\text{PO}_4^{3-}$ . Son fuentes importantes como fertilizantes líquidos, pero deben ser hidrolizados a ortofosfatos en el suelo para que sean disponibles para la planta.

#### **d) Fosfato de amonio - urea**

Son mezclas físicas granuladas de urea con polifosfato de amonio. Los grados más comunes son 28-28-0, 35-17-0. Son producidos comercialmente en India, Korea, Japón y Noruega.

### **3.5 Fosfatos nítricos**

Son fertilizantes fabricados a partir de la acidulación de la roca fosfórica con ácido nítrico o con mezclas de ácido nítrico y sulfúrico o ácido fosfórico. Grados: 20-20-0, 26-13-0, 14-14-14, 22-11-11 presentan menor solubilidad de P en agua que los superfosfatos o los fosfatos de amonio.

### **3.6 Ácido fosfórico**

El  $\text{H}_3\text{PO}_4$  contiene entre 51-54% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y es fabricado a partir de la acidulación de la roca fosfórica con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . El  $\text{H}_3\text{PO}_4$  es la materia prima principal para fabricar TSP y fosfatos de amonio, pero también es utilizado como fuente de P en fertilizantes líquidos y fertirrigación. Sus grados más comunes son 0-54-0 (blanco) y 0-52-0 (verde). Son líquidos muy densos que causan corrosión, por lo que se almacenan en tanques de vidrio o de acero inoxidable. El  $\text{H}_3\text{PO}_4$  libera calor cuando se agrega al agua de riego, pero rápidamente se disipa. No debe mezclarse con calcio porque forma precipitados de fosfatos de Ca que obstruyen los sistemas de riego.

### **3.7 Solubilidad de fertilizantes fosfatados**

La solubilidad del P proveniente de los fertilizantes puede ser medida utilizando agua y una solución de citrato de amonio 1N. El método consiste en hacer una extracción de P de una cantidad de fertilizante determinada, primero en agua, luego en citrato, y por último en el residuo de muestra. De esta forma se pueden analizar las siguientes fracciones:

- a)** P soluble en agua
- b)** P soluble en citrato de amonio 1 N
- c)** P insoluble en citrato de amonio (el residuo después de las extracciones con agua y citrato)
- d)** P disponible: la suma del P soluble en agua y en citrato
- e)** P total: disponible + soluble en citrato

Los superfosfatos, DAP, MAP y fosfatos de amonio son muy solubles en agua. Los fosfatos dicálcicos, fosfatos Renania, roca fosfórica, etc., son poco solubles en agua.

### **3.8 Factores que influyen en la disponibilidad de P del fertilizante**

Las características químicas del suelo y la fuente de fertilizante fosfórico, determinan la disponibilidad de P para las plantas. Debido a que la fijación de P en el suelo es un fenómeno intenso y generalizado, y que la mayoría de las fuentes de P son solubles en agua, la eficiencia del fertilizante fosfatado usualmente es muy baja. Se ha estimado que solo entre

el 10 y 30% del P aplicado como fertilizante es aprovechado por las plantas. El conocimiento de los diferentes factores que influyen en la disponibilidad de P del fertilizante es de gran importancia para el manejo eficiente del P en los suelos.

**a) pH**

A pH 5,5-7,0, la forma dominante en el suelo es  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , que es la forma preferida de absorción por las plantas. A pH mayor de 7,2 predomina el  $\text{HPO}_4^{2-}$ . La disponibilidad de P es mayor a pH 5,5-7,0. En suelos ácidos el P reacciona con óxidos de Al y Fe o con el Al intercambiable para formar fosfatos de Al y Fe insolubles.

En suelos alcalinos, los fosfatos solubles pueden convertirse en fosfatos dicálcicos o tricálcicos que son muy insolubles. Los iones fosfato también pueden adsorberse a la superficie de partículas de  $\text{CaCO}_3$  o en arcillas saturadas con Ca. En suelos volcánicos el Al amorfo proveniente de la alofana e imogolita es capaz de retener gran cantidad de P. Los Andisoles son los suelos con mayor capacidad de retención de P.

**b) Cantidad y tipo de arcilla**

Los suelos arcillosos fijan más P que aquellos con texturas livianas, por lo tanto requieren dosis más altas. La capacidad de fijación de P está también relacionada con el tipo de arcilla. La fijación de P es más alta en suelos que contienen arcillas amorfas o de orden corto como alofanas, imogolitas y complejos Al-humus, que son comunes en muchos Andisoles. En suelos ácidos como Ultisoles y Oxisoles, la fijación de P es causada por la presencia de arcillas como caolinitas, óxidos e hidróxidos de Fe y Al.

**c) Temperatura**

La deficiencia de P generalmente es más pronunciada a bajas temperaturas, debido que el crecimiento radical es más lento, lo cual disminuye la absorción de P. Con temperaturas bajas también disminuye la mineralización de P orgánico, y la tasa de difusión de P a la raíz.

**d) Humedad**

La mayor proporción de P absorbido se mueve hasta la raíz por difusión, por lo tanto es necesario que haya condiciones favorables de humedad en el suelo. Sin embargo, el exceso de humedad reduce el suministro de oxígeno, lo que limita el crecimiento de las raíces y disminuye la absorción de P.

**e) Movimiento**

El P es relativamente inmóvil. El P soluble rara vez se mueve más de 2 ó 3 cm antes de reaccionar con los minerales del suelo. De ahí la importancia de colocar el P en la posición adecuada para que pueda ser absorbido por el cultivo. Debido a su inmovilidad, las pérdidas de P a través del perfil son bajas, con excepción de la remoción por el cultivo y la retención por los minerales del suelo.

**f) Tamaño del gránulo**

Está muy relacionado con el grado de solubilidad de fertilizantes fosfatados. En los fertilizantes de alta solubilidad, el incremento del tamaño del gránulo disminuye el riesgo de pérdidas por fijación, ya que hay menos contacto con el suelo. En el caso de fertilizantes poco solubles en agua, la disminución del tamaño de partícula aumenta su eficiencia al incrementar la superficie específica, como en el caso de las rocas fosfóricas.

**g) Efecto de la fuente**

Los fosfatos de amonio o fuentes de nitrógeno amoniacal con P presentan ventajas con respecto a fosfatos de calcio en que suministran P, pueden acidificar temporalmente la solución adyacente en suelos alcalinos e incrementar la disponibilidad de P, y aumentan la absorción radical de P.

El efecto estimulador del N-NH<sub>4</sub> por la absorción de P se ha atribuido al bajo pH de la rizosfera, la estimulación del crecimiento radical y el incremento en la actividad metabólica de la planta. Sin embargo, los fosfatos de amonio pueden causar daño a las semillas si se aplican en contacto directo con estas, ya que poseen mayor índice salino que los fosfatos cálcicos.

**h) Época de aplicación y método de aplicación**

Está muy relacionado con el tiempo de exposición del fertilizante fosfórico en el suelo. Cuanto mayor es el tiempo de contacto del fertilizante con el suelo, mayor será la pérdida de P por fijación. La época de aplicación de P en suelos con alta capacidad de fijación del elemento debe coincidir con las etapas de mayor absorción de P por la planta, que generalmente es durante la floración, cuaje de flores y crecimiento de granos y frutos. El fraccionamiento de la aplicación de P ha demostrado ser una herramienta eficaz para aumentar la eficiencia del fertilizante.

La aplicación de P al voleo sobre la superficie del suelo incrementa el contacto del fertilizante con el suelo y aumenta el riesgo de pérdida por fijación. Lo mismo ocurre con la incorporación de fertilizante en el suelo en antes de sembrar. En este caso se requeriría utilizar dosis muy altas de P para elevar su disponibilidad. La mejor forma de aplicar P es localizarlo en una banda a un lado de la semilla, o incorporarlo en el fondo del surco u hoyo de siembra. Esta técnica disminuye el contacto del fertilizante con las partículas de suelo, haciendo que esté disponible por mayor tiempo. Este método justifica las aplicaciones de P a la siembra, ya que permite dejar el fertilizante bien localizado, aún cuando la planta no ocupe tanto P al inicio de su crecimiento.

**Cuadro 3. Efecto del método de aplicación de P en el rendimiento de varios cultivos (Potash and Phosphate Institute, 1997)**

Método de aplicación	Brasil Maíz	Colombia Maíz	Panamá Arroz	India Trigo	USA Sorgo	Canadá Cebada
	ton/ha					
<b>Volteo</b>	6	1,8	3,1	1,9	5,4	2,4
<b>Banda</b>	8,1	3,9	4,2	2,1	6,3	3,7

Cuadro 4. Fuentes de fertilizantes fosfatados

Fuente	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	S
			%		
Roca fosfórica	-	27-41	-	40-54	-
Superfosfato sencillo	-	20	-	20	12
Triple Superfosfato	-	46	-	-	-
Acido fosfórico	-	51-54	-	-	-
Fosfato monoamónico	10	50	-	2	1-3
Fosfato diamónico	18	46	-	-	-
Polifosfato de amonio	10-11	34-37	-	-	-
Urea Fosfato – Amonio	21-38	13-42	-	-	-
Fosfatos nítricos	14-22	11-14	-	-	-

#### 4. POTASIO

Con excepción del nitrógeno, el potasio es el elemento absorbido en mayor cantidad por la mayoría de los cultivos. A pesar de que en muchos suelos el contenido de K total es muchas veces superior a K absorbido por las plantas, solo una pequeña fracción se encuentra disponible. De ahí que las necesidades de K son con frecuencia altas para satisfacer los requerimientos de los cultivos y establecer una nutrición balanceada.

El K realiza múltiples funciones en la planta, entre las que se pueden citar:

- Fomenta la fotosíntesis mediante la activación de numerosas enzimas.
- Incrementa el efecto de los abonos nitrogenados.
- Favorece la síntesis de proteínas y la fijación biológica de N atmosférico en cultivos de leguminosas.
- Mejora la eficiencia en el consumo de agua, al aumentar la presión osmótica de las células, volviéndolas más turgentes. De esta forma, las plantas bien provistas de K cierran rápidamente sus estomas, impidiendo la pérdida de humedad durante períodos de déficit hídrico.
- Acelera el flujo y translocación de los productos asimilados. Los azúcares y almidones formados durante la fotosíntesis, son transportados desde las hojas hasta los órganos de reserva (frutos, semillas, tubérculos, etc.) con la participación del potasio. Este elemento cumple un papel vital en el llenado de granos y semillas.
- Incrementa el rendimiento y calidad de la cosecha, mejorando el sabor, el contenido de azúcares y el color de los frutos; el tamaño, número y peso de los granos; el tamaño y peso de raíces y tubérculos, etc.
- Favorece la resistencia a enfermedades al fortalecer los tejidos vegetativos y mejora las propiedades de almacenamiento poscosecha de frutas y hortalizas, al promover mayor firmeza y resistencia de los tejidos.

La deficiencia de K se presenta en hojas viejas por ser un elemento inmóvil. Aparece como una clorosis en los bordes y puntas de las hojas, con necrosis posterior. Al avanzar los síntomas la hoja se cae. La deficiencia de K causa también la formación de tejidos débiles, entrenudos más cortos, plantas más susceptibles a enfermedades, menor peso y tamaño de granos y frutos, disminución en el contenido de azúcares, etc.

La industria de fertilizantes potásicos se desarrolló más o menos paralela a la de los fosfatados. Liebig descubrió que el K era un elemento esencial para la nutrición de las plantas y recomendó el empleo de cenizas de K como abono en 1840. El K se encuentra en la naturaleza en forma de depósitos de sales inorgánicas que forman minas o yacimientos de minerales bajo la tierra o como salmueras en mares y lagos en secamiento. La explotación de enormes yacimientos de sales de K se inició en Alemania en 1860, y este país dominó la industria de fertilizantes potásicos hasta poco después de la Primera Guerra Mundial. En 1925, se inició la explotación de potasio en Nuevo México, en minas de silvita (mineral que contiene KCl principalmente). Más tarde la explotación de minas se extendió a Utah y California. La explotación de minerales potásicos en Canadá se inició en 1962, en Saskatchewan, que posee uno de los depósitos más grandes del mundo. Actualmente se conocen depósitos en España, USA, Canadá, Alemania, Italia, Rusia, Etiopía, Congo, Perú, Brasil, Chile, etc. La mayoría de estos depósitos se formaron en mares antiguos que se separaron de los océanos, y en los que las sales contenidas gradualmente se fueron precipitando.

Se conocen cerca de 30 minerales en los yacimientos que contienen K. La silvina es uno de los minerales más importantes y a menudo se encuentra mezclado con NaCl formando silvinita. En el Cuadro 5 se detallan los principales minerales que contienen K. Las reservas estimadas de yacimientos que son económicamente factibles de explotar con las técnicas actuales son de 12 billones de toneladas métricas, aunque se estima que existen cerca de 137 billones de TM en los mares que podrían ser explotadas en el futuro. El consumo actual es de aproximadamente 35 millones de TM. Al igual que el P, el contenido de K en los fertilizantes es expresado en términos de su equivalente de óxido de potasio. Para convertir porcentaje de K a porcentaje de K<sub>2</sub>O y viceversa se pueden emplear los siguientes factores:

$$\begin{aligned} \% K &= \% K_2O \times 0.83 \\ \% K_2O &= \% K \times 1.2 \end{aligned}$$

### Explotación de minas de potasio

La explotación de minas de K incluye los siguientes pasos:

- a) Extracción de la materia prima de las minas.
- b) Extracción del mineral potásico de la roca.
- c) Modificación de las propiedades físicas y transformación química para formar los fertilizantes.

Cuadro 5. Principales minerales que contienen K

Nombre	Fórmula	% K <sub>2</sub> O	%K
Silvinita	KCL + NaCL	10 - 35	8 - 29
Hartsalz (sal dura)	KCl+NaCl+CaSO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O	10 - 20	8 - 17
Carnalita	KCl•MgCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O+NaCl	10 - 16	8 - 14
Langbeinita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •2MgSO <sub>4</sub> +NaCl	7 - 12	5 - 10
Mischsalz (sal mixta)	Hartsalz + Carnalita	8 - 20	6 - 17
Cainita (Kainita)	4KCl•4MgSO <sub>4</sub> •11H <sub>2</sub> O+NaCl	13 - 18	10 - 14
Nitro (caliche)	KNO <sub>3</sub> +NaNO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +NaCl	0,6 - 1,9	0,5-15
<b>Cloruros</b>			
Silvita	KCl	63,2	52,4
Carnalita	KCl•MgCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	16,9	14,1
Kainita	4KCl •4MgSO <sub>4</sub> •11H <sub>2</sub> O	19,3	16,0
Halita	NaCl	0	0
<b>Sulfatos</b>			
Polihalita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •MgSO <sub>4</sub> •2CaSO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O	15,6	13,0
Langbeinita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •2MgSO <sub>4</sub>	22,7	18,8
Leonita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •MgSO <sub>4</sub> •4H <sub>2</sub> O	25,7	21,3
Schoenita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •MgSO <sub>4</sub> •6H <sub>2</sub> O	23,4	19,4
Glasuita	3K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	42,5	35,3
Singenita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •CaSO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O	26,7	23,8
Alunita	K <sub>2</sub> Al <sub>6</sub> (OH) <sub>12</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	11,4	9,5
Quieserita (Kieserita)	MgSO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O	0	0
Anhidrita	CaSO <sub>4</sub>	0	0
<b>Nitratos</b>			
Nitro	KNO <sub>3</sub>	46,5	38,6

Los depósitos subterráneos de minerales potásicos pueden ser extraídos de tres formas:

- Extracción convencional del mineral sólido directamente de la mina o depósito y traído a la superficie. En este caso el mineral es extraído de la roca mediante picos, taladros, máquinas especiales o explosivos, cargado en vagones y levantado mecánicamente a la superficie; es un proceso similar a la extracción de carbón.
- Extracción por disolución, técnica recientemente empleada en Canadá, para depósitos con profundidades hasta de 1600 m. El proceso consiste en inyectar a la roca una mezcla de KCl - NaCl para disolver los cloruros de sodio y de K del mineral, se bombea luego la solución resultante a la superficie, se concentra y se remueve el KCl, y luego se recoge la mezcla utilizada originalmente para inyectar el mineral y se repite el proceso.

- c) Recuperación de salmueras de la superficie, en el que el K y otros nutrientes son recuperados mediante la evaporación solar de aguas saladas naturales de la superficie de los lagos en proceso de secamiento. Este es el caso del Gran Lago Salado de Utah, el mar Muerto en Israel y Jordania, y el lago de sal de Qinghai en China.

El K minado para abastecer la industria de fertilizantes proviene de diversos minerales. Los más importantes son silvinita, silvita y langbeinita.

**Silvinita:** compuesto principalmente de KCl y NaCl, contiene de 20 a 30% de K<sub>2</sub>O

**Silvita:** contiene principalmente KCl, con una concentración aproximada de 63% de K<sub>2</sub>O.

**Langbeinita:** compuesto principalmente de sulfato de potasio y sulfato de magnesio. Contiene aproximadamente 22-23% de K<sub>2</sub>O.

**Kainita:** es una combinación de KCl y sulfato de magnesio que contiene alrededor de 19% de K<sub>2</sub>O, 9-10% de Mg, y 13% de S. Es una fuente importante en Alemania y Rusia.

#### 4.1 Fuentes de fertilizantes potásicos

##### 4.1.1 Cloruro de potasio

Es conocido también como muriato de K. Posee entre 60 y 63% de K<sub>2</sub>O, y es el fertilizante potásico más importante pues provee cerca del 95% de los fertilizantes con este elemento. Puede variar en color desde rosado o rojizo hasta blanco, lo cual depende del tipo de proceso empleado en su extracción y fabricación, y no hay diferencias agronómicas entre ellos. La coloración rojiza se debe a la presencia de Fe.

El KCl es un sólido cristalino muy soluble en agua. Se encuentra en cinco presentaciones de acuerdo con su diámetro de partículas: soluble blanco (0,1-0,4 mm), estándar especial (0,1-0,4 mm), estándar (0,2-1,2 mm), grueso o coarse (0,6-2,4 mm), y el granular (0,8-3,4 mm). El KCl blanco es agronómicamente igual que el rojo. La diferencia es que durante su procesamiento se le remueven algunas impurezas que lo tornan de color blanco, haciéndolo mucho más fácil de disolver en agua, por lo que es preferido para hacer fertilizantes líquidos y para fertirrigación. Las presentaciones estándar y granulada son utilizadas en mezclas físicas.

El KCl es medianamente higroscópico, con una humedad relativa crítica de 84%. Presenta un alto índice salino de 116,3, por lo que no debe usarse en contacto con la semilla o las raíces. Es de reacción neutra en el suelo.

Su uso continuo en suelos muy áridos puede causar un aumento en la concentración de sales, en tanto que en suelos arenosos o en zonas de alta precipitación, el KCl debe fraccionarse en su aplicación, ya que por ser tan soluble es muy sensible a perderse por lixiviación. No es recomendable en cultivos sensibles a los cloruros, tales como tabaco, papa, uva, pera, aguacate, etc.

El KCl puede ser fabricado por tres procesos principales:

- a) Disolución y cristalización
- b) Flotación

c) Separación en medio denso

#### 4.1.2 Sulfato de potasio

Presenta un grado de 50% de  $K_2O$  y 17,5% de S. Posee un costo de producción superior al KCl. Su uso está recomendado para cultivos muy sensibles a cloruros.

Existen varios procesos para la fabricación de sulfato de potasio:

##### a) Langbeinita y Kieserita

En países en los que existen yacimientos naturales de estos minerales se puede producir sulfato de potasio.



El sulfato de potasio es separado por centrifugación y secado.

##### b) Proceso Mannheim

En este proceso el KCl es atacado con ácido sulfúrico:



c) Reacción de KCl y burkeita ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ ) para formar glaserita ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{K}_2\text{SO}_4$ ), el cual es combinado con KCl para formar sulfato de potasio en la fase sólida, y luego es recuperado por filtración.

##### d) Evaporación solar del Gran Lago Salado en Utah

La solubilidad del sulfato de potasio varía entre 69 y 241 g/L, a temperaturas de 0 y 100°C, respectivamente. Debido a su bajo índice salino (46,1), el sulfato de potasio puede usarse en suelos y cultivos donde la salinidad es un problema, y se requiere aplicar grandes cantidades de potasio. Otra ventaja es que suministra azufre y presenta reacción neutra en el suelo.

### 4.1.3 Sulfato de potasio y magnesio

Presenta un grado de 22% de  $K_2O$ , 18% de  $MgO$  y 22% de S. Se puede extraer directamente mediante la purificación de yacimientos de Langbeinita y Kainita. Algunos de los nombres comerciales son Sul-Po-Mag y K-Mag. Presenta un bajo índice salino (43,2). Su solubilidad en agua a 21°C es de 280 g/L. Aunque es una fuente baja en K, tiene la ventaja que suministra Mg y S. El sulfato de potasio y magnesio es la principal fuente de Mg en mezclas físicas que incluyen este elemento, y se encuentra en presentaciones estándar y granular. Aunque es muy soluble una vez que se aplica al suelo, no es apropiado para fertilizantes líquidos y fertirrigación debido a limitaciones de solubilidad en agua por efecto de impurezas que contiene.

### 4.1.4 Nitrato de potasio

Puede obtenerse de minas naturales mezclado con  $NaNO_3$ , tales como en Chile (salitre). También se puede producir comercialmente por reacción del ácido nítrico con KCl:



Presenta 13% de N y 44 de  $K_2O$ . Su índice salino es un poco alto 73.6, posee una ligera reacción básica, con un índice de basicidad fisiológica de 26.

### 4.1.5 Fosfatos de potasio

Originalmente se concibieron como fertilizantes promisorios debido a su alta concentración en K y P, su bajo índice salino, excelente solubilidad, ausencia de cloro, etc.



#### Tipos de fosfato de potasio

TIPO	LIQUIDO	SOLIDO
Ortofosfatos	0 - 30 - 11	9 - 48 - 16
	0 - 20 - 20	5 - 46 - 30
	0 - 25 - 20	0 - 47 - 31
Polifosfatos		0 - 50 - 40

Una de las fuentes más destacadas es el fosfato monopotásico, cuya fórmula es 0-52-35. Es un cristal fino de alta solubilidad en agua, alta concentración de P y K. Es ideal para fertilización foliar y fertirrigación.

#### 4.1.6 Carbonato de potasio

El carbonato de K ( $K_2CO_3$ ) contiene 67% de K. Es muy soluble en agua (1050-1556 g/L) y forma una solución alcalina. Es una fuente de alto costo y su uso está más enfocado a la formulación de fertilizantes foliares de alta concentración de K, y en fertilizantes líquidos para plantas de invernaderos y hortalizas.

#### 4.1.7 Hidróxido de potasio

El hidróxido de K (KOH) es una fuente cara, que contiene 83% de  $K_2O$ , y que se utiliza en fertilizantes líquidos. Es muy soluble en agua ( $> 1000$  g/L) y forma una solución fuertemente alcalina. Otra fuente de K alcalina incluye el bicarbonato de K ( $KHCO_3$ ).

**Cuadro 6. Fuentes de fertilizantes potásicos**

Fuente	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S
	%				
Cloruro de potasio KCL	-	-	60	-	-
Sulfato de potasio K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	50	-	17
Sulfato de K y Mg K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MgSO <sub>4</sub>	-	-	22	18	22
Nitrato de potasio KNO <sub>3</sub>	13	-	44	-	-
Salitre chileno	15	-	14	-	-
Carbonato de potasio K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-	-	67	-	-
Bicarbonato de potasio KHCO <sub>3</sub>	-	-	47	-	-
Hidróxido de potasio KOH	-	-	83	-	-
Fosfato monopotásico KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-	52	35	-	-
Tiosulfato de potasio K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	25	-	17

## 4.2 Factores que determinan la eficiencia en el uso de fertilizantes con K

La cantidad de fertilizante potásico requerido por un cultivo depende de las necesidades del mismo, la cantidad presente en el suelo y la eficiencia con la cual el cultivo utiliza el K del suelo y del fertilizante.

### a) Reacción del fertilizante potásico con el suelo

Las plantas absorben potasio en forma de catión monovalente  $K^+$ . El K en los fertilizantes suministra el elemento en esta forma y una vez que se encuentra en el suelo puede pasar por alguno de los siguientes mecanismos:

- Puede ser atraído a la superficie de las arcillas y los coloides orgánicos del suelo y ser mantenido en forma intercambiable hasta que reemplace en la solución del suelo al K absorbido por la raíz de la planta, o ser reemplazado en el sitio de intercambio por otro catión.
- Otra parte se mantiene en la solución del suelo.
- Una parte puede ser absorbida inmediatamente por las plantas.
- Cierta parte puede lixiviarse en suelos arenosos u orgánicos, en zonas muy lluviosas, en suelos de ladera, o en suelos con baja CIC.
- K agregado puede fijarse si hay presencia de arcillas 2:1 en el suelo, tales como vermiculitas y montmorillonitas en Vertisoles, Molisoles e Inceptisoles aluviales. La fijación de K en estos suelos puede alcanzar valores de 40-70% del K agregado.

### b) Liberación de K difícilmente disponible

K es liberado desde las formas no intercambiables para reemplazar el K intercambiable y el K en solución que ha sido absorbido por los cultivos o lixiviado. La tasa de liberación de K depende del tipo de suelo. Los suelos aluviales tienen gran capacidad de restitución de K desde las formas no intercambiables.

### c) Movimiento de K en el suelo

En suelos que contienen una apreciable CIC, el K es adsorbido sobre las arcillas por lo que no se mueve rápidamente con el agua.

### d) Pérdidas de K

Por lixiviación son altas en suelos muy ácidos debido a que una gran proporción de los sitios de intercambio está ocupado por Al que desplaza al K a la solución del suelo y ahí se pierde por lixiviación. Además estos suelos tienen baja CIC, que impide retener suficiente K. La lixiviación y percolación están relacionados con la cantidad de lluvia. En ambientes de suelo y clima que favorecen la lixiviación, el fraccionamiento de la fertilización potásica es una alternativa eficaz para mejorar la eficiencia en el suministro de K para las plantas

### e) Valor agronómico de la fuente

En general, las diferentes fuentes de K poseen casi la misma eficiencia para suplir K a las plantas. Las diferencias en respuesta por los cultivos se deben al tipo de suelo, clima, método de aplicación y contenido de K disponible. Uno de los factores más importantes en la selección de la fuente más adecuada es el costo por unidad de K. El KCl presenta el menor costo por unidad de K, por lo que tradicionalmente ha sido la fuente de mayor consumo. Sin embargo, en algunos casos el riesgo de acumulación de sales puede ser más importante que el costo de la fuente, tal es el caso de cultivos en invernadero con fertirrigación, o en suelos de

climas muy secos. Fuentes como el sulfato de K y el nitrato de K son más adecuadas en estas circunstancias.

La presencia de otro nutriente acompañante en la fuente de K también es un factor a considerar. Elementos acompañantes como N, P, S y Mg pueden ser de gran valor agronómico en muchos suelos y cultivos. Por ejemplo, el sulfato doble de K y Mg puede ser mejor fuente que el KCl en suelos ácidos con deficiencia de Mg, además de que suministra S. En cultivos muy sensibles a los cloruros, el sulfato y nitrato de K son una mejor alternativa.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Bertsch F. 1995. La Fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, ACCS. 157
- Black C. 1992. Soil Fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida. 746 p.
- Bould C.; Hewitt E.; Needham P. 1984. Diagnosis of mineral disorders in plants. Volúmenes 1, 2 y 3. Chemical Publishing, New York, USA.
- Domínguez A. 1993. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 217 p.
- Enyelstad O. 1985. Fertilizer technology and use. 3th ed. SSSA Madison, Wisconsin. 663 p.
- Epstein E. 1972. Mineral nutrition of plants. John Willey and sons. New York. 412 p.
- Fageria N.; Baligar V.; Jones C. 1990. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker, New York. 476 p.
- International Fertilizer Development Center. 1998. Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA. 615 p.
- Khasaweh F.; Sample E. y Kamprath E. 1980. The role of phosphorus in agriculture. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin. 910 p.
- Lorenz O.; Maynard D. 1988. Knott's Handbook for vegetable growers. 3º ed. John Wiley and Sons, New York. 456 p.
- Malavolta E. 1984. Potássio, magnesio e enxofre nos solos e culturas brasileiras. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Sao Paulo, Brasil. 120 p.
- Malavolta E. y Usherwood N. 1984. Adubos e adubacao potássio. Boletim tecnico 3, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Sao Paulo, Brasil. 56 p.
- Potash and Phosphate Institute. 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. PPI, Georgia, USA.
- Raij B. Van. 1991. Fertilidad do solo e adubacao. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, Brasil. 343 p.
- Tisdale S. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5ª ed. McMillan Co., Columbus, Ohio. 454 p.
- Westerman R. *et al.* (Eds.). 1991 Soil Testing and Plant Analysis. 3º ed. SSSA. Madison, Wisconsin. 784 p.
- Yamada T. 1982. Potassio na agricultura brasileira. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Sao Paulo, Brasil. 555 p.

