



■ Propiedades y características

El suelo y los fertilizantes

Visión amplia y actualizada de un tema siempre clave para lograr alcanzar el máximo rendimiento en la producción vegetal.



Luis Rincón Sánchez

luisf.rincon@carm.es

Ingeniero Agrónomo
Jefe Unidad de
Investigación y de Recursos

Centro de Investigación y
Desarrollo Agroalimentario

Introducción

El suelo es definido agrícolamente como la mezcla de material mineral, material orgánico, agua y aire, medio que alimenta y soporta el crecimiento de las plantas. El suelo debe de proveer la humedad necesaria y los elementos esenciales a las plantas.

Los progresos técnicos han contribuido en gran medida a la mejora de la producción hortícola en el transcurso de los últimos 25 años. Sin embargo no deben realizarse de forma irracional. El sue-

Para abordar cultivos por largos periodos en un terreno hostil, se deben valorar las condiciones físicas del terreno y si es preciso establecer sistemas de fertirrigación como el de la imagen instalado en la Cía. Axarquía en Málaga.

lo es la base sobre la que se sustenta la productividad hortícola, su mantenimiento como suelo fértil debe mantenerse si queremos que la productividad perdure en el tiempo. Las modernas técnicas de cultivo sin suelo (sustratos inertes) pueden solucionar la productividad en ciertas zonas y condiciones, donde no se disponga de suelo de cultivo o el suelo existente sea improductivo. En Murcia de las 35.000 ha destinadas a cultivos hortícolas, 2.000 ha se cultivan con sistemas de hidro-

ponía en sustratos inertes bajo invernadero y de estas el 99,5 % en cultivo de tomate.

Actualmente el riego por goteo es utilizado en la mayor parte de la superficie de cultivo hortícola. En estas técnicas de cultivo la capacidad del suelo como almacén de nutrientes y agua para las plantas, disminuye en gran medida respecto a técnicas de cultivo con riego de superficie, lo que obliga a cambiar las directrices de riego y fertilización exigiendo tener presente en mayor grado las características, reacciones y movimiento de nutrientes en el suelo al efecto de que su disponibilidad para las plantas sea equilibrada.

El suelo como medio para el crecimiento de las plantas.

Básicamente el crecimiento de las plantas terrestres depende del suelo, del agua y de los elementos nutritivos. Además, el suelo deberá proporcionar un medio soporte para las plantas en el que las raíces puedan funcionar. Esto requiere un medio poroso para el crecimiento radical. Aireación y ausencia de factores limitantes como impedimentos mecánicos, acumulación de agua en la zona radicular, y concentración de sales tóxicas, es esencial.

Otra de las funciones es la de abastecer todos los elementos esenciales para las plantas. Actualmente, cuando menos son necesarios 15 elementos esenciales para el crecimiento de todas las plantas, aunque para determinadas especies se hayan ampliado alguno más como el cloro, silicio etc. El carbono, hidrógeno y oxígeno se obtienen del aire y del agua. Estos comprenden el 90 % de la materia seca. Los 12 elementos restantes se obtienen principalmente del suelo. El nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) son consumidos en cantidades más o menos elevadas, denominándose macroelementos. Los microelementos son el hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo).



Detalle de instalación para la producción de bulbos para flor cortada en el momento de plantación. Como se puede apreciar el terreno ha sido trabajado y acondicionado para optimizar el desarrollo posterior del cultivo mediante un abonado de fondo.

Solo una pequeña parte de cada nutriente presente en el suelo se encuentra disponible para las plantas. El resto se halla firmemente ligado a la parte mineral y orgánica del suelo que es inaccesible mientras no sea afectado por los procesos de solubilidad y descomposición.

Las plantas absorben elementos del suelo en forma iónica como el Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , y Zn^{2+} . El N como NO_3^- y NH_4^+ en menor grado. El fósforo como $\text{PO}_4 \text{ H}_2^-$, azufre como SO_4^{2-} , el boro como $\text{BO}_3 \text{ H}$ y el molibdeno como MoO_4^{2-} . Tres son los mecanismos que rigen el movimiento de nutrientes hacia las raíces de las plantas: el primero de ellos por flujo de masas, es decir la transferencia de un ion por el movimiento del agua provocado por la succión radicular que aumenta con la transpiración de la planta dependiendo los flujos másicos de la concentración de iones en la disolución del suelo, el segundo por difusión, es decir movimiento de los iones de un punto de alta concentración a otro

de baja concentración según gradiente a través de la disolución del suelo, y por último por interceptación o contacto de las raíces con los nutrientes en sus proximidades sin desplazamiento iónico, influenciado por el volumen de exploración de las raíces y la concentración de iones asimilables.

