



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

Manejo y Conservación de suelos

DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS
NATURALES

FERTILIDAD QUÍMICA

FERTILIZACIÓN MINERAL: N – P – K

NUTRIENTES: PRINCIPALES, SECUNDARIOS Y
MICROELEMENTOS

FERTILIZANTES: TIPOS Y APLICACIÓN

Dr. Ing. Agrón. Cecilia I. Cerisola

2015

| ÍNDICE | PÁGINAS |
|---|---------|
| Introducción: el suelo como sistema dinámico complejo | 3 |
| Definiciones: fertilizante, Abono, Correctivo y Enmienda | 4 |
| Objetivo de la fertilización | 5 |
| Antagonismo y Sinergismo | 6 |
| Las leyes de la Fertilización | 7 |
| Clasificación de los fertilizantes | 9 |
| Características de los fertilizantes | 12 |
| Nutrientes principales (N – P – K) | 13 |
| Ciclo del Carbono | 14 |
| Nitrógeno | 15 |
| Dinámica del Nitrógeno en el suelo | 19 |
| Fertilizantes nitrogenados | 20 |
| Práctica de la fertilización nitrogenada | 25 |
| Fósforo | 28 |
| Eficacia de los fertilizantes fosforados | 29 |
| Dinámica del fósforo en el suelo | 31 |
| Fertilizantes fosforados | 31 |
| Potasio | 33 |
| Dinámica del potasio en el suelo | 34 |
| Minerales potásicos | 34 |
| Fertilizantes sintéticos más comunes (N – P ₂ O ₅ – K ₂ O) | 35 |
| Elementos secundarios y microelementos | 35 |
| Calcio | 36 |
| Azufre | 37 |
| Magnesio | 39 |
| Hierro | 39 |
| Manganeso | 40 |
| Boro | 41 |
| Zinc | 41 |
| Cobre | 42 |
| Molibdeno | 42 |
| Cloro | 42 |
| Bibliografía de consulta recomendada | 43 |

FERTILIZACION MINERAL (N-P-K)

Introducción: el suelo como sistema dinámico complejo.

El **suelo** es un sistema dinámico de complejas interrelaciones recíprocas entre sus componentes físicos, químicos y biológicos. El suelo **produce** cuando todos los factores están equilibrados. La **fertilidad** es tan solo uno de los factores de producción, aunque los minerales son básicos para la nutrición vegetal. La **fertilidad del suelo** es, pues, su capacidad para suministrar elementos nutritivos a las plantas. La sola presencia del elemento nutritivo no nutre a la planta, sino que estos deben ser retenidos durante cierto tiempo, para evitar su pérdida, y puestos a disposición de los vegetales. Estos, por su parte, deben absorberlos y metabolizarlos, gracias al agua y el oxígeno del suelo y el desarrollo radicular.

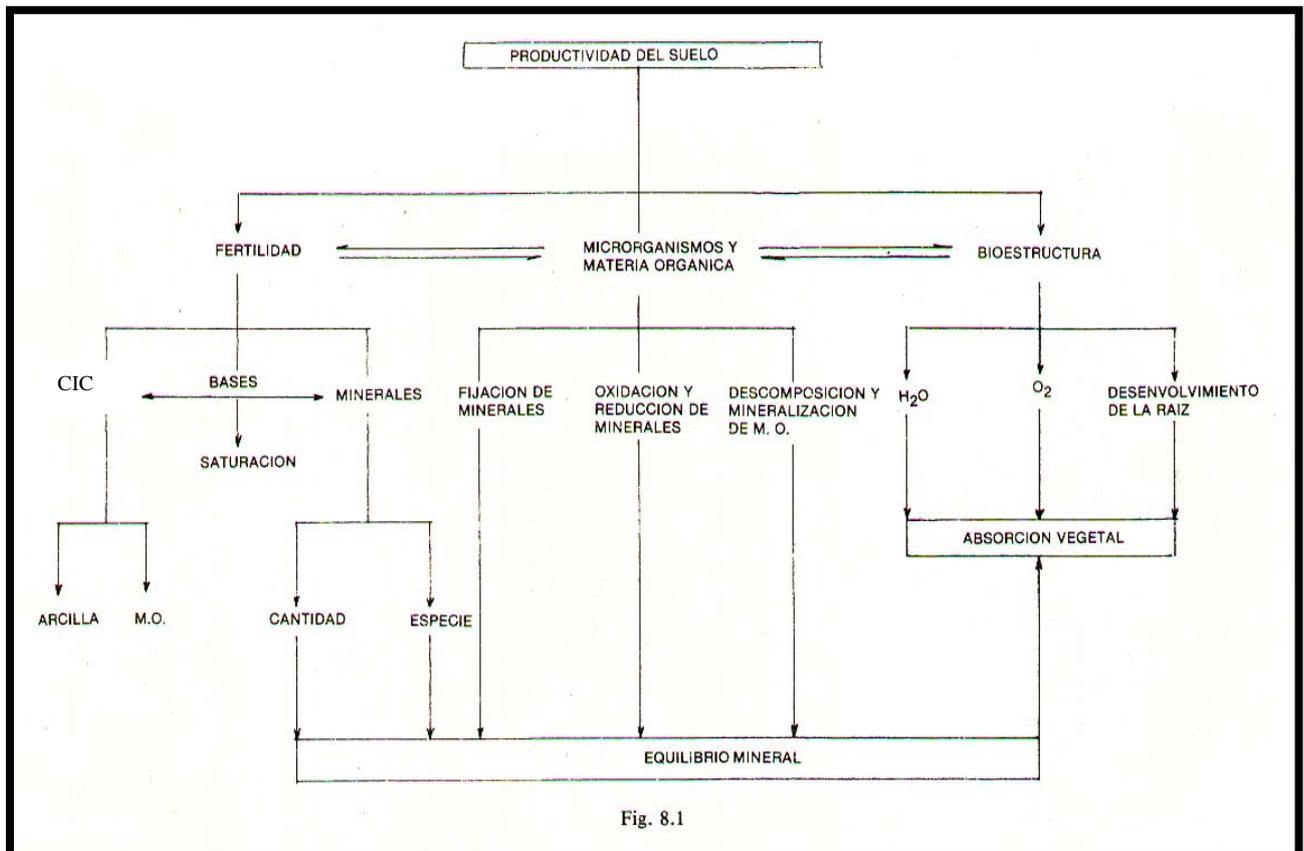


Fig. 8.1

La capacidad del suelo para retener ciertos elementos nutritivos depende de su capacidad de intercambio catiónico (CIC). Esta capacidad viene condicionada al contenido de arcilla y humus. Por lo tanto, la actuación más directa para

conservar o aumentar la fertilidad del suelo, consiste en aportar materia orgánica, que es la fuente del humus.

Los cationes importantes, desde el punto de vista de la fertilidad, son los básicos. Por eso, la fertilidad depende, también, del contenido de cationes básicos. La fertilización mineral, además de aportar elementos nutritivos, contribuye a aumentar el contenido de cationes básicos. De ahí que un aporte racional, incrementa la fertilidad del suelo. Alrededor del año 1900, la demanda de mayor producción agrícola, era solventada por la puesta en cultivo de nuevas tierras.

Las raíces, por su parte, tienen capacidad para solubilizar sustancias insolubles, incluso meteorizar fragmentos de roca (extraen **K** de las micas disolviéndolos mediante reacciones de intercambio iónico), por la segregación de ácidos, y además hay un intercambio de iones entre los coloides de las raíces y el suelo.

Los principales responsables de la disminución del grado de fertilidad de un **suelo productivo** son: la extracción de nutrientes por los cultivos, su pérdida por lavado y por último su inmovilización irreversible por algunos minerales del suelo. Un ejemplo de este último caso sería la precipitación del ácido fosfórico, muy importante en suelos ácidos, por la formación de fosfatos de Fe y Al, y en suelos calizos por la formación de fosfato cálcico insoluble.

Algunas definiciones:

Fertilizante: toda sustancia o mezcla de sustancias que incorporada al suelo o aplicada sobre la parte aérea de las plantas, suministre él o los elementos que requieren los vegetales para su nutrición, con el propósito de estimular su crecimiento, aumentar su productividad y mejorar la calidad de las cosechas.

Abono: material orgánico que aporta elementos fertilizantes

Correctivo: material que añadido al suelo mejora su estructura: en el caso de suelos básicos (sódicos y salinos), el aporte de materia orgánica, azufre o yeso (no es una práctica común)

Enmienda: material que añadido al suelo corrige su pH y modifica favorablemente sus características físicas o fisico-químicas: el caso de enmiendas cálcicas a través del agregado de cal viva (OCa) y apagada (Ca(OH)₂); caliza (CO₃Ca); dolomita (CO₃⁼ de Ca y Mg); margas calizas;

silicato cálcico. También existen las enmiendas orgánicas. ¡Ojo!, yeso no porque no neutraliza la acidez.

Objeto de la fertilización

- 1) Proporcionar a las plantas las sustancias necesarias para, a través de los mecanismos de absorción, garantizar su crecimiento y desarrollo.
- 2) Reponer los nutrientes extraídos por las cosechas precedentes.

Algunas consideraciones sobre Fertilización y Productividad de los cultivos

Dentro de las prácticas agrícolas se van consolidando 2 tendencias:

- 1) la especialización en determinados cultivos (monocultivo), que trae aparejado la reducción del número de especies cultivadas
- 2) la disminución de la explotación mixta agrícola-ganadera, separando así el cultivo vegetal de la cría animal.

Las consecuencias de la primera tendencia, si bien se simplifican las secuencias del ciclo, se pueden resumir en:

- a) la eliminación de forrajeras plurianuales
- b) la proliferación de malezas más selectivas y mejor preparadas para competir con el cultivo (Ej: en cereales ha habido un desarrollo espectacular de monocotiledóneas como el Lolium, avena, phalaris, con unas exigencias similares a las de la planta cultivada)
- c) la disponibilidad de mayor potencia mecánica que conduce a un laboreo más intenso que perjudica la estructura del suelo y aumenta la velocidad de oxidación de la materia orgánica, facilitando la pérdida de elementos nutritivos
- d) en terrenos con pendiente no se tienen en cuenta las curvas de nivel, con el objeto de facilitar el trabajo de las máquinas, favoreciendo la erosión
- e) la obtención de rendimientos elevados se asegura mediante la fertilización programada y la defensa química contra los competidores (malezas, parásitos). Cuando la eliminación sustituye al control se produce una ruptura del equilibrio ecológico.

En cuanto a la 2da. Tendencia, al separar el cultivo vegetal de la cría animal, se rompe la interdependencia entre ambos sectores biológicos, es decir, desaparece la circulación de la materia en forma de forrajes (ganado que come rastros) y deyecciones. Esto último conduce a incrementar la dosis de

fertilizantes minerales, mientras se pierde la acción beneficiosa de la materia orgánica en el suelo, necesaria para procesos biológicos y microbiológicos esenciales.

A modo de resumen, la agricultura actual responde a un modelo productivista y simplista, como los métodos industriales de producción en serie. Incluso en la selección genética ha predominado la característica productiva frente a otras tan importantes como la calidad, la rusticidad, la resistencia a parásitos y condiciones adversas, etc.

Los productos pueden perder calidad ante un exceso de elementos nutritivos solubles en el suelo, debido al desequilibrio que esto provoca en la absorción por parte de la planta (consume más de lo que necesita, como es el caso del N y el K), a la vez que contamina y degrada el medio (la lixiviación de algunos elementos pasan a contaminar las aguas subterráneas, al igual que ocurre con los productos fitosanitarios).

El **OBJETIVO DE LA FERTILIZACION** debe ser corregir el desequilibrio que se produce en el suelo con respecto a su contenido en elementos minerales asimilables directamente por las plantas. Un equilibrio óptimo de estos elementos, permitirá obtener unos productos de alta calidad biológica compatible con altos rendimientos.

El agricultor tiene tendencia a emplear dosis excesivas e inútiles de fertilizantes. En efecto, se observa que durante los primeros años de aplicación de un determinado elemento escaso en el suelo, hay un aumento espectacular del rendimiento, porque se completan las reservas del suelo en ese elemento; esto no significa que en años sucesivos se continúe aplicando la misma cantidad.

Antagonismo: el aporte excesivo de un elemento asimilable puede hacer desaparecer la reserva de otros elementos. Por ejemplo:

- un aporte excesivo de **K** interfiere en la asimilación del **Mg** y este termina siendo arrastrado por el agua de lluvia. También se producen efectos antagónicos del **K** frente al **Ca**, **Na** y **Bo**
- un exceso de **Ca** puede provocar el bloqueo de otros elementos asimilables como **Fe**, **Mn**, **Zn** y **Cu**
- un exceso de fertilizantes nitrogenados o fosfóricos también pueden provocar deficiencias en **Cu**, el cual influye en la salud de los animales, en

la buena conservación de los productos y en la resistencia de la planta a condiciones atmosféricas adversas.