# CARACTERÍSTICAS Y MANEJO DE FERTILIZANTES QUE CONTIENEN CALCIO, MAGNESIO Y AZUFRE

---

Ing. Eloy Molina<sup>1</sup>, M.Sc.  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[eamolina@cariari.ucr.ac.cr](mailto:eamolina@cariari.ucr.ac.cr)  
Dr. Carlos Henríquez<sup>2</sup>  
C.I.A., Sede del Atlántico-UCR  
[carlosh@cariari.ucr.ac.cr](mailto:carlosh@cariari.ucr.ac.cr)

## 1. INTRODUCCIÓN

El calcio, magnesio y azufre son denominados nutrimentos secundarios debido a que las plantas los requieren en cantidades intermedias. Estos elementos son tan esenciales en la nutrición de las plantas como lo son los macro y micronutrimentos. El Ca y Mg constituyen la mayor parte de los cationes intercambiables en la fracción coloidal del suelo, y tienen un comportamiento similar al K. La fertilidad de los suelos está definida en gran medida por las cantidades presentes de estos cationes en los suelos. El S está ligado principalmente a la materia orgánica del suelo, y su dinámica en el mismo es muy similar a la del N.

Los requerimientos de Ca, Mg y S por los cultivos se han incrementado en los últimos años y algunos de los factores responsables para este aumento son:

- a) Incremento en el uso de fertilizantes de NPK de mayor concentración.
- b) Incremento en el rendimiento de los cultivos.
- c) Mayor capacidad de extracción de Ca, Mg y S por nuevas variedades.
- d) Disminución en el uso de fungicidas e insecticidas que contienen S.
- e) Restricciones gubernamentales de la emisión de gases a la atmósfera
- f) Aumento del área cultivada de suelos ácidos bajos en Ca y Mg.
- g) Problemas de erosión en suelos muy cultivados.

## 2. CALCIO Y MAGNESIO

El Ca es un elemento esencial para el crecimiento de las raíces. El Ca es requerido para mantener la integridad de la membrana y se encuentra en las paredes celulares en forma de pectatos de Ca. El calcio ayuda a mantener la integridad de la célula y la permeabilidad de la membrana celular, favorece el crecimiento y la germinación del polen, y activa gran cantidad de enzimas que intervienen en la mitosis, división y elongación celular.

La deficiencia de Ca disminuye el crecimiento de la planta y el sistema radical, debilita los tejidos foliares haciéndolos más susceptibles al ataque de patógenos. Los síntomas también afectan las hojas nuevas y los puntos de crecimiento de la planta, causando clorosis en los bordes de las hojas, deformación y paralización del crecimiento.

El Mg es componente de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que se encarga de capturar la energía sustraída por el sol durante el proceso de fotosíntesis. Además, sirve como cofactor en muchos procesos enzimáticos y de fosforilación. Estabiliza las partículas de

---

<sup>1</sup> Autor del manuscrito

<sup>2</sup> Autor de la presentación

ribosomas en la configuración para la síntesis de proteínas. La deficiencia de Mg se presenta generalmente como una clorosis intervenal en hojas maduras, que eventualmente podría causar defoliación.

## 2.1 Fuentes de calcio

La mayoría de los suelos con problemas de Ca son de naturaleza ácida, por lo que la práctica de encalado es necesaria para neutralizar la acidez del suelo, y de paso, incrementar el contenido de Ca en el suelo y suplir Ca como nutriente para las plantas. El uso de enmiendas como carbonato de calcio, óxido de calcio e hidróxido de calcio es la forma más común para suplir Ca a los cultivos. El yeso también es una alternativa eficaz en suelos con problemas de acidez en el subsuelo o en suelos con acidez moderada pero bajo contenido de Ca.

El Ca normalmente no es formulado dentro de las fórmulas completas de fertilizantes a menos que vaya como subproducto de alguno de ellas, tal es el caso del triple superfosfato (0-46-0) o el superfosfato sencillo (0-20-0) que contienen entre 12 y 21% de Ca; sin embargo, estas fuentes no se utilizan en nuestro país. Otros fertilizantes que contienen Ca incluyen el nitrato de calcio, cloruro de calcio y nitrato de amonio calcáreo (Magnesamón o Nitramón).

### 2.1.1 Enmiendas

#### a) Cal calcítica - $\text{CaCO}_3$

Es el material más utilizado para encalar los suelos de Costa Rica. Está compuesto en su mayoría por carbonatos de calcio con muy poco magnesio. Se obtiene a partir de la roca caliza, roca calcárea o calcita, la cual es molida y pasada por mallas de diferentes tamaños para luego ser empacada en sacos de 23 ó 50 kg. En su forma pura contiene 40% de Ca.

Los materiales existentes en el país varían entre 26 y 39% de Ca. Los principales yacimientos se encuentran en Esparza, Patarrá, Aguas Zarcas, Azul de Turrialba, Agua Caliente de Cartago, Nicoya, Abangares y Fila de cal en el sur. El carbonato de calcio es un material bastante insoluble, por lo que debe ser convenientemente molido para aumentar su eficiencia agronómica. Las rocas calizas no son puras, ya que pueden contener algunas impurezas que incluyen arcilla, hierro, arena y granos de limo.

#### b) Óxido de calcio ( $\text{CaO}$ )

Es el producto obtenido de la calcinación total del carbonato de calcio a una temperatura aproximada a  $1000^\circ\text{C}$ , de acuerdo con la siguiente reacción:



Se conoce como cal viva o cal quemada, es un material muy cáustico y de manejo difícil porque puede causar quemaduras al contacto con la piel. Su velocidad de reacción es mayor que el carbonato debido a su mayor concentración de Ca (71% en su forma pura) ya que por ser un óxido, reacciona rápidamente al contacto con el agua provocando una fuerte reacción exotérmica y liberando iones  $\text{OH}^-$ . Se presenta normalmente como polvo bastante fino y su precio es más alto que el  $\text{CaCO}_3$ . Tradicionalmente este material se ha producido en el país en hornos de piedra rústicos ubicados principalmente en la región de Patarrá. El óxido de calcio

es ideal para situaciones en que se requiere una rápida corrección de la acidez del suelo o para suministro de Ca a los cultivos de crecimiento rápido y ciclo corto, como en el caso de almácigos y cultivos de hortalizas.

**c) Hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$**

Se obtiene a partir de la reacción del óxido de calcio con agua:



Se conoce como cal apagada o hidratada y es la forma en que se comercializa el CaO producido por calcinación. En Patarrá, luego de sacarlo del horno, lo hidratan y empaacan. Es un polvo blanco, con alto grado de solubilidad y de rápida reacción en el suelo. Presenta 54% de Ca en su forma pura y es un material de mayor costo que el carbonato y con una reacción intermedia entre éste y el CaO en neutralizar la acidez del suelo.

**d) Yeso o Sulfato de calcio**

El yeso agrícola o sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) es un subproducto de la industria del ácido fosfórico, el cual es necesario para la fabricación de fertilizantes fosfatados como triple superfosfato y fosfatos de amonio. La roca fosfórica es atacada con ácido sulfúrico para producir ácido fosfórico y yeso como subproducto:



El yeso también es obtenido de yacimientos o depósitos naturales de evaporitas sedimentaria (Shainberg *et al.*, 1989). A pesar de su pequeña solubilidad en agua, el yeso puede reaccionar a corto plazo en el suelo y constituir una fuente de Ca y S para los cultivos. Su composición varía de 17 a 20% Ca y de 14 a 18% de S.

El yeso en aplicación superficial incrementa los contenidos de Ca y S, eleva la capacidad de intercambio catiónico y disminuye el nivel de aluminio intercambiable, su actividad, y su saturación en el complejo de intercambio del suelo, sin alterar el pH del suelo. Para que el yeso reaccione en el suelo debe ser finamente molido en forma similar a una cal.

**Cuadro 1. Equivalentes químicos y composición química de diferentes enmiendas como fuentes de Ca y Mg**

Material	Equivalente Químico	Composición Promedio	% de Ca y Mg
Carbonato de calcio	100	85 - 95% CaCO <sub>3</sub>	40
Dolomita	108	42% MgCO <sub>3</sub>	12
		52% CaCO <sub>3</sub>	21
Óxido de calcio	179	85% CaO	71
Hidróxido de calcio	138	65% Ca (OH) <sub>2</sub>	54
Hidróxido de magnesio	172	-	41
Carbonato de magnesio	119	-	28,5
Óxido de magnesio	248	60 - 90% MgO	60
CalcioMag	89	11% MgO	6,6
		30% CaO	12

### 2.1.2 Fertilizantes con calcio

Algunas fuentes de P como el superfosfato sencillo y el triple superfosfato, contienen entre 12 y 21% de Ca, pero estas fuentes ya no están disponibles en nuestro país. El nitrato de calcio es una de las pocas fuentes de Ca de alta solubilidad y rápida disponibilidad para las plantas y contiene 15% de N y 26% de CaO.

Es una fuente de alta solubilidad en agua (>1000 g/L), lo cual facilita su aplicación en fertirrigación y abonamiento foliar. El nitrato de calcio deja un ligero efecto basicificante en el suelo, algo ventajoso en suelos ácidos. Su costo es alto por lo que su uso está limitado a cultivos de alto valor económico como hortalizas, ornamentales, melón, piña, etc. También se formula como fertilizante líquido, siendo su grado 9-0-0-18 (CaO).

El nitrato de amonio calcáreo (CAN) contiene entre 11 y 12% de CaO. Se fabrica a partir de la reacción química de carbonato de calcio o dolomita con HNO<sub>3</sub> y NH<sub>3</sub>. Es una buena fuente de N y Ca en suelos ácidos. Otra fuente menos común en el mercado incluye el cloruro de calcio (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Fuentes de fertilizantes con calcio**

Fuente	N	MgO	CaO	S
		%		
Nitrato de Ca	15		26	
Cloruro de Ca			50	
Sulfato de Ca			24	14
Nitrato amonio calcáreo	20-26	0-8	11-12	

## 2.2 Fuentes de magnesio

### 2.2.1 Enmiendas

#### a) Cal dolomítica - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Es una de las principales fuentes de Mg en suelos ácidos debido a su relativo bajo costo en comparación con fertilizantes convencionales, y a su efecto en neutralizar la acidez del suelo y aumentar el contenido de Mg en el suelo. La dolomita pura contiene 21.6% de Ca y 13.1% de Mg. El contenido mínimo de Mg que tiene un material para que se catalogue como dolomita es de 7% de Mg ó 12% de MgO. Debido a la falta de yacimientos de dolomita en nuestro país, este material es importado de Guatemala, lo que encarece su uso y lo limita a cultivos de alta rentabilidad. Algunos productos combinan la dolomita con el yeso mediante mezcla mecánica, mejorando su potencial agronómico, tal es el caso de un material importado de El Salvador conocido como Nutrical.

#### b) Óxido de magnesio - MgO

Este es un material compuesto solo de Mg y presenta la mayor concentración en este elemento. Se le conoce también como Magox, y en su forma pura contiene 60% de Mg. Es una fuente excelente en suelos ácidos con problemas de Mg. Su capacidad de neutralización de la acidez es mucho más elevada que la de otros materiales, pero dado que es un producto poco soluble en agua, debe ser molido finamente para que actúe como material neutralizante de la acidez del suelo. El óxido de Mg es importado al país como materia prima para la fabricación de fórmulas completas de fertilizantes, pero es factible adquirirlo directamente. Este material es de reacción rápida en presencia de humedad y por su alta concentración en Mg es ideal para incrementar el contenido de este elemento en el suelo, tal y como se aprecia en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Efecto de dos materiales de encalado en la fertilidad de un Ultisol en Horquetas, Sarapiquí**

Tratamiento	pH	Ca	Mg	Al	% Sat. Al
			cmol (+)/L		
Testigo	4,5	1,88	0,49	2,83	50
$\text{CaCO}_3$ 2 ton/ha	4,9	5,68	0,36	1,44	18
$\text{CaCO}_3$ + Magox 2 ton/ha	5,1	5,08	1,67	1,18	14

Fuente: Ortega *et al.*, 1996

### 2.2.2 Fertilizantes con magnesio

Las fuentes de fertilizantes en forma de sulfato son las más comunes para el suministro de Mg en suelos donde se requiera una respuesta rápida del cultivo. Los sulfatos son más solubles

que la dolomita y el óxido de magnesio como fuentes de Mg. El sulfato doble de potasio y magnesio (K-mag, 0-0-22-18-22 S) es derivado del mineral Langbeinita, y es quizás el fertilizante con Mg de mayor uso. El Mg del K-mag es muy soluble en agua y se utiliza como materia prima en la fabricación de fórmulas de fertilizante que requieren incluir Mg.

El sulfato de Mg o Sal de Epsom es una fuente con 16% de MgO, de amplio uso en fertilización líquida y abonamiento foliar, y de mayor costo que el K-mag (Cuadro 4). Otro sulfato menos hidratado que la sal de Epsom incluye la Kieserita, con 25% de MgO y 20% de S. El nitrato de magnesio y el cloruro de magnesio son excelentes fuentes para aplicación foliar debido a su gran solubilidad en agua. Junto con el sulfato de magnesio son ampliamente utilizados en la formulación de quelatos de Mg para abonamiento foliar.

**Cuadro 4. Fuentes de fertilizantes con magnesio**

Fuente	N	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	S
%					
Sulfato de K y Mg (K-mag)	--	22	18	--	22
Sulfato de Mg (MgSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O)	--	--	16	--	14
Kieserita (MgSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O)	--	--	25	--	20
Nitromagnesio	20	--	7	--	--
Nitrato de Mg Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	11	--	15	--	--
Nitrato amonio calcáreo (Magnesamón o Nitramón)	20-22	--	7-8	11	--

### 3. AZUFRE

El azufre es un elemento esencial para la formación de las proteínas vegetales, como constituyente de los aminoácidos azufrados cistina, cisteína y metionina. El azufre también se puede encontrar en muchas vitaminas como la biotina, tiamina y coenzima A, y forma parte de los grupos sulfihídricos de muchas enzimas. El azufre contribuye al desarrollo de la planta y al mantenimiento del color verde de las hojas ya que participa en la formación de clorofila.

La deficiencia de S causa plantas pequeñas y débiles con tallos cortos y delgados. La tasa de crecimiento se reduce y la maduración se retarda, especialmente en cereales. Las hojas jóvenes se tornan de color verde claro o amarillento, con nervaduras aún más claras. Con frecuencia los síntomas se confunden con deficiencia de N en cultivos como café, cítricos, arroz, etc.

Muchos cultivos contienen casi la misma cantidad de azufre que de fósforo, y su importancia en el metabolismo de la planta es muy similar a la del nitrógeno. Las leguminosas son algunas de las plantas que tienen altos requerimientos de azufre. En el pasado, los fertilizantes más frecuentemente usados contenían grandes cantidades de azufre y aportaban al suelo volúmenes suficientes del elemento para satisfacer las necesidades de las plantas. La lluvia también contribuía en el suministro de azufre a los cultivos, lo mismo que el uso de ciertos agroquímicos a base de azufre, especialmente fungicidas.

El suministro de azufre a los cultivos ha decrecido debido al aumento del uso de fertilizantes más concentrados que contienen poco o nada de S, y a la menor cantidad presente en la lluvia debido al mejoramiento en el control de la contaminación causada por los desechos gaseosos emanados de las fábricas. Al mismo tiempo el aumento en el rendimiento de los cultivos ha incrementado la absorción de S por parte de las plantas, disminuyendo su contenido en el suelo.

La importancia del S como nutriente para las plantas ha estado enmascarada por muchos años, ya que en el pasado fue aplicado como componente no identificado de muchos fertilizantes. Algunas fuentes como el superfosfato sencillo y el sulfato de amonio eran de uso muy amplio. Sin embargo, estas fuentes han sido reemplazadas paulatinamente por otros fertilizantes con mayor concentración de N y P, y poco o nada de S, tales como el triple superfosfato, fosfatos amónicos, urea, nitrato de amonio, amoníaco, etc.

El S constituye cerca del 0.1% de la corteza de la tierra, y se puede encontrar en reservas naturales como: depósitos de calcita, sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) y anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), S combinado con minerales de sulfuro (calcolpiritas),  $\text{H}_2\text{S}$  contenido en gas natural, aceites crudos orgánicos, pirita y compuestos orgánicos del carbón. Las reservas mundiales son casi ilimitadas, y están estimadas en más de 2 800 millones de toneladas métricas.

### 3.1 Fuentes de fertilizantes con azufre

#### 3.1.1 Fertilizantes con S elemental

El azufre elemental puede ser aplicado al suelo, donde es transformado a sulfato a través de la acción de microorganismos, y bajo condiciones adecuadas de temperatura y humedad. La velocidad de la oxidación depende mucho del tamaño de la partícula, entre más fino mejor será la reacción. El S elemental ha sido usado para reducir el pH en suelos alcalinos, ya que presenta un alto índice de acidez fisiológica (>300). Su uso en suelos ácidos no es recomendable a no ser que se utilice cal para neutralizar la acidez causada.

El S elemental presenta algunas características inadecuadas de manejo, tales como olor desagradable y el peligro de fuego y explosión. Es conocido como Flor de Azufre y su composición puede variar entre 85 y 100% de S.

La eficiencia del azufre elemental puede incrementarse mediante la incorporación de arcilla en un 5 - 10%, tal como la bentonita. El recubrimiento de arcilla ayuda a absorber la humedad del suelo y permite una mayor velocidad de reacción. Los fosfatos de amonio contienen entre 5 y 20% de S elemental, en tanto que el superfosfato sencillo posee 12% de S.

Existen varias fuentes fabricadas a partir de la mezcla química de urea con S líquido, los cuales son completamente miscibles. Es un fertilizante prilado, con excelentes propiedades de almacenamiento. Las formulaciones más corrientes son: **40-0-0-10 (S)** y **40-0-0-5 (S)**. Otro material que contiene S elemental es la urea recubierta con azufre, que consiste de una fuente de lenta liberación.

### 3.1.2 Fertilizantes que contienen sulfato

#### a) Sulfato de amonio

Es uno de los fertilizantes más antiguos, contiene N-como  $\text{NH}_4$  y S- $\text{SO}_4$ . Su grado es **21-0-0-24 (S)**, presenta regular grado de higroscopicidad, buenas propiedades físicas, estabilidad química y buena efectividad agronómica. Sin embargo, no es compatible con fuentes alcalinas tales como la cal, cianamida, nitrato de calcio, etc. También presenta un elevado índice de acidez fisiológica, por lo que no es recomendado para uso continuo en suelos ácidos.

#### b) Nitrosulfato de amonio

Se fabrica por combinación de nitrato de amonio y sulfato de amonio para dar la fórmula **26-0-0-15 (S)**. Tiene la ventaja de que es menos higroscópico, presenta una adecuada relación N/S, y suple N nítrico y amoniacal. En Costa Rica se fabrica un nitrosulfato de amonio con grado de 27-0-0-8,33 (S), conocido comercialmente como Nutrasul. Esta fuente es un fertilizante químico que suministra N en forma de 1/3 nítrico y 2/3 amoniacal.

#### c) Urea-S

Se presentan dos modalidades de productos. Una mezcla física de urea y sulfato de amonio, con grado de **40-0-0-5(S)**, y que se conoce como ureaS; y una urea azufrada que resulta de una mezcla química de ambas materias primas y que posee el mismo grado anterior.

#### d) Sulfato de calcio (Detallado en el tema de calcio)

e) Sulfato de potasio **0-0-50-17 (S)**; Sulfato de potasio y magnesio **0-0-22-18-22 (S)**  
(Se detalla en el apartado de fertilizantes potásicos)

#### g) Sulfato de magnesio

Posee 14% de S y 17% de  $\text{MgO}$ , se le conoce como Sal de Epsom y su uso principal está limitado a fertilización líquida, fertirrigación, y abonos foliares. Es una fuente muy soluble de S y Mg. Otra fuente de reciente introducción al país es la Kieserita, sulfato de magnesio monohidratado, de origen natural, importado de Alemania y que contiene 20% de S.

#### h) Micronutrientes

Muchos fertilizantes de micronutrientes contienen S, tales como sulfato de cobre, sulfato de zinc, sulfato de manganeso y sulfato de hierro.

### 3.1.3 Fertilizantes líquidos

#### a) Tiosulfato de amonio

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$  es ampliamente usado en la industria de fertilizantes fluidos. Es un líquido claro que contiene 12% de N y 26% de S. Es un fertilizante muy versátil ya que puede ser mezclado con una gran cantidad de fosfatos de amonio para obtener un amplio rango de productos. El tiosulfato no es compatible con fuentes ácidas ya que se forman precipitados de S coloidal, como por ejemplo con el amoníaco anhidro. Puede mezclarse sin problema con nitrato de amonio y urea. El tiosulfato se descompone en el suelo como  $\text{SO}_4^{2-}$  y azufre elemental.

**b) Polisulfuro de amonio**

Es producido por reacción de agua amoniaca con  $H_2S$  en presencia de calor. La fórmula es  $(NH_4)_2S_x$  y su grado es de 20% de N y 40-45% de S. Su color es de pardo rojizo a negro, con pH de 10 ó más. Puede ser mezclado con muchos fertilizantes líquidos, sin embargo existen ciertas restricciones.

El polisulfuro de amonio se puede descomponer bajo condiciones ácidas como  $H_2S$ . Es factible su mezcla con urea, nitrato de amonio y amonio anhidro. Una vez que es aplicado al suelo por medio del sistema de riego, se descompone en  $NH_4$  y S elemental finamente dividido.

**c) Bisulfito de amonio**

Su fórmula es  $NH_4HSO_3$ : Contiene 8,5% de N y 17% de S.

**d) Mezclas de urea y ácido sulfúrico**

Consiste en mezclar urea con  $H_2SO_4$ . Los grados más comunes son: **28-0-0-9(S)**, **15-0-0-16(S)** y **10-0-0-18(S)**. Este producto es más difícil de manipular que el ácido sulfúrico, pero su uso está limitado a suelos alcalinos debido a su alto poder acidificante.

**4. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE FERTILIZANTES CON S**

El método de aplicación de S depende de la fuente. El sulfato es susceptible a perderse por lixiviación o ser retenido por los coloides del suelo. A continuación se presentan algunos de los factores que influyen en la disponibilidad de fertilizantes que suministran sulfato:

**a) Percolación del agua**

Fertilizantes con sulfato son muy susceptibles al lavado en zonas muy húmedas.

**b) Naturaleza y contenido de los coloides del suelo**

Suelos arenosos pueden perder sulfatos con mayor facilidad. El tipo de arcilla se relaciona con el grado de retención de sulfatos. Los óxidos hidratados amorfos tienen mayor capacidad de retención de sulfatos que los óxidos de Fe y Al, y estos a su vez más capacidad que la caolinita y arcillas 2:1.

**c) Cationes presentes**

El catión asociado con el radical  $SO_4^{-2}$  en los suelos afecta el grado de lixiviación. El movimiento hacia abajo del sulfato es mayor cuando está asociado con cationes monovalentes como K y Na, la lixiviación es intermedia con cationes divalentes como Ca y Mg, y es menor con cationes trivalentes como Al y Fe.

**d) pH**

La lixiviación se incrementa con el pH. A pH ácido hay menos lixiviación porque el sulfato puede ser retenido por los coloides del suelo.

**e) Materia orgánica**

La M.O. absorbe sulfato disminuyendo su lixiviación. El comportamiento del sulfato en el suelo es muy similar al del nitrato. En suelos con baja CICE, M.O. y excesivo movimiento del agua a través del perfil causa lixiviación de sulfatos. En estos casos debe considerarse la aplicación fraccionada para disminuir las pérdidas. Se ha demostrado que la aplicación de sulfato en la hilera de siembra o en banda localizada, estimula un rápido crecimiento y elongación radical.

El S elemental debe ser oxidado a sulfato antes de ser disponible para las plantas. Por lo tanto su aplicación debe realizarse antes de la siembra para que tenga tiempo de descomponerse. La oxidación es más rápida cuando se aplica al voleo y se mezcla con el suelo.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Alcarde J.C. 1992. Corretivos da acidez dos solos. ANDA, Boletín Técnico N° 6, Sao Paulo, Brasil. 26 p.
- Black C. 1992. Soil Fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 746 p.
- Bornemisza E. 1990. Problemas de azufre en suelos y cultivos de Mesoamérica. Editorial Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 101 p.
- Childers N. 1966. Nutrition of fruit crops. Rutgers-The State University, New Jersey. USA. 888 p.
- De Geus J. 1973. Fertilizer guide for the tropics and subtropics. 2<sup>th</sup>ed. Centre d' Etude de l'Azote. Zurich, Suiza. 774 p.
- Enyelstad O. 1985. Fertilizer technology and use. 3<sup>th</sup> ed. SSSA Madison, Wisconsin. 663 p.
- International Fertilizer Development Center. 1998. Kluwer Academic Publisher. Massachusetts, U.S.A. 615 p.
- Malavolta E. 1984. Potássio, magnesio e enxofre nos solos e culturas brasileiras. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Sao Paulo, Brasil. 120 p.
- Mattos H. 1986. Calgen e adubacao de pastagens. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Sao Paulo, Brasil. 476 p.
- Molina E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Sociedad Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica. 45 p.
- Ortega L.; Henríquez C.; Molina E. y Angulo L. 1996. Manejo de la fertilización con Ca, Mg y K para la producción de palmito de pejibaye. *In*: X Congreso Agronómico Nacional. Colegio de Ingenieros Agrónomos. San José, Costa Rica. Vol. III. p. 164.
- Raij B. Van. 1991. Fertilidad do solo e adubacao. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, Brasil. 343 p.
- Tabatabai M. (ed.). 1986. Sulphur in Agriculture. Agronomy Monograph N° 27. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin. 668 p.
- Tisdale S. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5<sup>a</sup> ed. McMillan Co., Columbus, Ohio. 454 p.

# CARACTERÍSTICAS Y MANEJO DE FERTILIZANTES QUE CONTIENEN MICRONUTRIENTES

---

Ing. Eloy Molina<sup>1</sup>, M. Sc.  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[eamolina@cariari.ucr.ac.cr](mailto:eamolina@cariari.ucr.ac.cr)  
Dr. Carlos Henríquez<sup>2</sup>  
C.I.A., Sede del Atlántico-UCR  
[carlosh@cariari.ucr.ac.cr](mailto:carlosh@cariari.ucr.ac.cr)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los micronutrientes son elementos esenciales que las plantas requieren en pequeñas cantidades. Se dividen en micronutrientes aniónicos (cloro, boro y molibdeno) y micronutrientes catiónicos (hierro, cobre, zinc y manganeso). Los micronutrientes son tan importantes para las plantas como los elementos mayores y secundarios. La ausencia de cualquiera de estos elementos menores en el suelo puede limitar el crecimiento de la planta, aún cuando todos los demás nutrientes se encuentren en cantidades adecuadas.

Las deficiencias de micronutrientes se han estado incrementando en los últimos años en algunos cultivos, como consecuencia del uso de variedades de mayor demanda nutricional y el agotamiento de las reservas disponibles en los suelos luego de un tiempo prolongado de cultivo. Además, durante los últimos 25 años han aumentado considerablemente los conocimientos acerca de los requerimientos de elementos menores por parte de las plantas, lo cual ha fomentado el uso de fertilizantes con micronutrientes en muchas regiones. El mejoramiento en la tecnología de fabricación de fertilizantes con macronutrientes (más concentrados y de mayor calidad), ha causado una disminución de las cantidades de estos aplicados al suelo como contaminantes. Por lo tanto, los micronutrientes no se encuentran como ingredientes accidentales en los fertilizantes comúnmente usados.

Actualmente existen dos filosofías para la aplicación de micronutrientes: mantenimiento y necesidad específica. Con el criterio de **mantenimiento** se aplican uno o más elementos sin considerar si el cultivo lo necesita o no (Cuadro 1). Se asume que las plantas remueven estos elementos del suelo y que deben reponerse. Es una medida de seguridad y prevención, y generalmente se usan fertilizantes completos de elementos menores. Este principio se utiliza con mayor frecuencia en cultivos de alto valor económico, tales como hortalizas, flores y ornamentales. Esta filosofía es empleada en cultivos donde no se conocen con seguridad sus requerimientos nutricionales, o no se cuenta con información sobre fertilidad de los suelos.

El principio de **necesidad específica o prescripción**, utiliza el análisis de suelo y foliar para diagnosticar el estado nutricional de la planta y dar una recomendación, de esta forma se aplica solo los nutrientes que son requeridos y en dosis bien establecidas. Esta filosofía ayuda a prevenir las aplicaciones excesivas de micronutrientes y elimina el uso de aquellos elementos que se encuentran en cantidades adecuadas. También disminuye las posibilidades de

---

<sup>1</sup> Autor del manuscrito

<sup>2</sup> Autor de la presentación

causar antagonismos y toxicidades, y reduce los costos de producción. La prescripción es utilizada en cultivos de menor rentabilidad.

