

# TEMA 18<sup>o</sup>

## Fertilización (II)

# Fertilización

## NITRÓGENO

- interviene en muchos procesos de la planta  $\implies$  deficiencias afectan al crecimiento
  - ↗ si no hay N suficiente  $\implies$  ↓ desarrollo plantas y vegetación raquítica.
- N → si la deficiencia es grave  $\implies$  bordes hojas color anaranjado o violáceo, maduración temprana, frutos pequeños de ↓ calidad
  - $\implies$  ↓ Rtos.
  - ↘ exceso de N  $\implies$  plantas con ↑ desarrollo, hojas color verde oscuro, maduración se retrasa y la calidad de los frutos ↓. Además las plantas se vuelven menos resistentes a la helada, sequía y enfermedades.

# Nitrógeno en el suelo

- El nitrógeno del suelo
  - ↗ **nitrógeno orgánico.** Forma parte de la M.O. procedente de los restos de vegetales y animales y no puede ser aprovechado por las plantas mientras no se transforme en N inorgánico, acción que llevan a cabo los microorganismos del suelo.
  - ↘ **nitrógeno inorgánico.** Forma parte de la materia orgánica procedente de los restos de vegetales y animales y no puede ser aprovechado por las plantas mientras no se transforme en inorgánico, acción que llevan a cabo los microorganismos del suelo.
- N. inorgánico
  - ↗ **ión amonio.\*** Puede ser adsorbido por el complejo de cambio. <% de absorción por la planta.
  - ↘ **ión nitrato.\*\*** No es adsorbido y tiene que permanecer siempre en la solución del suelo. Las plantas toman > % bajo la forma de ión nitrato

\* y \*\* son las dos formas de nitrógeno asimilable por las plantas.

# Nitrógeno en el suelo

El balance del N en el suelo bajo formas asimilables es el resultado de un continuo movimiento, en donde se producen entradas y salidas del N en el suelo.

Las entradas o ganancias se producen por los siguientes procesos:

- Fijación de nitrógeno atmosférico.
- Mineralización de la materia orgánica.

Las salidas o pérdidas se originan por los siguientes procesos:

- Inmovilización por los seres vivos.
- Retención en el interior del entramado de algunas arcillas.
- Desnitrificación.
- Volatilización.
- Lavado.

# Fijación del nitrógeno atmosférico

- Todo el N contenido en el suelo procede de la atmósfera, ya que no existe roca nitrogenada; pero el nitrógeno atmosférico no puede ser utilizado directamente por los seres vivos, salvo en el caso de algunos microorganismos.
- Para que el nitrógeno atmosférico sea absorbido por las plantas y la mayoría de los microorganismos, tiene que pasar a formar parte de otros compuestos químicos ==> proceso llamado fijación.
- El nitrógeno atmosférico se fija por tres procedimientos:

*Fijación atmosférica.* A causa de las descargas eléctricas y algún otro fenómeno físico que producen mucha energía, el nitrógeno atmosférico pasa a formar parte de diversos compuestos químicos, que se mantienen en el aire y posteriormente caen al suelo con la lluvia.

# Fijación del nitrógeno atmosférico

*Fijación industrial.* La industria fabrica amoníaco a partir del nitrógeno del aire y del hidrógeno. Las fuentes de hidrógeno son: carbón, gas natural y productos petrolíferos. El proceso requiere un gasto muy grande de energía, puesto que se necesita operar a unas presiones elevadísimas.

*Fijación biológica.* Representa la mayor parte del nitrógeno fijado en la naturaleza y solamente algunos microorganismos son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico. Ninguna planta es capaz de hacerlo, aunque algunas se pueden aprovechar directamente de la fijación efectuada por microorganismos.

# Fijación biológica

Algunos microorganismos fijadores del nitrógeno atmosférico viven asociados en simbiosis con plantas (**simbiótica**), mientras que otros hacen vida libre sin ningún tipo de asociación (**no simbiótica**).