Sinergismo: uno de los elementos (**N**) produce una acción excitante sobre la absorción de otro (**K**)

Equilibrio mineral del suelo ----->Equilibrio mineral de las plantas -----> Equilibrio mineral de los animales y el hombre

Las leyes de la fertilización

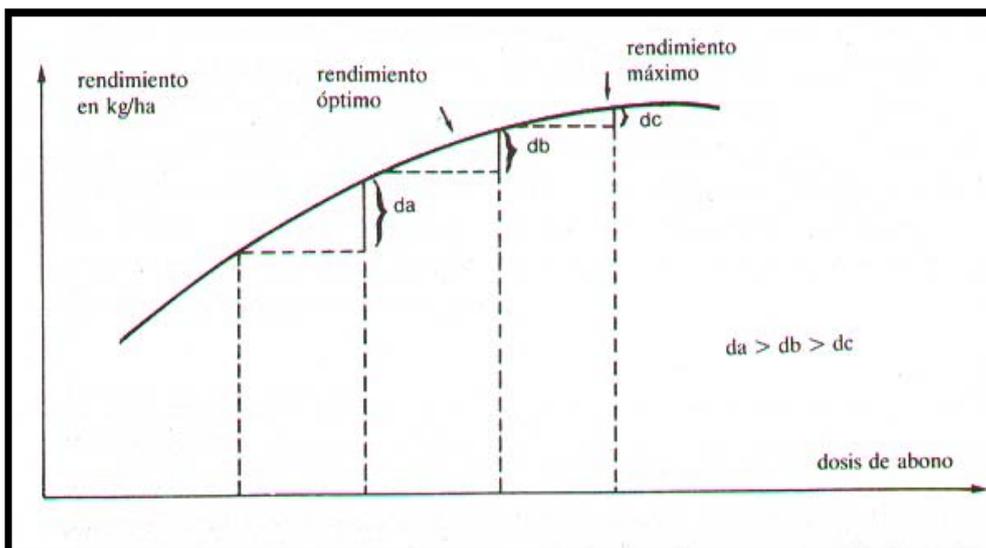
1) **Ley de la restitución:** las cosechas extraen elementos fertilizantes, por lo que sí se quiere mantener el nivel de fertilidad del suelo hay que compensar las pérdidas con idénticos aportes. Esta ley no es aplicable en el caso de suelos que, por su naturaleza, son pobres en uno o más elementos nutritivos (en este caso es necesaria una intervención inicial de ajuste) y en el caso de suelos expuestos a pérdidas por percolación de elementos nutritivos. Tampoco es aplicable si las plantas manifiestan periodos de intensas necesidades de nutrientes en el curso de su ciclo, periodos en que las reservas disponibles del suelo son insuficientes.

Por lo dicho, no parece aconsejable establecer un programa de fertilización basado tan sólo en la **Ley de las extracciones**, sino que servirá de punto de partida y se deberá tener en cuenta la riqueza del suelo, las pérdidas y las necesidades del cultivo. En cuanto a esto último, por estudios de fisiología vegetal es posible conocer la relación entre el rendimiento unitario de un cultivo y las necesidades de un nutriente referidas a la unidad de masa (kg o t) del producto. Ej:

| Cultivo | Maíz | Sorgo | Trigo | Girasol | Colza |
|--|-------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| N en kg (por 10² kg de producción) | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 4.5 | 7.0 |

2) **Ley del aumento de fertilidad:** cuando se aportan al suelo dosis crecientes de elementos nutritivos, el aumento de producción correspondiente no es lineal, aunque se aumente progresivamente la cantidad de fertilizante. En la siguiente figura se ve la curva de la que se deduce el rendimiento máximo posible que cabe esperar de la última dosis de fertilizante aportado. A la dosis **dc** le

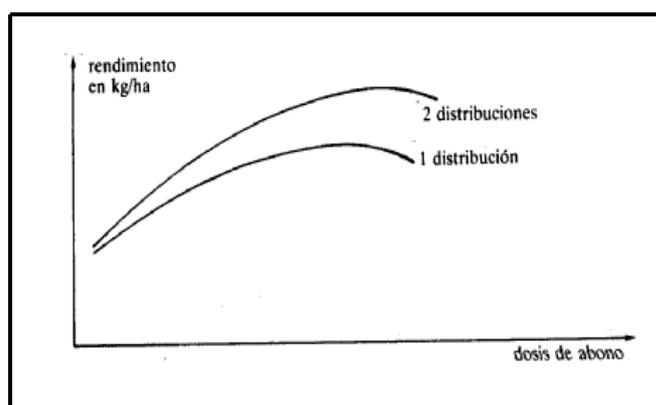
corresponde el rendimiento máximo del cultivo; más allá de esa dosis el rendimiento máximo decrece y todo lo que se añada resultará malgastado.



Curva que representa el rendimiento de los cultivos en relación a las dosis crecientes de fertilización

La dosis **dc** comporta un gasto suplementario por la compra de fertilizante respecto a la dosis **db**; si la mayor cantidad de producto obtenido sólo cubre el gasto, significa que el rendimiento óptimo del cultivo corresponde a la dosis **db** y no a la **dc**.

La forma en que se aplica el fertilizante puede modificar gradualmente el trazado de la curva. La distribución del **Nitrógeno** en dos veces puede aumentar el rendimiento respecto de la distribución de una sola vez, sin que varíe la cantidad total aportada (ver figura)



Efecto sobre el rendimiento del fraccionamiento de una misma cantidad de fertilizante

2) Ley de interacción: es una variante moderna de la Ley del Mínimo de Liebig "la respuesta de un cultivo a la fertilización está determinada por el elemento que se encuentra en el suelo en menor cantidad en relación a las necesidades del mismo". Es decir, cada factor de producción es tanto más eficaz cuanto más próximos a su óptimo estén los demás factores (interdependencia entre los elementos de la fertilidad). Cuando el efecto producido por dos factores puestos conjuntamente, es superior a la suma de los efectos de cada uno considerados por separado, se dice que hay sinergismo o interacción positiva. Estas interacciones tienen una gran influencia sobre el rendimiento de los cultivos. Numerosas experiencias ponen de manifiesto que existe interacción positiva entre el **N** y el **P**, el **N** y el **K**, el **N** y el riego, **N** y tratamiento con herbicidas.

En lo que respecta a los elementos fertilizantes una interacción puede manifestarse al mismo tiempo **en el suelo y en la planta**. Ejemplo: en suelos alcalinos el sulfato y el nitrato amónico favorecen la solubilización del P_2O_5 , mientras que una parte del nitrógeno en forma de NH_4^+ , favorece la admisión por parte de la planta de **anhídrido fosfórico**.

CLASIFICACION DE LOS FERTILIZANTES

1) Por su origen

- Minerales: consisten generalmente en sales inorgánicas (excepto la urea y la cianamida). Los más empleados son los tipos nitrogenados, fosfórico, potásico y calizo. A su vez los podemos dividir en:
 - Sintéticos: fosfato diamónico, sulfato de magnesio, nitrato de amonio, etc.
 - Naturales: roca fosfato, nitrato de sodio (salitre de Chile), etc.
- Orgánicos: proviene de residuos de origen animal (deyecciones) o vegetal (rastros). Además de su elevado contenido en nutrientes tienen un efecto muy favorable sobre las propiedades físico-químicas del suelo. Entre otros beneficios son mejoradores de la estabilidad estructural.

Ya dentro de los fertilizantes minerales, también se los puede clasificar :

2) Por su composición química

- Simples: es el formado por una sola sustancia aunque esta contenga uno o más elementos nutrientes en su molécula (Ej: urea, nitrato amónico, sulfato amónico, superfosfato simple, etc.)
- Compuestos: resultan de la mezcla de uno o más fertilizantes simples. Ej: 8 – 24 – 16, significa unidades de fertilizantes contenidas en 100 kg de fertilizante (**riqueza**), en este caso: 8 kg de **N**; 24 kg de **P₂O₅** y 16 kg de **K₂O**. (también 8% de **N**, 24% de **P₂O₅** y 16 % de **K₂O**). Si además contiene microelementos, se añaden las cifras correspondientes a estos elementos, indicando, al lado de cada una de estas últimas cifras, la fórmula del elemento correspondiente. Así, el 8 – 24 – 16 – 2 Mg – 0.2 B, por cada 100 kg de fertilizante, contiene: 8 kg de **N**, 24 kg de **P₂O₅**, 16 kg de **K₂O**, 2 kg de **MgO** y 0.2 kg **B**. También puede indicarse la relación de proporciones: **1:3:2**, en el caso de un fertilizante 8 – 24 – 16. En la actualidad, según ley 20466, se entiende por **grado** del fertilizante, el porcentaje en peso de cada elemento, en unidades y medias unidades, de Nitrógeno total, Fósforo total y potasio total. Nota: para convertir P₂O₅ en P multiplicar por 0.4364 y para convertir K₂O en K, multiplicar por 0.8302.
- Complejos: cuando los elementos fertilizantes se obtienen por reacción química. En estos fertilizantes, los elementos nutritivos están contenidos de forma más uniforme que en los fertilizantes de mezcla. Ej: fosfato de amonio, nitrato de potasio, etc.

3) Por su estado físico

- Sólidos: se presentan básicamente en tres formas, según el tamaño de las partículas:
 - *Pulverulentos*: el tamaño de las partículas varía entre **1 y 100 µm**. Ej: Cianamida cálcica, las Escorias, el superfosfato y los fosfatos naturales. Son muy sensibles al viento.
 - *Cristalizados*: el tamaño de partículas está comprendido entre **0.2 y 1 mm**. Ej: Sulfato amónico, Fosfato amónico, Nitrato potásico, Cloruro potásico y el Sulfato potásico.
 - *Granulares*: el tamaño de partícula oscila entre **0.5 y 5 mm**. Su forma de presentación puede ser en gránulo normal (fertilizantes compuestos y complejos) o perlado (urea).

En cuanto a su forma de aplicación, se pueden distribuir en toda la superficie (cobertura total) o en forma localizada, ya sea en bandas o en profundidad.

- Líquidos: pueden ser **soluciones verdaderas**: nitrogenadas (N), binarias (N-P) y ternarias (N-P-K), sin presión o con presión superior a la atmosférica (necesitan equipos especiales para su manipulación) o **suspensiones** que se desarrollaron para paliar las limitaciones que las soluciones ternarias imponen a la homogeneidad de la mezcla.
- Gaseosos: el único que se aplica en la actualidad es el amoníaco anhidro, cuyas características son las siguientes:
 - a) a la temperatura ambiente y presión atmosférica se encuentra en estado de gas, transformándose en líquido a -33.5°C o a una presión de 18 bar.
 - b) El contenido en nitrógeno puro es muy elevado: 82.3% en peso
 - c) En estado líquido tiene una densidad de 0.63 kg/l a 0°C .
 - d) La vaporización de 1 litro de amoníaco líquido produce 350 litros de gas, mientras que 1 kg genera 650 litros. Esta vaporización va acompañada de una importante caída de temperatura.
 - e) La solubilidad en agua es importante: 800 litros de gas/litro de agua.
 - f) En estado líquido es corrosivo para el cobre, zinc y aluminio. Disuelto en agua es muy corrosivo para todos los metales. Puede resultar peligroso para las personas si es proyectado en estado líquido sobre la piel, ya que al vaporizarse produce importantes quemaduras.

CARACTERÍSTICAS DE LOS FERTILIZANTES

Las características que definen un fertilizante son:

- 1) **composición química**
- 2) **índices de acidez:** número de partes en peso de CO_3Ca necesarias para neutralizar la acidez contenida en 100 partes de fertilizante aplicado.
- 3) **Índice de basicidad:** número de partes en peso de CO_3Ca que ejercen la misma acción neutralizadora que 100 partes de fertilizante aplicado
- 4) **índice de higroscopicidad:** humedad relativa a 30°C por encima de la cual el fertilizante absorbe humedad
- 5) **índice salino:** expresa el efecto que tiene, un determinado fertilizante, sobre la presión osmótica de la solución del suelo, tomando como patrón al salitre de Chile
- 6) **tamaño de partícula**
- 7) **contenido de humedad**
- 8) **incompatibilidad**

| FERTILIZANTE | GRADO | ÍNDICE DE ACIDEZ | ÍNDICE DE BASICIDAD | ÍNDICE DE HIGROSC. | ÍNDICE SALINO |
|---------------------|-------|------------------|---------------------|--------------------|---------------|
| Amoníaco anhidro | 82.2 | 148 | | | 0.572 |
| Cloruro de amonio | | 128 | | | |
| Nitrato de amonio | 35 | 60 | | 59 | 2.99 |
| Sulfato de amonio | 21.2 | 110 | | 79 | 3.253 |
| Urea | 46.6 | 75-80 | | 73 | 1.618 |
| Superfosfato simple | 20 | 4-7 | | | 0.39 |
| Superfosfato triple | 48 | 11-14 | | | 0.21 |
| Fosfato diamónico | 53.8 | 77 | | 91.6 | 0.637 |
| Nitrato de sodio | 16.5 | | 29 | 72.4 | 6.060 |
| Nitrato de potasio | 13.8 | | 23 | | 5.336 |
| Nitrato de Na y K | | | 26 | | |
| Fosfato de Ca | | | | 100 | |
| Cloruro de potasio | 50-60 | | | 84 | 2.2-1.9 |
| Fosfato monocálcico | | | | 93.7 | |

Debe tenerse en cuenta el grado del fertilizante cuando se comparan estos índices, ya que la cantidad de fertilizante a aplicar depende de él y los índices están expresados por kg de fertilizante y no por kg de nutriente

CICLO DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS:

NUTRIENTES PRINCIPALES (N – P – K)

Uno de los avances científicos que mayor repercusión tuvieron sobre la vida de la humanidad, fue el descubrimiento de la nutrición mineral de las plantas. Las posibilidades de aumentar los rendimientos de los cultivos abonando solo con estiércol eran mínimas, por la limitada cantidad disponible. Elementos como el Nitrógeno, que abunda en la naturaleza, cambió totalmente el panorama y permitió aumentar varias veces los rendimientos.