**Cuadro 1. Respuesta relativa de algunos cultivos a la aplicación de micronutrientes**

Cultivo	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Manzana	Alto	Medio	Medio	Bajo	Medio
Remolacha	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Repollo	Medio	Bajo	Medio	Medio	Bajo
Coliflor	Alto	Bajo	Medio	Medio	Medio
Cítricos	Medio	Alto	Alto	Medio	Medio
Arroz	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
Maíz	Medio	Bajo	Medio	Bajo	Alto
Algodón	Alto	Bajo	Medio	Alto	Medio
Sorgo	Bajo	Medio	Alto	Medio	Alto
Pastos	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Medio
Lechuga	Medio	Alto	Medio	Alto	Medio
Cebolla	Bajo	Alto	Medio	Alto	Alto
Maní	Alto	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Papa	Bajo	Medio	Bajo	Medio	Alto
Camote	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Medio
Soya	Bajo	Medio	Alto	Alto	Medio
Tabaco	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Tomate	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio
Pepino	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
Zanahoria	Medio	Bajo	Medio	Bajo	Medio

## 2. FUENTES DE MICRONUTRIENTES

Las fuentes de micronutrientes varían considerablemente en cuanto a estado físico, grado de reactividad, solubilidad y costo. Existen tres grandes fuentes de micronutrientes: inorgánicos, quelatos sintéticos, y complejos orgánicos naturales. Los Frits (subproductos de vidrio) son considerados fuentes de micronutrientes, pero actualmente no son tan importantes como lo fueron en el pasado.

### 2.1 Fuentes inorgánicas

Las principales fuentes inorgánicas son yacimientos o minas naturales de óxidos, carbonatos y sales metálicas como sulfatos, cloruros y nitratos. Los óxidos como  $\text{Cu}_2\text{O}$  y  $\text{MnO}_2$ , pueden ser utilizados, sin embargo su disponibilidad para las plantas es muy baja ya que son compuestos muy insolubles.

Los sulfatos son las principales fuentes inorgánicas y pueden mezclarse con otros fertilizantes para fabricar mezclas químicas o físicas. Los sulfatos también suministran pequeñas cantidades de azufre a las plantas. Los sulfatos usualmente son cristales, pero pueden ser granulados para facilitar su manipulación. Los oxisulfatos son producidos por acidulación parcial de óxidos, lo que aumenta su solubilidad. La disponibilidad de micronutrientes para las plantas derivados de estas fuentes está directamente relacionada con el grado de acidulación.

Los sulfatos de Fe, Cu, Zn y Mn son ampliamente usados en aplicaciones al suelo y foliares. Los óxidos son más baratos que los sulfatos, pero debido a su baja solubilidad deben ser molidos finamente e incorporados al suelo para aumentar su disponibilidad. Otras fuentes inorgánicas incluyen los boratos de sodio y los molibdatos de amonio y sodio.

Los fertilizantes líquidos también pueden incluir fuentes inorgánicas de micronutrientes de alta solubilidad en agua, tales como sulfatos, cloruros y nitratos. Las fuentes inorgánicas de micronutrientes usualmente son más baratas que otras fuentes.

## **2.2 Quelatos**

Los quelatos están formados por un agente quelatante (orgánico o sintético) que se acompleja con un ión metálico en una estructura cíclica denominada quelato, cuya palabra proviene del griego “chele” que significa gancho o tenaza. El quelato le da mayor estabilidad al catión metálico y lo protege de reacciones de precipitación, adsorción, oxidación-reducción, etc., lo cual le permite mantener una disponibilidad más duradera para ser aprovechado por la planta.

Algunos de los agentes quelatantes sintéticos más utilizados son EDTA, HEDTA, DPTA, etc. El EDTA (ácido etilendiaminotetracético) es el más popular, y en su fabricación se mezcla con el micronutriente, generalmente en forma de cloruro u óxido, ya que son más baratos que los sulfatos. La mayoría de los quelatos de EDTA se formulan en forma líquida debido a su menor costo, pero también pueden fabricarse en polvo fino.

Los quelatos sintéticos u orgánicos son más efectivos que las fuentes de sales inorgánicas en aplicaciones al suelo porque protegen al catión metálico de reacciones adversas que afectan su disponibilidad, y además facilitan la penetración a través de cutícula de la raíz. Sin embargo, los quelatos son más caros que las fuentes inorgánicas, y de menor concentración de micronutrientes. En aplicaciones foliares, los quelatos se absorben más rápido a través de la cutícula foliar, disminuyendo el riesgo de pérdida de nutrimentos por lavado.

## **2.3 Complejos orgánicos naturales**

Los complejos orgánicos naturales son fabricados por reacción de sales metálicas con subproductos derivados de la industria de la pulpa de madera u otros similares, tales como lignosulfatos, fenoles y poliflavonoides. No está bien definido el tipo de unión química que se forma entre estos productos y los metales, aunque en algunos casos puede ser similar a los quelatos. Estas fuentes son más recomendables para aplicaciones en aspersiones foliares o en

fertilización líquida, ya que debido al tipo de ligamen que establece con el catión metálico no es muy estable en el suelo.

## 2.4 Frits

Los frits son materiales de vidrio cuya solubilidad está controlada por el tamaño de partícula y la composición de la matriz. Son hechos por fusión de uno o más micronutrientes con un material de vidrio. Es un producto de lenta liberación, recomendado para suelos arenosos en regiones de mucha lluvia y alta lixiviación. Los frits son más apropiados para programas de mantenimiento que para corregir una deficiencia severa de micronutrientes.

## 3. MICRONUTRIENTES

### 3.1 Boro

El B es esencial para la germinación de los granos de polen, el crecimiento del tubo polínico, y para la formación de semillas y paredes celulares. El B favorece la translocación de azúcares y su deficiencia usualmente detiene el crecimiento de las plantas, debido a que por ser poco móvil, los síntomas aparecen primero en los tejidos jóvenes. También causa deformación, amarillamiento y necrosis de hojas jóvenes, crecimiento en “roseta”, etc. La deficiencia de B es común en suelos ácidos, suelos volcánicos, de texturas arenosas, bajos en materia orgánica. Entre los cultivos más sensibles a deficiencia de B se encuentran: café, palma aceitera, crucíferas, tomate, zanahoria, etc.

La principal fuente de B son los boratos de sodio de alta solubilidad en agua, tales como el Borax, Razorita, Solubor, Ulexita, etc. (Cuadro 2). La Colemanita es menos soluble que el Borax y resulta más apropiada en aplicaciones al suelo en regiones tropicales. La mayoría de los boratos de sodio se utilizan en aplicaciones al suelo, aunque el Solubor es más apropiado para uso foliar. La dosis de B en aspersión foliar oscila entre 0,5 y 1 kg B/ha, y en aplicación al suelo entre 1 y 4 kg B/ha. El ácido bórico es una fuente muy popular en fertilización foliar y fertirrigación. La concentración de B en los fertilizantes se expresa como porcentaje de B.

Cuadro 2. Principales fuentes de boro

Fuente de B	Fórmula	% B
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	11
Pentaborato de Na	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot \text{H}_2\text{O}$	18
Tetraborato de Na	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	14
Solubor	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O} +$ $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	20
Ácido bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$	17
Colemanita	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	10
Frits	Borosilicatos	2 - 10

### 3.2 Molibdeno

El Mo es esencial para sintetizar y activar la enzima reductasa del nitrato, que es responsable de reducir el  $\text{NO}_3$  a  $\text{NH}_4$  dentro de la planta para facilitar la síntesis de aminoácidos. El Mo también favorece la fijación simbiótica de N por el género *Rhizobium* en leguminosas y participa en la síntesis de proteínas y en el metabolismo del S. El Mo es el micronutriente requerido en menor cantidad por las plantas, por lo que quizás esto explique que su deficiencia sea menos común que con otros micronutrientes. Por lo general las plantas no presentan más de 5 mg/kg de Mo en las hojas, y a menudo las cantidades pueden llegar a ser indetectables por los procedimientos comunes de análisis foliar.

La deficiencia de Mo puede causar amarillamiento y necrosis en hojas viejas, y en algunos casos produce moteo intervenal de hojas viejas. Las leguminosas como el frijol y la soya son más susceptibles a problemas de Mo, así como la coliflor y el brócoli. Deficiencias de Mo han sido reportadas en el cultivo del melón en la zona del Pacífico Central de Costa Rica.

La deficiencia de Mo es más frecuente en suelos ácidos y es particularmente importante en leguminosas. Las dosis a aplicar son muy bajas, 0,3-1 kg/ha por lo que se debe tener cuidado en que la forma de aplicación sea uniforme para no causar toxicidad. La aplicación de Mo junto a la semilla es una práctica muy corriente ya que permite mayor uniformidad.

El principal mineral de Mo es la Molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ), el cual es extraído de las minas para convertirlo en  $\text{MoO}_3$ . El óxido de Mo está disponible en la industria de fertilizantes en varios grados de pureza, aunque su eficiencia agronómica es muy baja. Las fuentes principales son las sales solubles de molibdato de amonio y molibdato de sodio (Cuadro 3), las cuales son fabricadas a partir de la reacción del óxido de Mo con  $\text{NaOH}$  o  $\text{NH}_4\text{OH}$ , respectivamente.

**Cuadro 3. Principales fuentes de molibdeno**

Fuente	Fórmula	% Mo
Molibdato de sodio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	39
Molibdato de amonio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	54
Trióxido de Mo	$\text{MoO}_3$	66
Molibdenita	$\text{MoS}_2$	60

### 3.3 Cloro

El cloro es considerado un elemento esencial en algunos cultivos como el coco, palma aceitera, kiwi, cebada, trigo y remolacha azucarera. El Cl está involucrado en las reacciones energéticas de la planta, específicamente en la descomposición térmica del agua en presencia de luz solar, y en la activación de varios sistemas enzimáticos. El Cl también participa en la regulación hídrica de la planta, manteniendo la turgencia. Una de las funciones más

importantes que se le atribuye al Cl es la supresión de varias enfermedades fungosas que atacan las raíces de algunos cereales como el maíz y el trigo. Diversos estudios han demostrado que una dosis de 60 kg de Cl/ha parece ser la más adecuada para obtener rendimientos óptimos en cereales de grano pequeño. La deficiencia de Cl es más frecuente en suelos arenosos bien drenados, debido a que se lixivia con facilidad en forma similar al nitrato.

Algunos cultivos son muy sensitivos al Cl. Esto quiere decir que estos cultivos utilizan cantidades muy pequeñas de Cl en sus funciones esenciales y son muy sensibles a cantidades mayores de este nutriente en el suelo. Entre estos cultivos se encuentran el tabaco, durazno, aguacate, cebolla, zanahoria y rábano.

La fuente más común es el KCl (47% de Cl), la cual es comúnmente utilizada en cultivos que requieren K. Otras fuentes incluyen el cloruro de amonio, el cloruro de calcio y el cloruro de magnesio (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Principales fuentes de cloro**

Fuente	Fórmula	% Cl
Cloruro de potasio	KCl	47
Cloruro de amonio	NH <sub>4</sub> Cl	66
Cloruro de magnesio	MgCl <sub>2</sub>	74
Cloruro de calcio Ca	CaCl <sub>2</sub>	65
Cloruro de sodio NaCl	NaCl	60

### 3.4 Cobre

La deficiencia de cobre está asociada a suelos altos en materia orgánica y suelos arenosos muy meteorizados. El Cu es necesario para la formación de clorofila y cataliza otras reacciones químicas dentro de la planta debido a que es componente de varias enzimas como fenolasas, lactasas, oxidasa del ácido ascórbico, etc. El Cu también participa en la fotosíntesis, promueve la formación de vitamina A, actúa como conductor de electrones en la respiración, en la biosíntesis de ligninas, etc. La deficiencia de Cu causa clorosis de hojas jóvenes, necrosis en el ápice de hojas jóvenes que progresa a lo largo de la hoja, muerte de brotes jóvenes.

Existen muchos minerales que contienen Cu, pero quizás los sulfatos de Cu son las fuentes más populares (Cuadro 5). Los sulfatos están disponibles en todos los tamaños, desde polvos finos hasta gránulos. La dosis de Cu a aplicar oscila entre 2 y 10 kg/ha. En Costa Rica no se ha informado de deficiencias de Cu, probablemente por el uso frecuente de fungicidas a base de este elemento.

Cuadro 5. Principales fuentes de cobre

Fuentes	Fórmula	% Cu
Sulfato cúprico penta	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	25
Sulfato cúprico mono	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35
Sulfato de Cu básico	$\text{CuSO}_4 \cdot 3 \text{Cu}(\text{OH})_2$	13-53
Malachita	$\text{CuCO}_3 \cdot 3 \text{Cu}(\text{OH})_2$	57
Oxido cuproso	$\text{Cu}_2\text{O}$	89
Oxido cúprico	$\text{CuO}$	75
Acetato de Cu	$\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32
Quelatos de Cu	$\text{Na}_2\text{CuEDTA}$	13
	$\text{CaCuHEDTA}$	9
Frits		0,5-20

### 3.5 Zinc

La deficiencia de Zn es una de las más distribuidas en los trópicos. Es muy frecuente encontrarla en suelos alcalinos o de pH neutro, suelos orgánicos, suelos mal drenados y suelos muy ácidos. En nuestro país la deficiencia de Zn se presenta en arroz, café, cítricos, maíz, soya, flores, ornamentales, tomate, etc. El Zn junto con el B son los micronutrientes más importantes en la nutrición de plantas en Costa Rica.

El Zn participa en la regulación del crecimiento vegetal como precursor de auxinas, en la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas. El zinc es constituyente de varias enzimas en las cuales actúa como cofactor, tales como anhidrasa carbónica que es responsable para la utilización del ácido carbónico por la planta, deshidrogenasas, proteinasas y peptidasas. Los síntomas de deficiencia de Zn se presentan como clorosis intervenal en brotes nuevos, disminución en el tamaño de hojas, reducción del crecimiento, peso y tamaño de los frutos, alteración en la formación de granos y semillas, etc.

La dosis usual a aplicar al suelo varía entre 3 y 10 kg Zn/ha. La fuente más común es el sulfato de Zn y los quelatos de Zn (Cuadro 6). El carbonato de Zn y el óxido de Zn son fuentes de solubilidad limitada, y deben ser molidas finamente para que reaccionen en el suelo, lo que hace difícil su mezcla con fertilizantes granulados. En aplicaciones foliares, la dosis de Zn varía entre 0,5 y 2 kg/ha. Debido a su baja movilidad en el suelo, las aplicaciones de Zn deben ser incorporadas al voleo para incrementar el contenido de Zn en el suelo. Sin embargo, las aplicaciones en banda podrían ser más efectivas, especialmente en el caso de suelos muy arcillosos y deficientes en Zn, como en el caso de Vertisoles y Ultisoles. Las aplicaciones foliares en algunos casos pueden resultar más eficientes a corto plazo, especialmente cuando se utilizan quelatos orgánicos o de EDTA. Las aspersiones foliares requieren dosis menores, por lo que generalmente resultan más baratas.

Cuadro 6. Principales fuentes de zinc

Fuentes	Fórmula	% Zn
Sulfato de Zn	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	31-36
	$ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$	23
Sulfato de Zn básico	$ZnSO_4 \cdot 4 Zn(OH)_2$	55
Óxido de Zn	$ZnO$	78
Carbonato de Zn	$ZnCO_3$	52
Fosfato de Zn	$Zn_3(PO_4)_2$	51
Nitrato de Zn	$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	22
Quelatos de Zn	$Na_2ZnEDTA$	14
Frits de Zn	Silicatos	--

### 3.6 Manganeseo

La deficiencia de Mn tiende a presentarse en suelos muy drenados y con pH neutro o alcalino, también en suelos altos en materia orgánica o que han sido sobreencalados. Algunos de los cultivos más sensibles a la deficiencia de Mn son: coliflor, espinaca, cebolla, remolacha, soya, algodón, trigo, café, naranja, maíz, etc.

El Mn es un activador enzimático en los procesos de respiración y metabolismo de N. El Mn participa en la síntesis proteica y la formación de ácido ascórbico. Es un elemento inmóvil dentro de la planta, por lo que los síntomas de deficiencia se presentan generalmente como un amarillamiento intervenal en las hojas nuevas. En algunas ocasiones pueden aparecer una serie de puntos de color café oscuros en las mismas hojas.

El sulfato de Mn es la fuente más común (Cuadro 7), es muy soluble y puede ser usado en aplicación al suelo y foliar. Los quelatos de Mn se han utilizado con mucho éxito en aspersiones foliares, sin embargo en tratamientos al suelo no son tan efectivos como el sulfato de Mn. El óxido de Mn es muy poco soluble en agua, pero usualmente da buenos resultados. Las recomendaciones oscilan entre 1-25 kg de Mn/ha, siendo las dosis más bajas para aplicación foliar, y las más altas para aplicar al suelo. Las aspersiones foliares usualmente varían entre 1-5 kg de Mn/ha, dependiendo de la fuente utilizada y la sensibilidad del cultivo a la deficiencia. En aplicaciones al suelo la dosis más usada oscila entre 10-20 kg de Mn/ha.

Cuadro 7. Principales fuentes de manganeseo

Fuente	Fórmula	% Mn
Sulfato de Mn	$MnSO_4 \cdot 3 H_2O$	26-28
Sulfato de Mn	$MnSO_4 \cdot H_2O$	32
Óxido de Mn	$MnO$	41-68
Quelato de Mn	$MnEDTA$	12
Carbonato de Mn	$MnCO_3$	31
Cloruro de Mn	$MnCl_2$	17
Frits de Mn	--	10-35

### 3.7 Hierro

Una de las funciones principales del Fe es como activador enzimático en la síntesis de clorofila. También participa en el transporte de oxígeno, en la síntesis de proteínas, en reacciones de oxidación-reducción, etc. El Fe es un elemento inmóvil dentro de la planta, y su deficiencia causa clorosis intervenal en hojas nuevas, dejando el tejido verde claro o amarillento al principio, luego se torna blanquecino y abarca también las venas de las hojas.

La clorosis por deficiencia de Fe es frecuente en suelos calcáreos o de pH alcalino, y en suelos arenosos. Algunos cultivos sensibles a la deficiencia de Fe son: frijol, soya, maíz, pasto Bermuda, arroz, sorgo, tomate, cítricos, uva, etc.

Las principales fuentes para corregir deficiencias de Fe son el sulfato de Fe y los quelatos de Fe (Cuadro 8). Las aplicaciones al suelo no son muy efectivas debido a que el Fe pasa rápidamente a formas no disponibles, especialmente en suelos de pH neutro o alcalino. Las aspersiones foliares han mostrado ser más eficientes y permite utilizar dosis más bajas que las que se recomiendan al suelo. Disoluciones de 1-2% de sulfato de Fe generalmente son suficientes para corregir problemas de Fe. Los quelatos de Fe también han resultado ser muy efectivos, siendo el quelato de EDTA-Fe uno de los precursores en la nutrición foliar de cultivos.

**Cuadro 8. Principales fuentes de hierro**

Fuentes	Fórmula	% Fe
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	19-21
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	30
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	23
Óxido ferroso	$\text{FeO}$	77
Óxido férrico	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	69
Fosfato de amonio ferroso	$\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	29
Quelatos de Fe	NaFeEDTA	5-14
	NaFeHEDTA	5-9
	NaFeEDDHA	6
	NaFeDTPA	10
Frits	Varía	varía

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Bertsch F. 1995. La Fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. ACCS. 157 p.
- Black C. 1992. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida. 746 p.
- Enyelstad O. 1985. Fertilizer technology and use. 3<sup>th</sup> ed. SSSA Madison, Wisconsin. 663 p.
- International Fertilizer Development Center. 1979. Fertilizer Manual. Muscle Shoals, Alabama. 353 p.
- Loué A. 1988. Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 354 p.
- Morverdt J. 1991. Micronutrients in Agriculture. 2<sup>a</sup> ed. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. 760 p.
- Potash and Phosphate Institute. 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. PPI, Georgia, USA.
- Raij B. Van. 1991. Fertilidad do solo e adubacao. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, Brasil. 343 p.
- Tisdale S. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5<sup>a</sup> ed. McMillan Co., Columbus, Ohio. 454 p.
- Westerman R. *et al.* (eds.). 1991 Soil Testing and Plant Analysis. 3<sup>o</sup>ed. SSSA. Madison, Wisconsin. 784 p.

# FERTILIZANTES LÍQUIDOS Y PARA FERTIRRIEGO

---

Ing. Eloy Molina, M. Sc.  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
[eamolina@cariari.ucr.ac.cr](mailto:eamolina@cariari.ucr.ac.cr)

## 1. INTRODUCCIÓN

La fertilización líquida y la fertirrigación son dos técnicas que se relacionan estrechamente entre sí para combinar el uso de agua y sistemas de riego en la aplicación de nutrimentos a las plantas. Los fertilizantes líquidos son más fáciles de transportar, almacenar y distribuir en el campo, y se adaptan perfectamente a los sistemas de aplicación de riego, principalmente los de aspersión y goteo.

La industria de fertilizantes líquidos ha crecido aceleradamente en los últimos años, especialmente en Norteamérica, junto con el aumento en las tierras agrícolas bajo riego. Mientras que por un lado los fertilizantes líquidos constituyen una alternativa muy eficiente para producir fuentes homogéneas con menor costo de almacenamiento y manipulación, por otro lado la práctica de fertirrigación incrementa notablemente la eficiencia de la aplicación de nutrimentos, obteniéndose mayores rendimientos y calidad en los cultivos. La fertirrigación permite aplicar los nutrimentos en forma exacta y uniforme sólo al volumen radicular humedecido por el riego, que es el lugar donde están concentradas las raíces activas. Este sistema además facilita la aplicación de los nutrimentos en forma fraccionada, de acuerdo con el estado de crecimiento de la planta y sus necesidades nutritivas.

El uso de fertilizantes líquidos y la fertirrigación tiene gran importancia desde el punto de vista técnico y económico. En el aspecto técnico supone un gran avance en la tecnología agrícola, ya que su introducción en un sistema de producción requiere del mejoramiento general de la capacitación técnica del agricultor, que va más allá de los aspectos específicos de la fertilización y del riego. Por otro lado, la importancia económica radica en los beneficios que brinda la fertirrigación en el incremento de los rendimientos y la calidad de las cosechas, que se traduce en mayores ingresos para el agricultor.

La fertirrigación se define como la técnica de aplicación de fertilizantes a través del agua de irrigación. Es una práctica agrícola esencial en el manejo de cultivos cuando se utiliza un sistema de riego localizado, siendo una de las maneras más eficientes y económicas de aplicar fertilizantes a las plantas. La fertirrigación aprovecha los sistemas de riego como medio para distribuir los elementos nutritivos disueltos en el agua. Con esta práctica se logra regar los cultivos con una solución nutritiva ya sea en forma continua o intermitente. El objetivo de esta técnica es aprovechar el flujo de agua en los sistemas de riego para utilizarla como vehículo, transportando los elementos nutritivos que necesita la planta, como complemento a los que le puede proporcionar el suelo, hasta la zona del mismo en la que proliferan las raíces. Esto permite optimizar dos de los factores de mayor incidencia en la explotación agrícola, como lo son el agua y los nutrimentos.

La fertirrigación ofrece muchas ventajas en comparación con los métodos de aplicación convencional de fertilizantes:

- a) Evita la compactación del suelo debido a que no es necesario usar maquinaria.
- b) Evita los daños al cultivo por el uso de maquinaria, como el rompimiento de ramas, poda de raíces, etc.
- c) Requiere menor uso de equipo de aplicación.
- d) Utiliza menor gasto de energía en la aplicación.
- e) Requiere menos mano de obra para la aplicación.
- f) Existe mayor regulación y monitoreo en el suministro de nutrimentos.
- g) Mejor distribución de nutrimentos en la zona radicular.
- h) Los elementos son aplicados en forma fraccionada siguiendo el patrón de crecimiento y absorción del cultivo.
- i) Se puede fertilizar aún cuando las condiciones de cultivo o suelo impidan el paso de equipo convencional.

## 2. FERTILIZANTES PARA FERTIRRIGACIÓN

### 2.1 Características de los fertilizantes para fertirriego

La característica principal de los fertilizantes o productos para fertirriego es que deben ser solubles en agua. Los productos mezclados en el agua de riego deben formar una verdadera solución nutritiva. La solubilidad de los fertilizantes en agua depende de la temperatura. En la mayoría de los productos se incrementa su solubilidad al aumentar la temperatura del agua. Otro factor importante de considerar es que cada material tiene una capacidad máxima de solubilidad en agua, la cual puede variar conforme se modifica la temperatura o se agregan otros productos en la mezcla.

Las impurezas en la solución fertilizante, ya sea que procedan del agua o de la reacción de los fertilizantes que son mezclados, puede causar la obstrucción de los sistemas de riego (tuberías, emisores, etc.), reduciendo la eficiencia tanto del riego como de la fertilización.

Los productos que se mezclan deben ser compatibles entre sí, para evitar las reacciones químicas entre materiales que causan precipitados y que obstruyen los sistemas de riego. Es importante hacer una prueba de compatibilidad, mezclando los productos en una pequeña cantidad de agua en la misma proporción que llevarían en el tanque de mezclado. Otro factor a considerar es el pH final de la solución fertilizante, para prevenir insolubilizaciones y precipitados. Cuando se utilizan quelatos como fuentes de micronutrimentos, debe controlarse el pH de la solución para que permanezcan cerca de la neutralidad, ya que a pH ácido los quelatos son menos estables debido a que el ion  $H^+$  compite con el catión metálico por el acomplejamiento con el agente quelatante. Las incompatibilidades de fertilizantes son mayores en soluciones concentradas que en soluciones diluidas.

La calidad del agua es un componente básico en fertirrigación. Este aspecto es especialmente crítico en los sistemas de riego por goteo que deben mantenerse libres de sólidos en suspensión y microorganismos que pueden taponear los orificios de los emisores. Con frecuencia se presentan problemas en aguas con contenidos altos de Ca, especialmente cuando los valores son superiores a 100 ppm.

A medida que se incrementa la concentración de Ca, aumenta la probabilidad de precipitación de los fertilizantes fosfatados agregados, los que se depositan en las paredes de los tubos, en los orificios de los goteros, y en los aspersores. Si el agua de riego es salina, se debe considerar la cantidad total de sales aplicadas al cultivo, y no solamente la cantidad aplicada en cada fertirrigación.

**Cuadro 1. Condiciones en las cuales se pueden presentar problemas de taponamiento en los emisores de los sistemas de riego por goteo**

Tipo de Problema	Intensidad del problema		
	Baja	Moderada	Alta
ppm			
<b>Físicos</b>			
Sólidos en suspensión	<50	50-100	>100
<b>Químicos</b>			
pH	<7,0	7,0-8,0	>8,0
Sales	<500	500-2000	>2000
Bicarbonatos		<100	
Manganeso <sup>1</sup>	<0,1	0,1-0,5	>1,5
Hierro total <sup>1</sup>	<0,2	0,2-1,5	>1,5
Sulfuro de hidrógeno	<0,2	0,2-2,0	>2,0
<b>Biológicos</b>			
Población de Bacterias	<10 <sup>3</sup> /ml	10 <sup>3</sup> -50 <sup>3</sup> /ml	>50 <sup>3</sup> /ml

La presencia de acondicionadores puede causar algunos problemas. Los acondicionadores son materiales que se agregan a los fertilizantes para reducir su grado de higroscopicidad, tales como atapulgita, diatomita, sílica hidratada, etc. Estos recubrimientos normalmente son insolubles en agua y tienden a asentarse en el fondo de los recipientes donde se disuelve el fertilizante.

La mayoría de los fertilizantes sólidos adsorben calor cuando son mezclados con el agua causando el enfriamiento de la solución. Este fenómeno se conoce como “efecto refrigerante”. Ejemplos de este efecto se logran con urea, nitrato de amonio, nitrato de calcio, nitrato de potasio, etc. El enfriamiento del líquido podría provocar condensación del agua. Para evitar este efecto debe dejarse que la solución recupere la temperatura ambiente después de unas horas o utilizar un mezclador.

## 2.2 Fuentes de fertilizantes

La selección de la fuente de fertilizante depende de varios factores tales como disponibilidad en el mercado, precio, concentración de nutrimentos, estado del producto (sólido o líquido), compatibilidad, sistema de irrigación, etc. Precisamente con base en su estado, los fertilizantes para fertirriego se pueden clasificar en dos categorías principales: fertilizantes líquidos y fertilizantes sólidos.

### 2.2.1 Fertilizantes líquidos

Los fertilizantes líquidos son materiales que contienen uno o más nutrimentos de las plantas dispersos en un medio líquido, incluyendo los fertilizantes foliares. Sin tener en cuenta éstos últimos, se define como fertilizante líquido o fluido todo material fertilizante que puede ser manipulado, almacenado, transportado y aplicado en forma líquida, y no requieren tratamientos previos de disolución.

Los fertilizantes líquidos se clasifican de acuerdo como se encuentre el nutrimento disperso en el medio líquido, en soluciones y suspensiones.

**Soluciones** son disoluciones líquidas compuestas por un solvente, que generalmente es el agua, y uno o varios solutos, que pueden ser gases (amoníaco), líquidos (ácidos o fertilizantes líquidos) o sólidos (sales o quelatos).