## Fijación no simbiótica

- Los microorganismos fijadores de vida libre mejor conocidos son bacterias, de las cuales unas son *aerobias* (necesitan el oxígeno del aire) y otras son *anaerobias* (no necesitan el oxígeno del aire).
- Las bacterias fijadoras aerobias viven en suelos aireados y bien provistos de calcio y materia orgánica. En climas templados pueden fijar de 10 a 20 kg de nitrógeno por hectárea, que se queda en el suelo a disposición de las plantas.
- Se podría pensar que la siembra de concentrados de bacterias aumentaría la cantidad de nitrógeno fijado, pero los resultados obtenidos no han sido satisfactorios (cuando las condiciones del medio son favorables para su desarrollo es inútil la siembra, y cuando las condiciones son desfavorables también resulta inútil la siembra, porque las bacterias no proliferan posteriormente).

## Fijación no simbiótica

### ¿solución?

- no aportar bacterias, sino crear un medio idóneo para su desarrollo

### ¿cómo se consigue?

- Labrar el suelo para airearlo.
- Mantener el medio básico, con aportaciones de Ca si fueran precisas.
- Aportar M. O. en abundancia.
- Evitar deficiencias de P y microelementos (especialmente Fe y Mo)
- Las bacterias fijadoras anaerobias viven en suelos mal aireados, admiten un pH más amplio que las aerobias, y su actividad también aumenta cuando hay abundante M.O. en el suelo.



## Fijación no simbiótica

- Tanto en aerobias como anaerobias, la actividad fijadora se hace más lenta cuando se hacen aportaciones de abonos nitrogenados minerales ==→ a las bacterias les cuesta menos usar el N mineral que fijarlo del aire.
- Algunas algas pueden constituir una fuente importante de N cuando se desarrollan en condiciones favorables (arrozales inundados) ===→ tienen la ventaja, sobre las bacterias anteriores, de que se desarrollan sin necesidad de utilizar la M. O. del suelo, que suele ser escasa en la mayoría de los casos.

## Fijación simbiótica con las leguminosas

Las bacterias género *Rhizobium* infectan las raíces de las leguminosas, formando nódulos donde tiene lugar la fijación del N atmosférico (la bacteria suministra a la planta el N, mientras que la planta suministra a la bacteria la energía y otros elementos nutritivos).

Se conocen 6 grupos de simbiosis de *Rhizobium* con las siguientes leguminosas:

Alfalfa, mielga, meliloto, alholva.

Tréboles.

Guisante, haba, veza, lenteja, almorta.

Judía.

Altramuz, serradella.

Soja.

Cada planta de estos seis grupos puede formar nódulos cuando se inoculan bacterias procedentes de plantas de su mismo grupo.

# Fijación simbiótica con las leguminosas

- La cantidad de nitrógeno fijado varía mucho según la especie de leguminosa: desde 50 a 100 kg/ha y año en judías y guisantes, hasta 150-200 kg en alfalfa y tréboles.
- La abundancia de P, K y microelementos (especialmente Mo) es favorable
- No ocurre lo mismo con el N, pues la cantidad de N fijado es < en los suelos ricos en N bajo formas amoniacales y nítricas, debido a que a las bacterias les cuesta menos trabajo tomar el N del suelo que tomarlo del aire.
- El N fijado se localiza preferentemente en las partes aéreas; por consiguiente, el enriquecimiento de un suelo en nitrógeno será mucho mayor cuando se entierra la cosecha en verde que cuando se recoge la cosecha para grano o para forraje.

## Fijación simbiótica con las leguminosas

- La inoculación de las semillas de una leguminosa con el *Rhizobium* específico que forma nódulos da resultados positivos, especialmente en tierras donde se siembra la leguminosa por primera vez o hace bastantes años que no se ha sembrado. En estas condiciones es probable que se duplique la producción con respecto a otras siembras con semillas sin inocular.
- También se pueden aportar al suelo las bacterias adecuadas añadiendo tierra de un campo en donde el cultivo haya tenido un buen desarrollo. Una vez establecidas en el suelo, las bacterias permanecen en él durante bastantes años sin cultivo de leguminosas.

## Fijación simbiótica con plantas no leguminosas

- Algunas plantas no leguminosas (arbustos leñosos y árboles), poseen en sus raíces nódulos fijadores de N, siendo la planta más características de este grupo el aliso.
- El efecto beneficioso de esta planta sobre otras que no forman nódulos fijadores se puede aprovechar intercalando alisos con pinos y otras coníferas.
- Existen asociaciones simbióticas entre ciertas algas y diversos organismos (líquenes, helechos, etc.), siendo la más conocida la asociación entre un alga (*Anabaena*) y un pequeño helecho acuático (*Azolla*).
- En los arrozales de muchos países asiáticos se cultiva este helecho para enterrar en verde, lo que constituye una aportación importante de nitrógeno.