Entre los científicos pioneros se debe mencionar a Liebig. Sus experiencias comenzaron aplicando fósforo (P). Si bien el primer ensayo fracasó, debido a que se utilizó un fosfato mineral insoluble, en el 2do. intento logró hacer soluble el P mezclándolo con SO_4H_2 .

Principales Nutrientes:

La materia orgánica que producen las plantas, está compuesta por:

C: es obtenido por las plantas a partir del CO_2 del aire utilizando la energía solar

H: a partir de la molécula de agua

O: también a partir del agua

}

De la atmósfera a través de la lluvia (el suelo actúa como depósito provisorio)

Y proteínas que contienen:

N: se encuentra en el aire (78%)

P: se encuentra en el suelo

S: en el suelo y suele estar presente en los fertilizantes nitrogenados y fosfatados. Una pequeña parte procede del aire

Otros elementos, con funciones catalíticas de procesos fisiológicos:

K:

Ca:

Mg:

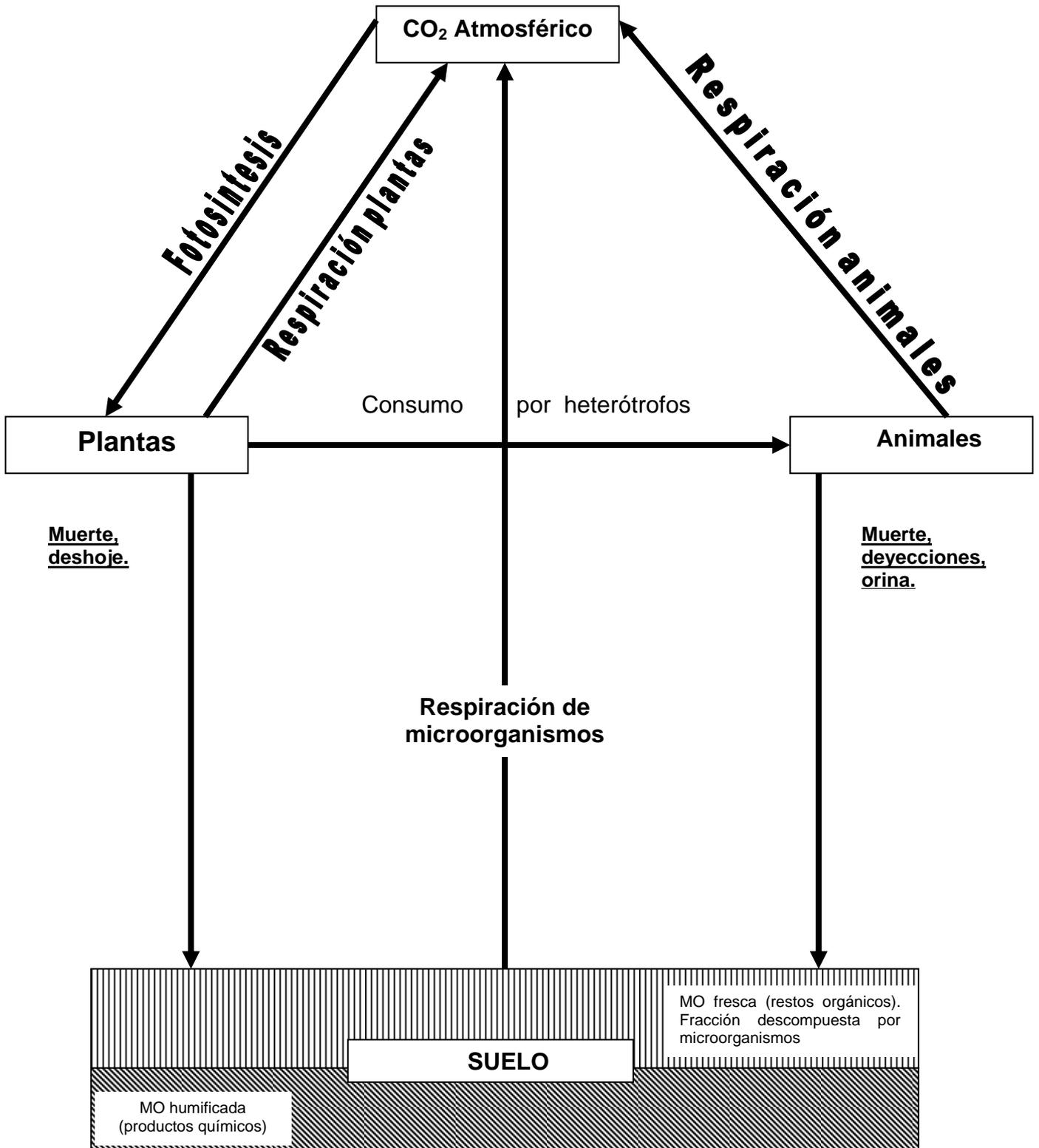
}

Están presentes en el suelo, en formas asimilables. y son absorbidos por el cultivo en grandes cantidades

Y en mínimas cantidades (**oligoelementos**), también presentes en el suelo: **Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Mo, I, Bo, Si** (en gramíneas puede reemplazar, parcialmente, al P). Su deficiencia puede deberse a un exceso de **Ca** u otro elemento que

impide su absorción. Se suelen aplicar por vía foliar para evitar la interferencia de un elemento sobre la absorción del otro y la inmovilización en el suelo, también en forma localizada.

CICLO DEL CARBONO



NITRÓGENO: es el que siempre falta, pero el que más abunda (78% del aire es N₂), por eso posibilitó la vida en nuestro planeta.

Origen de los fertilizantes nitrogenados: el 5% es de origen orgánico y el 95% es de origen mineral

Hay métodos baratos que permiten extraerlo de la atmósfera (se fabrica NH₃ a partir del N₂ del aire y el H₂ obtenido de derivados del petróleo) y también se produce un continuo intercambio de este elemento entre la atmósfera y el suelo, debido a la actividad microbiana.

El **N** solo puede almacenarse en el suelo en forma orgánica, de ahí que la fertilidad del mismo esté estrechamente relacionada con su contenido en materia orgánica (MO). Esta es la única fuente de **N** (cuando no se usan fertilizantes) y también del resto de los nutrientes. Este almacenamiento es en forma de sustancias más o menos definidas (humus) con una relación cuantitativa C/N constante e igual a 10.

El nitrógeno es bastante móvil en el suelo y difícilmente se puede almacenar por largo tiempo sin que sea transportado en profundidad o pasado a la forma orgánica.

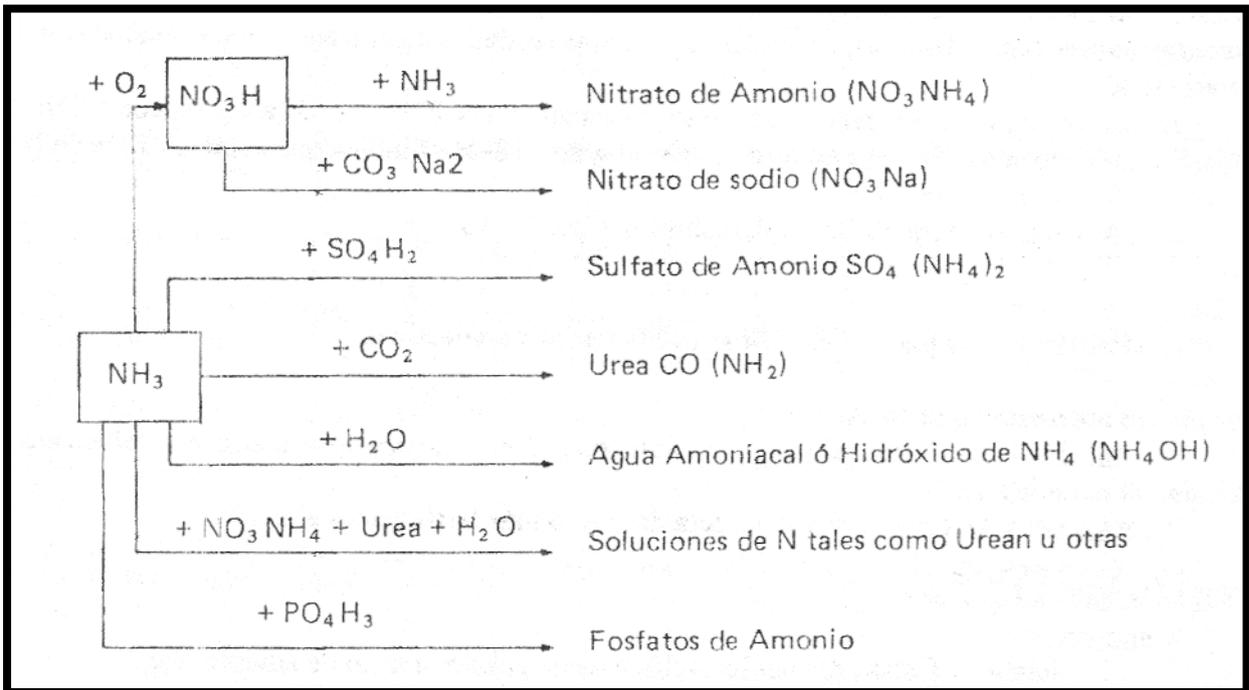
Las formas más importantes, entonces, de nitrógeno inorgánico son:

- el ión NH₄⁺, adsorbido en el complejo de cambio
- el ión NO₃⁻, en la solución del suelo

El nitrógeno atmosférico se fija por 3 procedimientos:

- 1) Fijación atmosférica: las descargas eléctricas u otros fenómenos físicos productores de energía, promueven la formación de compuestos químicos que pueden permanecer en el aire o caer al suelo con la lluvia.
- 2) Fijación Industrial: se fabrica NH₃ a partir del N₂ del aire y el H₂ (carbón, gas natural, derivados del petróleo). Se realiza a elevadas presiones. Básicamente consiste en la síntesis de $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$, en presencia de un catalizador, generalmente F₃O₄ (Magnetita) + K, Al y Ca, a temperaturas superiores a los 1000°C y a presiones entre 200 y 1000 bares, dependiendo del método empleado (el más usado es el procedimiento modificado por Haber y Bosch). El H utilizado se obtiene

del gas natural (metano: CH₄). Con el NH₃ así obtenido se pueden fabricar varios fertilizantes:



3) Fijación biológica: a través de los microorganismos. Puede ser:

- **Fijación no simbiótica:**

- ❖ Aerobias (Azotobacter): viven en suelos aireados y bien provistos de Ca y materia orgánica. En clima templado pueden fijar de 10 a 20 kg/ha
- ❖ Anaerobias (Clostridium): viven en suelos mal aireados, admiten pH más bajo y también necesitan materia orgánica.

La actividad fijadora es más lenta si hay aportación de fertilizantes minerales (a las bacterias les cuesta menos esfuerzos usar el N₂ mineral que fijarlo)

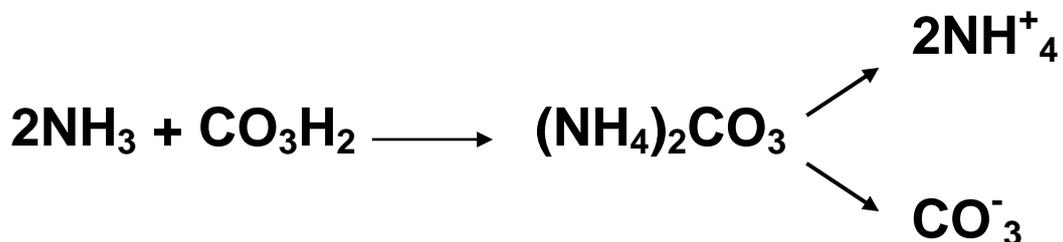
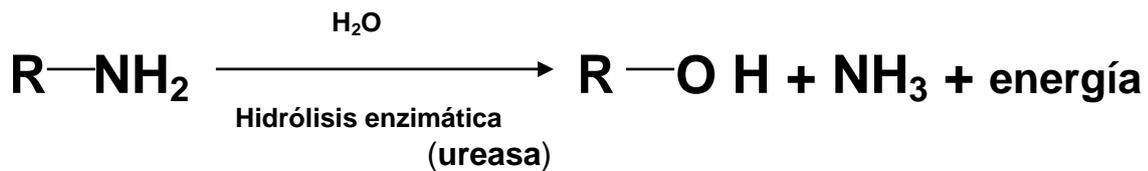
- ❖ Algas: en arrozales inundados. No necesitan materia orgánica que, por otra parte, suele ser escasa.