Una parte de los nutrientes utilizables por las plantas se halla en forma iónica disuelta en el agua en el suelo (solución del

■ **Básicamente el crecimiento de las plantas terrestres depende del suelo, del agua y de los elementos nutritivos. Además, el suelo deberá proporcionar un medio soporte para las plantas en el que las raíces puedan funcionar...**

Informe sobre la Industria Hortícola

Figura 1:

Dinámica de la absorción de nutrientes por las plantas

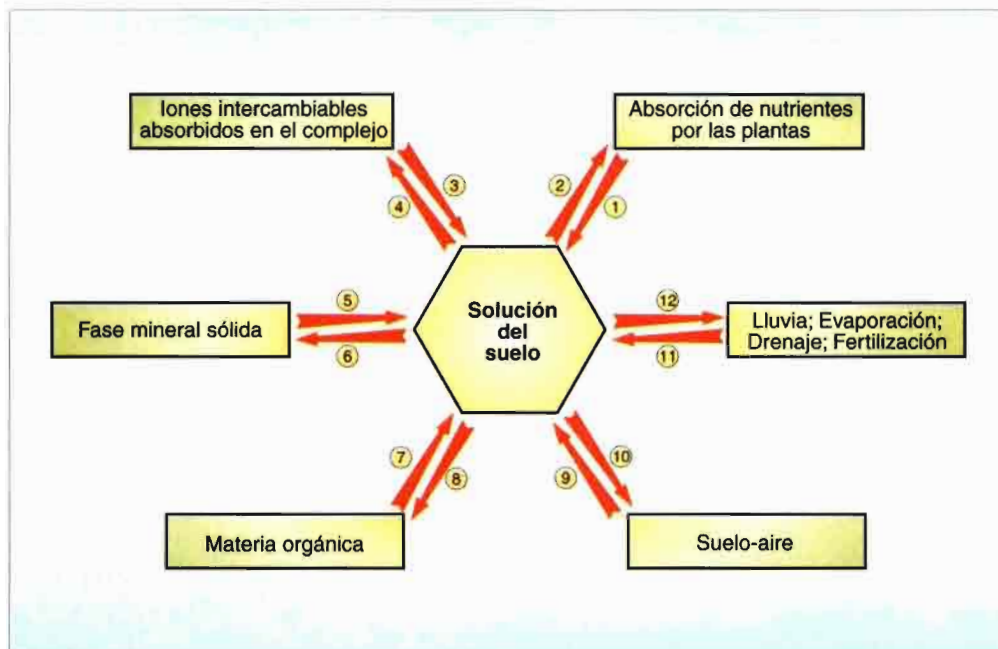


Tabla 1:

Niveles medios de CICt para distintas texturas de suelo

Textura del suelo	CICt (meq/100 g de suelo)
Arenosos	3-5
Franco-arenosos	5-10
Franco	10-25
Franco-arcillosos, arcillosos	20-50
Suelos orgánicos	50-100

suelo), constituyendo la fracción fácilmente utilizable. Esta fracción representa una pequeña parte de las necesidades totales de un cultivo durante todo el ciclo de crecimiento.

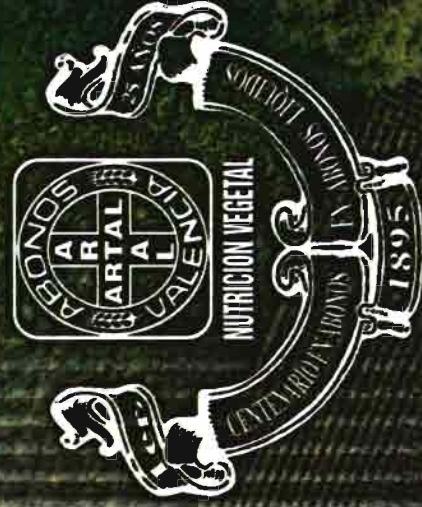
La mayor parte de los cationes (iones cargados positivamente) absorbidos durante el ciclo de cultivo, se hayan almacenados en las superficies de las partículas de arcillas y humus (materia orgánica). Existe un intercambio entre los iones en estos lugares de almacenamiento y los que se encuentran disueltos en el agua en el suelo. Los aniones en menor cantidad que los cationes se almacenan de forma similar a los cationes salvo el NO_3^- . La mayo-

■ **En el suelo, la interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas controla la absorción de nutrientes por la planta. El conocimiento de estos procesos nos permite manejar las propiedades del suelo seleccionadas para optimizar la absorción de nutrientes y la productividad.**

ría de ellos se producen por descomposición de la M.O, salvo el fosfato ($\text{PO}_4 \text{ H}_2^-$) que proviene del intercambio con la parte mineral del suelo.