## Fijación simbiótica con plantas no leguminosas

- La asociación entre el millo y una bacteria (*Azospirillum*) provocó un gran entusiasmo, por considerar que podría cultivarse maíz sin aportación de fertilizantes nitrogenados; pero los resultados, hasta la fecha actual, no han sido muy satisfactorios.
- Actualmente se estudian asociaciones simbióticas de *Azospirillum* y gramíneas forrajeras y cereales. Si bien la actividad fijadora es baja, puede ser un método viable para aumentar la producción en pastizales.

# Mineralización de la materia orgánica

- La materia orgánica depositada en el suelo experimenta una serie de transformaciones mediante las cuales los compuestos nitrogenados complejos se transforman en otros compuestos más simples =====> son efectuadas por microorganismos del suelo, que obtienen de ella la energía necesaria para su desarrollo y el nitrógeno para la formación de sus proteínas.
- Estas transformaciones se realizan en dos etapas:

*Amonización.* El nitrógeno orgánico se transforma en nitrógeno amoniacal.

*Nitrificación.* El nitrógeno amoniacal se transforma en nitrógeno nítrico.

# Mineralización de la materia orgánica

El nitrógeno amoniacal producido en la amonización tiene diversos destinos:

- Una gran parte es aprovechada por los microorganismos degradadores para formar sus propias proteínas. Este nitrógeno orgánico se recupera al morir estos microorganismos.
- Es utilizado por las plantas superiores.
- Se transforma en nitrógeno nítrico.
- Se pierde en la atmósfera bajo la forma de amoníaco.

El nitrógeno nítrico producido en la nitrificación tiene los siguientes destinos:

- Una parte más o menos importante es utilizada por los microorganismos nitrificantes para elaborar su propia proteína. El nitrógeno orgánico formado se recupera al morir los microorganismos.
- Es utilizado por las plantas superiores.
- Se pierde por lavado en las capas profundas del suelo.
- Se transforma en compuestos gaseosos que se pierden en la atmósfera.



## Salida del suelo del nitrógeno asimilable

La salida del suelo del nitrógeno asimilable se produce por los siguientes procesos:

- ***Inmovilización del nitrógeno en los seres vivos.*** El nitrógeno tomado por los microorganismos y las plantas se convierte en nitrógeno orgánico ==→ proceso llamado inmovilización del nitrógeno (el inmovilizado pasa al suelo nuevamente con los residuos orgánicos).
- ***Retención temporal en el complejo de cambio.*** El ión amonio puede ser adsorbido por el complejo de cambio. Pero en algunos casos pasa al entramado interno de las arcillas, en donde es retenido durante mucho tiempo. Este proceso se llama fijación. Cuando el ión amonio es liberado, pasa de nuevo a disposición de las plantas.
- ***Desnitrificación.*** Bajo ciertas condiciones, algunos microorganismos descomponen el nitrógeno nítrico en compuestos gaseosos, que se pierden en la atmósfera (se da en suelos arcillosos y excesivamente húmedos, con mala aireación).

## Salida del suelo del nitrógeno asimilable

- **Volatilización.** Una parte del nitrógeno amoniacal formado en el proceso de amonización o incorporado en los abonos amoniacales (o en abonos cuyo nitrógeno puede convertirse en forma amoniacal) puede perderse en forma de amoníaco que pasa a la atmósfera (se produce en suelos arenosos, con poca capacidad de adsorción del ión amonio, y en suelos calizos).
- **Lavado.** El nitrógeno nítrico es muy soluble en el agua y no es adsorbido por el complejo de cambio. Por ambos motivos puede ser arrastrado con facilidad por el agua de percolación. Estas pérdidas pueden ser importantes en inviernos muy lluviosos, ya que en esta época la actividad de las plantas es muy escasa y no pueden aprovechar todo el nitrógeno nítrico contenido en el suelo. También se producen pérdidas importantes cuando llueve mucho después de un abonado de cobertura.