**Suspensiones** son fertilizantes líquidos parcialmente disueltos, en los que una parte del soluto o sal se mantiene suspendida en el líquido en forma de cristal fino, generalmente menor de 0,8 mm de diámetro. La sal se mantiene suspendida por un coloide como la atapulgita o bentonita. La ventaja de las suspensiones es que permite formular fertilizantes líquidos de mayor concentración de nutrimentos, lo que reduce los costos de transporte y almacenamiento. También presentan menos problemas de incompatibilidades, y se puede usar sales de menor pureza y agua de inferior calidad. Como desventaja se encuentran el hecho que pueden obstruir mangueras y boquillas de riego, causar abrasión en los equipos de bombeo, y la posibilidad de que ocurra precipitación de sales durante períodos prolongados de almacenamiento.

#### **Los fertilizantes líquidos presentan varias ventajas:**

- a) Economía en mano de obra, ya que el transporte y manejo de fertilizantes líquidos requiere menor manipulación que los fertilizantes granulados
- b) Menor costo de almacenamiento, debido a que se realiza en tanques de diferente capacidad, lo que evita el uso de sacos y bodegas, disminuyendo así el área de bodegaje
- c) Mayor velocidad de aplicación al utilizarse diferentes sistemas de riego
- d) Garantiza una mayor uniformidad de aplicación ya que el fertilizante líquido es un producto homogéneo en concentración
- e) Puede mezclarse con otros agroquímicos, por ejemplo con herbicidas postemergentes, mejorando el efecto en el control de malezas

#### **Las desventajas de fertilizantes líquidos:**

- a) Fórmulas de menor concentración de nutrimentos que los fertilizantes sólidos debido a limitaciones de solubilidad en agua
- b) Requiere equipo de almacenamiento y aplicación
- c) El fertilizante líquido es corrosivo por lo que deben tomarse precauciones para proteger equipo de aplicación, bombas, etc.
- d) En algunos casos el costo por unidad de nutrimentos es más alto que en productos sólidos

Los fertilizantes líquidos son utilizados principalmente para el suministro de un nutrimento, usualmente N, debido a la alta solubilidad en agua de algunas fuentes nitrogenadas, como el amoníaco, urea y nitrato de amonio. Sin embargo, los fertilizantes líquidos también son utilizados en menor proporción para aplicar otros elementos como K, P, Ca, Mg y micronutrimentos.

Los fertilizantes líquidos se adaptan mejor a cultivos que se manejan con sistemas de riego, como el riego por aspersión y riego por goteo, porque se facilita la aplicación del producto. También constituyen una alternativa en cultivos mecanizados en los que se aplica el fertilizante con abonadoras, como en el caso de caña de azúcar, maíz, sorgo, arroz, etc. La aplicación de

herbicidas postemergentes con equipo mecánico puede ser un medio eficaz para la aplicación conjunta de fertilizante líquido, como ha sido la experiencia en Costa Rica en cultivos como naranja, caña de azúcar, palma aceitera, etc. Otro mecanismo eficaz para la distribución de fertilizantes líquidos es el abonamiento foliar, y quizás el ejemplo más representativo en nuestro país es el cultivo de la piña, donde los fertilizantes líquidos son ampliamente utilizados en aspersiones foliares, principalmente para suplir N y K.

Los fertilizantes líquidos se han convertido en una importante fuente de nutrimentos en muchos cultivos a nivel mundial. Quizás en los Estados Unidos es donde son más ampliamente utilizados, y actualmente representan cerca del 40% del consumo total de fertilizantes. En este país, la fertilización líquida ha sido enfocada principalmente para el suministro de N. La principal fuente es el amoníaco anhidro, que aunque es un gas a temperatura ambiente, se almacena y aplica en líquido. Las soluciones nitrogenadas y el agua amoniacal también son muy populares.

Como se mencionó antes, en los Estados Unidos los principales fertilizantes líquidos son fuentes nitrogenadas derivadas del amoníaco o soluciones de éste en agua.

a) **Amoníaco anhidro** es la fuente principal. Contiene 82% de N y debe ser almacenado a alta presión y baja temperatura para conservarlo como líquido. Como se mencionó en otro capítulo de esta memoria, el  $\text{NH}_3$  requiere equipo especial de aplicación y es una fuente de gran importancia en la agricultura mecanizada de Estados Unidos. Sin embargo, en nuestro país no se utiliza.

b) **Agua amonia** es una solución líquida que se obtiene de mezclar  $\text{NH}_3$  con agua, que forma  $\text{NH}_4\text{OH}$ , con 16-20% de N. Debe ser almacenada con cuidado para evitar la evaporación de gases de amoníaco, y se aplica al suelo con inyectores para dejar el producto incorporado y evitar la evaporación de gases.

c) **Solución Urea-Nitrato de amonio UAN**

Es una mezcla de urea y nitrato de amonio en agua, que contiene entre 28-32% de N. Esta fuente presenta las tres formas de N: ureico, nítrico y amoniacal, por lo tanto tiene un mayor valor agronómico. En nuestro país se fabrican las fórmulas 31-0-0 y 35-0-0, de gran uso en piña y melón. Otras fórmulas líquidas que incluyen N son la 26-0-5.2, 11-0-11, etc. (cuadro 2).

d) **Nitrato de calcio** 9-0-0-18 ( $\text{CaO}$ ) es una fórmula que contiene  $\text{N-NO}_3$  y Ca completamente soluble, de acción similar al nitrato de calcio sólido.

e) **Nitrato de magnesio**, con un grado de 7.6-0-0-11, con  $\text{N-NO}_3$  y Mg soluble.

f) **Polifosfatos amonio** están constituidos por diferentes mezclas de polímeros de fosfato, lo que permite formar soluciones de alta concentración de P. Algunos de los grados más comunes son 10-34-0 y 11-37-0. Pueden combinarse con otros fertilizantes líquidos siempre que no incluya Ca. Su costo es alto y por el momento no son disponibles en nuestro mercado aunque ha sido explorado su uso por parte de una compañía local.

Como fuentes de K se encuentra disponible principalmente la fórmula 0-0-14.5, fabricada con KCl, y la 11-0-11 con N, al igual que el tiosulfato de K (0-0-25-17)

Las tres principales compañías suplidoras de fertilizantes líquidos en el país (Fertica, Abopac y Químicos Holanda) pueden hacer fórmulas completas a gusto de los clientes.

**Cuadro 2. Principales fertilizantes líquidos disponibles en el mercado**

Fórmula líquida	Densidad g/mL	Temperatura de cristalización °C	pH
35-0-0	1,33	2	6,5
31-0-0	1,349	17	8-8,5
26-0-5,2	1,35	14	7-8
26-0-0-4,75 (SO <sub>4</sub> )	1,27	0	6,8
25-0-0-9 (SO <sub>4</sub> )	1,20	12	7-8
19,25-0-5,5	1,227	9	7,5-8
3-0-9-10 (SO <sub>4</sub> )	1,224	15	9-10
9-0-0-18 (CaO)	1,51	0	10-10,5
7,6-0-0-11	1,35	0	7,5
11-0-11	1,242	18	6-7

## 2.2.2 Fertilizantes sólidos

Son materiales sólidos muy solubles en agua, que pueden utilizarse directamente mezclados con el agua, o para preparar una solución madre muy concentrada, que luego se incorpora al riego mediante los dosificadores. Requieren mano de obra y control estricto de la dosificación. La solución se realiza en tanques de abonamiento, y normalmente requieren de agitación. Los fertilizantes sólidos para fertirriego o disolución son usualmente sales de alta pureza que se utilizan también en los programas de fertilización al suelo, o en el abonamiento foliar.

### a) Nitrógeno

El nitrógeno es el nutrimento que con mayor frecuencia se inyecta en los sistemas de fertirrigación. Esto se debe a que todos los cultivos requieren cantidades relativamente grandes de este elemento y existe una gran variedad de productos nitrogenados altamente solubles en agua.

Entre las fuentes más populares está la urea (Cuadro 3), debido a su alta solubilidad y contenido de N (46%). Este producto no saliniza el agua ni la acidifica, y es compatible con una gran variedad de fertilizantes. Su costo por unidad de N es uno de los más bajos en comparación con otras fuentes nitrogenadas.

Debe considerarse su contenido de biuretos, que es un subproducto tóxico que se forma durante la fabricación de la urea. Normalmente la urea para fertirriego debe tener menos del 1% de biuretos, pero en caso de aplicaciones en riego por aspersión, el nivel de biuretos no debería superar el 0,5%. El nitrato de amonio es una de las fuentes más solubles, y posee la ventaja de suministrar N en dos formas: amoniacal y nítrica. La urea y el nitrato de amonio son las fuentes sólidas de N más solubles en agua y más concentradas en el elemento, por lo que son ampliamente utilizadas en fertirriego. Otras fuentes incluyen de menor concentración en N

pero que aportan otros nutrimentos son el sulfato de amonio, nitrato de calcio y nitrato de potasio.

**Cuadro 3. Solubilidad de fertilizantes sólidos para uso en fertirriego**

Fuente del elemento	Temperatura	
	0 °C	20 °C
	g/L	
Urea	670	1080
Nitrato de amonio	1185	1877
Sulfato de amonio	704	754
Fosfato Diamónico (DAP)	575	686
Fosfato Monoamónico (MAP)	227	368
Fosfato Monopotásico	143	227
Urea fosfatada 18-44-0	-	960
Nitrato de potasio	133	316
Cloruro de potasio	282	342
Sulfato de potasio	74	111
Nitrato de calcio	1010	1294
Cloruro de calcio	603	745
Sulfato de magnesio	-	356
Nitrato de magnesio	639	701

## b) Fósforo

La aplicación de P a través de los sistemas de riego por goteo puede incrementar significativamente la adsorción de P por la planta, ya que concentra el fertilizante en la zona de mayor humedad y desarrollo de raíces. El ácido fosfórico es una de las fuentes principales debido a su alta concentración de P (entre 40 y 54% de  $P_2O_5$ ). Su reacción en el suelo es muy acidificante, por lo que es útil para reducir el pH de suelos alcalinos o de las soluciones nutritivas. El ácido fosfórico además es muy útil para limpiar los equipos de riego (mangueras y aspersores) de la acumulación de sedimentos de sales y carbonatos que con frecuencia obstruyen los equipos de riego, y para evitar la proliferación de algas y bacterias.

Otras fuentes de P muy utilizados en riego son el fosfato monoamónico o MAP (12-60-0), y el fosfato diamónico o DAP (18-46-0 o 21-53-0). Este último es más soluble en agua (cuadro 2). Ambas fuentes tienen la ventaja de suministrar también N. Las fuentes más recomendable de DAP y MAP para fertilización líquida y riego por goteo son las presentaciones grado "solución" o "técnicas", las cuales son cristales finos de mayor facilidad de disolución en agua que las presentaciones granuladas. El fosfato de potasio monobásico (0-52-35) tiene una solubilidad moderada y se destaca por su alta concentración de P y K. Los fertilizantes fosfatados pueden reaccionar con calcio y formar precipitados de fosfatos dicálcicos y tricálcicos que obstruyen los sistemas de riego, por lo que se debe hacer una prueba de compatibilidad antes de mezclar materiales que contienen estos elementos. Este mismo fenómeno podría ocurrir con fuentes que contienen magnesio. Las aguas duras altas en Ca y Mg son de especial cuidado cuando se utilizan fertilizantes fosfatados.

La mezcla de P y Fe es inconveniente porque se forman precipitados de fosfatos de Fe insolubles. Algunas fuentes como el triple superfosfato y la roca fosfórica son muy insolubles en agua, y por lo tanto no son aptas para fertirrigación.

### **c) Potasio**

La mayoría de los fertilizantes potásicos son muy solubles en agua. La fuente más popular es el KCl (0-0-60), debido a su alto contenido de K, excelente solubilidad en agua, y su bajo costo por unidad. En cultivos sensibles al cloro es preferible el uso de nitrato de potasio (13-0-44) y sulfato de potasio (0-0-50), aunque la solubilidad de estas fuentes es inferior al KCl. El sulfato de potasio proveniente de mina tiene una solubilidad muy limitada, y es preferible utilizar la fuente sintética con grado técnico, con mayor solubilidad en agua, aunque de costo más alto.

Fuentes como el K-mag o Sulphomag (0-0-22-18-22) no son apropiadas en fertirriego debido a su escasa solubilidad en agua. La aplicación de K a través de fertirrigación permite la ventaja de suministrar el elemento en épocas de mayor demanda por parte del cultivo, como durante las etapas de crecimiento y llenado de frutos.

### **d) Calcio, magnesio y micronutrientes**

Existen pocas fuentes solubles que aporten Ca, siendo el nitrato de calcio la más usada (15% de N y 19% de Ca) por su alta solubilidad. Este material es de alto costo y no es apropiado mezclarlo con fertilizantes que contienen sulfato porque podría formarse precipitados de sulfato de calcio. Existe también en el mercado una fuente líquida de cloruro de calcio (50% de CaO) que también es muy soluble en agua. Entre las fuentes de Mg para fertirriego, el sulfato de magnesio (16% de MgO, sal de Epsom) es una de las más usadas. Otras fuentes incluyen al nitrato de magnesio (7% de MgO) y Kieserita cristalina (25% de MgO).

La aplicación de micronutrientes vía fertirriego no es muy común. Las sales a base de sulfatos son las más utilizadas debido a su alta concentración de elementos y su bajo precio. Fuentes a base de quelatos también son utilizadas, aunque en forma más restringida debido a su alto precio en comparación con las sales. Los quelatos con poder acomplejante de medio a alto son preferidos en aplicaciones al suelo. Ejemplos de éstos son los quelatos de EDTA, DTPA, lignosulfatos y ácidos húmicos.

### e) Fórmulas completas

El uso de fórmulas completas como 20-10-20, 15-5-15, 15-5-25, etc, en fertilización líquida y fertirriego, se ha vuelto popular en algunos cultivos de hortalizas, vegetales y plantas ornamentales, principalmente en condiciones de almácigos, invernaderos o pequeños huertos. Muchas de estas fórmulas completas contienen también micronutrientes. La justificación para el uso de estas fórmulas está muy relacionada con un mejoramiento en la calidad del cultivo. Estas fórmulas son muy concentradas en nutrientes y de alta solubilidad en agua, se presentan como cristales finos o polvos solubles. Son muy caras y su utilización está restringido a cultivos de especiales de alto valor. Se les conoce como “supersolubles”, “hidrosolubles”, o “fórmulas de especialidad”. Se empaquetan en bolsas de papel de 1 kg, 11,3 kg, 22,7 kg o 25 kg. Algunos ejemplos de estas fórmulas son las líneas de Kemira (Trisán), Peters (Agrotico), Hidrosolubles Albatros (Abopac), Buckman Feeds (Suplidora Verde), etc.

#### Reglas básicas para hacer mezclas de fertilizantes:

1. Siempre llene el tanque de mezclado con un 50-75% del agua a utilizar.
2. Agregue los fertilizantes líquidos antes de los sólidos.
3. Agregue los productos sólidos lentamente para evitar la formación de grumos.
4. No mezcle amoníaco anhidro o agua amoniacal con algún ácido porque se produce una reacción violenta y peligrosa.
5. Si utiliza algún ácido, agregue el ácido al agua y no lo contrario.
6. No mezcle directamente dos fertilizantes líquidos de alta concentración, antes disuelva cada uno por aparte.
7. No es conveniente mezclar productos que contienen sulfatos con otros que contengan calcio, porque se podría formar precipitados de sulfato de Ca. Ejemplos: nitrato de calcio con sulfatos de amonio, potasio o magnesio.
8. No mezclar fertilizantes que contienen P con productos que contienen Ca sin antes hacer una prueba de compatibilidad.
9. No mezclar fertilizantes altos en P con productos que contienen Fe porque podría formarse precipitados de fosfatos de Fe, siempre es mejor hacer una prueba de compatibilidad.
10. Cuando se usan quelatos de micronutrientes, debe evitarse la acidificación del agua porque se podría perder la estabilidad del quelato si el pH de la solución es ácido.
11. Cuando se usa ácido debe tomarse precauciones para evitar la corrosión de partes metálicas en el sistema de riego.
12. Realizar un análisis de calidad del agua para verificar contenido de sales como Ca, Mg, carbonatos, etc.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Agricultural Retailer Association. 1984. Fluid Fertilizers, Vol. 1. ARA, Saint Louis, Missouri, USA. 161 p.
- Burt C.; O'Connor K.; Ruehr T. 1995. Fertigation. ITRC, California Polytechnic St. University, California. 295 p.
- Domínguez A. 1993. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 217 p.
- Estrada G. 1997. Caracterización y preparación de fertilizantes líquidos para fertirrigación. In Fertirrigación, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, Colombia. p. 61-72.
- Enyelstad O. 1985. Fertilizer technology and use. 3th ed. SSSA Madison, Wisconsin. 663 p.
- Imas P. 1999. Manejo de nutrientes por fertirriego en sistemas frutícolas. Congreso Argentino de Horticultura, XXII. Tucumán, Argentina.
- Jiménez S. 1992. Fertilizantes de liberación lenta. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 146 p.
- Lorenz O.; Maynard D. 1988. Knott's Handbook for vegetable growers. 3° ed. John Wiley and Sons, New York. 456 p.
- Loué A. 1988. Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 354.
- Ludwick A. 1994. El manejo de fertilizantes a través de los sistemas de riego. Informaciones Agronómicas No. 27: 5-9.
- Montag U. 1999. Fertigation in Israel. IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, Barcelona, España.
- Tisdale S. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5ª ed. McMillan Co., Columbus, Ohio. 454 p.

# FERTILIZANTES FOLIARES

---

Ing. Eloy Molina, M. Sc.  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica

[eamolina@cariari.ucr.ac.cr](mailto:eamolina@cariari.ucr.ac.cr)

## 1. INTRODUCCIÓN

La fertilización foliar es el principio de aplicación de nutrimentos a través del tejido foliar, principalmente a través de las hojas, que son los órganos donde se concentra la mayor actividad fisiológica de la planta. La fertilización foliar es una excelente alternativa para aplicar micronutrimentos, los cuales son requeridos en cantidades muy pequeñas por las plantas. También puede servir de complemento para el suministro de elementos mayores durante ciertos periodos definidos de crecimiento de la planta, aunque en este caso la aspersión foliar no puede sustituir la fertilización al suelo como sucede con los micronutrimentos.

La fertilización foliar no sustituye la fertilización al suelo, pero sí constituye una práctica recomendada para complementar la nutrición edáfica y para suplir ciertos nutrimentos durante etapas críticas del cultivo o de gran demanda nutricional, tales como la floración y el llenado de granos y frutos. Bajo ciertas condiciones de cultivo y suelo, la fertilización foliar ha resultado ser ventajosa en comparación con el abonamiento al suelo.

El abonamiento foliar también es un medio apropiado para aplicar nutrimentos a los cultivos durante periodos de estrés causados por diversas razones, tales como la sequía, el encharcamiento, heladas, aplicación de agroquímicos, etc. Las condiciones de suelos que limitan el crecimiento y función de las raíces, tales como el drenaje, toxicidad de aluminio, salinidad, etc., afectan la absorción radical de nutrimentos, siendo en estos casos la fertilización foliar un medio más efectivo para suplir los elementos esenciales.

En algunos cultivos, la fertilización foliar causa efectos adicionales, tales como el incremento en la eficiencia fotosintética, cambios en la fisiología de la planta, disminución de la senescencia y prolongación de la capacidad fotosintética de la hoja. La demanda de nutrimentos por parte de las especies vegetales cultivadas no es uniforme, sino que más bien varía con los estados fisiológicos a lo largo de su ciclo productivo. La demanda de nitrógeno es alta y constante, pero se requiere en particular durante los estados de alta tasa de crecimiento, floración y fructificación. Por ejemplo en el cultivo del arroz, la demanda de nitrógeno es alta durante el macollamiento, iniciación de la panícula y el llenado del grano.

El potasio es requerido intensamente durante los estados fisiológicos de producción, tales como la tuberización y llenado del tubérculo, iniciación y llenado del grano, así como en el cuajado y llenado del fruto. El potasio es esencial para la síntesis de carbohidratos, pero además influye en la translocación y acumulación de azúcares y almidones. En estas épocas críticas de gran demanda de nitrógeno y potasio, el abonamiento foliar puede ser un buen complemento para ayudar a obtener granos más densos y frutos más grandes y jugosos, aumentando así el rendimiento total del cultivo.

## **2. TIPOS DE FERTILIZACIÓN FOLIAR**

De acuerdo con el propósito que se persigue, la fertilización foliar se puede dividir en seis categorías (Boaretto y Rosolem 1989):

### **2.1 Fertilización correctiva**

Es aquella en la que se suministran elementos para superar deficiencias evidentes, generalmente se realiza en un momento determinado y su efecto es de corta duración cuando las causas que la provocan no son corregidas.

### **2.2 Fertilización preventiva**

Se realiza cuando se conoce que determinado nutrimento es deficiente en el suelo y que a través del mismo su aplicación no es efectiva, tal como la aplicación de Zn en cítricos, café y arroz; y de B en hortalizas, crisantemos, claveles, etc.

### **2.3 Fertilización sustitutiva**

Es aquella en la cual se pretende sustituir las exigencias del cultivo exclusivamente por vía foliar. El ejemplo más típico es la piña, la cual posee una alta capacidad de absorción foliar a través de la hojas. Sin embargo, en la mayoría de los casos es poco factible suplir a las plantas todos sus requerimientos nutritivos utilizando exclusivamente la vía foliar debido a la imposibilidad de aplicar dosis altas de macronutrientes.

### **2.4 Fertilización complementaria**

Consiste en aplicar una fracción del abono al suelo y otra al follaje, generalmente en ésta última se utiliza micronutrientes. Es uno de los métodos más utilizados en una gran cantidad de cultivos.

### **2.5 Fertilización complementaria en estado reproductivo**

Puede realizarse en aquellos cultivos anuales en los cuales durante la floración y llenado de semillas y frutas, la fuerza metabólica ocasionada por ellos reduce la actividad radicular lo suficiente como para limitar la absorción de iones requeridos por la planta. Como ejemplo se puede citar la fertilización foliar de tomate, chile, papa, melón, etc.

### **2.6 Fertilización estimulante**

Consiste en la aplicación de formulaciones con N-P-K en las cuales los elementos son incluidos en bajas dosis, pero en proporciones adecuadas fisiológicamente equilibradas, las cuales inducen un efecto estimulador sobre la absorción radicular. Este tipo de abonamiento es recomendado para plantaciones de alta productividad, de buena nutrición, sin deficiencias de elementos. Generalmente se realiza en periodos de gran demanda nutricional, o en periodos de tensiones hídricas.

### **2.7 Propósitos de la fertilización foliar**

- a) Corregir en forma rápida deficiencias nutritivas.

- b) Superar la falta de habilidad de las raíces para absorber los nutrimentos necesarios para su normal crecimiento.
- c) Suministrar los nutrimentos adecuados para la producción de frutos y semillas
- d) Disminuir pérdidas de nutrimentos en el suelo por fijación y lixiviación.

### **3. MECANISMO DE LA ABSORCIÓN FOLIAR**

La hoja es el órgano principal de absorción foliar de nutrimentos, de ahí la importancia de conocer su estructura. La hoja presenta una cutícula (membrana lipoidal), que es un obstáculo para la absorción. Debajo de la cutícula se encuentran las células de la epidermis, cubiertas por una delgada capa de pectina. La absorción de nutrimentos a través de la hoja es un proceso de múltiples pasos, e involucra la absorción superficial, penetración pasiva a través de la cutícula, y absorción activa por las células de las hojas debajo de la cutícula.

La cutícula foliar es más permeable a los cationes que a los aniones. La hidratación de la cutícula permite que ésta se expanda, apartando las concreciones cerosas sobre su superficie y facilitando con ello la penetración. Una vez que los nutrimentos pasan la cutícula, se encuentran con las membranas celulares de la epidermis, que presentan prolongaciones plasmáticas o ectocitodos, antiguamente llamados ectodesmos.

Los ectocitodos son espacios interfibrilares que aparecen en las paredes celulares que rodean espacios llenos de aire. Los ectocitodos forman un continuo que se extiende desde la parte externa de las membranas celulares hasta el límite interno de la cutícula, sin penetrar en ella. Su función principal es la de servir de vía para la excreción de sustancias, a la vez que permiten el paso de productos al exterior. Cuando los nutrimentos se encuentran en los ectocitodos, son translocados a las células epidérmicas por un proceso complejo de difusión y mediante gasto de energía metabólica. Un número alto de ectocitodos, una cutícula delgada y una gran área superficial, favorecen la penetración de nutrimentos vía foliar.

Los agentes humectantes favorecen la absorción porque disminuyen la tensión superficial de las gotas. Los agentes tensoactivos pueden desplazar el aire que se encuentra en los estomas permitiendo la entrada de los nutrimentos.

### **4. FUENTES DE FERTILIZANTES FOLIARES**

Las características principales que debe tener una fuente para el abonamiento foliar es que sea muy soluble en agua y que no cause efecto fitotóxico al follaje. Las fuentes de fertilizantes foliares se pueden dividir en dos grandes categorías: sales minerales inorgánicas, y quelatos naturales y sintéticos, que incluye complejos naturales orgánicos. Estas fuentes se formulan en polvos o cristales finos de alta solubilidad en agua, y en presentaciones líquidas.

#### **4.1 Sales minerales inorgánicas**

Las principales fuentes inorgánicas son yacimientos o minas naturales de óxidos, carbonatos y sales metálicas como sulfatos, cloruros y nitratos. Los óxidos como  $ZnO_2$ ,  $Cu_2O$  y  $MnO_2$ , pueden ser utilizados, sin embargo su disponibilidad para las plantas es muy baja ya que son compuestos muy insolubles. Las sales fueron los primeros fertilizantes foliares que se utilizaron y están constituidos principalmente por cloruros, nitratos y sulfatos. En comparación con otras fuentes, las sales son de menor costo, pero deben tomarse precauciones para su aplicación por el riesgo de causar quema o fitotoxicidad al follaje.

Los sulfatos son las fuentes más utilizadas debido a su alta solubilidad en agua y su menor Índice Salino en comparación con los cloruros y nitratos, por lo que existe menos riesgo de quema del follaje. Los óxidos son relativamente insolubles en agua lo cual dificulta su distribución en fertilización foliar, y en aplicaciones al suelo debe ser molidos finamente para ser efectivos. Los oxisulfatos son óxidos que están parcialmente acidulados con ácido sulfúrico, y también presentan un grado de solubilidad en agua muy limitada.

Los sulfatos son las principales fuentes inorgánicas y pueden ser mezclados con otros fertilizantes. Los sulfatos también suministran pequeñas cantidades de S a las plantas. Los sulfatos usualmente se presentan en cristales o polvos finos, pero pueden ser granulados para facilitar su manipulación. Los sulfatos de Fe, Cu, Zn y Mn son ampliamente usados en aplicaciones al suelo y foliares.

Los cloruros y nitratos se absorben más rápido a través de la cutícula foliar que los sulfatos, de acuerdo con los resultados de varias investigaciones realizadas. Aparentemente el efecto se debe a una mayor capacidad de permeabilizar la cutícula foliar por parte de cloruros y nitratos, y a su mayor poder higroscópico en comparación con los sulfatos. Asimismo, estas dos fuentes facilitan también la penetración foliar de otros iones disueltos en la solución de aplicación, tal y como se muestra en los resultados del Cuadro 1 con relación al incremento en la absorción de Zn en hojas de café.

La aplicación de elementos mayores como N, P y K también es una práctica frecuente. Las fuentes nitrogenadas más utilizadas son el nitrato de amonio y urea, que poseen alta solubilidad en agua. La urea es más utilizada debido a su menor Índice Salino y mayor concentración de N. Se ha demostrado que la urea estimula la absorción de otros nutrimentos debido a que aumenta la permeabilidad del tejido foliar, por lo que es muy apropiado mezclar este material junto con el fertilizante foliar. Se ha comprobado que la urea aplicada al follaje puede ser absorbida, metabolizada y translocada muy rápidamente.

El nitrato de amonio también presenta una rápida absorción, y se ha observado que cuando es aplicado junto con la urea se favorece una mayor absorción de cationes por la cutícula foliar. Otra ventaja adicional es que las gotas de las aspersiones foliares de urea y/o nitrato de amonio no se secan tan rápido en la superficie foliar debido a que son productos muy higroscópicos, lo cual favorece su absorción.

**Cuadro 1. Contenido de Zn en hojas de café en función de diferentes tratamientos de fertilización foliar**

Tratamiento	Zn (mg/kg), 1 mes después de aplicación	Tratamiento	Zn (mg/kg), 72 horas después de aplicación
Sulfato Zn 1,5%	25	Ácido bórico 0,3%	11
Acidobórico 0,75%		Oxicloruro Cu 0,5%	
Sulfato Zn 1,5%	30	Ácido bórico 0,3%	28
Ácido bórico 0,75%		Oxicloruro Cu 0,5%	
Urea 1,2%		Sulfato Zn 0,5%	
Sulfato Zn 1,5%	24	Ácido bórico 0,3%	32
Ácido bórico 0,75%		Oxicloruro Cu 0,5%	
MAP 0.6%		Sulfato Zn 0,5%	
		Urea 1%	
Sulfato Zn 1,5%	33	Ácido bórico 0,3%	120
Ácido bórico 0,75%		Oxicloruro Cu 0,5%	
Sulfato K 1.2%		Sulfato Zn 0,5%	
		KCl 0,5%	
Sulfato Zn 1,5%	54	Ácido bórico 0,3%	107
Ácido bórico 0,75%		Oxicloruro Cu 0,5%	
KCl 1,2%		Sulfato Zn 0,5%	
		Urea 0,5%	
		KCl 1%	

Fuente: Malavolta, 1990

Para que la urea sea efectiva en aspersiones foliares debe ser baja en contenido de biureto (< 0,8%) para que no cause quema en el follaje, especialmente en cultivos muy sensibles como cucurbitáceas, cítricos, café, etc.