La concentración de elementos minerales en la solución del suelo proviene del proceso de intercambio iónico en el complejo arcillo-húmico, dependiendo su valor de la riqueza de elementos nutritivos almacenados en el complejo arcillo-húmico. La carencia de elementos nutricionales suficientes para el óptimo crecimiento de la planta obliga a su aportación en forma mineral en un proceso denominado «fertilización».

En el suelo, la interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas controla la absorción de nutrientes por la planta. El conocimiento de estos procesos nos permite manejar las propiedades del suelo seleccionadas para optimizar la absorción de nutrientes y la productividad. El suministro de nutrientes a las raíces de las plantas es un proceso muy dinámico que se resume en una serie de reacciones que se muestran en la Figura. 1. Las plantas absorben nutrientes (aniones y cationes) de la solución del suelo y liberan pequeñas cantidades de H^+ , OH^- , y CO_3H^- (reacciones 1 y 2). Cambios en la concentración de la solución del suelo son amortiguados por iones adsorbidos en la superficie de las partículas minerales (reacciones 3 y 4). Iones desplazados hacia la solución causa una desorción en la superficie mineral. Los suelos contienen componentes minerales que pueden abastecer a la solución del suelo con muchos iones (reacciones 5 y 6). El dinamismo de los procesos microbiológicos de la materia orgánica del suelo (reacciones 7 y 8). Las raíces y los microorganismos absorben oxígeno y respiran CO_2 (reacciones 9 y 10), elevando la concentración de CO_2 en el suelo respecto a la de la atmósfera. La dispersión de estos gases en el suelo está influenciada por el contenido de agua y otros factores que alteran el pH de la solución, disponi-



FUNDADA EN 1895



Francisco P. Artal, S.L.

C/. Villa de Madrid, nº 14 - Pol. Ind. Fuente del Jarro - 46988 PATERNA (Valencia)

Tel.: 96 134 03 65 - Fax: 96 134 07 05

e-mail: infoartal@artal.net - <http://www.artal.net>



bilidad y absorción de nutrientes. Otros factores de tipo ambiental y actividades antrópicas (reacciones 11 y 12) influyen en la concentración de nutrientes en la solución del suelo, principalmente la aportación de fertilizantes minerales.

■ **Tres son los mecanismos que rigen el movimiento de nutrientes hacia las raíces de las plantas: flujo de masas, difusión y interceptación o contacto de las raíces con los nutrientes en sus proximidades...**

Propiedades más importantes de los suelos.

Capacidad de cambio catiónico total (CICt)

Es la cantidad máxima de elementos electropositivos de toda clase expresados en miliequivalentes (meq) que es capaz de retener una muestra de 100 gramos de suelo.

$$CICt = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} + NH_4^{+} + H^{+} + \text{otros}^{+} \text{ (meq/100g de suelo)}$$

Cationes cambiables (CC).

Es la capacidad total de cambio exceptuando los hidrogeniones (H^{+}).

$$CC = CICt - H^{+} = Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+} + Na^{+} + NH_4^{+} \text{ (meq/100 g de suelo)}$$

Los cationes de cambio retenidos en el complejo de cambio deben estar comprendidos entre unos límites porcentuales de la CICt: Ca^{2+} : 60-80 %; Mg^{2+} : 10-20 %; K^{+} : 2-6 %; Na^{+} : 0-3 %.

Porcentaje de saturación de bases (%SB).

Es la relación entre los ca-

tiones cambiables y la capacidad total de cambio, expresada en %.

El porcentaje de saturación de bases es un criterio muy útil en la representación de las condiciones de fertilidad del suelo en el medio raíz-coloides, existiendo una correspondencia entre el pH del suelo y el porcentaje de saturación de bases para cualquier tipo de suelo, aunque no todos los suelos tienen el mismo pH para un % SB, debido a que el H^{+} intercambiable no ioniza con igual facilidad.