- **Fijación simbiótica:**

Se trata de bacterias como las del género Rhizobium que infectan las raíces de las plantas leguminosas. La cantidad de N₂ fijado varía de 50-100 kg/ha/año en porotos y arvejas y hasta 150-200kg/ha/año en alfalfa y tréboles. Resulta favorable para esta fijación la abundancia de P, K y Mo y los suelos pobres en nitrógeno amoniacal y nítrico.

Está en estudio las asociaciones simbióticas entre la bacteria Azospirillum y el maíz, así como otras gramíneas forrajeras y cereales. La actividad fijadora es baja.

El paso de la forma orgánica a la mineral, se produce mediante dos reacciones: **amonización** (con producción de NH₃ y posterior formación de NH₄⁺) y **nitrificación** .

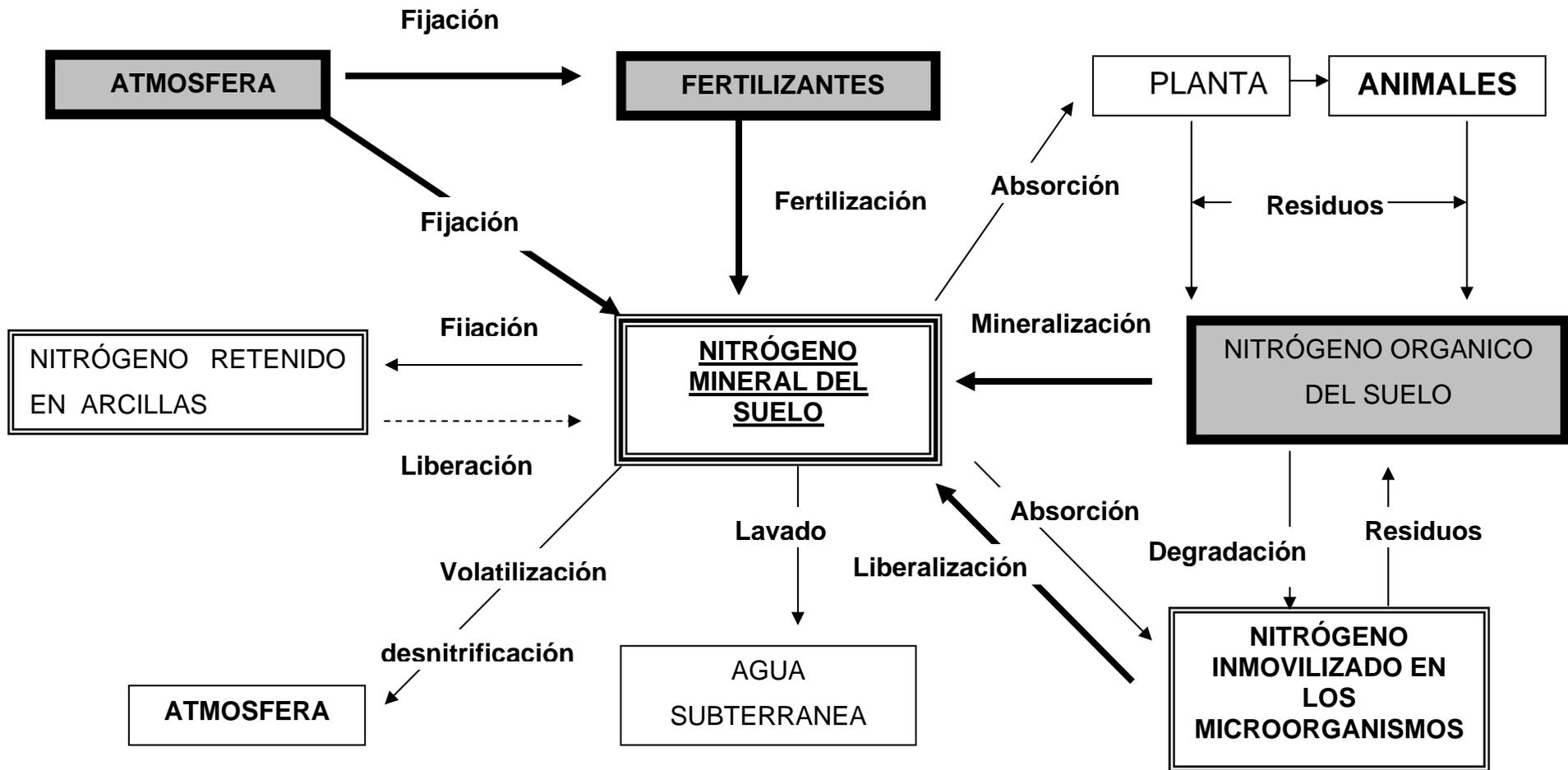


La amplitud de variación en el contenido de **nitrógeno mineral** esta unida a la cantidad de fertilizante distribuido, a la abundancia de restos orgánicos y a la actividad biológica del suelo.

La cantidad de **nitrógeno total** presente en el suelo condiciona el nivel de fertilización nitrogenada que se debe aplicar a los cultivos

Los fertilizantes químicos aumentan los rendimientos e indirectamente aumentan la materia orgánica y fertilidad “potencial” del suelo.

En el siguiente esquema se ejemplifica el ciclo del **NITRÓGENO** con sus entradas y salidas:



Volatilización: en suelos arenosos y calizos

Desnitrificación: en suelos arcillosos y húmedos

FERTILIZANTES NITROGENADOS:

| <u>NITROGENADOS</u> | | <u>ESTADO FÍSICO</u> |
|---|-------------------------|----------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Amoniacales (en la <u>siembra</u>: se absorben lentamente) | Sulfato amónico | Cristalizado |
| | Cianamida Cálcica | Polvo o granulado |
| | Cloruro de amonio | cristalizado |
| | Fosfato amónico | Cristalizado |
| | Urea | Granulado |
| | Amoniacó anhidro | gas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Nítricos (en <u>macollaje</u>: rápida absorción) | Nitrato de cal | Triturado |
| | Nitrato sódico | Cristalizado |
| | Nitrato potásico | Cristalizado |
| <ul style="list-style-type: none"> • Nítrico-amoniacaes (en <u>macollaje</u>) | Nitrato amónico | Granulado |
| | Nitrosulfato amónico | Granulado |
| | Soluciones nitrogenadas | Líquido |
| | U.A.N. | Líquido |

Sulfato amónico: 21% de **N** y 23.5% de **S**. Al estar en forma amoniacal es retenido por el complejo de cambio y no se pierde por lavado. Se utiliza al momento de la siembra. Tiende a acidificar el suelo (preferible en suelos de elevado pH). Las ventajas son : baja higroscopicidad, buenas propiedades físicas, estabilidad química y buena efectividad agronómica. Tiene baja concentración de **N** y por eso no se usa mucho, a excepción de las plantas con altos requerimientos de **S** como las crucíferas.

Cianamida cálcica: 20.5% de **N**, que se transforma en urea y posteriormente en nitrógeno amoniacal, y 60 – 70% de calcio. Se fabrica mediante la reacción del carburo cálcico con N_2 . Su fórmula es: $CaCN_2$. Como fertilizante actúa en forma similar al sulfato de amonio. No se usa, es cara y exige precauciones especiales en su aplicación (los productos

intermedios de la hidrólisis son tóxicos para las plantas). Se la ha utilizado como desfoliante en forma de polvo (algodón) y también como herbicida (a orilla de las rutas) y para enmiendas calizas.

Cloruro amónico: contiene aproximadamente un 26% de **N**. Actúa de forma similar al sulfato de amonio, pero no contiene **S** y el cloro presente puede ser dañino para algunos cultivos, como por ejemplo el tabaco (resulta menos combustible).

Se usa en Oriente como fertilizante nitrogenado para el arroz y también ha sido utilizado con éxito en trigo, cebada, caña, maíz, sorgo, etc. Al igual que el sulfato de amonio es un potente formador de ácidos. Resulta más seguro que este último en el cultivo de arroz, ya que la presencia de hongos reducen el sulfato de amonio a sulfuros tóxicos.

Fosfato amónico: tanto los fosfatos como los polifosfatos, son fertilizantes binarios, que aportan **N** y **P**. Y también se usan como base para la elaboración de fertilizantes compuestos. La presencia del ión NH_4^+ favorece la absorción de **P** (sinergismo). Son solubles en agua y tienen un efecto residual ácido sobre los suelos (preferible suelos alcalinos o de pH neutros). Se trata más ampliamente en fertilizantes fosforados.

Urea: contiene una riqueza del 46% de **N** en forma ureica que se transforma rápidamente a la forma amoniacal, cuando se incorpora al suelo en buenas condiciones de humedad y temperatura. Se produce mediante la reacción del NH_3 con CO_2 bajo presión y a una temperatura elevada:

ureasa

$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \text{-----> } \text{CO}_3 (\text{NH}_4)_2$. El carbonato amónico es un compuesto inestable y se descompone en NH_3 y CO_2 . El NH_3 o NH_4^+ así liberado, es adsorbido por la fracción coloidal del suelo y posteriormente nitrificado. Como ya se ha visto, a causa del ión amonio, producido por la hidrólisis, este material es algo ácido en su última reacción en el terreno (nitrificación). La hidrólisis de este material aumenta en presencia de la enzima ureasa que se encuentra en el suelo. Se aplica tanto al momento de la siembra como en macollaje (preferible mezclarla con suelo húmedo para que se introduzca rápidamente).

El fertilizante úrea puede contener cantidades variables de un compuesto denominado biuret. Este material se forma por la combinación de 2

moléculas de urea con la liberación de 1 molécula de amoníaco, cuando la temperatura durante el proceso de fabricación alcanza cierto nivel. El biuret es tóxico y puede ocasionar daño a las plantas. Se debe tener la seguridad que el fertilizante tiene un contenido de biuret no superior al 1.5 – 2 %.

Conviene enterrarla para evitar pérdidas de N amoniacal, sobre todo en suelos calizos y pobres en materia orgánica. La unidad fertilizante es muy económica, dada su riqueza y también se usa como constituyente de soluciones nitrogenadas y en la elaboración de fertilizantes complejos. Para pulverizaciones foliares se usa urea cristalina y también en fertirrigación por goteo (no deja residuos en tuberías y goteros).

Amoniaco anhidro: ver páginas 9 y 23 (soluciones a alta presión).

Agua amoniacal: es una solución a presión que se prepara disolviendo NH_3 en agua. Contiene el 41% de **N**. El manejo de esta solución es similar al de amoniaco anhidro (equipo y tanques especiales), aunque más simplificado por ser las presiones mucho más bajas. Se debe aplicar debajo de la superficie para evitar las pérdidas de NH_3 y también evitar el contacto con las semillas.

Nitrato de cal y Nitrato sódico (salitre de Chile): tienen una riqueza de 15.5 y 16 %, respectivamente, de nitrógeno nítrico. Contiene, además, pequeñas cantidades de otros nutrientes: yodo, boro, manganeso). Casi no se usan debido a que por su escasa riqueza resulta muy cara la unidad fertilizante; además, el sodio no es deseable en suelos alcalinos. Fue el primer fertilizante nitrogenado químico que se usó cuando aún no se habían desarrollado los métodos de producción industrial a partir del **N** atmosférico. El nitrato sódico sintético también contiene 16% de **N**. Se produce mediante la reacción del ácido nítrico con cloruro o carbonato sódico. Se comercializa como una sal pura y no contiene trazas de otros elementos como el producto natural.

Nitrato potásico: se produce haciendo reaccionar el ácido nítrico con cloruro de potasio y separando el NO_3K por cristalización y filtración. Tiene el grado 13–0–44. Da reacción alcalina en el suelo. Se lo utiliza en cultivos que responden a aplicaciones diferidas de **K** y **N**, como tabaco y cítricos.

Nitrato amónico: se fabrican 2 tipos: con una riqueza del 33.5% y nitrato amónico cálcico con 20.5% (se mezcla con calcita o dolomita para

neutralizar la acidez provocada por la nitrificación del ión NH_4^+). Se los aplica directamente o formando parte de soluciones nitrogenadas o fertilizantes complejos.

Nitrosulfato amónico: 26% de riqueza en **N** (75% en forma amoniacal y 25% en forma nítrica). También aporta azufre. Sus características son similares a las del nitrato amónico. Esta sal se elabora neutralizando una mezcla de ácido nítrico y sulfúrico con NH_3 . Excelente almacenamiento y manejo.