Las fuentes de fósforo más usadas en aplicación foliar son Fosfato Monoamónico (MAP), Fosfato Diamónico (DAP), Polifosfatos, y Fosfato monopotásico. El Triple Superfosfato no es útil debido a su escasa solubilidad en agua. Como fuentes de potasio se utilizan KCl, sulfato de potasio, y nitrato de potasio siendo éste último más común debido a su menor efecto fitotóxico y presencia de nitrógeno. También se utilizan Carbonato de potasio y Fosfato monopotásico. Se ha comprobado el efecto positivo del KCl y el nitrato de potasio como coadyuvantes para mejorar la absorción de otros nutrientes mezclados en la solución de aplicación, debido a que se le atribuyen a ambas fuentes propiedades que favorecen la permeabilidad de la cutícula foliar, facilitando con ello la penetración de iones a través de ella.

Las fuentes de sales más comunes que suministran calcio y magnesio son: nitrato de calcio, nitrato de magnesio, y sulfato de magnesio. El sulfato de magnesio es quizás la fuente más tradicional para suplir Mg en aspersiones foliares. Sin embargo, algunos estudios han mostrado que el cloruro de Mg y el nitrato de Mg son más eficientes que el sulfato debido a su mayor grado de higroscopicidad (Rosolem, 1991), si bien se le atribuye al sulfato de Mg menor riesgo de fitotoxicidad al follaje. El efecto de la aplicación de diferentes sales de Mg se aprecia en el Cuadro 3 en hojas de café, que indica que el nitrato y cloruro de Mg son mejores que el sulfato.

Las sales son muy solubles por lo que tienen la desventaja de perderse fácilmente por lavado. Su velocidad de absorción es más lenta que la de un quelato. Para lograr un efecto positivo,

las sales se aplican en dosis más altas que los quelatos. Entre sus ventajas están su costo más económico comparado con los quelatos, y su mayor concentración de nutrientes.

**Cuadro 2. Fuentes de fertilizantes foliares a base de sales minerales inorgánicas**

Fuente del elemento	Fórmula	Contenido del elemento (%)
Urea	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	46
Nitrato de amonio	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	33,5
Fosfato Diamónico (DAP)	$(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$	46 <sup>1</sup>
Fosfato Monoamónico	$\text{NH}_4\text{PO}_4$	60 <sup>1</sup>
Fosfato Monopotásico	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	52 <sup>1</sup>
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	44 <sup>2</sup>
Cloruro de potasio	$\text{KCl}$	60 <sup>2</sup>
Sulfato de potasio	$\text{K}_2\text{SO}_4$	50 <sup>2</sup>
Carbonato de potasio	$\text{K}_2\text{CO}_3$	68 <sup>2</sup>
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	19
Cloruro de calcio	$\text{CaCl}_2$	36
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9,8
Kieserita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	16
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	9
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	11
Pentaborato de Na	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot \text{H}_2\text{O}$	18
Tetraborato de Na	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	14
Solubor	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	20
Ácido bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$	17
Sulfato cúprico penta	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	25
Sulfato cúprico mono	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35
Sulfato de Cu básico	$\text{CuSO}_4 \cdot 3 \text{Cu}(\text{OH})_2$	13-53
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	19
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	23
Fosfato de amonio ferroso	$\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	29
Sulfato de Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	26-28
Carbonato de Mn	$\text{MnCO}_3$	31
Molibdato de sodio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	39
Molibdato de amonio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54
Sulfato de Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	36
	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	31
Nitrato de zinc	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	18
Fosfato de Zn	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$	51

<sup>1</sup> Expresado como  $\text{P}_2\text{O}_5$ , <sup>2</sup> expresado como  $\text{K}_2\text{O}$ .

**Cuadro 3. Efecto de diferentes fuentes de Mg en el contenido del elemento en hojas de café, Turrialba, Costa Rica**

Tratamiento	% Mg antes aspersión	% Mg después aspersión
Testigo	0,33	0,41
Sulfato de Mg	0,30	0,45
Cloruro de Mg	0,38	0,53
Nitrato de Mg	0,32	0,54

Fuente: Chanchay, 1967

## 4.2 Quelatos

Los quelatos son sustancias que forman parte de muchos procesos biológicos esenciales en la fisiología de las plantas, como por ejemplo en el transporte de oxígeno y en la fotosíntesis. Muchas de las enzimas catalizadoras de reacciones químicas son quelatos. Otros ejemplos de quelatos biológicos naturales incluyen a la clorofila y la vitamina B 12. La palabra “quelato” proviene del griego “chele” que significa tenaza (Figura 1).



Figura 1. Principio de quelación de un metal

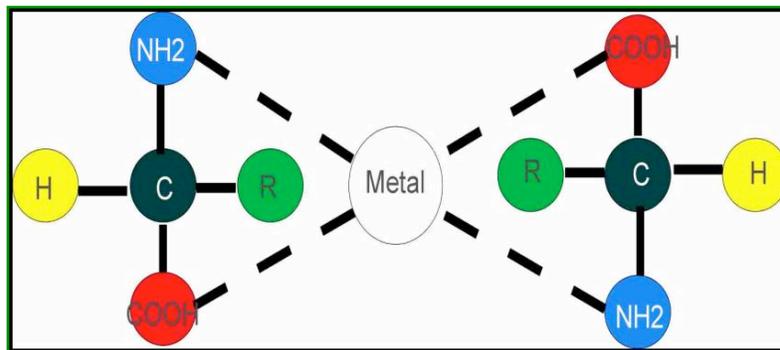


Figura 2. Esquema de un quelato

Un quelato es un compuesto orgánico de origen natural o sintético, que puede combinarse con un catión metálico y lo acompleja, formando una estructura heterocíclica (Figura 2). Los

cationes metálicos son ligados en el centro de la molécula, perdiendo sus características iónicas. El quelato protege al catión de otras reacciones químicas como oxidación-reducción, inmovilización, precipitación, etc.

El proceso de quelación de un catión neutraliza la carga positiva de los metales permitiendo que el complejo formado quede prácticamente de carga 0. Esto es una ventaja para facilitar la penetración de iones a través de la cutícula foliar cargada negativamente, y de esta forma no hay interferencia en la absorción por efecto de repulsión o atracción de cargas eléctricas. De esta forma los quelatos pueden ser absorbidos y translocados más rápidamente que las sales debido a su estructura que los hace prácticamente de carga neta 0.

Esta mayor velocidad de absorción a través de la cutícula constituye una ventaja comparativa con relación a las fuentes de sales porque hay menor riesgo de pérdida del nutrimento por lavado y aumenta la eficiencia para la corrección de deficiencias. Sin embargo, su costo es más alto que las sales y la concentración de nutrimentos es más baja, debido a que los agentes quelatantes tienen una capacidad limitada para acomplejar cationes.

Los quelatos pueden ser utilizados en aplicaciones foliares y al suelo. Todo catión polivalente es capaz de formar quelatos. La estabilidad de los quelatos difiere con el catión metálico:  $Fe > Cu > Zn > Mn > Ca > Mg$ . Los agentes quelatantes también difieren en su habilidad para combinarse con un catión metálico. La fuerza con que el catión es acomplejado por el agente quelatante puede afectar su disponibilidad para la planta

Los fertilizantes quelatados pueden ser fabricados mediante reacción química del catión metálico y el agente quelatante, o formulados mediante una mezcla física de la fuente del nutrimento y el producto acomplejante. Durante el proceso de formulación de los quelatos, los iones metálicos son incorporados dentro de la estructura del agente quelatante en forma de sales solubles, para asegurar la disponibilidad del elemento y que el producto tenga una alta solubilidad en agua que facilite su aplicación en aspersión foliar.

Los quelatos son formulados para suplir nutrimentos individuales o combinados. Es común encontrar formulaciones que contienen varios nutrimentos, a menudo incluyendo todos los micronutrimentos y algunos elementos mayores como N, Ca, Mg y S. A estas fórmulas completas se les conoce como “multiminerales”. Los quelatos para utilización en fertilizantes foliares pueden dividirse en tres categorías: sintéticos, orgánicos de cadena corta, y orgánicos naturales.

#### **4.2.1 Quelatos sintéticos**

Los quelatos sintéticos usualmente tienen una alta estabilidad. Uno de los primeros agentes sintéticos utilizados en fertilización foliar fue el EDTA (Ácido etilendiaminotetracético). El EDTA es un agente muy versátil que forma complejos con metales catiónicos de gran estabilidad. Es muy utilizado en la industria química y alimenticia, como componente de jabones, para retener el color de frutas enlatadas, y retener el sabor de salsas y mayonesas, etc.

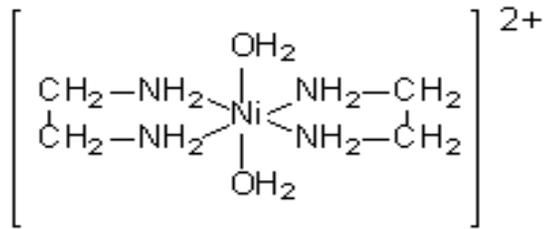


Figura 3. Quelato de EDTA

Los agentes quelatantes más fuertes, tales como el EDTA, son usados también en aplicaciones el suelo, ya que su alta estabilidad impide que el catión metálico se pierda fácilmente. El EDTA es uno de los agentes quelatantes de mayor uso en la industria de fertilizantes foliares. Otros quelatos sintéticos incluyen el DTPA y EDDHA. En el Cuadro 4 se presenta una clasificación de agentes quelatante de acuerdo con su poder acomplejante. La mayoría de los quelatos sintéticos se utilizan para acomplejar micronutrientos. En el Cuadro 5 se presenta una lista de algunos fertilizantes sintético quelatados con elementos menores.

Cuadro 4. Agentes quelatantes agrupados de acuerdo con su poder quelatante

Fuerte	Intermedio	Débil
EDTA	Poliflavonoides	Ácido cítrico
HEEDTA	Sulfonatos	Ácido ascórbico
DTPA	Ácidos húmicos	Ácido tartárico
EDDHA	Ácidos fúlvicos	Ácido adípico
NTA	Aminoácidos	
CDT	Ácido glutámico	
	Polifosfatos	

Cuadro 5. Fuentes de fertilizantes con micronutrientos y quelatos sintéticos

Fuente	Fórmula	Contenido del elemento %
Quelatos de Cu	Na <sub>2</sub> CuEDTA	13
	CaCuHEDTA	9
Quelatos de Fe	NaFeEDTA	5-14
	NaFeHEDTA	5-9
	NaFeEDDHA	6
	NaFeDTPA	10
Quelatos de Mn	MnEDTA	12
Quelatos de Zn	ZnEDTA	6-14
	NaZnNTA	13
	NaZnHEDTA	9

#### 4.2.2 Quelatos orgánicos de cadenas cortas

Los quelatos orgánicos de cadenas cortas son agentes acomplejantes muy débiles, de poca estabilidad y baja efectividad. Algunos ejemplos son los ácidos cítrico, ascórbico y tartárico.

#### 4.2.3 Quelatos orgánicos naturales

Los quelatos orgánicos naturales presentan diferentes grados de efectividad como agentes quelatantes, ubicándose la mayoría de ellos como acomplejantes intermedios. Estos agentes incluyen poliflavonoides, lignosulfatos, aminoácidos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, polisacáridos, etc. Algunas de las fuentes orgánicas naturales son fabricadas por la reacción de sales metálicas con subproductos, principalmente aquellos derivados de la industria de la pulpa de madera tales como fenoles, lignosulfatos y poliflavonoides. Estos subproductos son bastante complejos por lo que la naturaleza de las reacciones no es muy clara y podría ser similar al de los quelatos.

En los últimos años estas fuentes han tomado gran interés debido a su naturaleza orgánica y que la mayoría son de origen natural. Poseen poco riesgo de causar fitotoxicidad, lo que los hace más apropiados para aplicación foliar, y muchos de ellos tienen propiedades estimulantes del crecimiento y desarrollo vegetal. Los ácidos húmicos y fúlvicos, y los aminoácidos o proteínas hidrolizadas, los carbonhidratos, son algunos de los quelatos orgánicos más utilizados.

##### a) Ácidos húmicos y fúlvicos

Los ácidos húmicos y fúlvicos son compuestos orgánicos no muy bien definidos químicamente, que constituyen la parte más elaborada de la materia orgánica. Se derivan de diferentes materias primas originadas principalmente de yacimientos de carbón orgánico como lignitos, turbas, etc. Los ácidos húmicos y fúlvicos forman humatos y fulvatos con los cationes del suelo, con lo que evitan la retrogradación. Son capaces de fijar los nutrimentos que son aplicados con los fertilizantes al suelo, disminuyendo las pérdidas por lixiviación e inmovilización. Los ácidos húmicos son activadores de la flora microbiana del suelo con lo que aumenta la mineralización la materia orgánica y la consecuente liberación de nutrimentos a formas disponibles para las raíces de las plantas. Los ácidos húmicos y fúlvicos incrementan la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la retención de humedad. Estimulan el desarrollo de la raíz, y a nivel foliar aumentan la permeabilidad de la membrana celular facilitando la absorción de nutrimentos.

Los ácidos húmicos y fúlvicos son agentes naturales quelatantes de metales catiónicos, por lo que son utilizados para la nutrición mineral de los cultivos debido a la acción acomplejante que ejercen sus grupos funcionales carboxílicos (COOH) e hidroxílicos (OH). Estos grupos funcionales son la porción biológicamente activa de los ácidos húmicos y fúlvicos que proveen las cargas negativas que permiten que los metales catiónicos sean acomplejados en forma de quelatos. Los ácidos húmicos y fúlvicos también contienen grupos funcionales amino cargados positivamente y que pueden acomplejar aniones como fosfatos, sulfatos, nitratos, etc.

Constituyen una alternativa eficaz para la nutrición foliar de los cultivos, no solo por su capacidad de acomplejar cationes, sino además por los efectos estimulantes del crecimiento vegetal y su facilidad para incrementar la absorción foliar. Como desventajas con relación a

otras fuentes, los ácidos húmicos por lo general son de mayor costo que las sales y de menor concentración de nutrimentos debido a su capacidad más limitada para acomplejar cationes.

## b) Aminoácidos

El uso de aminoácidos en fertilización foliar es relativamente reciente y se inició a partir del desarrollo de tecnología para la fabricación de aminoácidos libres mediante diferentes procedimientos entre los que se destacan principalmente: a) síntesis química, b) fermentación bacteriana, c) hidrólisis ácida, d) hidrólisis enzimática.

El principio básico que utiliza esta tecnología para la fabricación de fertilizantes foliares es la formación de proteínas hidrolizadas en las que se incorporan los nutrimentos catiónicos como Ca, Mg, K, Fe, Cu, Zn y Mn. Estos minerales quedan suspendidos entre dos aminoácidos que conforman los grupos donadores y uno de ellos, generalmente un grupo amino ( $\text{NH}_2$ ), forma un enlace covalente complejo, mientras el otro grupo carboxílico ( $\text{COOH}$ ) forma un enlace iónico. De esta forma los iones metálicos quedan acomplejados dentro de la estructura formando un quelato orgánico. La carga iónica del metal es neutralizada por los aminoácidos en forma similar como ocurre con los quelatos sintéticos. Esto evita que el metal sea sometido a fuerzas de repulsión o atracción por las cargas negativas de la cutícula foliar facilitando la absorción.

La mayoría de los quelatos de aminoácidos son de bajo peso molecular, lo que en teoría favorecería también la entrada del quelato a través de la cutícula, las paredes celulares y las membranas celulares. Una de las ventajas más reconocidas de los aminoácidos es su rápida absorción, que en algunos casos oscila entre 1-3 horas para completar el 50% de absorción.

Otro principio que utiliza esta tecnología es que la planta recibe aminoácidos biológicamente activos de rápida absorción y translocación, lo cual reduce el gasto de energía metabólica por parte de la planta en la síntesis de proteínas. También se le atribuyen propiedades bioestimulantes en el crecimiento vegetal. Algunas desventajas de estos productos son su costo elevado en comparación con otras fuentes y su menor concentración de nutrimentos.

## 5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA FERTILIZACIÓN FOLIAR

### 5.1 Condición del cultivo

Los cultivos bajo estrés de agua y/o temperatura no responden a la fertilización foliar debido a la baja tasa de absorción y el pobre vigor de las plantas. Sin embargo, la aplicación foliar puede ser beneficiosa si se hizo antes del estrés. La aplicación de fertilizantes foliares podría recuperar plantas dañadas por periodos de frío o quema de herbicidas.

### 5.2 Condiciones meteorológicas

Las condiciones ambientales como la temperatura, humedad y velocidad del viento, tienen gran influencia en la aplicación de fertilizantes foliares. La permeabilidad del tejido foliar es un factor importante en la absorción foliar. Las condiciones cálidas, húmedas y sin viento favorecen una mejor permeabilidad de los tejidos. Estas condiciones pueden encontrarse en las primeras horas de la mañana o últimas del día. Una alta humedad relativa y temperaturas

moderadas favorecen la formación de una película más permanente de líquido sobre la superficie de la hoja y con ello se mejora la absorción.

Bajo condiciones de alta temperatura y baja humedad del ambiente, puede ocurrir una rápida evaporación de la solución aplicada, provocando a su vez una concentración de sales que podrían llegar a niveles tóxicos y eventualmente causar daños por quema del follaje.

Condiciones especiales de aplicación:

Época del día: antes de las 9 a.m. o después de 5 p.m.

Temperatura: 18 - 25 °C

Humedad relativa: > 70%

Velocidad del viento: < 5 km/h

La lluvia inmediatamente después de una aplicación de fertilizante foliar puede reducir su efectividad, ya que no todos los nutrimentos se absorben a la misma velocidad, especialmente cuando se utilizan sales como fuentes.

**Cuadro 6. Tasas de absorción foliar de nutrimentos (sales)**

Elemento	Tiempo para 50% de absorción
<b>N</b>	_ - 1 hora
<b>P</b>	5 - 10 días
<b>K</b>	10 - 24 horas
<b>Ca</b>	1 - 2 días
<b>Mg</b>	2 - 5 horas
<b>S</b>	8 días
<b>Zn</b>	1 - 2 días
<b>Mn</b>	1 - 2 días
<b>Fe</b>	10 - 20 días
<b>Mo</b>	10 - 20 días

### 5.3 Aditivos

Para lograr la máxima absorción es muy recomendable el uso de agentes humectantes y surfactantes, los cuales facilitan el humedecimiento rápido de la superficie foliar y cubrimiento más uniforme. La reducción del ángulo de contacto de la gota con la superficie de la hoja produce un efecto humectante que mejora las condiciones de absorción. En términos genéricos los surfactantes son sustancias que facilitan y acentúan las propiedades emulsificantes, adherentes, humectantes, y otro tipo de acción que modifique las propiedades de un líquido en contacto con una superficie. A continuación se presentan algunos efectos de los surfactantes sobre la absorción foliar:

- Reduce la tensión superficial del líquido aumentando la retención y grado de humedad de la superficie.

- Aumenta el contacto de la gota con la superficie al eliminar cámaras de oxígeno.
- Aumenta la permeabilidad de las membranas.
- Prolonga el tiempo de absorción.
- Actúa como co-solvente.
- Aumenta la penetración a través de los estomas.
- Facilita el movimiento en el espacio libre aparente.

Como norma general la dosis a aplicar debe ser la recomendada por el fabricante. La concentración del fertilizante puede oscilar entre 0.5 y 1% (5 - 10 g/L), aunque esto dependerá del Índice Salino de la fuente usada y de la susceptibilidad de la planta.

**Cuadro 7. Factores que afectan la eficiencia de la fertilización foliar**

Planta	Ambiente	Solución
Tipo de cutícula	Temperatura	Concentración
Edad de la hoja	Luz	Dosis
Número de estomas	Fotoperíodo	Técnica de aplicación
Tricomas	Viento	Forma química
Turgencia	Humedad relativa	Aditivos
Estado nutricional	Stress nutricional	Higroscopicidad
Variedad		pH
Crecimiento		Polaridad

**BIBLIOGRAFÍA**

- Bertsch F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, ACCS. 157.
- Boaretto A.E.; Rosolem C.A. 1989. Adubacao foliar. Vol. I y II. Fundacao Cargill, Campinas, Brasil. 669 p.
- Chanchay A.G. 1967. Efecto de la aplicación de magnesio al suelo y a las hojas sobre la concentración foliar de este elemento en el cafeto. *Turrialba* 17: 182-187.
- Domínguez A. 1993. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 217 p.
- Enyelstad O. 1985. Fertilizer technology and use. 3th ed. SSSA Madison, Wisconsin. 663 p.
- Espinoza J. 1996. La nutrición foliar. *Informaciones Agronómicas (INPOFOS)*. No.25: 4-9.
- Hignett T.P.; McClellan G.H. 1985. Sources and production of micronutrient fertilizers. *Fertilizer Research* : 237-259.
- Hsu H. 1986. Chelates in plant nutrition. In: *Foliar feeding of plants with aminoacids chelates*. California, USA. pp. 209 - 216.
- International Fertilizer Development Center. 1998. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA. 615 p.
- Kuepper G. 2000. Foliar fertilization. ATTRA Project, USDA. 11 p. <http://www.attra.org>
- Lorenz O.; Maynard D. 1988. *Knott's Handbook for vegetable growers*. 3° ed. John Wiley and Sons, New York. 456 p.
- Loué A. 1988. Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 354 p.
- Malavolta E. 1990. La fertilización foliar: Bases científicas y significado en la agricultura. *Suelos Ecuatoriales* 20(1):29-43.
- Molina E.A. 2002. Fuentes de Fertilizantes Foliare. En: Memoria, "Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones, G. Meléndez y E. Molina (Eds.). Laboratorio de Suelos, CIA-UCR/ACCS, San José, Costa Rica. p. 27-36.
- Morverdt J. 1991. *Micronutrients in Agriculture*. 2ª. ed. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. 760 p.
- Rosolem C.A. 1992. Eficiencia da adubacao foliar. In *XX Reunion Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutricao de Plantas*, Fundación Cargill, Piracicaba, Brasil. P. 315-351.
- Santos A.T., Aguilar D. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra* 17(3): 247-255.
- Segura A. 1993. Aspectos básicos de la fertilización foliar. In *IX Congreso Agronómico Nacional, Colegio de Ingenieros Agrónomos*, Vol. 1, N°70, Sesiones de actualización y perspectivas. San José, Costa Rica.
- Segura A. 2002. Principios y aplicaciones de la fertilización foliar. En: Memoria, Seminario Fertilización Foliar: En: Memoria, "Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones, G. Meléndez y E. Molina (Eds.). Laboratorio de Suelos, CIA-UCR/ACCS, San José, Costa Rica. p. 19-25.

# FERTILIZANTES DE LENTA LIBERACIÓN

---

Ing. Eloy Molina, M.Sc.  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica

[eamolina@cariari.ucr.ac.cr](mailto:eamolina@cariari.ucr.ac.cr)

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos principales de la fertilización es proveer a las plantas de los nutrientes necesarios para su desarrollo en forma ágil y eficiente, siguiendo el ritmo de crecimiento y absorción de elementos de acuerdo con su estado fenológico. Sin embargo, la fertilización no siempre garantiza que las plantas tengan acceso a los nutrientes en forma oportuna, debido a que los fertilizantes están expuestos a una serie de mecanismos en el suelo que afectan su disponibilidad. Algunos de estos procesos inciden en la pérdida de nutrientes y en la eficiencia del fertilizante, tales como la erosión, lixiviación, escorrentía, volatilización, denitrificación, fijación, inmovilización, etc.

Para reducir las pérdidas e incrementar la eficiencia, el fertilizante ideal debería ser aquel que:

- a) Requiera una sola aplicación, y partir de ella, suministrar los nutrientes que el cultivo demande durante todo su desarrollo
- b) Presentar un elevado porcentaje de absorción por el cultivo, de manera que se obtengan rendimientos altos
- c) Tener el menor impacto posible sobre el ambiente (suelo, agua, cultivo, atmósfera)

La fertilización ideal debería hacerse de tal manera que se suministrara a la planta los nutrientes en forma y cantidad que requieren en cada fase de su crecimiento. Pero esto con frecuencia es difícil de lograr porque las necesidades nutricionales varían durante las diferentes etapas de crecimiento del cultivo. El sistema ideal de fertilización sería aplicar los nutrientes en forma fraccionada y secuencial, y en las dosis y fuentes adecuadas, de acuerdo con el ritmo de crecimiento de la planta. Sin embargo, este sistema es costoso y difícil de implementar en muchos casos y cultivos. Una alternativa viable para suplir los nutrientes con un ritmo similar a las exigencias del cultivo es mediante el uso de fertilizantes de liberación controlada.

## 2. FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA O CONTROLADA

Los fertilizantes de lenta liberación (slow release) liberan los nutrientes al mismo ritmo en que las plantas los requieren. En estos productos la tasa de liberación del elemento es controlada a través del tiempo para que los nutrientes están disponibles para las plantas por un período más prolongado.

La liberación controlada se define como la transferencia lenta, moderada o gradual, de un material activo desde un sustrato de reserva a otro medio, con el fin de conseguir sobre el mismo una acción determinada (Jiménez, 1992). Con ello se consigue aumentar la eficacia del material activo prolongando su acción en el tiempo, se reduce su impacto sobre aquellos otros

medios a los que no va especialmente dirigido, se simplifica su dosificación, se evitan pérdidas por degradación, volatilización, lixiviación, etc., y en suma, se disminuye las exigencias o requerimientos de la especie activa para lograr un resultado. El proceso de liberación controlada surgió en la Industria farmacéutica, pero actualmente, el principio se aplica en las áreas de la Agricultura, Veterinaria, Ingeniería Química y utilización de sustancias industriales como las pinturas antihongos.

La aplicación de este concepto en agricultura se da en dos campos claramente definidos: los fertilizantes y los pesticidas. Los fertilizantes de liberación lenta y controlada, pueden liberar los nutrimentos de la manera requerida por cada tipo de planta según la fase de su crecimiento, lo que permite una eficiente utilización de los mismos, con el consiguiente ahorro de producto, sumado a la disminución por la contaminación por fertilizantes. Un fertilizante convencional, suministra todos sus nutrimentos en un tiempo relativamente corto; la planta toma lo que requiere al momento, perdiéndose una gran parte, asumiendo un papel contaminante o tóxico. El de liberación lenta o controlada mantiene su acción durante mucho más tiempo, lo que implica que nunca hay un exceso, al menos notable, pues pone a disposición de la planta una cantidad menor.

El uso de fertilizantes de liberación lenta ha sido muy enfocada hacia fuentes nitrogenados, en donde las pérdidas por lavado, volatilización, nitrificación, y denitrificación suelen ser mayores. Entre los posible inconvenientes, se destaca la difícil sincronización entre el ritmo de disolución y de absorción por la planta, excepto en los primeros estadios del ciclo de cultivo.

### 3. CLASIFICACIÓN DE FERTILIZANTES DE LENTA LIBERACIÓN

Los fertilizantes de lenta liberación pueden clasificarse en tres categorías principales: materiales recubiertos, productos de baja solubilidad, y materiales cuya liberación depende de microorganismos.

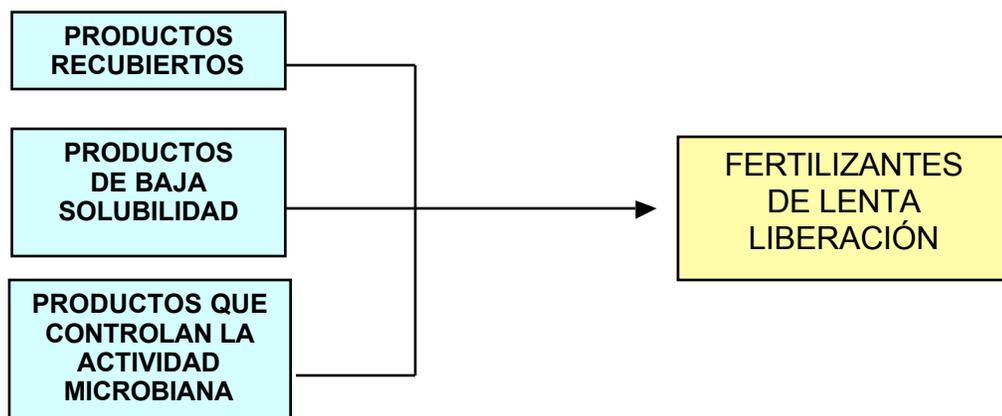


Figura 1. Clasificación de fertilizantes de lenta liberación (Jiménez, 1992)

Los fertilizantes recubiertos presentan una cubierta insoluble o poco soluble en agua, que crea una barrera física que disminuye la tasa de liberación del nutrimento. El agua penetra lentamente a través de la cubierta para disolver la sal de fertilizante dentro del gránulo. En algunos casos el recubrimiento se sustituye por una cápsula de polietileno perforado, aunque el mecanismo de liberación es similar. Los recubrimientos deben ser inactivos, biodegradables y no tóxicos.