La adición de materia orgánica (M.O) a un suelo aumenta la capacidad de intercambio catiónico, pero no contiene el número de bases suficientes para contrarrestar el aumento de la CICt, por lo que la acumulación de M.O, disminuye el % SB. Por otra parte la M.O contiene más compuestos que dan ácidos que de los que dan bases produciendo directamente ácidos y humus (ácidos húmicos y fúlvicos) que aumentan la CICt.

Acidez y basicidad de los suelos.

Para que un suelo tenga reacción ácida deberá haber un exceso de iones H^{+} sobre los iones OH^{-} en la solución que rodea al complejo coloidal. Para definirla se utiliza, como unidad de medida, el pH definido por:

La escala de pH sirve para medir la acidez y alcalinidad, variando entre 0 y 14 (Tabla 2), utilizando la concentración de H^{+} en agua pura a 24° C como punto neutro de referencia. Esta concentración no es cero puesto que el agua presenta una ligera tendencia a ionizarse: La concentración de los iones H^{+} presentes en la solución del suelo constituye la acidez activa, que se mide con el pH-metro (método electrométrico). Estos iones H^{+} , disociados, están en equilibrio con los que están adsorbidos en el complejo. Los iones H^{+} del complejo constituyen una fuente de reserva que se conoce como acidez de reserva o acidez potencial del suelo. Corresponde a la cantidad total de posiciones de cambio que están



Gestora de orgánicos en Sant Martí de Albors.
La materia orgánica de origen animal tiene excelentes propiedades para el mejoramiento físico y químico de los suelos.

ocupadas por H^{+} , en equilibrio con una $[H^{+}]$ en la solución del suelo.

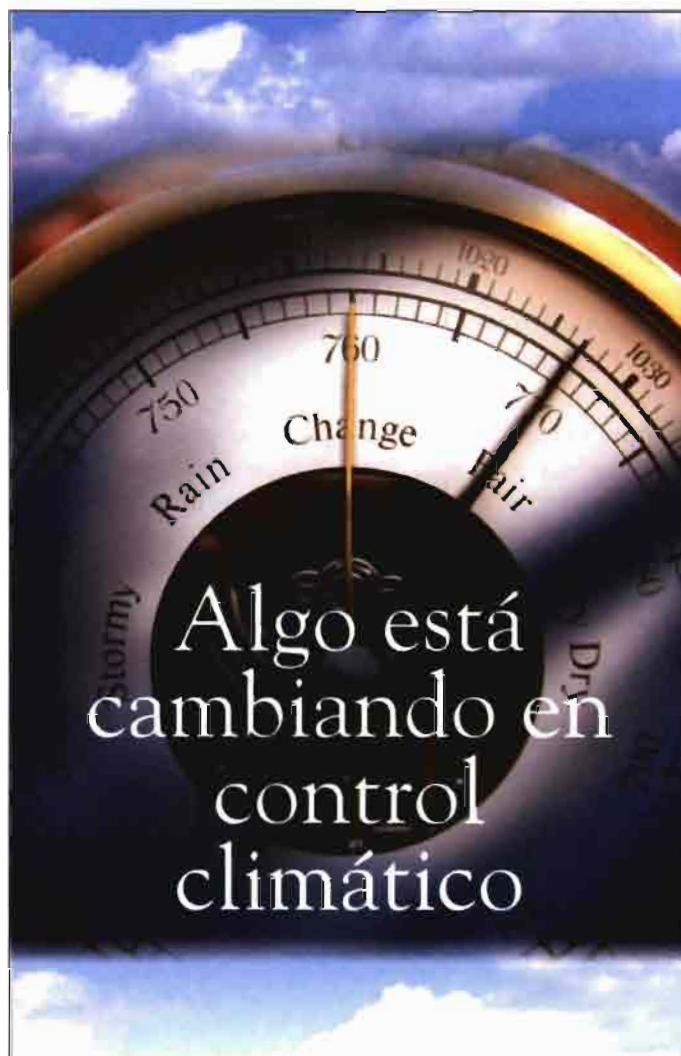
El suelo posee un pH entre 4 y 10. El pH de zonas húmedas es generalmente ácido y su valor es inferior a 7. El suelo que se ha desarrollado sobre grandes depósitos de cal tiene reacción alcalina ($pH > 7$). Un suelo rico en calcio raramente tendrá valores superiores a 7.5 pero la presencia de carbonato cálcico (elevadas cantidades) puede elevar el pH hasta 8.5. La presencia de Na da lugar a pH más elevados. Si el pH es superior a 8.5 el suelo posiblemente contenga un exceso de Na. La escala de pH del suelo, presentada en la



Tabla 2 es importante retenerla como referencia en el estudio del suelo. No hay evidencia de que una acidez o alcalinidad elevadas disminuyan los rendimientos. El efecto es indirecto ya que afectan a la cantidad de elementos nutritivos asimilables.