Soluciones nitrogenadas: son sin presión, a diferencia del agua amoniacal. La solución 32 contiene el 32% de **N**. Está compuesta por urea y nitrato amónico disueltos en agua (8% en forma amoniacal, 8% en forma nítrica y 16% en forma ureica). Esta composición permite una gran flexibilización y puede ser utilizada tanto en el momento de la siembra como en macollaje, aunque se prefiere esta última. Las soluciones nitrogenadas que contienen sales disueltas, pueden provocar la precipitación de estas según la temperatura de almacenamiento. Por ejemplo: soluciones de **N** al 28%, se sobresaturan a -21°C ; soluciones al 30% de **N** a -7°C y las soluciones al 32% de **N** a -7°C . Se aplica mediante aspersores o con chorro, y no con pulverizadores. Deben ser aplicadas debajo de la superficie para evitar pérdidas de NH_3 ; también se debe evitar el contacto directo con las semillas.

U.A.N. : solución con el 30% de **N** (14% N amídico; 8% de N nítrico y 8% de N amoniacal). Se aplica sobre el suelo y no sobre las plantas. Es soluble en agua por lo que puede aplicarse en equipos de riego o diluirlo hasta concentraciones sin toxicidad. Es muy corrosivo y podría deteriorar los pulverizadores comunes. Ventajas: dosificación precisa, aplicación uniforme y es posible fertilizar independientemente de la humedad ambiente. El cultivo lo aprovecha durante más tiempo porque parte del **N** es de asimilación inmediata y el resto se libera gradualmente.

Fertilizantes nitrogenados de liberación lenta:

Una parte importante de las pérdidas de nitrógeno aportado por los fertilizantes se puede evitar haciendo varias aplicaciones en macollaje; pero, aparte de ser costoso, en muchos casos no se puede hacer o presenta grandes dificultades. Se ha tratado de solucionar este problema mediante productos que liberan el nitrógeno de forma progresiva a lo largo del tiempo.

Los fertilizantes de liberación lenta son de dos clases:

- Fertilizantes recubiertos. Son fertilizantes tradicionales recubiertos de sustancias insolubles o poco solubles, tales como resinas, ceras, azufre, etc. El más conocido es la urea-azufre (URA).

- Fertilizantes poco solubles. Requieren una gran cantidad de agua para que se disuelvan por completo. Entre otros están: urea-formaldehído (UREA-FORM), crotoniliden-diurea (CDU), isobutil-diurea (IBDU).

Son productos caros, que se usan muy poco. Se suelen utilizar en cultivos de primor que presentan un período vegetativo largo o vegetan en suelos que favorecen las pérdidas de nitrógeno.

También existen productos que tienen la facultad de paralizar temporalmente la conversión del nitrógeno amoniacal en nitrógeno nítrico, con lo cual también se reducen las pérdidas. Estos productos, llamados inhibidores de la nitrificación, son efectivos en suelos arenosos (para evitar pérdidas por lavado) y en suelos encharcados (para evitar pérdidas por desnitrificación). El más conocido es la nitrapirina (N-Serve).

Fertilizantes con aminoácidos

A partir del nitrógeno mineral las plantas sintetizan aminoácidos para formar las proteínas, lo que supone un consumo importante de energía. Suministrando directamente los aminoácidos se ahorra la energía necesaria para sintetizarlos, a la vez que se logra una respuesta más rápida a la fertilización. Existen algunos productos comerciales, presentados en forma de solución, con un alto contenido en aminoácidos libres, que se aplican en pulverizaciones por vía foliar o se incorporan al agua de riego para ser absorbidos por las raíces. Se tiene poca experiencia en el uso de estos fertilizantes, ya que su efecto depende de muchos factores: especie y

variedad vegetal, edad de la planta, estado nutritivo, estado sanitario, condiciones climáticas, etc. En cada caso habrá que tener en cuenta el momento más adecuado de aplicación y la dosis óptima, mediante ensayos pertinentes que permiten valorar la respuesta de los cultivos. Se usan estos fertilizantes en cultivos de grandes exigencias nutritivas: invernaderos, viveros, cultivos hidropónicos, etc.

Comportamiento de los fertilizantes nitrogenados en el suelo:

| Reacción del suelo | Amónicos | Nítricos | Orgánicos |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------------|--|
| Alcalino | Poco apto (volatilización) | Apto | Muy apto (incremento de CO₂) |
| Neutro | Muy apto | Muy apto | Muy apto |
| Acido | Poco apto (acidificación) | Muy apto | Apto |

PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Como resumen de todo lo expuesto anteriormente se dan a continuación unas normas prácticas para la fertilización nitrogenada:

- Los vegetales solamente pueden asimilar el nitrógeno bajo la forma nítrica y, a veces, bajo la forma amoniacal. La mayor parte del nitrógeno del suelo está contenido en la materia orgánica; la evolución de este nitrógeno a formas asimilables depende de la actividad microbiana, con muy pocas posibilidades de que el agricultor pueda intervenir sobre este proceso, ya que depende esencialmente del suelo y del clima.
- Por lo general, la aportación de nitrógeno que suministra la materia orgánica es insuficiente para asegurar un buen rendimiento de la cosecha; además, el agricultor ignora la cantidad de nitrógeno liberado y la época exacta en que tiene lugar esa liberación. Es preciso, por tanto, hacer aportaciones de fertilizantes nitrogenados sintéticos, cuya eficacia viene condicionada por varios factores:
 - La forma de nitrógeno que contiene el fertilizante.
 - Las necesidades de la planta.

- La naturaleza del suelo.
- La práctica de la aplicación.
 - La mejor manera de suministrar nitrógeno a las plantas consiste en hacer la aplicación en los momentos y en las cantidades en que las plantas pueden asimilarlos con relativa rapidez. Con esto se reducen al mínimo las posibilidades de pérdidas.
 - El nitrógeno nítrico se asimila con rapidez y produce un gran efecto de choque sobre la vegetación, pero es arrastrado con facilidad con el agua de percolación. Por ambos motivos se utiliza en macollaje y es más efectivo cuando se fracciona la dosis.
 - El nitrógeno amoniacal, cuando la temperatura es adecuada, pasa a la forma nítrica en muy pocos días. No es arrastrado por las aguas de percolación, debido a que es adsorbido por el complejo de cambio; sin embargo, puede ocurrir alguna pérdida por lavado en los suelos con poco poder de adsorción, como ocurre en los que son muy arenosos o en aquellos otros que tienen poco contenido de materia orgánica.
 - La acción del nitrógeno amoniacal es progresiva y más duradera que la del nitrógeno nítrico, debido a que el proceso de nitrificación se prolonga durante algún tiempo. Como consecuencia de ello, los fertilizantes amoniacales se utilizan, preferentemente, a la siembra y en las primeras fases de los cultivos. Cuando se fertiliza en macollaje, sobre todo en terrenos calizos y durante períodos cálidos y secos, puede haber alguna pequeña pérdida por volatilización de amoníaco en la atmósfera; para evitar estas pérdidas conviene enterrarlo, cuando el cultivo lo permite.

Los fertilizantes nítrico-amoniacales contienen nitrógeno bajo las formas nítrica y amoniacal. Estos se utilizan preferentemente en macollaje. La forma nítrica es absorbida por la planta rápidamente, y la forma amoniacal, con más lentitud; de este modo, la planta tiene a su disposición el nitrógeno durante más tiempo que si se hubiera fertilizado exclusivamente con una forma nítrica.

El nitrógeno ureico de la úrea pasa pronto a la forma amoniacal. En los suelos que tienen una actividad microbiana normal, el paso se realiza en tres

o cuatro días; es más lenta en los suelos ácidos y pobres en humus y, también, cuando el tiempo es seco y frío.

Posibilidades de éxito de una fertilización nitrogenada:

Factores edáficos:

- 1) **bajo nivel de nitrógeno orgánico y mineral del suelo**
- 2) **alta relación C/N**
- 3) **baja actividad de la microflora que interviene en la mineralización**
- 4) **muchos años de cultivos anuales (no leguminosas) como predecesores:** la reiterada utilización del suelo con cultivos anuales de especies no leguminosas, disminuye el **N** orgánico y como consecuencia el **N** mineral. La excesiva aireación provocada en la capa arable va reduciendo la cantidad de compuestos de rápida descomposición y determina una reducción paulatina de la velocidad de mineralización del **N** orgánico. Debido a esta pérdida de fertilidad potencial, existen mayores posibilidades de respuesta a la fertilización nitrogenada en suelos con muchos años dedicados a cultivos anuales que cuando se trata de suelos vírgenes o de pradera.
- 5) **cuando el cultivo predecesor no es una leguminosa:** no hay fijación de **N** atmosférico por las raíces
- 6) **ausencia de barbechos limpios previo a la siembra (o que estos hayan sido muy prolongados, ocasionando la lixiviación de nitratos por las lluvias):** el barbecho limpio, especialmente en épocas de temperaturas moderadas, permiten acumular **N** mineral al favorecer el proceso de mineralización y no existir fuentes de consumo. Por esto, la posibilidad de respuesta a una fertilización nitrogenada disminuye cuando se ha practicado un barbecho limpio en el periodo anterior a la siembra.
- 7) **Incorporación de grandes volúmenes de rastrojos inmediatamente antes de la siembra:** la incorporación de un gran volumen de paja de cereales incrementa la población y actividad microbiana, provocando una **deficiencia temporaria** de **N** asimilable. Esta deficiencia desaparece cuando los residuos se descomponen. Si la siembra se efectúa casi simultáneamente con la incorporación del rastrojo, existe mayor posibilidad de respuesta del cultivo ante el agregado de **N**. Su repercusión sobre los rendimientos finales, está condicionada al volumen de paja incorporada y su velocidad de descomposición. El ritmo de descomposición del rastrojo en el suelo puede detenerse o reducirse si hay bajas temperaturas y exceso de humedad, como puede ocurrir en incorporaciones tardías de paja. Se calcula que es necesario agregar 1 kg de **N** por cada 100 kg de paja incorporada para evitar la inmovilización microbiana.
- 8) **Adecuado abastecimiento de aire, agua y nutrientes no nitrogenados:** es decir, que no existan otros factores limitantes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Además, es imprescindible que no se interpongan condiciones físicas desfavorables que impidan el

desarrollo radicular, como capas endurecidas o condiciones de salinidad y/o alcalinidad.

Factores extraedáficos:

- 9) **características climáticas favorables:** adecuados niveles de humedad y temperatura y que no sobrevengan adversidades climáticas: heladas fuera de época, granizo o vientos perjudiciales por su intensidad o sequedad.
- 10) **Técnicas culturales correctas:** respetar lo relativo a época y densidad de siembra, combate de plagas, enfermedades y malezas y eficiencia en la labor de cosecha.
- 11) **Capacidad genética del cultivo:** es un factor muy importante ya que permite expresar un mayor rendimiento al aumentar el nivel de fertilidad del suelo. Si el potencial genético no está preparado para elevar el rendimiento ante altos niveles de nutrientes, no se puede esperar respuesta aunque el resto de los factores sean favorables.
- 12) **Fertilización nitrogenada hecha en forma y época conveniente:** es necesario conocer que fertilizante aplicar y su dosis correcta. Es muy importante la época de aplicación en relación al ciclo del cultivo (momento de máximos requerimientos), y si la aplicación debe ser única o fraccionada para evitar pérdidas por lavado y/o volatilización.

Se define a la fertilización como una práctica de baja autonomía ecológica. Si las condiciones extraedáficas mencionadas no son adecuadas, la fertilización no solo no es una solución sino que puede provocar efectos adversos.

FÓSFORO:

Es el componente esencial de los núcleos de las células y las plántulas responden durante este periodo al **P** disponible. Una vez desarrollado su aparato radicular, el **P** disponible en el suelo es suficiente. Las semillas son muy ricas en **P** (1% de su peso) por esa necesidad de los primeros estadios donde la multiplicación celular es activa. También por este motivo resulta eficaz el “peleteado” (vestir), cuando el peso del fertilizante no sobrepasa el peso de la semilla y la fertilización contiene 15% de P_2O_5 .

Todos los residuos de las plantas y animales del ecosistema se depositan en los primeros mm de la superficie del suelo y como el **P** es poco móvil se encuentra en esos escasos mm donde germinará la semilla. La presencia de este elemento favorece el establecimiento del cultivo. Por otro lado el **P** se inmoviliza rápidamente al reaccionar con el **Fe**, **Al** y **Ca** y además los microorganismos lo incorporan a la materia orgánica. Para evitar esto se

utilizan actualmente fertilizantes granulados que reducen la superficie de contacto con el suelo y así se retarda la inmovilización. En el caso de árboles, se coloca el fertilizante dentro de bolsas perforadas. Para las refertilizaciones en praderas implantadas, la aplicación de **P** soluble debe hacerse coincidir con periodos de intensa absorción por parte de las plantas y anticiparse a ellos si se usa **P** poco soluble. Una época favorable, para forrajeras en la pradera pampeana, puede ser la etapa de macollaje o principios de primavera.