## Abonos nitrogenados simples

### Sulfato amónico (21% de N y 23,5% de S)

- adecuado en cultivos que requieren S (papa, remolacha, zanahoria, etc.), cuando no se ha hecho antes alguna aportación de estiércol. Se usa como de fondo o sementera.
- Debido a su baja concentración, su empleo se ha reducido, habiendo sido sustituido por abonos complejos y otros nitrogenados de mayor riqueza.

### Nitratos amónicos

Se fabrican los siguientes abonos de este tipo:

- Nitrato amónico (33,5%).
- Nitrato amónico cálcico (26 y 20,5%). Son mezclas de nitrato amónico con caliza o dolomita, para neutralizar la acidez.

Se usan preferentemente en abonado de cobertera.

Su uso se ha incrementado aplicándolo directamente o formando parte de soluciones nitrogenadas o de abonos complejos.

## **Nitrosulfato amónico**

- Riqueza del 26% (75% a forma amoniaco y 25% a forma nítrica).
- Se emplea preferentemente en cobertera.
- Características semejantes a las del nitrato amónico.

### **Nitrato de cal y nitrato sódico**

- Riqueza del 15,5 y 16%, respectivamente, de nitrógeno nítrico.
- Apenas se usan, ya que por su escasa riqueza resulta muy cara la unidad fertilizante.

### **Urea**

- Riqueza del 46% de nitrógeno en forma ureica, que pasa rápidamente a la forma amoniaco cuando se incorpora al suelo en buenas condiciones de humedad y temperatura.
- Se aplica al terreno en sementera o en cobertera.

# Urea

- Para obtener el máximo aprovechamiento es conveniente enterrarla con una labor superficial, con el fin de evitar alguna pérdida del nitrógeno amoniacal, que puede escaparse al aire en forma de gas amoníaco (ocurre en suelos calizos, y más aún si son pobres en materia orgánica).
- Cuando se usan en cobertera se debe procurar que el suelo esté húmedo, para que se introduzca rápidamente en él.
- Su uso se ha ido incrementando debido a que, por su alta concentración, resulta más económica la unidad fertilizante. Se emplea directamente y como constituyente de abonos complejos y soluciones nitrogenadas.
- En pulverizaciones foliares se emplea urea cristalina, y también en fertirrigación por goteo, ya que por su gran pureza no deja residuos en las tuberías y los goteros.

## Amoníaco anhidro

- El amoníaco es un gas que contiene el 82% de su peso de nitrógeno en forma amoniacal. Cuando se somete a grandes presiones se licua, y de este modo se utiliza como abono. El manejo se hace con equipos especiales capaces de soportar elevadas presiones.
- Se inyecta en el suelo a una profundidad de 15-20 cm. En el momento de la inyección se gasifica, por lo que es posible que una parte del gas se pierda en la atmósfera. Estas pérdidas son mayores cuando el suelo está excesivamente húmedo.
- En suelos arcillosos las pérdidas son menores que en los suelos arenosos.
- Se utiliza preferentemente como abonado de fondo, en presiembra.

## Amoníaco anhidro

- La unidad fertilizante del amoníaco anhidro es la más barata, debido a su gran concentración y a que este producto es la base de la fabricación de abonos nitrogenados.
- Requiere una estructura de distribución bastante costosa, aparte de las pérdidas que fácilmente se producen en su aplicación, con lo cual disminuyen las ventajas económicas iniciales. El coste de aplicación es bajo únicamente cuando se aplica a grandes extensiones o a dosis elevadas.

## Abonos nitrogenados de liberación lenta

Los fertilizantes de liberación lenta son de dos clases:

- *Fertilizantes recubiertos.* Son abonos 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 utilizan muy poco y se suelen usar en cultivos de primor que presentan un período vegetativo largo o vegetan en suelos que favorecen las pérdidas de nitrógeno.



## Fertilizantes con aminoácidos

- Suministrando directamente los aminoácidos se ahorra la energía necesaria para sintetizarlos, a la vez que se logra una respuesta más rápida al abonado.
- Existen productos comerciales 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.
- Se usan estos fertilizantes en cultivos de grandes exigencias nutritivas: invernaderos, viveros, cultivos hidropónicos, etc.