Los productos de baja solubilidad son materiales orgánicos o inorgánicos de baja solubilidad en agua. Los materiales orgánicos son los más comunes, tales como productos de urea con aldehídos, formaldehídos, isobuti-aldehído, crotonaldehído, etc. Estos productos se descomponen lentamente en el suelo por acción química o biológica, liberando el nitrógeno en forma amoniacal.

Otro tipo de fertilizante de lenta liberación consiste en incorporar a los fertilizantes nitrogenados convencionales, sustancias que inhiben los procesos de nitrificación o denitrificación. En realidad son reacciones redox que se ven inhibidas por la acción de una sustancia sobre la actividad enzimática que favorece el proceso. Algunos inhibidores de nitrificación son la nitroforina, disulfuro de carbono, urotropina, etc. En el caso de la urea, se inhibe la actividad de la ureasa, que es la enzima responsable de la hidrólisis de la urea para convertirla en amonio.

### **3.1 Fertilizantes recubiertos**

Un fertilizante recubierto está formado básicamente por dos componentes: la sal y la cubierta. La sal puede ser cualquier material fertilizante que contenga uno o más nutrimentos, generalmente se utilizan urea, nitrato de amonio, nitrato de potasio, fosfatos de amonio, etc. Los abonos recubiertos son materiales convencionales que se presentan en forma de gránulos envueltos en una membrana semipermeable que está constituida por una sustancia insoluble o de baja solubilidad en agua. La disolución del fertilizante se produce lentamente conforme el agua va atravesando el recubrimiento. La membrana se va rompiendo, debido al gradiente de presión osmótica (mayor en el interior del gránulo), liberando los nutrimentos de forma progresiva.

Las sustancias más empleadas como recubrimiento son: azufre, resinas, caucho, parafinas, plástico perforado, etc.

El tamaño de la partícula posiblemente es un factor que influye en la tasa de liberación de los nutrimentos. Así, en el caso del arroz anegado, se ha descubierto que el empleo de urea en partículas grandes de hasta 3 gramos de peso (macrogránulos o supergránulos), reduce en gran medida las pérdidas de amoníaco, ya que dichos gránulos se hunden en el suelo inundado, disminuyendo la volatilización, la nitrificación y la denitrificación del amoníaco que se produce. Esto se explica por la disminución en la tasa de hidrólisis de la urea y el aumento de la difusión descendente de la urea y del amoníaco. Además, la concentración de amoníaco en las proximidades de estos macrogránulos también puede resultar tóxica para los nitrificantes.

#### **3.1.1 Urea recubierta de azufre (SCU)**

La urea recubierta con azufre ha tenido un gran desarrollo comercial en el área de fertilizantes de liberación controlada en los últimos años, caracterizándose por una disminución en los costos de producción y por las elevadas cantidades de azufre que se incorporan en el proceso.

Es el abono recubierto de uso más extendido. Se obtiene rociando azufre derretido de forma uniforme sobre la urea en un tambor rotatorio. La cantidad de azufre oscila entre el 15 y el 19% del peso total del producto, según la eficacia del recubrimiento que se desee, para ajustarlo a las necesidades del cultivo, y el tamaño y forma de los gránulos. A mayor contenido de azufre, más lenta es la liberación de N. La temperatura también puede influir en dicha liberación, no ocurriendo lo mismo con la humedad y el pH. Sobre los gránulos recubiertos de azufre se rocía un compuesto (cera microcristalina, polietileno, etc.), que constituye un 2% del peso total.

El contenido de N varía entre un 30 y 37%, dependiendo de la cantidad de azufre empleado en el revestimiento.

Según las experiencias llevadas a cabo en diversos países (Estados Unidos, Filipinas, India, etc.), se ha demostrado la gran utilidad de la urea revestida de azufre en arroz bajo condiciones de deficiencia hídrica y para cultivos de larga duración (céspedes, praderas, etc.). No obstante, no resulta efectiva en cultivos que requieren grandes cantidades de nitrógeno en un período relativamente corto (maíz, trigo, etc.).

Este fertilizante resulta seguro, presenta una buena conservación y puede mezclarse con otros productos, excepto con nitratos. Sin embargo, el recubrimiento de azufre no ofrece seguridad en el caso de los nitratos, siendo por tanto la urea el abono más apropiado, dada su elevada concentración de nitrógeno y sus condiciones físicas. Otros abonos recubiertos de utilización más restringida son: el nitrosulfato amónico recubierto de yeso o parafina, el nitrato amónico recubierto de resina, la urea con fosfato amónico-magnésico, la urea con laca en escamas, etc.

### **3.1.2 Fertilizantes recubiertos con polímeros**

Estos productos están recubiertos con pequeñas cantidades de una película plástica de alta calidad. Uno de los fertilizantes más conocidos con esta tecnología son los Osmocotes, que utilizan una resina orgánica para encapsular los nutrimentos. El recubrimiento en este producto es una cubierta termosellante, cuyo componente mayoritario es un copolímero del dicitropentanodieno con un ester de glicerol derivado de la soya. Aplicado en varias capas sobre una sal fertilizante permite incorporar ésta a la solución del suelo por medio de intercambio osmótico.

La tecnología de fabricación de Osmocotes ha permitido diseñar fórmulas completas que se adaptan a diferentes necesidades de los cultivos (Osmocotes 12-4-12, 24-4-8, 19-6-10, 15-9-12, 14-14-14, 18-6-12, etc).

El factor que controla el suministro de nutrimentos en los fertilizantes recubiertos con resinas plásticas, es la diferencia de presión de vapor entre el interior y el exterior de la película que constituye la cápsula. Este tipo de recubrimiento no se ve afectado por las características físico-químicas o biológicas del suelo, ni por su contenido de agua. Solamente la temperatura influye en la velocidad de su disolución

## 3.2 Fertilizantes de baja solubilidad

Son abonos que requieren gran cantidad de agua para su completa solubilidad, asegurando una baja concentración de N en la disolución nutritiva. Pueden utilizarse productos orgánicos e inorgánicos. Entre los primeros destacan: urea-formaldehído, isobutilendiurea (IBDU), crotoliden diurea (CDU), oxamida, etc. Los productos inorgánicos generalmente son fosfatos dobles de amonio y un metal, como en el caso del fosfato amónico-magnésico.

### 3.2.1 Urea Formaldehído

Los compuestos de urea formaldehído son polímeros resultantes de la condensación de la urea y el formaldehído. Existe toda una serie que va desde los relativamente solubles hasta los totalmente insolubles, dependiendo de la proporción entre la urea y el formaldehído. Estos polímeros se distinguen por el número de grupos metileno y el número de esqueletos de urea en la molécula.

Son materiales granulares de color blanco y un contenido en nitrógeno que oscila entre el 38 y 40%. Hay que tener en cuenta que la fuente de nitrógeno lentamente disponible es insoluble en agua fría. Por tanto, el efecto del fertilizante se ve afectado por las altas temperaturas y, adicionalmente, por un pH bajo y una elevada actividad microbiana.

Estos compuestos pueden usarse como fertilizantes nitrogenados para la aplicación directa a los cultivos o puede incluirse en los fertilizantes complejos N-P-K. Son particularmente útiles en aplicaciones a céspedes, cultivos hortícolas y cultivos especiales, aunque el costo por unidad de nitrógeno es elevado.

### 3.2.2 Isobutilendiurea (IBDU)

Es uno de los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación más empleados. Se obtienen de compuestos formados a partir de la reacción de la urea con aldehídos saturados, tales como el propinaldehído, normal e isobutilaldehído, aunque es éste último el que le da nombre y el que realmente constituye la IBDU.

Este producto es un polvo cristalino blanco que contiene aproximadamente un 32% de N muy poco soluble en agua (0,01-0,1 g/100 mL). Se hidroliza con mayor rapidez en solución ácida. Se comercializa en Alemania y Japón y puede incorporarse a fertilizantes complejos en forma de compuestos granulares, de modo que una proporción considerable del N es aportada como IBDU.

La temperatura influye en la tasa de transformación de la IBDU disuelta a amonio y nitrato. La IBDU, una vez incorporada al suelo, vuelve a hidrolizarse a isobutilaldehído y urea. A temperaturas cálidas y bajo invernadero, la IBDU puede producir lesiones terminales y necróticas en la planta. Funciona bien en exteriores y céspedes, hortícolas, frutales y arroz.

### 3.2.3 Crotonilidendiurea (CDU)

Se fabrica mediante reacción del crotonaldehído con la urea en una proporción molar 1:2, en medio acuoso. Se obtiene 2-oxo-4-metil-6-ureido-hexahidropirimidina. Su contenido en nitrógeno es del 28%, con aproximadamente un 10 % en forma de nitrato. Según pruebas llevadas a cabo en Alemania, este fertilizante proporciona un suministro prolongado y equilibrado de N al centeno y al trigo, cuando se desarrollan en contenedores, siendo las pérdidas por filtración insignificantes y resultando el de mejor tolerancia para el trigo y el girasol aplicado en proporciones altas. Los estudios de campo con la rotación maíz-trigo-avena confirmaron la liberación controlada del nitrógeno y las escasas pérdidas por infiltración.

### 3.2.4 Oxamida

La oxamida,  $(\text{CONH}_2)_2$ , es muy poco soluble en agua fría y se ha propuesto como fertilizante de lenta liberación. Puede fabricarse mediante la acción del amoníaco sobre metil o etil oxalato o mediante calentamiento de oxalato amónico. Contiene un 31,8 % de nitrógeno.

En los suelos se hidroliza de acuerdo con las siguientes reacciones:



El amoníaco liberado es nitrificado. La conversión de oxamida en nitrógeno en forma de nitrato en los suelos se ve significativamente influida por el tamaño de las partículas individuales y su pauta de disponibilidad en el suelo está determinada por la distribución de los tamaños de las partículas en el producto.

### 3.2.5 Fosfatos metal-amonio

El fosfato amónico-magnésico, de fórmula  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , contiene aproximadamente un 8% de N y un 44% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Es una forma de nitrógeno lentamente disponible adecuada para césped, frutales y cultivos especiales. Puede aplicarse a los cultivos, incluso directamente sobre la hierba, con poco o ningún daño para las plantas.

#### 4. FERTILIZANTES CON INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN

La nitrificación es el proceso biológico que ocurre en el suelo mediante el cual el amonio se transforma en nitrato, tal y como se ha descrito en el capítulo de fertilizantes nitrogenados. La nitrificación presenta desventajas en el manejo de fertilizantes nitrogenados amoniacales:

- a) Contribuye a aumentar las pérdidas de N por denitrificación, lavado y arrastre por flujo de masas.
- b) Puede contribuir a incrementar el contenido de nitritos en el suelo.
- c) Favorece el incremento en la acidez de suelo a mediano plazo.
- d) Incrementa el contenido de nitratos en aguas subterráneas.

Los inhibidores de nitrificación son ideales para retrasar la conversión del  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ , y de esta forma mejorar la eficiencia del fertilizante nitrogenado. Las principales pérdidas de N cuando se aplican fertilizantes amoniacales y de la urea, se producen después de su conversión a  $\text{NO}_3^-$ . Existen ciertos materiales que son tóxicos para las bacterias nitrificantes y cuando se añaden al suelo, pueden inhibir temporalmente la nitrificación. Por tanto, reducen las pérdidas de  $\text{NO}_3^-$  por lixiviación y denitrificación y se aumenta el rendimiento de los fertilizantes amoniacales, así como del N- $\text{NH}_4^+$  que se origina a partir de la descomposición de la materia orgánica en el suelo.

La inhibición no debe ser total y estos productos deben ser selectivos, de forma que sólo actúen sobre los microorganismos nitrificantes, y no sobre otros microorganismos de las plantas. Estos productos resultan muy efectivos en suelos arenosos, para evitar el lavado de los  $\text{NO}_3^-$  y en suelos encharcados, para evitar la denitrificación.

Son productos derivados de la pirina y la pirimidina y entre ellos el más empleado es la nitrapirina o 2-cloro-6-(triclorometil) piridina (N Serve). Se aplica principalmente en cereales (trigo, maíz y algodón) a 0,30-0,55 kg/ha de producto activo. A dosis superiores los productos pueden verse alterados. Su persistencia en el suelo es de 2-3 meses y se elimina por volatilización y degradación a otros compuestos.

Otros inhibidores de uso menos extendido son: tiourea, diciandiamida, fenil isotiocianato, sulfatazol, algunas triazinas, etc. Estas sustancias consiguen los mismos resultados, en cuanto a inhibición de la nitrificación, que aquellas que esterilizan parcialmente el suelo, tales como la mezcla de 1,3-dicloropropeno y 1,2-dicloropropano (DD), y 2-amino-4-cloro-6-metil pirimidina.

#### 5. MANEJO DE FERTILIZANTES DE LENTA LIBERACIÓN

Los fertilizantes de lenta liberación no necesitan ser aplicados tan frecuentemente como otros fertilizantes, y se pueden utilizar dosis más altas sin riesgo de causar quema o fitotoxicidad en las plantas. Los cultivos pueden utilizar el N de fertilizantes de liberación lenta en forma más eficiente puesto que el producto está permanentemente liberándose por un período prolongado de tiempo. Esto es particularmente útil en climas muy lluviosos, en suelos

arenosos, en plantas cultivadas en medios de crecimiento muy porosos, y en cultivos de ciclo largo o perennes.

Los fertilizantes de lenta liberación son más caros que los abonos convencionales. Su costo puede ser de 3 a 4 veces superior. Esto ha limitado su uso a cultivos de alto valor económico como hortalizas, frutales, zonas verdes, canchas de golf, jardines, cultivos ornamentales, viveros y árboles jóvenes. Otro aspecto que limita su empleo ha sido el escaso conocimiento acerca del mecanismo de acción del abono, la dosis más apropiada, y el tiempo de liberación en campo bajo diferentes condiciones de clima y suelo. En el cuadro 1 se presenta una comparación entre diferentes tipos de fertilizantes.

**Cuadro 1. Ventajas y desventajas de diferentes tipos de fertilizantes**

<b>Tipo</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Lenta liberación</b>	Menos aplicaciones Bajo riesgo fitotóxico Liberación controlada Mayor eficiencia	Alto costo Disponibilidad limitada Tasa de liberación no siempre coincide con exigencias de plantas
<b>Convencional</b>	Rápida acción Fácil disponibilidad Bajo costo	Mayor riesgo fitotóxico Pérdidas por lixiviación, etc Acidificación de suelo
<b>Orgánico</b>	Bajo efecto fitotóxico Relativa liberación lenta de nutrientes Mejorador de suelo Favorece microorganismos Favorece raíces	Alto costo de transporte Limitaciones de materia prima Riesgo de manipulación por olor e insectos Mayor costo por unidad de nutrimento

La utilización de fertilizantes de lenta liberación en una escala mayor que la actual depende sobre todo de aspectos económicos. Su mayor eficiencia puede permitir reducir las cantidades de fertilizante a aportar o maximizar la eficiencia de los nutrientes suministrados. Sin embargo, el precio más elevado de estos fertilizantes restringe su uso ante la incertidumbre de los resultados a obtener. Se requiere investigación a mayor escala para evaluar la eficiencia agronómica de estos materiales y su relación costo/beneficio, especialmente bajo condiciones de clima tropical.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Domínguez A. 1993. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 217 p.
- Enyelstad O. 1985. Fertilizer technology and use. 3th ed. SSSA Madison, Wisconsin. 663 p.
- Hignett T. 1985. Controlled release fertilizers. Fertilizer Manual, Nijhoff/Junk Publishers, Holanda. p.278-283.
- International Fertilizer Development Center. 1998. Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA. 615 p.
- Jiménez, S. 1992. Fertilizantes de liberación lenta. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 146 p.
- Lorenz O.; Maynard D. 1988. Knott's Handbook for vegetable growers. 3° ed. John Wiley and Sons, New York. 456 p.
- Quirós T. 2002. Fertilizantes de lenta liberación (revisión bibliográfica). Curso Fertilizantes y Enmiendas, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, UCR, San Pedro. 11 p.
- Salas R.; Molina E.; Castro A. 1995. Efecto de dosis y fuentes de fertilizantes nitrogenados de inmediata y lenta liberación en el cultivo de la fresa (*Fragaria x ananasa cv Chandler*). Agronomía Costarricense 19(2): 1-6.
- Tisdale S. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5ª ed. McMillan Co., Columbus, Ohio. 454 p.

# ABONOS ORGÁNICOS MANEJO DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA Y DE LOS ASPECTOS BIOLÓGICOS DEL SUELO

---

Ing. Floria Bertsch M. Sc.  
Centro de Investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo  
[fbertsch@cariari.ucr.ac.cr](mailto:fbertsch@cariari.ucr.ac.cr)

## 1. MANEJO DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA Y AGRICULTURA ORGÁNICA

Pese a que hay que reconocer que el principal motor que reimpulsó la actividad en relación con el manejo de la Fracción Orgánica y los Abonos Orgánicos en el país y en el mundo en general, fue el auge de la Agricultura Orgánica, la práctica del abonamiento orgánico es tan vieja como la agricultura misma, y su valor ha sido reconocido desde siempre. Lo que ocurrió es que durante mucho tiempo, por el mayor grado de complejidad que representa su comprensión dentro del sistema productivo, esta área se mantuvo como una actividad poco cuantificada y sistematizada dentro de la agricultura. También, ante la alta tecnología de fertilización surgida junto con la revolución verde, durante mucho tiempo, resultó mucho más fácil puntualizar las desventajas e incomodidades de manejo de los abonos orgánicos que sus indudables virtudes.

La profundización en el conocimiento y manejo de la parte biológica y orgánica del suelo no contó ni con los recursos de investigación necesarios, ni con el apoyo del productor como práctica viable sino hasta hace escasos 10 años.

Para bien de todos, la Agricultura Orgánica, -como una alternativa de manejo para algunos sistemas de producción y cuyo éxito se sustenta en una sobrevaloración del precio de venta del producto obtenido, al certificarse que durante el desarrollo del cultivo fueron usados como insumos al sistema, única y exclusivamente, productos de origen estrictamente natural-, irrumpió en el panorama agrícola de la mano de toda una concepción de producción más acorde con el ambiente que indudablemente ha revolucionado el curso de la cultura agrícola que se practicara de aquí en adelante.

### **Rizosfera**

Unido al manejo de la fracción orgánica aparece indiscutiblemente la necesidad de incrementar la comprensión de la rizosfera, esa zona en la que la vinculación suelo-raíz es tan fuerte que realmente se constituye en un ambiente particular. En esta zona, tanto la actividad química como la biológica, producto de la interacción de fases, adquiere dimensiones mayores que deberán irse, cada vez más, considerando y cuantificando en forma independiente al resto del grueso del suelo.

## 2. TIPOS DE ABONOS ORGÁNICOS

Se entiende por “abono orgánico” o “biofertilizante” (en su significado más amplio) cualquier tipo de producto que se utilice para el manejo de los suelos (como enmienda, o como aportador de nutrientes) cuyo origen sea principalmente orgánico (Soto, 2003), esto es, que sea producto de la actividad de otro organismo vivo.

En esta definición se incluye entonces desde los desechos directos de cualquier organismo sea vegetal, animal o “humano”, hasta todos aquellos productos originados por algún proceso que involucre actividad biológica. En este sentido, según su procedencia se pueden clasificar en naturales y fabricados.

### Naturales

Dentro de los naturales destacan cualquier tipo de residuo vegetal, las excreciones y subproductos de origen animal y los residuos urbanos. En este último grupo es posible identificar gran diversidad de tipos: basura residencial, de mercados, del comercio, de hospitales, de calles, etc., cada una con características particulares.

### Fabricados

Cuando se habla de abonos orgánicos fabricados se hace referencia a:

- los diferentes tipos de compost que se pueden producir, incluyendo aquellos que son reforzados con productos químicos con el afán de mejorar su calidad,
- el bocashi,
- el lombrí o vermicompost,
- los biofertilizantes propiamente dichos que involucran la inoculación de un organismo vivo (Acuña 2003),
- los extractos de ácidos húmicos y fúlvicos,
- los extractos de algas u otros organismos,
- los biofermentos
- el efluente del biodigestor durante la producción de biogás
- otros

Una descripción general de cada uno de estos productos (Soto, 2003) y su disponibilidad y abundancia general en el mercado nacional (Carballo, 2003) se presenta a continuación:

**COMPOST:** Producto resultante de un proceso biológico controlado que transforma alguno o varios tipos de materiales orgánicos a humus a través de la descomposición aeróbica.

**COMPOST REFORZADO:** Compost al que, durante las últimas etapas de su fabricación se le adiciona algún otro producto orgánico o mineral para reforzar alguna o varias de sus características nutritivas.

**BOCASHI:** Abono orgánico originado a partir de una receta japonesa, que aunque al igual que el compost se elabora a partir de un proceso aeróbico, resulta en un producto de descomposición incompleta que se obtiene en menor tiempo. Durante su proceso se maneja una mayor frecuencia de volteo, por lo que las temperaturas que alcanza son menores. Se

inicia con una humedad igual al compost (60%) pero, a diferencia del compost, ésta se deja descender progresivamente hasta que llega a disminuir la actividad microbiana. Esto es lo que permite dar por terminado la preparación del producto sin que haya ocurrido una descomposición total. Al constituir un proceso de compostaje incompleto, al ponerlo nuevamente en campo en presencia de agua reinicia actividad de allí que se le atribuya una incorporación mayor de población microbiana, posibilidades de un mayor aporte de nutrimentos a corto plazo y mayores riesgos de calentamiento o “quema de raíces” durante su uso. Todos estos criterios deben tenerse en cuenta para su manejo adecuado (Soto y Meléndez, 2003).

La receta original introducida por los japoneses consiste en mezclar: 1 saco de gallinaza, 1 saco de granza, 2 sacos de tierra, 1 saco de semolina de las limitaciones para adquirir arroz o salvado, 1 saco de carbón molido y 1 litro de melaza (Sasaki et al 1994, Soto, 2003). Por algunos de estos materiales, los agricultores han ido sustituyendo la receta con ingredientes locales, por lo que actualmente se llama “bocashi” al proceso de producción más que a la receta en sí.

Una comparación muy útil para establecer las características diferenciadas entre el compost y el bocashi se presenta en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Comparación entre el proceso de compostaje y el bocashi**

<b>Característica</b>	<b>COMPOST</b>	<b>BOCASHI</b>
Producto final	Sustancias húmicas	Materia orgánica en descomposición
Temperaturas máximas	65-70° C	45-50° C
Humedad	60% durante todo el proceso	60% al inicio, y se deja descender rápidamente
Frecuencia de volteo	Regida por temperatura y CO <sub>2</sub>	Una o dos veces al día
Duración del proceso	De 1 a 2 meses	De 1 a 2 semanas

Fuente: Soto G, 2003.

**LOMBRICOMPOST o VERMICOMPOST:** Producto resultante del proceso biológico de transformación de materiales orgánicos a humus, a través de una descomposición aeróbica realizada principalmente (o específicamente) por lombrices. Resultan productos muy procesados, altamente estabilizados y probablemente de menor aporte nutricional que otros, aunque con excelentes condiciones para mejorar los aspectos físicos del suelo.

**BIOFERTILIZANTES:** Aunque este término se puede usar en forma genérica para referirse a todos los productos fertilizantes con algún tipo de influencia biológica es más común limitar su uso para aquellos productos que contienen algún organismo vivo que al ser inoculado al suelo propicia algún fenómeno que incrementa el contenido de nutrientes hacia las plantas (Acuña, 2003). Algunos ejemplos de biofertilizantes son:

- Rhizobium como bacteria simbiótica fijadora de N,
- Azotobacter y Azospirillum, como bacterias de vida libre fijadoras de N,

- las fosforinas, como bacterias solubilizadoras de P insolubles a la planta,
- y las micorrizas como hongos asociados al sistema radical que lo prolongan y por lo tanto incrementan la capacidad de absorción de P y otros nutrientes.
- Algunos otros productos enriquecidos con hongos antagonistas o supresores que actúan en el suelo, como *Trichoderma* o *Streptomyces* también se incluyen con frecuencia en estas listas. Su acción fertilizante puede considerarse indirecta pues al evitar el daño del sistema radical por otros patógenos mejoran la capacidad asimiladora de la planta.

**EXTRACTOS DE ACIDOS FULVICOS Y HÚMICOS:** Productos provenientes de extracciones líquidas efectuadas a materiales de turbas o de compost terminados ricos en productos húmicos.

**EXTRACTOS DE ALGAS:** Productos preparados a partir de extracciones en algas.

**BIOFERMENTOS:** Fertilizantes en su mayoría para uso foliar que se preparan a partir de fermentaciones de materiales orgánicos. En el país es común el uso biofermentos a base de lombrices, de excretas de ganado vacuno, y de frutas.

**EFLUENTE DEL BIODIGESTOR:** Producto residual del proceso de un biodigestor, que consiste en la transformación de materiales orgánicos (principalmente excretas animales) a gas metano por medio de la acción de organismos bajo condiciones totalmente anaeróbicas. Al final resulta un material sólido muy fino, prácticamente inorgánico, pero dado que en su proceso medió en forma activa la acción biológica puede incluirse en esta lista.

**OTROS:** Como biofertilizantes también se incluyen en los registros nacionales productos como los quelatos (aunque no necesariamente todas las moléculas quelatantes son de origen biológico) y todos aquellos enriquecidos con vitaminas, carbohidratos, aminoácidos y fitohormonas, generalmente para uso foliar. Aunque para algunos de ellos sus efectos podrían catalogarse más fisiológicos que nutricionales, la legislación nacional brinda un camino mucho más fácil para ser registrados en esta línea, y por lo tanto ha sido usada en abundancia.

En el país, según datos recopilados por Carballo (2003), existen 233 productos registrados que contienen algún componente que podría hacerlos catalogar como biofertilizantes, los cuales son distribuidos o producidos por 52 empresas.

Entre estos productos hay una gran diversidad, aunque la mayoría lo que contienen es algún quelato de tipo orgánico (ácidos húmicos, fúlvicos, algas, etc) en pequeñas cantidades y por lo general se usan vía foliar. Incluso es probable que en esa lista estén incluidos productos fabricados con quelatos sintéticos. La acción de productos como estos es muy variable, y al igual que persiste aún con los productos foliares inorgánicos, la efectividad de los mismos es poco documentada y poco predecible.

Como este documento se ha orientado principalmente a los abonos orgánicos al suelo, en el Anexo 1 se presenta una lista con el detalle del número de registro, nombre comercial del producto, nombre de la compañía que lo distribuye o produce, y una composición general de los principales abonos orgánicos de uso al suelo, registrados en Costa Rica.

En forma general, en cuanto a características en común, el grupo de abonos orgánicos está constituido por una gran gama de productos diferentes que:

- varían según el organismo que los origine,
- pueden ser procesados de muy diversas maneras y por lo tanto generar muy diversos productos resultantes, y
- siguen cambiando o modificándose con el tiempo pues en forma general están sujetos a la actividad biológica.

Esto obliga a que, para usarlos en forma exitosa exista la necesidad de conocerlos y caracterizarlos en forma bastante particular. A diferencia de las fuentes fertilizantes minerales, son pocas o diferentes las generalizaciones que se pueden establecer sobre las características de los abonos orgánicos. De igual manera resulta fundamental la consideración de más factores para poder estimar las cualidades de cada producto y prever con un grado respetable de acierto los efectos específicos de los abonos orgánicos.

### **3. CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA**

Desde un enfoque de sistemas, cualquier aporte de abonos orgánicos a un agroecosistema, enriquece de inmediato la fracción orgánica del suelo y por lo tanto, para caracterizar los abonos y valorar su repercusión, es importante también caracterizar y entender el papel que juega esta fracción orgánica dentro del sistema.

La fracción orgánica esta estructurada en forma particular según sean las características de las otras fracciones (la mineral u inorgánica, la coloidal, la líquida y la gaseosa) según el tipo de suelo. Dentro de ella hay que reconocer, por lo menos, tres tipos de componentes funcionando en forma integrada:

- La fase viva propiamente dicha, conformada por los diferentes tipos de organismos presentes (macro y micro)
- Los residuos o compuestos en proceso de descomposición, altamente sujetos a la actividad biológica
- El componente húmico más o menos estabilizado en el sistema, con poca actividad biológica, pero con importantes repercusiones químicas y físicas sobre el sistema (Bertsch 1995, Meléndez 2003).

Las dimensiones de cada uno de estos componentes, sus interrelaciones y sus vinculaciones con el resto de las fracciones del suelos son los responsables de los diferentes efectos que los compuestos orgánicos tienen sobre los sistemas de producción.

#### **Fase viva**

El tipo de organismos existentes en un sistema suelo es muy diverso, cambiante y altamente dependiente de los otros dos componentes o tipo de materiales orgánicos que existan en el sistema, en especial el de residuos en proceso de descomposición, pues son estos productos los que le sirven de sustrato alimenticio.