Todo el **P** contenido en el suelo puede ser usado por las plantas, pero lo que interesa es la rapidez con que puede ser asimilado. Se distinguen las siguientes formas:

- 1) Fósforo rápidamente asimilable: las plantas absorben el ión fosfato, PO_4^{3-} , de la solución del suelo. Estos iones pueden ser adsorbidos por los coloides del suelo (arcilla, humus y ciertos compuestos de Fe, Al, y Ca). Las partículas con carga positiva atraen al ión PO_4^{3-} , pero también las de carga negativa por intermedio de otros iones y uniones más complejas. Cuando las plantas absorben iones de la solución, los iones adsorbidos pasan a la solución y así la concentración de estos permanece constante. La cantidad de **P** en la solución es insignificante con relación al **P total**.
- 2) Fósforo lentamente asimilable o no asimilable: el **P** forma compuestos insolubles con el **Ca** (en suelos básicos) y con el **Fe** y el **Al** (en suelos ácidos). Por debajo de pH 6 y por encima de pH 7.5 es insoluble. Se puede recuperar una parte del **P** modificando el pH hasta condiciones neutras. Se favorece con un buen nivel de materia orgánica. Los ácidos que segregan las raíces de las plantas contribuyen a solubilizar el **P** insoluble. La eficiencia de la fertilización fosforada es muy baja, el 10% o menos. Las leguminosas y las crucíferas son muy sensibles al **P**. Como las leguminosas elevan la fertilidad "actual", indirectamente el **P** provee también el **N** (este criterio se utilizó en Argentina por el elevado precio del nitrógeno).

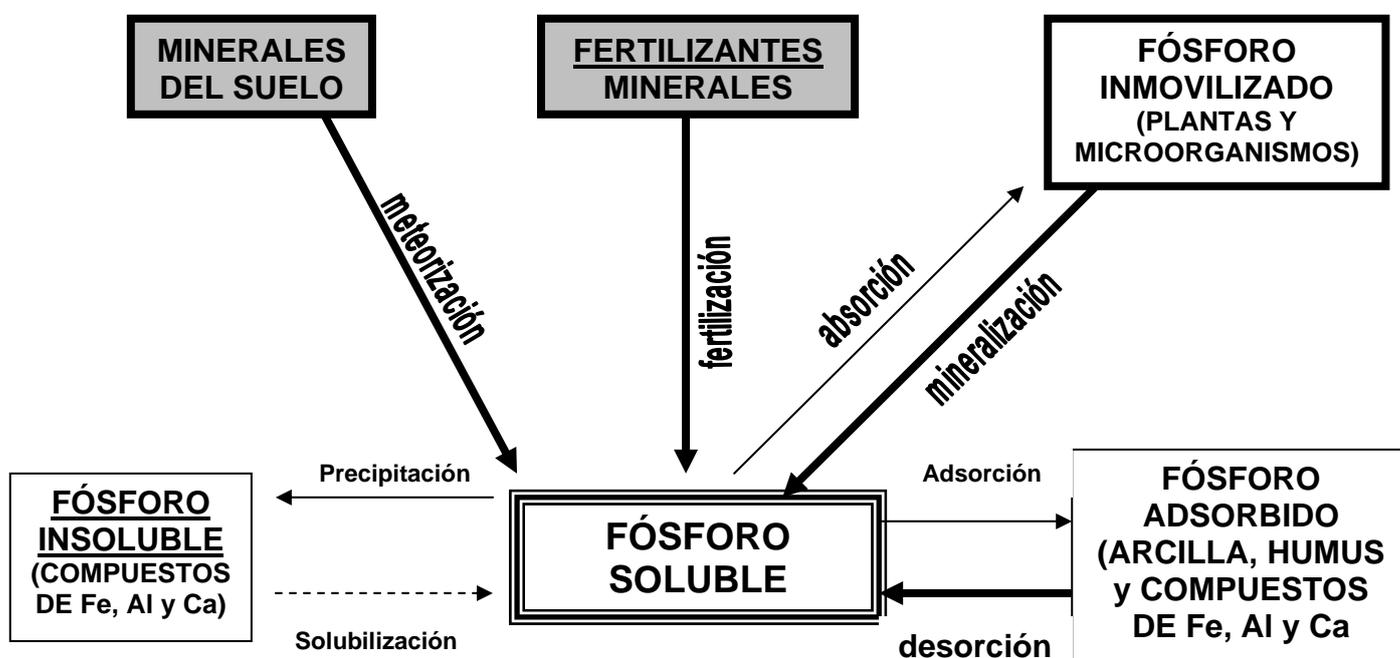
Eficacia de los fertilizantes fosforados: desde el punto de vista del propio fertilizante, esta eficacia depende:

- 1) de la solubilidad:** la concentración o riqueza de un fertilizante fosforado viene dada por la suma del P_2O_5 soluble en agua, se asimila con mayor rapidez, y en ácido cítrico o sus sales. Para obtener una respuesta rápida (cultivos de ciclo corto o que tienen un escaso desarrollo radical), el fertilizante debe tener un mínimo del 50% del P_2O_5 soluble en agua. Los que tienen menos del 50% son de acción lenta y se utilizan en cultivos de ciclo largo. En suelos ácidos son convenientes formas poco solubles en agua y donde abunda la caliza deben emplearse formas solubles en agua. Los fertilizantes con bajo porcentaje de solubilidad en agua se distribuyen con anterioridad a la siembra o plantación, en cambio los muy solubles en el momento de instalar el cultivo. En suelos con un buen nivel de **P**, se pueden emplear fertilizantes que tengan un pequeño porcentaje de **P** soluble en agua; este cubre las necesidades más inmediatas, mientras que el **P** soluble en citrato actúa con más lentitud y cubre las necesidades a lo largo de la vegetación de la planta
- 2) de la técnica de aplicación:** debido a su poca movilidad en el suelo y al escaso desarrollo de la raíz cuando la planta más lo necesita, los iones PO_4^{3-} deben estar a no más de 2 mm de las raíces. Se pueden aplicar de las siguientes formas:
- a) al voleo y enterrado posterior: es efectivo para las formas solubles en citratos y, en general, para suelos ricos en **P**.
 - a) en bandas superficiales y posterior enterrado: para las formas solubles en agua en suelos ácidos y, en general, en los suelos pobres en **P** y para cultivos de escaso desarrollo radical
 - b) En bandas localizadas próximas a las semillas y por debajo de estas: muy efectivo en la mayoría de los cultivos.
- 3) la granulometría:** la eficacia depende
- en suelos ácidos: formas solubles en agua gránulos de mayor tamaño (y mayor dosis) y formas solubles en citrato resultan más eficaces cuanto menor sea el tamaño (se aplican dosis más bajas).
 - en suelos básicos: es indiferente, incluso no influye ni que estén granuladas o en polvo.

COMPORTAMIENTO DE LOS FERTILIZANTES FOSFORADOS SEGÚN LA ACIDEZ DEL SUELO. CRITERIOS DE ELECCIÓN.

| TIPO DE SUELO | TIPO DE FERTILIZANTE | | ELECCIÓN |
|-------------------|----------------------|-----------------|--------------------|
| | POCO SOLUBLE | SOLUBLE | |
| ACIDO | Reacción rápida | Fuerte fijación | Usar poco solubles |
| NEUTRO | Reacción lenta | Menor fijación | Usar P soluble |
| ALCALINO CALCAREO | Reacción muy lenta | Fuerte fijación | Usar P soluble |

DINÁMICA DEL FÓSFORO EN EL SUELO



Fertilizantes Fosforados

| MINERALES | Estado físico |
|---------------------------------------|--------------------|
| Ácido fosfórico | Líquido |
| Ácido superfosfórico | Líquido |
| <u>FOSFATADOS</u> Superfosfato | Granulados |
| Escorias | Polvo |
| Fosfatos y Polifosfatos naturales | Polvo y granulados |

La materia prima que se usa para la fabricación de fertilizantes fosforados es el fosfato natural, apatita o fosforita, mineral de muy baja solubilidad, cuyos yacimientos más importantes están en Marruecos, Túnez, EE.UU y Rusia. El mineral es tratado por el calor (proceso que encarece el producto) o con ácidos, para romper el enlace apatita y convertir el **P** en formas más solubles.

Ácido fosfórico: se trata el fosfato mineral con SO_4H_2 o se oxida el **P** elemental hasta P_2O_5 y se hace reaccionar a este con H_2O .

El ácido fosfórico "grado agrícola" (24% de **P** y 55% P_2O_5) se usa para acidificar el fosfato mineral y convertirlo en superfosfato triple, el cual se neutraliza con NH_3 para fabricar fosfatos amónicos y fertilizantes líquidos. Puede aplicarse directamente al suelo. En zonas alcalinas y calcáreas, por inyección o añadido al agua de riego. En suelos calcáreos se formará fosfato mono y dicálcico y en suelos ácidos complejos de hierro y aluminio. Por su naturaleza ácida puede solubilizar temporalmente ciertos elementos muy insolubles que se hallan en pequeñas proporciones (Zn, Fe y Mn).

Ácido superfosfórico: se prepara a partir del **P** elemental o del SO_4H_3 . Contiene el 34% de **P** y el 79% de P_2O_5 . Se fabrica por deshidratación del ácido fosfórico y el producto final contiene, aproximadamente, 35 al 50% de radicales PO_4^{\equiv} condensados. Este ácido se ha usado para la fabricación de fosfato amónico y polifosfatos de calcio.

Superfosfato: tenemos el superfosfato simple (riqueza del 18% en P_2O_5 ; 80% es soluble en agua y 20% en citrato. Contiene también Ca y S) y superfosfato triple (riqueza del 45% en P_2O_5 ; 90% es soluble en agua y 10% en citrato), el más usado. Los superfosfatos se usan en fertilizantes compuestos con diferentes contenidos de P_2O_5 . No conviene mezclarlos con fertilizantes que lleven cal viva. Por corto espacio de tiempo se pueden mezclar con nitrato cálcico, urea y nitrato amónico. Los mejores resultados se obtienen en suelos neutros o ligeramente ácidos.

Escorias: es un producto de la industria siderúrgica con una riqueza de P_2O_5 entre el 15 y el 20%, insoluble en agua y soluble en citrato. Contiene cantidades apreciables de Mg y oligoelementos. Tiene un valor de neutralización del 60 al 80%, haciendo reaccionar el mineral fosfato con NO_3H o con NH_3 .

Fosfatos y polifosfatos naturales: fertilizantes binarios que aportan **N** y **P**.

Tenemos:

Fosfato monoamónico (MAP): riqueza: 10/11 – 50/55 – 0 (granulado o en polvo) y la fórmula más rica, 12-61-0, se presenta en forma cristalina y se usa en fertirrigación.

Fosfato diamónico (DAP): tiene una riqueza del 16/18 – 46/48 – 0 y en fertirrigación, 21 – 53 – 0.

Los fosfatos amónicos son completamente solubles en agua y tienen un efecto residual ácido sobre los suelos, debido a la reacción final de nitrificación del ión NH_4^+ .

Polifosfatos: son productos de altas concentraciones, 10/15 – 35/62 – 0. Se presentan bajo formas sólida o líquida (incorporan micronutrientes en suspensión).

POTASIO:

No se encuentra en estado puro en la naturaleza debido a su alta reactividad. Los depósitos se presentan como:

- 1) Yacimientos de sales sólidas debajo de la superficie de la tierra: los minerales más importantes son **Silvinita** (compuesta por Cl K, entre el 20 y el 30%, y Cl Na), **Silvita** (63% de K_2O) y **Langheinita** (23% de K_2O), compuesta principalmente por SO_4K_2 y SO_4Mg .
- 2) En salitres: el **K** y otros minerales son recogidos mediante evaporación solar de las salmueras naturales (Gran lago salado en EE.UU y Mar Muerto en Israel y Jordania) y artificiales (pozos de agua salada).

Es absorbido, como ión K^+ en grandes cantidades por las plantas. 100 kg de grano de trigo (un quintal) contienen 450 g de **K**, 850 g de P_2O_5 , 450 g de **Ca** y 2 kg de **N**.