# FÓSFORO

- Interviene en los procesos del crecimiento de la planta y su deficiencia origina desarrollo débil, hojas de < tamaño y coloración de tonalidad azul verdosa oscura, con tinte bronceado o púrpura.
- Las hojas más viejas son las que presentan mayores síntomas de deficiencia.
- La madurez del fruto se retrasa, sobre todo en las cosechas en donde se recolecta la semilla.

## Fósforo en el suelo

- ✓ **Orgánico.** Contenido en la materia orgánica procedente de los restos vegetales y animales
- Fósforo
  - **Inorgánico.** Contenido en ciertos minerales del suelo, que al descomponerse proporcionan el fósforo asimilable para las plantas.

# FÓSFORO

- En el suelo hay suficiente cantidad de P para satisfacer las necesidades de los cultivos durante muchos años, sin necesidad de hacer aportaciones.
- Pero, únicamente puede ser asimilado por las plantas el P soluble contenido en la solución del suelo, y éste representa una parte muy pequeña del total.

## **Balance del fósforo en el suelo**

Las ganancias se producen por los siguientes procesos:

- Mineralización de la materia orgánica.
- Meteorización de los minerales del suelo.
- Aportación de abonos minerales.

# FÓSFORO

- Las pérdidas se producen por los siguientes procesos:
- Extracción por plantas y microorganismos. Este fósforo queda inmovilizado temporalmente hasta que es devuelto al suelo con los residuos orgánicos.
- Insolubilización bajo ciertos compuestos. Una parte de este fósforo insoluble se recupera, pero el resto se pierde definitivamente para los cultivos.
- Arrastre con el agua de percolación. Estas pérdidas son muy pequeñas.
- Arrastre por erosión de las capas superficiales.

# Fertilizantes fosforados minerales

## Superfosfatos

- *Superfosfato simple* tiene una riqueza en  $P_2O_5$  del 18%, de lo cual el 80% es soluble en agua y el 20% restante es soluble en citrato. Contiene también una apreciable cantidad de calcio y azufre.
- *Superfosfato triple* tiene una riqueza del 45% en  $P_2O_5$ , de lo cual el 90% es soluble en agua y el resto es soluble en citrato.
- Se presentan generalmente granulados, por ser más fácil su manejo.
- Hoy día, ha decrecido el consumo del simple y se ha incrementado el triple y, sobre todo, el de abonos compuestos con diferentes contenidos de  $P_2O_5$ .

# Fertilizantes fosforados minerales

## Ácido fosfórico

- Riqueza del 54% de  $P_2O_5$  soluble en agua en su totalidad (producto intermedio en la industria de fertilizantes; también se aplica directamente, en estado líquido, para fertirrigación).

## Fosfatos y polifosfatos

- Estos fertilizantes binarios, que aportan N y P, se usan directamente o como base para la elaboración de abonos compuestos. Son una fuente excelente de P.
- *Fosfato monoamónico* (MAP) tiene una riqueza de 10/11-50/55-0, presentándose bajo las formas granulada o en polvo. La formulación 12-61-0, correspondiente al producto mucho más puro, se presenta en forma cristalina y se utiliza en fertirrigación.
- *Fosfato diamónico* (DAP) tiene una riqueza de 16/18-46/48-0. En fertirrigación se utiliza un producto más puro, de fórmula 21-53-0.

## Fertilizantes fosforados minerales

- Los fosfatos amónicos son compuestos totalmente solubles en agua y son adecuados para suelos alcalinos o neutros; en cambio, no deben utilizarse en suelos ácidos, salvo que vayan acompañados de materiales que aportan cal, pero no deben mezclarse con los superfosfatos.
- *Polifosfatos amónicos* son productos de altas concentraciones, 10/15-35/62-0, que se presentan bajo formas sólida o líquida. Estos fertilizantes permiten la incorporación de micronutrientes, que se mantienen en suspensión en los líquidos.
- *Fosfatos y polifosfatos potásicos* son abonos binarios de alta concentración, que contienen de 85 a 95 unidades fertilizantes totales de  $P_2O_5$  y  $K_2O$

# POTASIO

- Favorece la formación de H. C. y su acumulación en los órganos de reserva.
- Las plantas que acumulan grandes reservas de H.C. (papas, remolacha, uva, etc.) responden muy bien a las aportaciones de K.
- Este elemento favorece la resistencia de las plantas a la sequía, frío y parásitos.
- La deficiencia ocasiona una reducción de la cosecha, sobre todo en aquellos cultivos en donde se recolectan sus órganos de reserva: frutos, semillas y tubérculos.
- Cuando la deficiencia es grande aparecen manchas en las hojas, en donde desaparece el color verde, con quemaduras en las puntas y los bordes.
- Cuando hay un exceso de K asimilable en el suelo, las plantas absorben mayor cantidad de la necesaria sin que aumente la producción (es lo que se llama consumo de lujo).
- Un exceso de K origina deficiencias de absorción de otros elementos, como el Mg.