Por eso, su caracterización es difícil de generalizar, y aún más al aumentarse la fracción por el uso de abonos orgánicos, pues la diversidad aumenta. No obstante, sea cual sea el tipo de materiales orgánicos que se adicionen, en general, se acepta en forma casi indiscutible que un incremento de los mismos, estimula el fortalecimiento de la vida microbiana con las consecuentes ventajas que este factor induce sobre la biodiversidad edáfica, la aireación y en forma global, sobre el aumento en la estabilidad o capacidad amortiguadora y de respuesta del sistema suelo (Soto 2003). Este efecto será discutido con mayor detalle más adelante, sin embargo dada su relevancia es importante dejarlo establecido desde el principio.

### **Residuos o compuestos en proceso de descomposición**

Los residuos pueden iniciar su contacto con el suelo de dos maneras (Meléndez 2003): se depositan sobre la superficie del suelo en forma natural o por manejo agronómico, o entran en contacto directamente con toda la masa de suelo, al provenir de las raíces que se mueren, o porque fueron incorporados en forma mecánica revolviéndolos con la capa superficial.

En cualquiera de los casos la transformación de los residuos obedece a la utilización de los mismos por parte de macro y microorganismos como fuente de energía y nutrientes dentro de la cadena alimenticia natural, o sea que en realidad lo que está ocurriendo es un “proceso de alimentación” de algunas poblaciones de organismos del ecosistema y como tal es conveniente visualizarlo para facilitar la definición del manejo más apropiado. El proceso de descomposición puede o no requerir  $O_2$  directo, según los organismos involucrados pero siempre implica la liberación de  $CO_2$  y de los nutrientes contenidos en los residuos que no son usados por los microorganismos.

Del 75 al 90% de los restos orgánicos están constituidos por agua (Meléndez 2003), y algunos de los compuestos orgánicos principales que contienen esos residuos son:

**Carbohidratos:** Incluye los mono y polisacaridos, dentro de los cuales, la celulosa es uno de los más importantes.

**Aminoácidos:** Como estructura base de las proteínas, se presentan en forma de di, tri o polipéptidos.

**Grasas, ceras y resinas:** Son sustancias de reserva que se acumulan en diferentes órganos de las plantas, principalmente en las semillas.

**Ligninas:** Son los componentes básicos de los tejidos leñosos y son los más resistentes.

### **Sustancias húmicas del suelo**

Así se llama al complejo grupo de compuestos orgánicos de color marrón, pardo y amarillo que se extrae del suelo por medio de soluciones de álcalis, sales neutras y disolventes orgánicos (Meléndez 2003) y que probablemente se acumularon en el suelo producto de la resíntesis efectuada por los microorganismos a partir de la descomposición de otros residuos orgánicos.

Se distinguen 3 grupos principales: los ácidos húmicos propiamente dichos, los ácidos fúlvicos y las huminas (Meléndez, 2003).

**ACIDOS HÚMICOS:** Aunque hay muchos tipos su estructura es muy semejante. Son geles oscuros compuestos por largas cadenas carbonadas ricas en grupos carboxilos e hidroxilos fenólicos. La cantidad de grupos metoxílicos ( $OCH_3$ ) que presentan sirve para valorar su

madurez: en ácidos húmicos menos maduros el contenido fluctúa entre 6-8%, y en productos ya totalmente formados disminuye a 1-2%. A la fracción más soluble de este grupo se les llama Ácidos Himatomelánicos.

**ACIDOS FÚLVICOS:** Se distinguen de los húmicos por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono (menos del 55%) y por su mayor solubilidad. Se considera que son los representantes menos maduros de las sustancias húmicas. Contienen cantidades importantes de N.

**HUMINAS:** En este grupo se engloban las sustancias que no se extraen con soluciones alcalinas y que por lo general se encuentran muy unidas a la parte mineral del suelo.

En busca de esclarecer el papel que juega la fracción orgánica específicamente en la fertilidad de los suelos, se han desarrollado modelos conceptuales y matemáticos (Smith 1979, Paul 1984, Theng et al 1986 (Figura 1), Parton et al 1987 (Figura 2)) que tratan de describir los procesos de formación, tasas de reciclaje y liberación de los diferentes componentes de la fracción orgánica. El modelo Century, esquematizado por Parton et al 1987 (Figura 2) expresa en forma clara las fracciones en términos de carbono e incluye además otros posibles componentes asociados a los aportes que recibe el suelo provenientes de los abonos orgánicos.

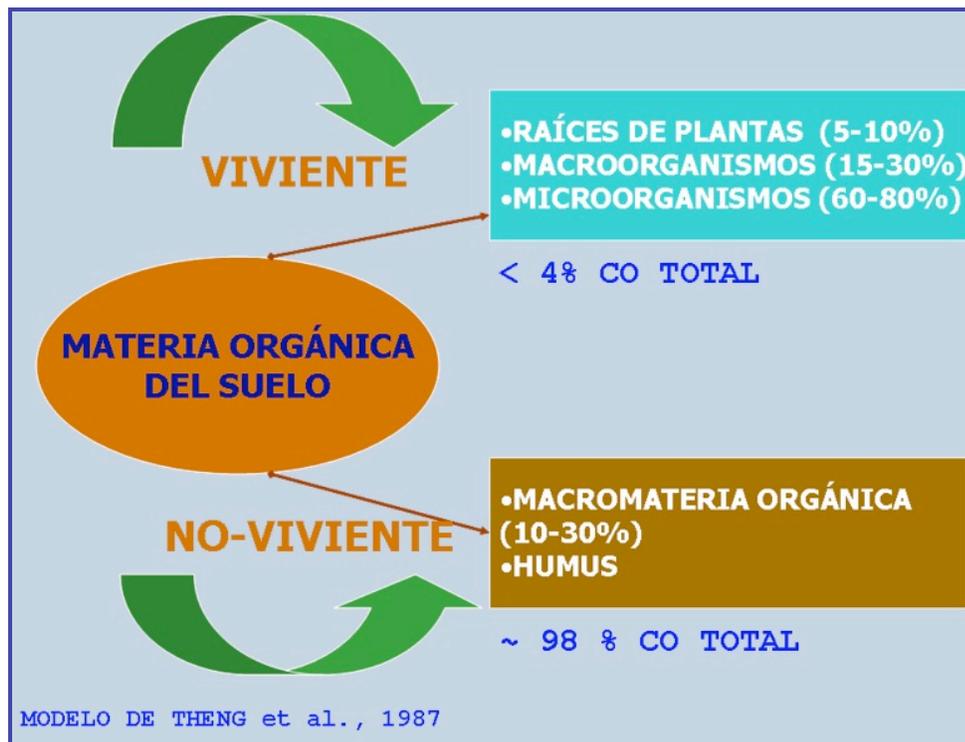


Figura 1. Modelo simplificado de Theng para describir las fracciones que componen la materia orgánica del suelo (Citado por Meléndez, 1997)

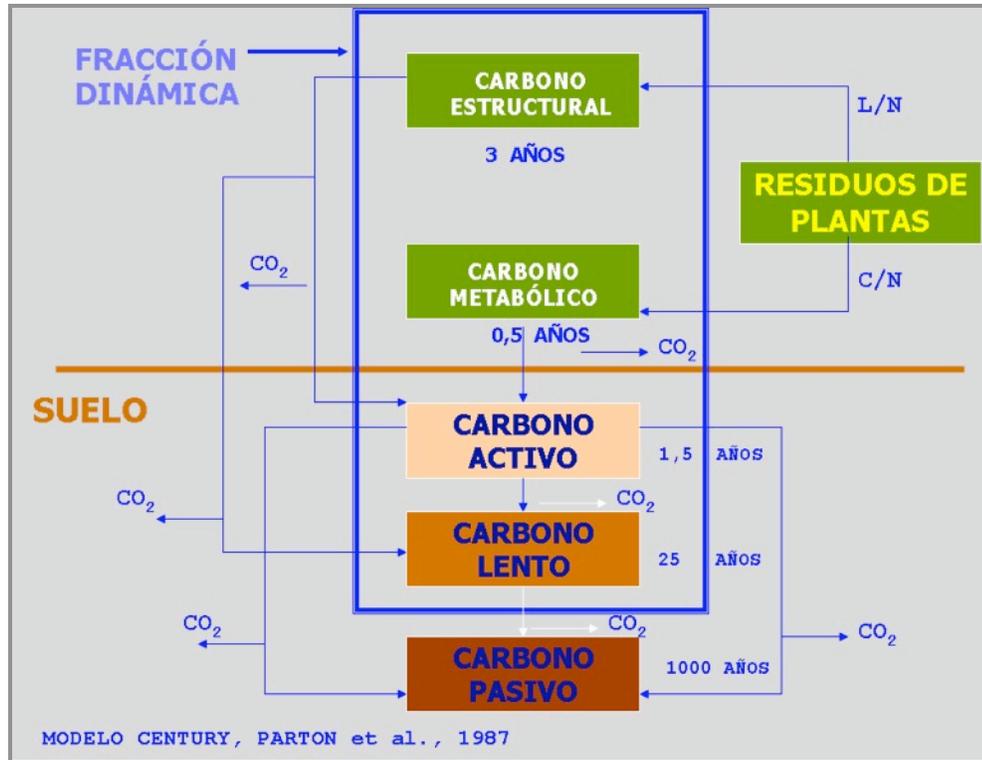


Figura 2. Modelo Century que describe los componentes del suelo y de los abonos que constituyen la fracción orgánica que funciona en un sistema de producción (Citado por Meléndez, 1997).

Estos estudios cuantifican que en el suelo la parte activa de la fracción orgánica apenas alcanza entre el 5-10%, la lenta entre el 20-40% y la pasiva entre el 40-70%, (Duxbury et al 1989, Parton et al 1987).

#### 4. METODOLOGÍAS PARA CARACTERIZAR LA FRACCIÓN ORGÁNICA

Desde un punto de vista metodológico, estos datos demuestran lo poco útil que resulta la medición tradicional de la materia orgánica total para entender o manejar la fracción orgánica, especialmente desde el punto de vista de aporte de nutrientes. Tanto las estimaciones de MO, como las de carbono orgánico ( $CO=MO/1,724$ ) resultan fracciones muy gruesas y mezcladas que difícilmente, en forma global, podrán estimar el suplemento de nutrientes.

De igual manera queda evidenciado que al atender cada componente en forma particular dando especial énfasis a las fracciones más lábiles sería un mejor procedimiento para intentar precisar mejor el manejo (Duxbury et al 1989, Coleman et al 1989).

No obstante, operacionalmente no ha sido fácil asociar cada una de estas fracciones con un procedimiento específico, pues la materia orgánica consiste más en un continuo de compuestos que en una serie de fracciones discretas (Stevenson y Elliot 1989).

Quizá la estimación más aproximada de una de estas fracciones se hace por medio de la medición directa de biomasa microbiana lo que permite explicar en una forma bastante confiable estrictamente la parte inmediatamente activa.

Datos de Uribe (2003, sin publicar) demuestran claramente que la biomasa microbiana se asocia en una forma más directa que el CO con las adiciones de lodos urbanos efectuadas a un suelo (Figura 3).

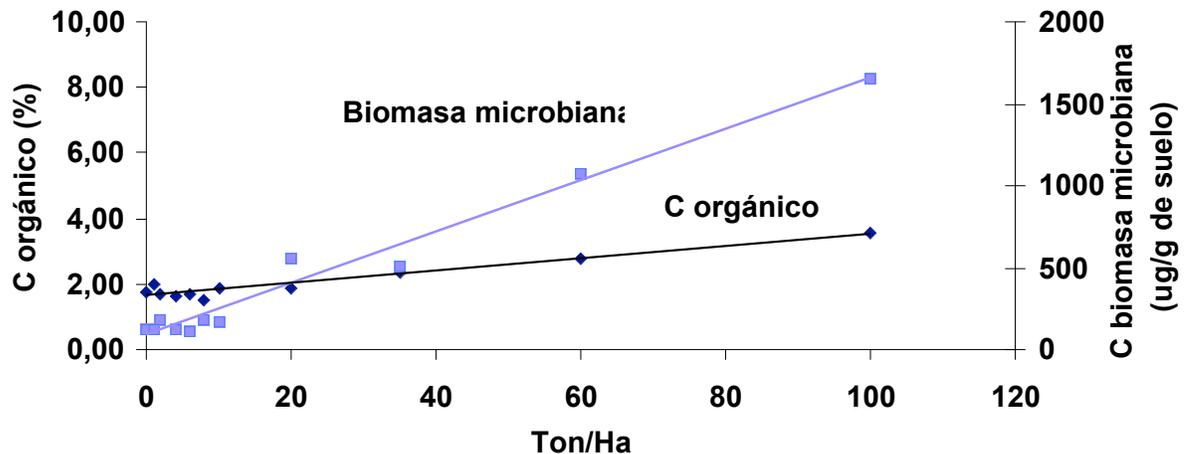


Figura 3. Asociación de la biomasa microbiana y el C orgánico con las toneladas de lodos urbanos aplicados al suelo (Uribe 2003, sin publicar).

La biomasa microbiana se estima través del método de fumigación, que consiste en medir el CO<sub>2</sub> desprendido de una muestra de suelo, producto de la actividad de los microorganismos presentes en ella. La cantidad de CO<sub>2</sub> cuantificada será proporcional a la cantidad de biomasa microbiana presente, que a su vez, podrá asociarse a cantidades proporcionales de otros nutrientes según las relaciones C:N:P normales en los microorganismos.

Aunque esta determinación se usa mucho como parámetro para comparar diferentes situaciones o respuestas a tratamientos, como método directo y práctico para estimar la cantidad de nutrientes que van a estar disponibles en un sistema a partir de la fracción orgánica no se ha usado pues se considera que es una medida muy momentánea que puede cambiar fácilmente en respuesta a muchos factores. Además, determinada en un momento concreto resulta extremadamente pequeña (probablemente menor al 1% del total de la fracción) lo que probablemente subestimaría en mucho la capacidad de suplemento de la fracción. No obstante, como se verá más adelante, ha sido adaptada con gran éxito para evaluar la potencialidad nutritiva de los abonos orgánicos aplicados (Salas y Ramírez 2000).

Para Meléndez (1997), una fracción que puede asociarse más directamente con el suplemento de nutrientes pues decae sensiblemente como resultado del cultivo de los suelos, y que a su vez mantiene proporcionalidad con la biomasa microbiana, es la denominada “macromateria orgánica del suelo” (MMO).

Esta fracción está definida como la fracción del tamaño de arena (>53  $\mu\text{m}$ ) de la materia orgánica, y está compuesta principalmente por fragmentos de raíces y otros residuos vegetales, con una relación C:N cercana a 20 (Cambardella y Elliot 1992). Para determinarla se usa un método simple de dispersión química, seguida de una separación física. Lo importante de esta fracción es que simula aproximadamente las características del componente llamado lento (Parton et al 1987) o descomponible (van Veen y Paul 1981).

Datos de diferentes sistemas ecológicos y agrícolas (Meléndez 1997) demuestran la buena correlación de esta fracción MMO con la biomasa microbiana (Figura 4) y además confirman que para agroecosistemas esta fracción representa, en términos de CO, cuando mucho, entre un 10-15% de la fracción orgánica total (Cuadro 2), y será susceptible de descomponerse entre 1-1.5 años.

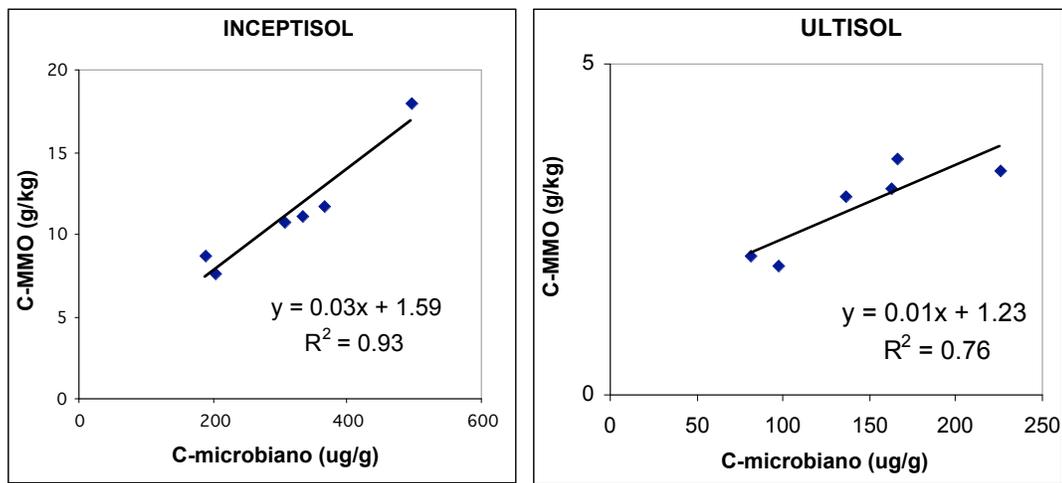


Figura 4. Correlación entre la biomasa microbiana y la fracción de Macro Materia Orgánica (MMO) (Meléndez 1997)

**Cuadro 2. Componentes de la fracción orgánica en diferentes sistemas y suelos (Meléndez 1997).**

	MO total	CO total*	C microbiano		C MMO		C mineral	
	%	g/kg	ug/g	% del total	g/kg	% del total	g/kg	% del total
<b>ULTISOL</b>								
Cultivos anuales con P	2.7	15.85	97	0.6%	1.95	<b>12.3%</b>	13.90	87.7%
Cultivos anuales con P y N	2.7	15.87	81	0.5%	2.10	<b>13.2%</b>	13.77	86.8%
Cultivo en callejones con P	4.0	23.15	166	0.7%	3.57	<b>15.4%</b>	19.58	84.6%
Cultivo en callejones con P y N	3.6	21.13	137	0.6%	2.98	<b>14.1%</b>	18.15	85.9%
Cacao con laurel con P y N	2.7	15.67	163	1.0%	3.10	<b>19.8%</b>	12.57	80.2%
Bosque natural	3.0	17.41	226	1.3%	3.39	<b>19.5%</b>	14.02	80.5%
<b>INCEPTISOL</b>								
Cultivos anuales con P	8.1	46.73	205	0.4%	7.60	<b>16.3%</b>	39.13	83.7%
Cultivos anuales con P y N	8.1	46.75	188	0.4%	8.66	<b>18.5%</b>	38.09	81.5%
Cultivo en callejones con P	8.3	47.92	334	0.7%	11.14	<b>23.2%</b>	36.78	76.8%
Cultivo en callejones con P y N	8.6	50.17	308	0.6%	10.74	<b>21.4%</b>	39.43	78.6%
Cacao con laurel con P y N	7.6	43.95	366	0.8%	11.70	<b>26.6%</b>	32.25	73.4%
Bosque natural	9.4	54.39	498	0.9%	17.98	<b>33.1%</b>	36.41	66.9%

\*CO=MO/1.724

PROMEDIO	10-20%
----------	--------

De acuerdo a estas estimaciones, para efectos de cálculos prácticos, que contemplen ciclos de producción anual, no debería esperarse que la materia orgánica pueda aportar en forma disponible algo más de un 5% del total.

A manera de ejemplo, si un suelo tiene 5% de materia orgánica total estimado en peso, esto es 5 kg de materia orgánica por cada 100 kg de suelo, en una ha de terreno a 20 cm de profundidad con una densidad aparente de 1 kg/L, que pesaría 2000000 de kg, se tendrían 100000 kg o 100 t de materia orgánica. Si se asume que el dato específico de esta fracción más susceptible de descomponerse que se obtenga corresponda con el 5% de ese gran total, significaría que en ese suelo en concreto se cuenta con un aproximado de 5 t de materia orgánica que sería descomponible en un plazo moderado.

O sea, un dato tremendamente general pero manejable a nivel práctico, podría ser que por cada 1% de materia orgánica presente en un suelo, se puede esperar 1 t de material activo (de características similares a un compost) susceptible de descomponerse en corto tiempo.

### Metodologías para caracterizar los Abonos Orgánicos

El procedimiento que más se ha empleado para caracterizar los abonos orgánicos es la determinación de contenidos totales de nutrimentos.

La composición química aproximada de algunos de estos abonos clasificados anteriormente como de origen natural, por totales, se presenta en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Composición química aproximada de algunos materiales orgánicos naturales**

	Material	N	P	K	Ca	Mg	S
ORIGEN VEGETAL	Broza de café	2.0-3.2	0.1-0.3	0.4-1.6	1.4-4.3	0.2-1.8	
	Bagazo de caña	1.2	0.9	0.3	0.4	1.9	1.2
	Cachaza	1.3-1.9	0.7-1.4	0.2-0.4	2.0-2.6	0.2	
	Vinaza	0.4-0.5	0.1	2.6-4.9	0.3-1.1	0.6-0.7	2.7
	Granza de arroz	0.5	0.1	1.3	0.3	0.1	
	Fibra de coco	0.9		0.7	0.1	0.1	
	Pulpa de naranja	0.84-1.0	0.1	1.0	0.5	0.1	
	Pulpa de piña	0.8	0.1	1.2	0.4	0.2	
	Banano de rechazo	0.7-1.0	0.1-0.6	2.4-6.5	0.1-0.5	0.2-0.5	
	Pinzote de banano	0.9-1.5	0.1-0.3	8.2-15.5	0.4-0.6	0.2-0.3	
	Vástago de banano	0.5-1.2	0.1-0.2	7.8-9.0	1.0-2.0	0.1-0.6	
	Cáscaras de palmito	0.7-2.0	0.1-0.2	0.9-2.8	0.2-0.4	0.1-0.2	0.2-0.3
	Harina de cacao	4.0	0.9	2.1	0.4	0.6	
	ORIGEN ANIMAL	Gallinaza	1.0-3.0	1.4	1.4-2.5	2.6-3.6	0.6-0.8
Porquinaza		1.8	1.1	1.8	1.4	1.2	
Estiércol vacuno		1.6	0.5	1.5	1.6	0.6	
Estiércol de caballo		1.2	0.3	0.7	0.1		
Estiércol de oveja		1.6	0.4	1.1	0.9		
Estiércol de cabra seco		1.5	0.7	2.5	1.4		
Harina de pescado		9.5	3.1		6.1	0.3	0.2
Desechos de camarón		7.0	4.4	0.4	11.1	0.3	0.3
Sangre seca		13.0	0.9	0.8	0.4		
OTROS	Turba	2.0			0.7	0.3	0.5
	Aguas negras secas	2.0	0.9		1.8		0.5

Adaptado de Bertsch 1995-2003, Molina 2002, Soto 2003, Umaña 2002.

En el Cuadro 4, por su parte, se resumen resultados de caracterización por totales de algunos de los abonos orgánicos fabricados más comúnmente empleados en el país.

**Cuadro 4. Composición química de algunos abonos orgánicos fabricados en el país**

Compañía	Producto	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
Fertiplus	BOKASHI	0,7-1.6	0,2-0.8	0.8-2.5	0.8-4.2	0.2-0.6
	GALLINAZA	1.5-4.0	1.0-2.9	1.5-3.5	2.3-10.7	0.2-1.0
Coopecafira	COMPOST de broza	1.9	0.2	3.0	1.5	0.4
HJV	COMPOST de broza y cachaza	1.5-2.0	0.5-0.8	0.5		
Del Oro	COMPOST de naranja	1.2	0.1	0.8		0.1
	LOMBRICOMPOST	0.7-3.8	0.2-1.2	0.3-2.3	1.0-3.7	0.3-0.9
	VERMICOMPOST de banano	1.3	0.2	0.9	0.8	0.8

Tomado de: Registro de análisis Laboratorio CIA/UCR.

En primer lugar es importante notar que para cualquier tipo de productos, difícilmente se alcanza valores superiores a 2% para los diferentes elementos. Por otro lado, de igual manera que para la fracción orgánica del suelo, en los abonos orgánicos esta metodología por totales adolece de serias limitaciones, pues cada producto tiene sus tasas de liberación definidas con base en las fracciones internas que posea, y si las estimaciones se hacen con base en estos totales por lo general sobrestiman por mucho las posibles liberaciones de nutrientes.

De acuerdo al mismo esquema propuesto para la materia orgánica lo relevante desde un punto de vista nutricional será estimar la cantidad o % de ese total que está asociada más directamente con la actividad microbiana, de modo que puedan hacerse estimados de posible disponibilidad.

En este sentido, el método propuesto por Ramírez y colaboradores en la UCR (Vandevire y Ramírez 1994, Salas y Ramírez 1999) que propone la estimación de la actividad microbiana máxima de un compuesto orgánico mediante el sometimiento de las poblaciones a un suplemento forzado de azúcares altamente disponibles por un período de 24 horas, ha mostrado correlaciones muy satisfactorias con la liberación de nutrientes a 3 meses plazo.

El método fuerza la actividad microbiana para no estimar solo la actual, y luego por asocio con las relaciones C:N:P:S propone cantidades concretas de nutrientes liberables a 3 meses plazo. Incomprensiblemente, aunque el método ha demostrado excelente carácter predictivo no ha sido implementado en ningún laboratorio en forma rutinaria (se está en proceso) sin embargo, basándose en los resultados obtenidos por los autores mencionados anteriormente es posible efectuar algunas estimaciones prácticas al comparar los datos obtenidos por este método con los contenidos totales (Cuadro 5, Salas 2002).

**Cuadro 5. Comparación entre datos obtenidos por el método de biodisponibilidad y datos totales para diversos abonos orgánicos (Salas, 2002)**

Material	%N	kg N total/t	kg N biodisponible/t	% N disponible
Bocashi 3	1.10	11.0	7.9	72%
Bocashi 1	1.17	11.7	7.5	64%
Pollinaza	2.80	28.0	12.3	44%
Compost caprino	1.41	14.1	5.7	40%
Bocashi 2	0.72	7.2	2.4	33%
Vermicompost vacuno	1.88	18.8	5.9	31%
Compost Pipasa	2.40	24.0	5.3	22%
Broza de café	1.40	14.0	2.5	18%
Vermicompost café	2.50	25.0	3.7	15%
Promedio				29%
DE				11%

De acuerdo al Cuadro 5, la mayoría de los productos evaluados presentan % de biodisponibilidad de N entre 20-40%, salvo casos específicos de bocashi, que como productos más inmaduros y de procesos cortos pudieron haber retenido mayor cantidad de formas

accesibles de N (60-70%) (Soto 2001). Si no se cuenta con el dato directo de este método, este rango entre 20-40% permite arriesgarse a hacer estimaciones de suplemento a partir de contenidos totales con algo más de criterio. La escogencia del valor alto o bajo del rango puede apoyarse en otros criterios que se tengan sobre el producto en concreto, pero lo que queda más o menos establecido es que difícilmente un abono orgánico en los primeros 3 meses tendrá capacidad de suplir más allá de un 40-50% de nutrientes a partir del total.

Con los datos de este cuadro queda también en evidencia que mayores % totales de N no necesariamente coinciden con mayores capacidades de liberación biológica. También se ha utilizado la extracción del compost con soluciones de suelo, sin embargo, su interpretación corresponde a un momento específico, sin considerar la posible descomposición que pueda efectuar la parte biológica, lo que los vuelve bastante limitados y además no incluye resultados de N que es uno sino el más importante elemento en estos productos.

## 5. FACTORES DE MINERALIZACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS

El proceso de compostaje, como ejemplo de una descomposición de materiales orgánicos predominantemente aeróbica, se puede dividir en 3 fases.

- Fase inicial: en la que se descomponen los materiales más lábiles como son los azúcares, proteínas, almidones y hemicelulosa, a temperaturas medias.
- Segunda fase: la temperatura se eleva (fase termofílica) y aquí se degradan los materiales más recalcitrantes como la celulosa y la lignina.
- Tercera fase: se produce la formación o resíntesis de sustancias húmicas.

Los factores directamente involucrados con el proceso de descomposición aeróbica de materiales orgánicos (incluyendo el compostaje), que sufren cambios según avanza el proceso o que deben ser regulados para que éste ocurra satisfactoriamente, son:

- Los microorganismos presentes
  - Tipos dominantes en cada etapa
  - Dieta de cada grupo
- Los residuos o materiales orgánicos utilizados como materia prima o sustrato
  - Su balance nutricional: (relación C/N, presencia de fuentes energéticas de fácil asimilación como azúcares simples)
  - Tamaño de las partículas o superficie de contacto
- La aireación
- La humedad
- La temperatura
- El pH

En esencia todos estos factores sobre quienes inciden directamente es sobre las poblaciones de organismos presentes, las cuales, solo en el tanto en que tengan la oportunidad de efectuar un proceso de alimentación adecuado producirán la transformación deseada de los residuos orgánicos involucrados en el proceso.

En el Cuadro 6 se resumen algunas condiciones consideradas ideales para que se lleve a cabo el compostaje.

**Cuadro 6. Condiciones ideales para el compostaje**

CONDICIÓN	RANGO ACEPTABLE	CONDICIÓN ÓPTIMA
Relación C:N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Oxígeno	Más de 5%	Aprox. 8%
Humedad	40 – 65%	50 – 60%
pH	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
Temperatura	55 – 75° C	65 – 70° C
Tamaño de partícula	0.5 – 1.0 mm	variable

Fuente: Rynk 1992, citado por Soto, 2003.