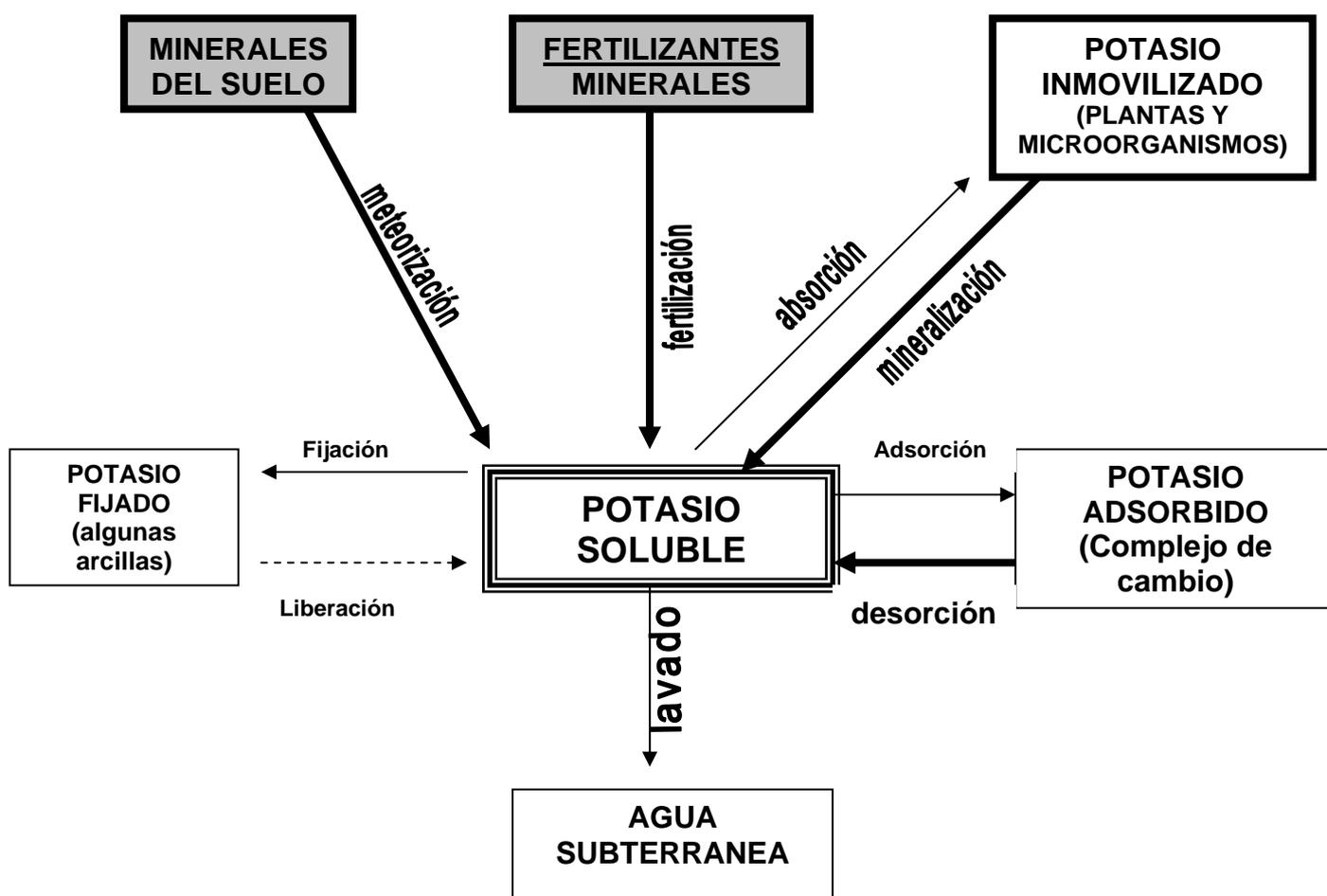
Facilita procesos fisiológicos, favorece la producción de carbohidratos (papa, remolacha, uva, etc.) y aumenta la resistencia a sequía, heladas y parásitos. Las leguminosas también son sensibles al **K**.

Los suelos lavados son pobres en **K** asimilable y cuando hay un exceso las plantas absorben mayor cantidad sin que aumente la producción (consumo de lujo). El exceso también origina deficiencias en la absorción de Mg.

Debido a que la mayor proporción de **K** se encuentra en forma intercambiable, la cantidad que se pierde por lavado no es excesiva. Así, una concentración de **K** en la solución del suelo de 4ppm, se eliminaría por lavado a razón de 0.4 kg/ha por cada 10 mm de lluvia. La mala aireación (compactación o altos contenidos hídricos) afecta la absorción de **K** más que la de otros macronutrientes.

Argentina no tiene problemas de deficiencias de este elemento en sus suelos, es más importante la escasez de **S**.

DINÁMICA DEL POTASIO EN EL SUELO



ESTADO FÍSICO DE ALGUNOS DE LOS PRINCIPALES FERTILIZANTES

| MINERALES | | Estado físico |
|-------------------------|------------------|---------------|
| <u>POTÁSICOS</u> | Cloruro potásico | Cristalizado |
| | Sulfato potásico | Cristalizado |

Cloruro potásico: es soluble en agua y tiene un 60% de riqueza en K_2O . Se puede mezclar con cualquier otro fertilizante a la hora de emplearlo. No usar si se riega con aguas salinas.

Sulfato potásico: 50% de riqueza en K_2O y un 18% de azufre. Provoca acidificación del suelo. Se usa en cultivos sensibles al cloruro (frutales y tabaco).

Fertilizantes sintéticos más comunes y su contenido en N - P_2O_5 - K_2O :

| DENOMINACION | N | P_2O_5 | K_2O |
|------------------------------|------|----------|--------|
| UREA | 46 | 0 | 0 |
| SULFATO DE AMONIO | 20.5 | 0 | 0 |
| CLORURO DE AMONIO | 21 | 0 | 0 |
| AMONIACO ANHIDRO | 82 | 0 | 0 |
| NITRATO DE SODIO | 16 | 0 | 0 |
| NITRATO DE CALCIO | 15.5 | 0 | 0 |
| NITRATO DE AMONIO | 35 | 0 | 0 |
| FOSFATOS NATURALES | 0 | 20-25 | 0 |
| SUPERFOSFATO DE Ca SIMPLE | 0 | 20-25 | 0 |
| SUPERFOSFATO DE Ca TRIPLE | 0 | 46 | 0 |
| FOSFATO MONOAMÓNICO | 10 | 52 | 0 |
| FOSFATO DIAMÓNICO | 18 | 46 | 0 |
| ACIDO FOSFÓRICO | 0 | 55 | 0 |
| ESCORIAS THOMAS | 0 | 12-20 | 0 |
| MINERAL POTÁSICO NATURAL | 0 | 0 | 25-40 |
| CLORURO DE POTASIO | 0 | 0 | 48-62 |
| SULFATO DE POTASIO | 0 | 0 | 48-52 |
| BICARBONATO DE POTASIO | 0 | 0 | 46 |
| NITRATO DE POTASIO | 13 | 0 | 45 |

ELEMENTOS SECUNDARIOS Y MICROELEMENTOS

Elementos secundarios son aquellos elementos nutritivos que las plantas necesitan absorber en gran cantidad y que normalmente abundan en el suelo. A este grupo pertenecen: calcio, magnesio y azufre.

Los microelementos u oligoelementos, son aquellos otros que las plantas consumen en muy pequeña cantidad. A este grupo pertenecen: hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, boro y cloro.

Tanto unos como otros son necesarios para las plantas. En términos generales se puede decir que no es necesario preocuparse demasiado por ellos, ya que en los suelos existe suficiente cantidad, salvo en casos especiales de suelo y de cultivo. Sin embargo, cada vez es más frecuente la aparición de síntomas

de escasez de alguno de estos elementos. Esto es debido, entre otras, a las siguientes causas:

- Agotamiento del suelo, debido a producciones elevadas y a la repetición del mismo cultivo.
- Disminución de las aportaciones de estiércol, que contiene cantidades apreciables de microelementos.
- Algunos elementos forman parte de las impurezas que acompañan a los fertilizantes que se utilizan habitualmente. En la actualidad se fabrican productos de mayor pureza, lo que ocasiona una disminución en la aportación de dichos elementos.

Cuando las carencias son debidas a la escasez de un elemento en el suelo, dicha carencia desaparecerá cuando se incorpore al suelo el elemento que falta en forma asimilable por las plantas.

Puede ocurrir que haya en el suelo suficiente cantidad de un elemento, pero la planta no puede absorberlo porque se encuentra bloqueado en forma no asimilable. Este tipo de carencia se debe a la existencia de condiciones desfavorables en el suelo (acidez o alcalinidad elevadas, poco contenido de materia orgánica, salinidad excesiva, etc.), o porque hay exceso de otro elemento que interfiere la asimilación de aquél; en estos casos no basta con hacer aportaciones al suelo del elemento considerado, sino que es preciso modificar esas condiciones desfavorables. En tanto esto se produce se harán pulverizaciones foliares, que son más rápidas y efectivas que las aportaciones al suelo. Generalmente se hacen varios tratamientos al año, pues la cantidad absorbida cada vez es muy pequeña.

En el manejo de los microelementos es preciso tener prudencia, pues los umbrales de carencia y de toxicidad están bastante próximos. Son particularmente tóxicos los excesos de manganeso, cobre, boro y molibdeno.

CALCIO

El calcio juega un importante papel en la vida de las plantas, ya que interviene en el crecimiento de las raíces y en la absorción de los demás elementos nutritivos.

Por lo general, el calcio abunda en el suelo y no debe preocupar al agricultor en lo que se refiere a su papel como alimento de las plantas; únicamente en el caso de suelos ácidos se pueden producir deficiencias, sobre todo en aquellos cultivos que absorben gran cantidad, como ocurre, entre otros, con la alfalfa, el trébol, las coles, el melón y el naranjo. En general se puede afirmar que si el contenido de calcio en el suelo es satisfactorio, desde el punto de vista de acidez, las necesidades de calcio de las plantas quedan cubiertas ampliamente.

El calcio en el suelo :

El calcio en el suelo se presenta formando parte de numerosos minerales (caliza, dolomita, yeso) y en forma de ión calcio. Bajo esta forma está en la solución de; suelo y adsorbido al complejo de cambio. Las plantas toman el ión calcio contenido en la solución del suelo.

Los iones calcio adsorbidos al complejo de cambio están en equilibrio con los contenidos en la solución del suelo. Cuando ésta contiene muchos iones, una cierta cantidad de ellos son adsorbidos por el complejo; inversamente, cuando la solución contiene pocos iones, una cierta cantidad de iones adsorbidos pasan del complejo a la solución. Los iones contenidos en la solución del suelo

pueden perderse arrastrados por el agua de percolación, lo que provoca la acidificación del suelo.

Se llama calcio activo del suelo al contenido en la solución del suelo, en el complejo de cambio y el que se solubiliza con mucha facilidad. Este calcio activo es el que se considera como enmienda del suelo, ya que modifica sus propiedades. Sus efectos más notables son los siguientes:

- Favorece la formación de agregados, con lo cual la estructura del suelo se hace más estable.
- Reduce la acidez del suelo, por lo que se emplea para corregir los suelos ácidos.
- Sustituye al sodio en el complejo de cambio, por lo que se utiliza para la corrección de suelos sódicos.
- Favorece la transformación de la materia orgánica.
- Estimula la acción de los microorganismos del suelo.
- Se combina con el humus y el fósforo del suelo, formando unos compuestos que permiten retener al fósforo temporalmente, impidiendo su precipitación.

Las aportaciones al suelo de calcio asimilable se producen por los siguientes procesos:

- Meteorización de los minerales que lo contienen
 - Mineralización de la materia orgánica.
 - Aportaciones con las enmiendas y los fertilizantes que lo contienen
- Las pérdidas se producen por los siguientes procesos:
- Absorción por las plantas y los microorganismos. Este calcio queda inmovilizado temporalmente, hasta que de nuevo vuelve al suelo con los residuos orgánicos.
 - Precipitación en forma de carbonatos, fosfatos y sulfatos. Este calcio se puede recuperar cuando las condiciones del medio permiten la solubilización de estos minerales.
 - Lavado por las aguas de percolación.

Cuando se quiere enriquecer el suelo con fines nutritivos exclusivamente, se puede aportar cualquier producto que lo contenga: cal, caliza, yeso, dolomita, etc. Algunos fertilizantes contienen cantidades apreciables de calcio, tales como el superfosfato, el nitrato de calcio, la cianamida cálcica, las escorias Thomas, el nitrato amónico cálcico, etc.

AZUFRE

Algunas plantas tienen grandes exigencias de este elemento, como las leguminosas (alfalfa, trébol, haba), las crucíferas (col, colza, nabo), la cebolla, etc. Se absorbe por las raíces y por las hojas.

El azufre se encuentra en el suelo formando parte de la materia orgánica y de ciertos minerales. La forma orgánica es la más abundante. La transformación del azufre contenido en la materia orgánica tiene una cierta semejanza con la transformación del nitrógeno orgánico. Por lo general, la carencia de uno de estos elementos está relacionada con la carencia del otro. Incluso, los síntomas de carencia son muy parecidos en uno y otro. Un buen nivel de calcio en el

suelo facilita la descomposición de la materia orgánica y, como consecuencia de ello, la asimilación del azufre.

Las aportaciones de azufre al suelo provienen de las siguientes fuentes:

- Los minerales del suelo
- La materia orgánica.
- El azufre contenido en el aire, que es arrastrado hacia el suelo por las precipitaciones
- El agua de riego puede aportar cantidades apreciables
- Los fertilizantes y las enmiendas que contienen dicho elemento (sulfato amónico, nitrosulfato amónico, superfosfato de cal, sulfato potásico, yeso).
- Algunos productos anticriptogámicos (azufre, sulfatos, ditiocarbamatos, etc.)

Las pérdidas de azufre del suelo son debidas a las causas siguientes:

- Las extracciones por las cosechas y los microorganismos.
- Arrastre de formas solubles por las aguas de percolación hacia zonas profundas
- Volatilización en formas gaseosas hacia la atmósfera
- La quema de los rastrojos de los cereales supone una pérdida de unos 10 kg de azufre por hectárea

El contenido de azufre asimilable varía en el suelo a lo largo del año, de un modo semejante a como ocurre con el nitrógeno: es máximo en verano, debido a que la mineralización del azufre orgánico se incrementa con la temperatura, y es mínimo a la salida del invierno, debido al lavado de las formas solubles durante el invierno. Por este motivo, las carencias suelen presentarse a la salida de los inviernos lluviosos.