## Potasio en el suelo

- ✓ Orgánico. Procede de la descomposición de los restos vegetales y animales.

### K

- Inorgánico. Está contenido en ciertos minerales, que al descomponerse proporcionan potasio asimilable para las plantas.

En la mayoría de los suelos existe suficiente cantidad de K (especial arcillosos); pero para que pueda ser asimilado por las plantas tiene que estar solubilizado en el agua del suelo, absorbiéndolo la plantas en forma de ión potasio ( $K^+$ ).

Desde el punto de vista de su aprovechamiento por las plantas, el K del suelo puede clasificarse de la forma siguiente:

Potasio no asimilable.

Potasio asimilable con rapidez.

Potasio asimilable lentamente.

## Potasio no asimilable

La mayor parte del K contenido en el suelo no está disponible para las plantas, ya que se encuentra formando parte de las estructuras de ciertos minerales, que con el tiempo se descomponen y se hacen solubles en la solución del suelo.

### Potasio asimilable con rapidez

Se asimila con rapidez el K contenido en la solución del suelo y el K adsorbido en el complejo de cambio del suelo.

### Potasio asimilable lentamente

En algunas circunstancias, los iones K contenidos en la solución del suelo quedan atrapados entre las capas de algunas arcillas cristalinas (*proceso de fijación*).

Este K retenido entre las capas de las arcillas no se pierde definitivamente para la planta, sino que al cabo del tiempo, bajo determinadas condiciones, queda *liberado* (*proceso de regeneración*), pasando de nuevo a la solución del suelo.

## Bases de la fertilización potásica

Cuando un fertilizante potásico se incorpora al suelo se disuelve rápidamente en el agua, y una parte más o menos importante de los iones potasio son adsorbidos por el complejo de cambio.

La cantidad de iones adsorbidos depende:

- ***Del contenido de arcilla del suelo.*** Los suelos arenosos tienen poco poder de adsorción, por lo cual queda en la solución una cantidad considerable de iones, que pueden perderse en capas profundas arrastradas por el agua de percolación. Por ello, en suelos muy arenosos no conviene hacer aportaciones importantes de abono potásico en una sola vez.
- ***Del tipo de arcilla que predomina.*** Algunas arcillas (clorita y caolinita) tienen poco poder de adsorción, por lo que se recomienda, en aquellos suelos donde predominan estas arcillas, incorporar materia orgánica para aumentar el poder de adsorción.
- ***Del contenido de calcio.*** Cuanto mayor sea la cantidad de Ca presente, mayor será la adsorción del K y menores las pérdidas por lavado.

# Balance del potasio en el suelo

El balance del K en el suelo es el resultado de una serie de procesos, en donde se producen ganancias y pérdidas.

Las ganancias se producen en los siguientes procesos:

- Mineralización de la materia orgánica.
- Meteorización de los minerales del suelo.
- Aportaciones de abonos minerales.

Las pérdidas se producen por los siguientes procesos:

- Extracciones por plantas y microorganismos. Este K queda inmovilizado temporalmente, hasta que es devuelto al suelo con los residuos orgánicos.
- Fijación en la superficie interna de algunas arcillas. Este K se recupera al cabo de cierto tiempo.
- Arrastre por el agua de precolación

# Fertilizantes minerales potásicos

## Cloruro potásico

- Fertilizante con riqueza del 60% de  $K_2O$  y se puede mezclar con cualquier otro fertilizante en el momento de emplearlo. No se debe utilizar cuando se riega con aguas salinas.