### Microorganismos

Los organismos presentes durante el proceso de compostaje varían dependiendo de los sustratos y las condiciones del proceso. Son más bien sus interacciones y la secuencia en el tiempo, los que determinan el resultado del compostaje. Algunos autores han aislado los microorganismos dominantes presentes en las diferentes fases (Bandon et al 1999, Klamer y Sochting 1998), sin embargo la variabilidad y diversidad encontradas son muy altas (Soto 2003). Además, es difícil establecer niveles poblacionales óptimos por fase.

Otra alternativa para estudiarlos es determinar la presencia de grupos predominantes, como amonificadores, desnitrificadores, etc (Tiquia et al 2002). Una secuencia lógica se presenta en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Microorganismos que participan en cada una de las etapas de proceso de compostaje**

	FASE MESOFÍLICA	FASE TERMOFÍLICA	FASE DE MADURACIÓN
<b>Bacterias</b>	Bacillus brevis Bacillus circulans Bacillus subtilis B. licheniformis	Bacillus stearothermophilus	
<b>Actinomicetes</b>		Thermophyllum	
<b>Hongos</b>		Absidia glauca Mucor Allescheria spp. Trichoderma sp. Penicillium spp. Aspergillus Verticillium tenerum	Nocardia sp. Streptomyces sp. Thermoactinomicetes

Fuente: Paul y Clark 1996, Klamer y Sochting 1998, citado por Soto, 2003)

## **Aireación**

La presencia de oxígeno en este proceso es determinante, especialmente en las primeras etapas. Para favorecer una buena oxigenación se debe manejar un volteo frecuente, un tamaño de partícula adecuado, una mezcla balanceada y una adición de agua regulada. Hay equipos que miden directamente la cantidad de oxígeno o de CO<sub>2</sub> en la pila de compostaje. Se recomienda voltear cuando la concentración de CO<sub>2</sub> está por encima del 8%.

Si no se cuenta con equipo, la temperatura ayuda a indicar el momento de volteo. La anaerobiosis produce malos olores, algunos sulfuros y sustancias tóxicas. También, retarda el proceso. Debe tratar de mantener continuidad en las condiciones para favorecer las poblaciones existentes.

## **Humedad**

La humedad es fundamental para la actividad de los microorganismos. En general, tiende a ir bajando producto de los volteos, no obstante si llega a niveles muy bajos el proceso se detiene. Por otro lado, es importante que nunca sea excesivamente alta, mayor de 65% porque el proceso es aeróbico y si falta oxigenación se mueren los organismos aeróbicos y empiezan a florecer los anaeróbicos, que además de ser menos eficientes para descomponer, algunos propician las pérdidas de N por desnitrificación.

En este sentido la combinación de humedad y aireación por volteo resulta determinante en el éxito del compostaje. Lo menos recomendable es que se propicie una alternancia de condiciones aeróbicas-anaeróbicas pues esto implica el establecimiento alterno de poblaciones de microorganismos con el inevitable retraso del proceso.

## **Temperatura**

Los cambios en temperatura, y sobretodo los incrementos en la segunda fase son un efecto de la misma actividad microbiana y tienen importancia especialmente para la eliminación de agentes patógenos. La adición de agua al proceso es la manera de regular este factor. Temperaturas mayores de 55° C maximizan la sanidad del proceso, pero por supuesto son mucho más selectivas con el tipo de organismos que las sobreviven, por lo tanto bajan la diversidad de organismos presentes en el producto final y disminuyen su velocidad. También, temperaturas altas pueden propiciar mayor volatilización del N (Steinford 1996). No obstante para ciertos sustratos, especialmente las excretas animales (como gallinaza o estiércoles) son prácticamente indispensables. Temperaturas entre 45-55° C favorecen la velocidad de descomposición, y menores a 45° C favorecen la biodiversidad. Esto es lo que se busca en la producción de bocashi (Sasaki et al 1994).

## **pH**

El pH tiende a bajar en la fase inicial debido a la liberación de ácidos orgánicos al descomponerse los compuestos más lábiles. Luego, conforme se van liberando bases y amonio el valor comienza a incrementarse y por lo general acaba en valores neutros o mayores.

En compostaje de broza de café (Blandon et al 1999) se reportan incrementos desde 4.4 hasta 8.2 en el producto final. En banano, los incrementos llegaron hasta valores mayores a 12. Dependiendo de si el sustrato inicial es muy ácido, en algunos casos, puede ser provechoso coadyuvar la fase inicial con aplicaciones de cal. Niveles de pH muy altos pueden propiciar las pérdidas de N por volatilización.

## **6. EFECTOS DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA Y LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE EL SUELO**

Algunos de los impactos grandes y generales de esta fracción orgánica sobre el funcionamiento del sistema, han sido reconocidos desde siempre. Clásicamente se ha señalado que los principales beneficios de los abonos orgánicos sobre el suelo, aunque no se midan regularmente, son de tipo físico: mejoramiento de la estabilidad estructural (disminución de la densidad aparente, formación de agregados, aumento de la friabilidad de suelos arcillosos) y regulación del balance hídrico del suelo (aumento de la capacidad de retención de agua, reducción de la evaporación, mejoramiento de la permeabilidad, facilitamiento del drenaje).

Químicamente, bajo condiciones locales, día a día hay más ejemplos que cuantifican los efectos que los abonos orgánicos tienen especialmente sobre el aumento en la retención y suplemento de nutrimentos. Hay además evidencias de la formación de quelatos, la regulación del pH y los aumentos en el poder buffer de los suelos.

Por último, biológicamente, con el avance en la investigación, se reconocen como efectos: el poder amortiguador sobre el sistema, y el poder sobre la supresión o reducción en la susceptibilidad a ciertas enfermedades

Lo que representa el reto en la actualidad, sin embargo, es ahondar el detalle fino del uso de uno u otro producto, del manejo en una u otra dirección, y de la estimación más precisa de cada efecto, con el fin de llegar a influir en una forma más dirigida sobre los aspectos frágiles y específicos de los sistemas de producción.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Acuña O. 2003. El uso de biofertilizantes en la agricultura. Taller Abonos Orgánicos, San José, CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. 16 p.
- Babbar Li, Ewel Jj. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. *Biotrópica* 21(1):20-29.
- Bertsch F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, ACCS. 157 p.
- Cambardella CA, Elliot et. 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soil. *Soil Sci Soc Am J* 58:123-130.
- Carballo M. 2003. El mercado de biofertilizantes en Costa Rica. Taller Abonos Orgánicos, San José, CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. 18 p
- Coleman DC. 1986. The role of microfloral and fauna interactions in affecting soil processes. In *Microflora and Faunal Interactions in Natural and Agro-ecosystems*. Ed by MJ Mitchel, JP Nakas. Netherlands, Nyhoff-Junk Publishers. p 317-348.
- Duxbury JM, Smith Ms, Doran JW. 1989. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In *Tropical Soil Organic Matter*. Ed by DC Coleman et al. Honolulu, Univ of Hawaii Press.
- Meléndez G. 1997. Transformaciones de carbono, nitrógeno y fósforo del suelo, en sistemas agroforestales, cultivos anuales y bosque natural. Tesis M. Sc. San José, Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Posgrado. 105 p.
- Meléndez G. 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. Taller Abonos Orgánicos, San José, CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. 25 p.
- Muñoz CY, Muschler R, Soto G, Harmand JM. 2003. Pérdida de nutrimentos durante el compostaje y liberación de nutrimentos de tres compost en condiciones de campo. (artículo en proceso de publicación)
- Muñoz CY. 2003. Mineralización de nitrógeno y carbono de compost de residuos del beneficiado de café. Taller Abonos Orgánicos, San José, CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. 22 p.
- Okumoto S. 2003. Uso de inoculante microbiano para la elaboración de abono orgánico. Taller Abonos Orgánicos, San José, CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. 10 p.
- Parton WJ, Schimel DS, Cole CV, Ojima DS. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci Soc Am J* 51:1173-1179.
- Paul EA. 1984. Dynamics of organic matter in soils. *Plant Soil* 76:275-285.
- Rynk R. 1992. On-farm composting handbook. Northeast Reg Agricultural Engineering Serv. New York, 186 p.
- Salas E, Ramírez C. 1999. Bioensayo microbiano para estimar los nutrimentos en los abonos orgánicos: calibración en el campo. Congreso Agronómico Nacional y III Congreso Nacional de Suelos. Memorias, Vol 3, Recursos Naturales y Producción Animal. p 71.

Salas E, Ramírez C. 2000. Determinación del N y P en abonos orgánicos mediante la técnica del elemento faltante y un bioensayo microbiano.

Sasaki S, Alvarado A, Li Kam A. 1994. Curso básico de agricultura orgánica. San José, Proyecto de Agricultura Orgánica, UCR-JOCV. 30 p.

Soto G, Meléndez G. 2003. Compost: abono o enmienda? Cómo medir la calidad de un compost? Taller Abonos Orgánicos, San José, CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. 15 p.

Soto G. 2003. Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. Taller Abonos Orgánicos, San José, CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. 27 p.

Steinford EI. 1996. Composting control: principles and practices. In *The Science of Composting*. Ed by M Bertoldi et al. London, Chapman and Hall.

Uribe L. 2003. Inocuidad de abonos orgánicos. Taller Abonos Orgánicos, San José, CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. 16 p.

Van Veen JA, Paul EA. 1981. Organic carbon dynamics in grassland soils. I. Background information and computer simulation. *Can J Soil Sci* 61:185-201.

Vandervivere P, Ramirez C. 1995. Control de calidad de abonos orgánicos por medio de bioensayos. In GARCIA J, NAJERA J. Memoria. Simposio Centroamericano de Agricultura Orgánica. San José, UNED. p 121-140.

Anexo 1. Productos comerciales registrados en el país que podrían considerarse abonos orgánicos

Nº Reg	Nombre de la compañía registrante	Nombre comercial	Lista de genéricos que componen el fertilizante
3991	BOKASHI S.A.	Bokashi	N, P, K, Mg, Ca, S, Fe, Mn, Zn, Cu
4293	COOP. DE CAFIC. Y SERV. MULT. RAMONE. (COOPECAFIRA)	Abono Organico Cafira	P, Ca, Fe, Mn, N, K, Mg, Zn, B
3366	HACIENDA JUAN VIÑAS S.A.	Abono Organico La Hacienda	N, P, K, Mg, Materia Orgánica
2959	COOPERATIVA AGRICOLA INDUSTRIAL VICTORIA R.L.	Abono Organico Victoria	N, P, K, EM, Materia Orgánica
3654	CEQSA ESPECIALIDADES QUIMICAS	Brocompost	P, Mg, EM, N, K, Ca, Carbono Orgánico
2696	VERDES SUPERIORES S.A.	Fert. Organico 7-2-11.1-41-3.10	N, K, P, EM
3985	CORPORACION DESARROLLO ORGANICO BRANTLEY S.A	Pescagro	N, P, K, Mg, Ca, Fe, Cu, Zn, Mn
3909	PROPIEDADES EL LABRADOR S.A.	Lombriabono	N, P, K, Ca
4308	COOPERATIVA AGRICOLA INDUSTRIAL VICTORIA R.L.	Lombriocompost Victoria	N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, Materia Orgánica
4202	CORPORACION DESARROLLO ORGANICO BRANTLEY S.A.	Lombritica	N, K, Ca, P, Mg, Fe
3648	ESCUELA DE AGRIC. DE LA REG. TROP. HUMEDA	E.M. 1	Bacterias Fototróficas, Bacterias Lácticas, Levaduras
2854	AGRICOLA PISCIS S.A.	Actinovate	EM, Streptomyces
4058	NUTRIFERT S.A.	Promot	Mg, Manganeso, Zinc Trichoderma
3993	BUCKMAN LABORATORIES INC	Burize	Micorrizas
4040	NUTRIFERT S.A.	Mycormax	Micorrizas
2930	AGROFUTURO S.A.	Alga Mar DP	Harina de Algas
3981	RECURSOS ECOLOGICOS OIKOS S.A	Bi-O-Mar -15	Acidos Humicos, Extracto de algas
3983	RECURSOS ECOLOGICOS OIKOS S.A	Bi-O-Pur k	N, P, K, Mg, Fe, Manganeso, Cobre, Zinc, Molibdeno, Acidos Humicos, Extracto de algas
3982	RECURSOS ECOLOGICOS OIKOS S.A	Bi-O-Pur Triple	N, P, K, Mg, Manganeso, Fe, Cobre, Zinc, Molibdeno, Acidos Humicos, Extracto de algas
3975	RECURSOS ECOLOGICOS OIKOS S.A	Bi-O-Pur-Fe	Azufre, Fe, Acidos Humicos, Extracto de algas
3977	RECURSOS ECOLOGICOS OIKOS S.A	Bi-O-Pur-Mg	Mg, Acidos Humicos, Extracto de algas
3979	RECURSOS ECOLOGICOS OIKOS S.A	Bi-O-Pur-Micronutrientes	Mg, Azufre, Manganeso, Zinc, Fe, Boro, Molibdeno, Acidos Humicos, Extracto de algas
3978	RECURSOS ECOLOGICOS OIKOS S.A	Bi-O-Pur-P	N, P, K, Fe, Zinc, Acidos Humicos, Extracto de algas
3976	RECURSOS ECOLOGICOS OIKOS S.A	Bi-O-Pur-Zn	Azufre, Zinc, Acidos Humicos, Extracto de algas
2653	AGROQUIMICOS DAF DE COSTA RICA	Daf Extracto Concentrado De Algas	P, EM, N, K
4438	ATLANTICA AGRICOLA DE C.R.	Fitomare - Bio	N, K, Crema de algas, P, Extracto de algas
4294	AGRO SERVICIOS VERDES DEL VALLE	Maxibion Aminoal 94% SP	Acidos Humicos, Extracto de algas
2782	AGROZAMORANOS S. A.	Raizone 94%	Algas Marinas
2813	CORPORACION TORDOS S.A	Zerlate (Megafof)	Aminoacidos, Extracto de algas
2753	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Polisacaridos	K, B, Mn, Cu, Polisacaridos, N, Mg, S, Fe, Mo
3288	LA CASA DE LA LOMBRIZ FELIZ, L	La Lomb. Feliz Potasio 15.8%+E.M.	N, EM, Disacarido
3590	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Completo	N, P, K, Mg, B, S, Zn, Cu, Mo, Polisacáridos, Clorhidrato de Tiamina
3653	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Polisacaridos + P	N, K, EM, P, Polisacaridos
3160	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosato Cafe	N, Mg, Fe, Aminoacidos, S, B, Mo
3316	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Potasio 30% L	K, Aminoacidos
3595	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Piña	Ca, Mg, Zn, Fe, Mo, Aminoacidos
4381	COSTA TRI S.A.	Amino Grow 10-12-3+EM	N, P, K, B, Zn, Fe, Cu, Mn, Mo, Citoquininas, Aminoacidos, Vitaminas
4383	COSTA TRI S.A.	Amino Grow 5-4-14+EM	N, P, K, B, Zn, Cu, Fe, Mn, Mo, Citoquininas, Auxinas, Giberelinas, Aminoacidos, Vitaminas
4384	COSTA TRI S.A.	Amino Grow 511+EM	Mg, B, Zn, Cu, Fe, Mn, Mo, Citoquininas, Auxinas, Giberelinas, Aminoacidos
4386	COSTA TRI S.A.	Amino Grow 10-22-3+EM	N, P, K, Mg, B, Mn, Cu, Fe, Citoquininas, Auxinas, Giberelinas, Aminoacidos, Vitaminas
4387	COSTA TRI S.A.	Amino Grow 8-19-10+EM	N, P, K, B, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, Citoquininas, Auxinas, Giberelinas, Aminoacidos, Vitaminas
4443	EUROSUMINISTROS S.A.	Biotex	N, Aminoacidos, Materia Organica
4481	BIOPROCESOS S. A.	Bioprocesos 7-9-11 + E.M.	N, K, B, Ca, Carbohidratos, P, Zn, S, Aminoacidos
4482	BIOPROCESOS S. A.	Bioprocesos 8-32-45	P, Aminoacidos, N, K, Carbohidratos
4483	BIOPROCESOS S. A.	Bioprocesos 9-23-0-2 B - 3 Zn	N, B, P, Zn, Aminoacidos, Polisacaridos
4484	BIOPROCESOS S. A.	Bioprocesos Bioplant	N, P, K, B, S, Fe, Zn, Mn, Mo, Cu, Aminoacidos, Acidos Orgánicos, Carbohidratos
4485	BIOPROCESOS S. A.	Bio Humus	N, P, K, Mg, B, Fe, Ca, Cu, S, Zn, Co, Mn, Materia Organica, Aminoacidos, Carbohidratos
4486	BIOPROCESOS S. A.	Bioprocesos Zinc 15 %	Zn, Aminoacidos, Carbohidratos
4487	BIOPROCESOS S. A.	Bioprocesos Zinc - Boro	Zn, B, Aminoacidos, Carbohidratos
4488	BIOPROCESOS S. A.	Bioprocesos 20-20-20	N, P, K, S, Ca, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Mo, Aminoacidos
4493	RAUCO S.A.	Codasal Plus 2000	Acidos Orgánicos, Ca
2939	PRODUCTOS DEL TROPICO HUMEDO S.A	Eco-Hum DX	P, Mg, N, K, B, Coloides inorganicos
3296	TECNICAS AGRICOLAS ALAJUELENSES S.A	Fosfacel	P, N, Extractos Organicos
3601	ABONOS DEL PACIFICO S.A. (ABOPAC)	Bionutriente Potasio+	Compuestos Organicos Naturales, K
4084	NUTRIFERT S.A	Biorepel - B	Extractos Vegetales, B
3450	SISTEMAS AGRICOLAS BIO ORGANICOS	Humus MIneral	Materia Organica
3599	ABONOS DEL PACIFICO S.A. (ABOPAC)	Bionutriente Boro+	B, Materia Organica
3602	ABONOS DEL PACIFICO S.A. (ABOPAC)	Bionutriente N-P-K+	N, P, K, Materia Organica
2907	EUROSEMILLAS S.A.	Agrostim	Acidos Humicos, Acidos Fulvicos, Acido Folic, L. Cisteina
2909	EUROSEMILLAS S.A.	Cyto K	P, Acidos Fúlvicos, K
2911	EUROSEMILLAS S.A.	FulpiK Plus	Acidos Humicos, EM, Acidos Fulvicos
3372	AGRICOLA AGRIAL S.A.	Sinergipron Complex	Ácidos Húmicos, Ácidos Fúlvicos
3642	AGRICOLA PISCIS S.A.	Humita 15	Acidos Humicos, N, Acidos Fulvicos
3643	AGRICOLA PISCIS S.A.	Humita 60	Acidos Fulvicos, Acidos Humicos, N
3870	ATLANTICA AGRICOLA DE C.R.	Biocat -15	Ácidos Húmicos, Ácidos Fúlvicos
3996	SERVICIOS TÉCNICOS ENTERPRICE S.A	Nutrilist Humic	Ácidos Húmicos, Ácidos Fúlvicos
4031	ARIMITSU DE COSTA RICA S.R.L	Nutriful	Zn, B, Mg, S, Ácidos Fúlvicos
4033	ARIMITSU DE COSTA RICA S.R.L	Germibooost	Extractos Vegetales, Ácidos Fúlvicos
4046	CORPORACION DESARROLLO ORGANICO BRANTLEY S.A	Humate Gr	Acidos Humicos, Acidos Fulvicos
4047	CORPORACION DESARROLLO ORGANICO BRANTLEY S.A	Humate SL	Acidos Humicos, Acidos Fulvicos
4048	CORPORACION DESARROLLO ORGANICO BRANTLEY S.A	Biosystem SP	Acidos Humicos, Acidos Fulvicos
4071	ARIMITSU DE COSTA RICA S.R.L	Activador FQ	Ácidos Fúlvicos, Fósforo
4072	ARIMITSU DE COSTA RICA S.R.L	Fulvigran 7.5%	Ácidos Fúlvicos
4085	NUTRIFERT S.A	Fulmax	Ácidos Fúlvicos
4116	PRODUCTOS DEL TROPICO HUMEDO S.A	Eco-Hum K - Plus	Acidos Humatos, K, Mg, S, Acidos Fulvicos, P, B, Acido Himatomelánico
4199	FARMAGRO S.A.	Nutrilato Boro Zinc	B, Zn, Mo, Ácidos Fúlvicos
4247	EUROSEMILLAS S.A.	Agrosuelo	N, Acidos Humicos, Acidos Fulvicos, Extractos de Fermentación
4364	SERVICIOS TÉCNICOS ENTERPRICE S.A	Nutrilist 9-9-9	P, S, Cu, Acidos Humicos, N, K, Mg, Mn, Acidos Fulvicos
4419	REPRESENTACIONES Y SUMINISTROS AGROPECUARIOS	Jocker H - J & H	N, K, Ca, Acidos Humicos, P, Mg, S, Acidos Fulvicos
4441	SERVICIO AGRICOLA CARTAGINES S.A (SERACSA)	Naturvital WSP	Acidos Fulvicos, Acidos Humicos
4450	RAUCO S.A.	Coda Humus 20	Acidos Fulvicos, Extracto húmico, Acidos Humicos
1749	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Crop Up	N, EM
1750	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Cobre	Cu
1751	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Manganeso	Mn
1752	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Hierro	Fe
1753	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate zinc	Zn
1754	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Magnesio	Mg
1755	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Calcio	Ca
2246	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate De Boro 5%	B
2293	QUIMICAS STOLLER DE CENTROAM (Agrícola Coral sa)	Micromins Azufre Zinc L	Zn, S
2294	QUIMICAS STOLLER DE CENTROAM (Agrícola Coral sa)	Micromins Cosecha Mas 9-6-6+Em	N, P, K, EM

Nº Reg	Nombre de la compañía registrante	Nombre comercial	Lista de genéricos que componen el fertilizante
2295	QUIMICAS STOLLER DE CENTROAM (Agrícola Coral sa)	Micromins Nitromax 12.9% L	Ca, Niquel, Mo, Cobalto
2634	QUIMICAS STOLLER DE CENTROAM (Agrícola Coral sa)	Micromins Magnesio Líquido	Mg, S
2639	QUIMICAS STOLLER DE CENTROAM (Agrícola Coral sa)	Micromins Hierro	S, Fe
2655	INDAGRO S.A.	Indagro Quelatado de Mang. 5% Azu	Mg, S
2669	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Potasico 12% L	K
2742	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Acido Sulfamidico 99.5 Tec	Ácido Sulfamidico
2745	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri EDTA 99.5 Tec	Etilen Diaminotetraacetato de Sodio (EDTA)
2749	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Zinc	Zn, S
2750	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Mango	EM
2751	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Combi-Boro	K, Zn, N, B, S
2752	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Citricos	EM
2754	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Piña	EM
2755	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Multiple	N, S, P, K, Mg, B, Zn
2756	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Pastos	EM
2757	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Manganeseo	S, Mn
2758	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Combi	K, S, N, Zn
2773	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri zinc L	Zn, S
2781	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri EDTA 39% Tecnico	EDTA
2795	QUIMICAS STOLLER DE CENTROAM (Agrícola Coral sa)	Micromins Multiple	EM
2797	QUIMICAS STOLLER DE CENTROAM (Agrícola Coral sa)	Micromins Moly	Mo
2851	LA CASA DE LA LOMBRIZ FELIZ, L	La Lombriz Feliz Quelato De Calcio	Ca
2852	LA CASA DE LA LOMBRIZ FELIZ, L	La Lombriz Feliz Quelato Multimin.	EM
2877	DISTRIB. COMERCIAL. AGROTICO S.A	Sarefix Quelato De Hierro	Fe
2916	LA CASA DE LA LOMBRIZ FELIZ, L	La Lombriz Feliz Boro 13%	B
2917	LA CASA DE LA LOMBRIZ FELIZ, L	La Lombriz Feliz	Mg
2918	LA CASA DE LA LOMBRIZ FELIZ, L	La Lombriz Feliz	Zn
2920	DISTRIB. COMERCIAL. AGROTICO S.A	Sarefix Quelato de Hierro 11%	Fe
2932	LA CASA DE LA LOMBRIZ FELIZ, L	La Lombriz Feliz Potasio 27%	K
2962	QUIMICAS STOLLER DE CENTROAM (Agrícola Coral sa)	Micromins Manganeseo	Mn, S
3048	COSMOAGRO S.A.	Cosmo-Quel Boro	B
3063	COSMOAGRO S.A.	Cosmo-Quel Edta-Mn	Mg
3064	COSMOAGRO S.A.	Cosmo Quel Edta-Zn	Zn
3065	COSMOAGRO S.A.	Cosmo Quel Edta-Fe	Fe
3066	COSMOAGRO S.A.	Coamo Quel Edta Mg	Mg
3067	COSMOAGRO S.A.	Cosmo Quel Edta-Ca	Ca
3068	COSMOAGRO S.A.	Cosmo Quel Edta-Cu	Cu
3402	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Boro Zinc Polvo	B, Zn, S
3403	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Boro 21%	B
3405	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Sulfato De Zinc Monohidrat	Zn, S
3406	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Zinc Boro-Cu	B, Zn, S, Cu
3407	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Acido Citrico 99.5% TC	Acido Citrico
3428	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Acido Borico	Acido Borico
3430	LA CASA DE LA LOMBRIZ FELIZ, L	La Lombriz F. Quel. De Boro 3%+C	Ca, B
3472	INDAGRO S.A.	Fertigro Quelato Multiminerales	Mg, S, Zn, Mn, Fe, Cu, B, Mo
3476	INDAGRO S.A.	Fertigro Quelato De Zinc	Zn
3520	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Cobre	S, Cu
3521	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Magnesio	Mg, S
3554	DISTRIB. COMERCIAL. AGROTICO S.A	Nutrifol Quelato De Calcio	Ca
3591	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri 20-20-20	N, P, K
3598	ABONOS DEL PACIFICO S.A. (ABOPAC)	Bionutriente Zinc+	N, Zn
3600	ABONOS DEL PACIFICO S.A. (ABOPAC)	Bionutriente Cafe+	Mg, S, Fe, B, Mo, Ca, Zn
3613	LA CASA DE LA LOMBRIZ FELIZ, L	La Lombriz Feliz N 2.2-P 20-K 27 Ff	N, P, K
3668	INDUSTRIAS BIOQUIM CENTROAMERICANA	Biokim Quelato De Calcio	Oxido de Ca, N
3669	INDUSTRIAS BIOQUIM CENTROAMERICANA	Biokim Quelato De Zinc	Zn, S
3671	INDUSTRIAS BIOQUIM CENTROAMERICANA	Biokim Quelato De Magnesio	Oxido de Mg, N
3674	AGRICOLA CORAL S.A.	Cargador Zinc Boro-L	Zn, B
3675	AGRICOLA CORAL S.A.	BuF-A Acido Lignosulfonico	
3676	AGRICOLA CORAL S.A.	Cargador Inmunofol Fe-Mn-Zn	Fe, Zn, Mn
3686	AGRICOLA CORAL S.A.	Micromate Elementos Menores	Mg, B, Mn, Mo, Cobalto, S, Ca, Fe, Zn, Cu
3701	QUELATOS AGRICOLAS S.A.	Quelagri Acido Fosforico	Acido Fosfórico
3730	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Calcio-Boro-Zinc-Molib	B, Mo, Ca, Zn
3771	AGRICOLA CORAL S.A.	Evalanceador Boro-Molibdeno	Mo, B
3837	DESARR. E INVEST. AGRICOLA DE SAN JOSE	Quelafol Sulfato De Magnesio	Mg, S
3838	DESARR. E INVEST. AGRICOLA DE SAN JOSE	Quelafol Acido Citrico FMP	Acido Citrico
3839	DESARR. E INVEST. AGRICOLA DE SAN JOSE	Quelafol Acido Borico	B
3848	DESARR. E INVEST. AGRICOLA DE SAN JOSE	Quelafol Nitrato de Potasio	Nitrato de K
3951	SERGIO MIGUEL SOLANO GARCIA	Nutrimar	N, P, K, Mg, B, Ca
3968	SERVICIOS TÉCNICOS ENTERPRICE S.A	Nutrilist Multimineral	Mg, B, S, Zn, Mn, Fe, Cu, Mo, Ácido Citrico
3971	SERVICIOS TÉCNICOS ENTERPRICE S.A	Nutrilist zinc	S, Zn
3991	BOKASHI S.A.	Bokashi	N, P, K, Mg, Ca, S, Fe, Mn, Zn, Cu
4019	INDAGRO S.A.	Ecogreen Quelato de Calcio	Ca, B
4023	INDAGRO S.A.	Ecogreen Quelato de Zinc	Zn
4133	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Zinc Plus	Mg, Zn, Mn, Fe, Cu, B
4202	CORPORACION DESARROLLO ORGANICO BRANTLEY S.A	Lombrítica	N, K, Ca, P, Mg, Fe
4362	Flores del Izarái S.A.	Quelato De Hierro 6%	Fe
4365	SERVICIOS TÉCNICOS ENTERPRICE S.A	Nutrilist Boro Orgánico	B
4372	LA CASA DEL AGRICULTOR S.A. (CASAGRI)	Metalosate Tropical	N, S, B, Fe, Mg, Zn, Mo
4500	RONDLE EUGENE GORDON	Orykta	P, Mg, Ca, Cu, K, S, Fe, Silicio