Aportaciones de **azufre** al suelo :

La extracción por las cosechas y las demás pérdidas son compensadas, en la mayoría de los casos, por las cantidades que proporciona la mineralización de la materia orgánica, las aportaciones de estiércol, los productos anticriptogámicos y los fertilizantes minerales que contienen este elemento. Cuando no se utiliza estiércol, es cada vez más frecuente detectar deficiencias de azufre, que se corrigen mediante aportaciones de fertilizantes que lo contienen: sulfato amónico (23%), nitrosulfato amónico (15 %), nitromagnesio (11%), superfosfato de cal simple (12%), sulfato potásico (18%), etc.

No se deben confundir las necesidades de azufre como nutriente, con las enmiendas que precise este elemento para corregir suelos salinos y alcalinos. En el primer caso se necesitan unos cuantos kg de azufre por hectárea, mientras que en el segundo se necesitan varias toneladas por hectárea.

MAGNESIO

Debido a que es un componente de la clorofila, la escasez de este elemento se traduce en una reducción de la fotosíntesis, que da lugar a un amarilleo de las hojas, seguido de la aparición de manchas pardas. Las hojas afectadas en primer lugar son las más viejas. La escasez de magnesio en la planta reduce su resistencia ante medios adversos (frío, sequía, enfermedades, etc.).

La planta absorbe este elemento por las raíces y por las hojas.

La absorción del magnesio por las plantas no sólo depende de su contenido en el suelo, sino también de la abundancia de otros iones que pueden interferir su asimilación.

En suelos demasiado ácidos o con excesiva cantidad de calcio o potasio solubles, la absorción se realiza con dificultad. En estos casos hay que corregir, en primer lugar, las deficiencias del suelo: en suelos muy ácidos se hace un encalado para rebajar la acidez, y en suelos con exceso de calcio o potasio se rebaja el contenido de estos iones. En suelos neutros o alcalinos, las deficiencias de magnesio se corrigen mediante los productos que lo contienen: sales magnésicas, dolomita, estiércol y fertilizantes compuestos que incluyen este elemento en su fórmula.

Cuando hay deficiencias graves se añade al suelo fosfato de magnesio. En casos de urgencia, sobre todo en frutales y viña, se hacen pulverizaciones en las hojas con sulfato de magnesio. El primer procedimiento es lento, y el segundo es poco duradero. Por eso conviene combinar ambos: se hacen aportaciones al suelo y se complementan con pulverizaciones foliares en los momentos de mayores necesidades.

HIERRO

Los síntomas más claros de la carencia de hierro se producen en las hojas, que pierden su color verde por falta de **clorofila**. Esta deficiencia se llama clorosis férrica. En una primera fase amarillean las hojas entre las nervaduras, aunque éstas conservan su color verde; en casos más graves las nervaduras se vuelven amarillas, y en los casos extremos, las hojas aparecen casi blancas. La viña y los frutales son los cultivos donde se da con mayor frecuencia la clorosis férrica. Los síntomas de carencia aparecen, en primer lugar, en las hojas nuevas.

El hierro en el suelo

El hierro suele ser muy abundante en los suelos, pero su solubilidad depende, sobre todo, del pH. En medio ácido es muy soluble y, por tanto, puede ser asimilado fácilmente por las plantas. En medio básico es muy poco soluble; en este caso las excreciones ácidas de las raíces favorecen la solubilidad del hierro y su absorción por las plantas.

A pesar de que los suelos suelen tener suficiente cantidad de hierro, puede ocurrir que las plantas no puedan absorber suficiente cantidad, debido a las condiciones del medio.

- En medio neutro o básico el hierro es muy poco soluble.
- Un elevado contenido de calcio activo impide la absorción del hierro por las plantas.

-Cantidades elevadas de algunos microelementos (manganeso, cobre, zinc) dificultan la absorción del hierro. También lo dificulta un elevado contenido de bicarbonatos en el suelo o en el agua de riego.

-La falta de drenaje, una aireación insuficiente, los daños producidos por nemátodos y otras causas que debilitan las raíces, dificultan la absorción de este elemento.

Para corregir la clorosis férrica es preciso evitar las causas que la producen. Éstas son variadas pero la más frecuente es la basicidad o alcalinidad del suelo. En estos casos se tratará de corregir esta alcalinidad mediante aportaciones de azufre, estiércol, abonos verdes y abonos acidificantes.

En caso de clorosis leves son efectivas las aportaciones de sulfato ferroso aplicado al suelo, dando a continuación un riego o enterrándolo con una labor. Se obtienen mejores resultados con quelatos de hierro. Tanto el sulfato como los quelatos se pueden aplicar al suelo o mediante pulverizaciones foliares.

Los quelatos más utilizados son los siguientes:

- En suelos ácidos o ligeramente básicos: EDTA-Fe.
- En suelos básicos: EDDHA-Fe o DTPA-Fe
- En suelos muy calizos o alcalinos: APCA-Fe

Los quelatos presentan los inconvenientes de que son caros y tienen un escaso efecto residual, lo que obliga a hacer 2-3 tratamientos al año por vía foliar, y repetir las aplicaciones al suelo cada dos años.

MANGANESO

Las deficiencias de manganeso se ponen de manifiesto con la aparición de un color amarillo rojizo entre las nervaduras de las hojas. Cuando las deficiencias son graves se produce una clorosis generalizada en toda la hoja, que resulta difícil de diferenciar de la clorosis férrica. Los agrios y los frutales de hueso, son los cultivos más afectados por las deficiencias de este elemento.

La disponibilidad de manganeso asimilable por las plantas depende más del pH del suelo que de la cantidad de manganeso presente. Con pH bajo, este elemento se asimila con mucha facilidad. Cuando haya problemas de deficiencia se procurará, ante todo, mantener un pH bajo.

Las aportaciones al suelo de sulfato de manganeso son poco eficaces, mientras no se corrijan las condiciones que provocan las carencias. En todo caso habría que emplear cantidades altas: de 50 a 100 kg por hectárea en suelos neutros, y hasta 500 kg por hectárea en suelos muy básicos. Es más efectiva la pulverización foliar del sulfato de manganeso en solución al 1%. Otros productos inorgánicos empleados son: óxido de manganeso, carbonato de manganeso y cloruro de manganeso.

El tratamiento con quelatos es poco efectivo.

La toxicidad por exceso de manganeso asimilable se corrige mediante un encalado, que eleva el pH y provoca la insolubilización del manganeso.

BORO

Las plantas más exigentes en este elemento son: remolacha, alfalfa, frutales, viña y coliflor. Los cereales son poco exigentes. Los síntomas de carencia se manifiestan en primer lugar en los brotes y hojas jóvenes, que se atrofian y deforman. En la remolacha azucarera, una carencia acusada origina el «mal de corazón» o podredumbre acuosa de la raíz. En los frutales se agrieta la corteza, aparece gomosis y los frutos presentan malformaciones.

Se pueden producir carencias de boro en los cultivos más sensibles, sobre todo en suelos ácidos y en suelos arenosos con exceso de lluvia o de riego (que produce el lavado hacia zonas profundas). Para corregir o prevenir deficiencias se aplica borax al suelo, en la proporción de 20 kg/ha.

Algunos fertilizantes comerciales incorporan boro en su fórmula, tales como el N- Solublisol y el Borasol.

En suelos básicos, y cuando se desea mayor velocidad de actuación, se hacen pulverizaciones foliares con pentaborato sódico y ácido bórico, en soluciones de 1-2 mg por litro. Estas aplicaciones se hacen con volúmenes elevados de agua (600 - 1.000 l/ha), con el fin de mojar bien la planta, ya que este elemento sólo es efectivo sobre las partes de la planta a donde alcanza la pulverización.

El boro ha de manejarse con prudencia, porque resulta tóxico para las plantas a partir de una cierta concentración en el suelo. Cuando se hacen aportaciones en años sucesivos es preciso analizar el contenido en boro de las hojas, con el fin de interrumpir las aportaciones en el momento preciso.

ZINC

La carencia de zinc en las plantas se manifiesta por ciertas anomalías en su desarrollo: las hojas se alargan y los entrenudos se acortan, a la vez que las hojas tienden a formar rosetas. Las plantas más sensibles a la carencia son: cítricos, vid, y maíz. Las carencias se producen por los siguientes motivos:

- Escasez de zinc en el suelo.
- Exceso de fertilizantes fosfóricos, que dan lugar a la formación de compuestos de zinc insolubles.
 - Encalados excesivos, que producen la insolubilización del zinc.

Para corregir las carencias habrá que evitar, en primer lugar, las causas que las producen. Las carencias por falta de zinc se corrigen fácilmente con pulverizaciones foliares de sulfato de zinc en concentraciones desde 0,1 al 1 %. En soluciones de más de 0,3 % de concentración conviene neutralizarlas con carbonato sódico al 0,1 %. También se utilizan quelatos de zinc (tal como EDTA-Zn) que se aplican al suelo, pero el tratamiento resulta más caro.

COBRE

Las extracciones de cobre por parte de la planta son muy pequeñas, por lo que no suelen presentarse carencias. Cuando éstas se producen son debidas a las siguientes causas:

- Lavado de suelos arenosos que sean pobres en este elemento.
- Exceso de cal, que impide la asimilación del cobre.

Los síntomas de carencia de cobre son muy variados, por lo que deben determinarse mediante análisis. Como ocurre con otros microelementos, si la carencia es inducida por otros iones habrá que corregir esta anomalía en el suelo. Las carencias se corrigen con sulfato de cobre u oxiclورو de cobre que se aplican al suelo a razón de 10-30 kg/ha, actuando con precaución, ya que se pueden alcanzar con facilidad niveles tóxicos.

En pulverizaciones foliares se utilizan soluciones de sulfato de cobre al 5 % aplicadas sobre madera de árboles frutales antes del comienzo de la vegetación. En árboles en vegetación y sobre cultivos herbáceos se reduce la concentración al 0,5 %, neutralizando el caldo con una cantidad igual de agua de cal. Las pulverizaciones con oxiclورو de cobre al 0,1 % de concentración son también eficaces, y se reduce el riesgo de toxicidad para las plantas.

El quelato EDTA-Cu es muy efectivo en suelos calizos.

MOLIBDENO

Las necesidades de las plantas con respecto a este elemento son mínimas, pero hay que tener precaución en las aplicaciones porque es tóxico en concentraciones muy pequeñas. El melón y la coliflor son los cultivos más sensibles a las carencias.

El molibdeno es el único microelemento cuya carencia se acentúa en suelos ácidos, por lo tanto dicha carencia desaparece con un encalado.

Las carencias de molibdeno se corrigen mediante aportaciones de molibdato sódico o molibdato amónico, a razón de 0,3 -1 kg/ha, mezclando con otros fertilizantes para facilitar su distribución.

Por vía foliar se aplican soluciones de molibdato sódico o amónico, de 2-5 g/l de concentración, a razón de 500-1.000 l/ha.

COLORO

Las alteraciones de las plantas producidas por defecto de cloro se presentan en el suelo en muy raras ocasiones. En cambio son frecuentes y graves las alteraciones producidas por exceso. Algunas plantas, como el limonero, presentan una gran sensibilidad al exceso de cloruros, mientras que otras, como la remolacha, lo toleran bastante bien. Con excesivo cloro, la patata y la remolacha producen menos almidón y el tabaco quema mal.

El cloro no se aplica al suelo como fertilizante directo, ya que los residuos vegetales suelen bastar para cubrir las necesidades de los cultivos. Los

cloruros amónico y potásico, utilizados como fuente de otros elementos, aportan cantidades apreciables de cloro.

Bibliografía de consulta recomendada

Manual Práctico sobre utilización de Suelo y Fertilizantes. 1999. Fuentes Yagüe J.L. Coedición del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España y Editorial Mundi-Prensa. Madrid.

Los Fertilizantes. 1977. Papadakis J. Editorial Albatros.

Manual de Fertilidad de Suelos. 1989. Darwich N. Editorial Enichem Agricoltura. Italia.

Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. 1966. Tisdale S. L. y Nelson W.L. Editorial Montaner y Simon, S.A.

Fertilidad de Suelos. 1986. Publicación de INTA.

Técnica de la Mecanización Agraria. 1989. Ortiz-Cañavate J. Y Hernanz J.L. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.

La fertilidad de los suelos. 1989. Bartolini R. Colección Agroguías. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.

Manual de Fertilidad de los Suelos. 1988. Publicado por The Potash & Phosphate Institute. Atlanta. USA.

Fertilidad de suelos y Fertilización de cultivos. 2005. Hernán E. Echeverría y Fernando O. García (Editores). Publicado por Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires. Argentina.

Manual de fertilidad de Suelos y uso de Fertilizantes. 2006. Néstor A. Darwich. Editorial: Fertilizar, Asociación Civil. Argentina.