## Sulfuro potásico

- Riqueza del 50% de  $K_2O$  y aporta, además un 18% de azufre. Tiene reacción ácida, por lo que puede provocar una cierta acidificación del suelo cuando se usa reiteradamente.
- La unidad fertilizante  $K_2O$  resulta algo más cara abonando con sulfato potásico que con cloruro potásico, sin embargo, deberá usarse preferentemente sulfato en los casos siguientes:
- Cuando se riega con aguas salinas.
- En cultivos que tienen apetencia por este fertilizante, tales como: tabaco, agrios, papas, cultivos florales, vid, platanera y leguminosas.
- En suelos con poca sal.

# Abonos compuestos

Los abonos binarios más utilizados que aportan potasio son:

- nitrato potásico (13-0-44)
- fosfatos y polifosfatos potásicos (85-95% riqueza total de  $P_2O_5$  y  $K_2O$ ).

## Aplicación de abonos potásicos

- Los abonos potásicos son abonos de fondo que se aplican antes de la siembra o de la plantación. En árboles frutales se hace una aportación antes de la plantación y aportaciones anuales.

Los abonos potásicos se pueden aplicar de las siguientes formas:

- A voleo, con enterrado posterior.
- En bandas superficiales, con enterrado posterior.
- Localizado en bandas situadas por debajo de la semilla.

# ELEMENTOS SECUNDARIOS Y MICROELEMENTOS

Secundarios. Son aquellos elementos nutritivos que las plantas necesitan absorber en gran cantidad y que normalmente abundan en el suelo (Ca, Mg y S).

Microelementos. Son aquellos otros que las plantas consumen en muy pequeña cantidad (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B y Cl). Tanto uno y otro, son necesarios para las plantas.

- No es necesario preocuparse demasiado por ellos, ya que en los suelos existe suficiente cantidad, salvo en casos especiales de suelo y de cultivo.
- Cada vez es más frecuente la aparición de síntomas de escasez de alguno de estos elementos, debido a:

# ELEMENTOS SECUNDARIOS Y MICROELEMENTOS

- 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 abonos que se utilizan habitualmente. En la actualidad se fabrican abonos 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, desaparecerá cuando se incorpore al suelo el elemento que falta en forma asimilable por las plantas.



# ELEMENTOS SECUNDARIOS Y MICROELEMENTOS

- 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 está motivada por unas condiciones desfavorables del 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, y en tanto esto se produce se harán pulverizaciones foliares, que son más rápidas y efectivas que las aportaciones al suelo.
- 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 Mn, Cu, B y Mo.

# 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.
- Las personas y animales que consumen plantas deficitarias en calcio, como base de su alimentación, acusan deficiencias en el esqueleto y en la dentadura.
- 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, trébol, coles, melón y naranjo.
- 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.

## Calcio en el suelo

- 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 usa para corregir suelos ácidos
- 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 retrogradación.

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.

## Calcio en el suelo

Las pérdidas se producen por los siguientes procesos:

- Absorción por las plantas y los microorganismos.
- Precipitación en forma de carbonatos, fosfatos y sulfatos.
- 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 superfosfato, nitrato de calcio, cianamida cálcica, escorias Thomas, nitrato amónico cálcico, etc.

# AZUFRE

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

Se encuentra en el suelo formando parte de la materia orgánica y de ciertos minerales, siendo la forma orgánica es la más abundante.

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

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

# AZUFRE

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.

## Aportaciones de azufre al suelo

- La extracción por las cosechas y las demás pérdidas son compensadas, en la mayoría de las ocasiones, por las cantidades que proporciona la mineralización de la materia orgánica, las aportaciones de estiércol, los productos anticriptogámicos y los abonos minerales que contienen este elemento.
- Cuando no se utiliza estiércol, es cada vez más frecuente detectar deficiencias de S, 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 S 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 S/ha, mientras que en el segundo se necesitan varias Tn/ha.

# 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 Mg 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. Cuando los animales consumen forrajes con poco contenido de Mg se producen deficiencias conocidas con el nombre de «tetania de la hierba».
- 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 nerviaciones, aunque éstas conservan su color verde; en casos más graves las nerviaciones se vuelven amarillas, y en los casos extremos, las hojas aparecen casi blancas.

Viña y frutales son los cultivos donde se da con mayor frecuencia la clorosis férrica y 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:

# HIERRO

- 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.

# HIERRO

- 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.

# HIERRO

- Los llamados «fritados» o «fritas» son unos productos que presentan una solubilidad controlada, con una riqueza variable en diversos microelementos.
- En España se fabrican con una riqueza en hierro variable desde el 14 al 18% y se aplican al suelo directamente. Estos productos son más baratos y más persistentes que los quelatos.

# MANGANESO

- Las deficiencias de manganeso se ponen de manifiesto con la aparición de un color amarillo rojizo entre las nerviaciones 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 agríos y los frutales de hueso, especialmente el melocotonero y el cerezo, son los cultivos más afectados por las deficiencias de este elemento.
- 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/ha en suelos neutros, y hasta 500 kg/ha 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.
- 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 se malforman los frutos.
- 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. También se emplean productos fritados, que liberan el boro con lentitud, sin riesgo de ser lavado por el agua de percolación.

# BORO

- Algunos fertilizantes comerciales incorporan boro en su fórmula, tales como el N- Solublisol y el Borasol.
- 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 se manifiesta por ciertas anormalidades 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 abonos fosfóricos, que dan lugar a la formación de compuestos de zinc insolubles.
- Encalados excesivos, que producen la insolubilización del zinc.
- 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, MOLIBDENO, CLORO

## COBRE

- Las extracciones por parte de la planta son muy pequeñas, por lo que no suelen presentarse carencias.

## 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.

## CLORO

- Las alteraciones por defecto de cloro se presentan en muy raras ocasiones, en cambio, son frecuentes y graves las alteraciones producidas por exceso.
- Con excesivo Cl, patata y remolacha producen menos almidón y el tabaco quema mal.

# YODO, SELENIO, FLUOR

## YODO

- Todas las plantas contienen trazas de yodo, aunque no se sabe si este elemento es esencial en la nutrición y desarrollo vegetal. En las plantas suele aparecer entre 0,1 y 1 ppm/m.s., llegando en algunas ocasiones a 4-5 ppm/m.s.

## SELENIO

- No es un elemento esencial para los vegetales. El problema del Se suele estar relacionado con su acción tóxica sobre el hombre y los animales, por cuya razón debe cuidarse su contenido en los vegetales.
- En suelos seleníferos, los forrajes almacenan Se y provocan envenenamientos crónicos en el ganado. En estos suelos, el trigo puede contener de 10 a 12 ppm/l.s. de los granos, resultando tóxico para el hombre.

## FLUOR

- Es necesario para los animales, pero, hasta la fecha, no se ha comprobado que pueda serlo para el desarrollo vegetal.

# SILICIO

- Por su abundancia es, después del oxígeno, el segundo de los elementos presentes en la corteza terrestre, donde aparece en forma de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y como silicatos diversos. En la solución del suelo se encuentra como ácido silícico  $\text{SiO}_4\text{H}_4$ .
- La absorción del Si por las plantas se hace en forma de  $\text{SiO}_4\text{H}_4$ . La cantidad de Si absorbido varía mucho de unas especies a otras. Está comprobado que las gramíneas pueden presentar contenidos de Si (expresado en  $\text{SiO}_2$ ), hasta diez veces más elevado que el presentado por las leguminosas u otras dicotiledóneas.
- Estudios de investigadores japoneses realizados con arroz han puesto de manifiesto la excepcional capacidad de este cereal para absorber y acumular Si.

# ALUMINIO

- Es absorbido prácticamente por todos los vegetales, sin embargo, hasta ahora no se le conoce ninguna función específica en la planta y se admite que no es esencial.
- Parece que bajas concentraciones de aluminio estimulan el crecimiento de algunas plantas: alfalfa y trébol violeta, ray-grass inglés y otras gramíneas, maíz, etc. Los mecanismos de actuación no están bien dilucidados pero son, casi con certeza, de naturaleza indirecta.

## Arsénico, cadmio, titanio, vanadio

- En las plantas también se encuentran trazas de estos elementos, cuya no esencialidad está comprobada. Generalmente, el contenido del suelo, las impurezas de los fertilizantes minerales, la riqueza de estos elementos en los productos orgánicos utilizados como abonos o el contenido de las agua de lluvia o de riego, justifican su absorción por la planta.
- No se han identificado estados carenciales para estos elementos y por esta razón no se les da ninguna importancia en la fertilización.