Enmiendas del suelo

Un suelo puede modificarse con vistas a un aspecto determinado de su fertilidad (nutrientes), de contenido en materia orgánica o de cambiar las propiedades físicas y químicas del mismo. En este sentido se define como enmienda: «la corrección o mantenimiento de las propiedades físicas



+



=



HortiMaX, S.L.

Pol.Ind. La Redonda, c/. XIII, oficina 115
04700 El Ejido (Almería)

Tel.: +34 950 58 30 07 • Fax.: +34 950 58 31 36

Informe sobre la Industria Hortícola

■ Un suelo puede modificarse con vistas a un aspecto determinado de su fertilidad (nutrientes), de contenido en materia orgánica o de cambiar las propiedades físicas y químicas del mismo.

y químicas, contenido en M.O y elementos nutritivos en los suelos cultivados. Las enmiendas pueden ser: alcalinizantes, acidificantes, orgánicas y de nutrientes.

Enmiendas alcalinizantes

Las enmiendas alcalinizantes se fundamentan en el proceso de alcalinización del suelo. El em-

pleo del calcio es una de las prácticas más antiguas para el cuidado del suelo. Las enmiendas calizas aumentan la fertilidad del suelo de forma permanente siempre que se utilice una rotación de cultivos apropiada. Si la rotación es deficiente, la respuesta de un encalado será eficiente al principio, posteriormente se produce un empobrecimiento gradual de la fertilidad por la pérdida de calcio, debida a la absorción de los cultivos y al lavado por lixiviación.

Las sales objeto de utilización en las enmiendas alcalinizantes son principalmente el carbonato cálcico puro (100 % de CO_3Ca) y las dolomitas (80 % de CO_3Ca + 20 % de CO_3Mg).

Enmiendas acidificantes

Se fundamentan en la acidificación del suelo. Las aplicaciones de azufre elemental o de compuestos del mismo como el sul-



SUNSAVER

SERVICIO PROFESIONAL

Filme para invernadero

EURO 4

★★★★★

MALLAS ANTI-TRIPS y de SOMBREO

Se lo servimos todo a medida

ALU PANTALLA TÉRMICA SHADE

PLÁSTICOS

SUNSAVER, s.l.

Polígono Industrial La Redonda - Calle 5, Nave 8 - 04710 Sta. Mª del Águila - EL EJIDO (Almería)
Tels.: 950 58 30 33 - Fax: 950 58 31 76 - e-mail: sunsaver@serinves.es - <http://www.serinves.es/sunsaver>

CUBRESUELOS anti-hierbas, acolchado para cubrir embalses...

Informe sobre la Industria Hortícola



En muchos casos la materia orgánica utilizada para las enmiendas de los terrenos han sido previamente compostados de forma controlada para evitar dañar al cultivo, eliminando malas hierbas.

fato ferroso, constituyen el procedimiento corriente para bajar el pH del suelo.

Enmiendas orgánicas

El mantenimiento de un porcentaje elevado de materia orgánica supone enmiendas orgánicas muy elevadas que resulta muy costoso y con gran frecuencia inútil, siendo conveniente que el porcentaje de materia orgánica del suelo no descienda por debajo del nivel crítico. En condiciones de cultivo intensivo y en zonas templadas este nivel no debe descen-

der del 2,5 % y del 1,5 % en seco. Por debajo del 1 % el nivel de fertilidad del suelo es muy bajo. Las tablas 3 y 4 muestran los niveles medios de materia orgánica en los suelos.

Enmiendas de nutrientes

Para optimizar la producción en los distintos sistemas de producción, es necesario que el abastecimiento de nutrientes a las plantas sea el adecuado. Por lo general uno o más nutrientes son aportados al suelo para compensar las extracciones del cultivo. Cuando la cantidad aportada es menor que la cantidad absorbida, el suelo se empobrece y con el paso del tiempo se produce un déficit nutricional que se traduce en pérdidas importantes de la cosecha. Si por el contrario las cantidades de uno o más nutrientes superan las cantidades absorbidas, el suelo se enriquece en el tiempo

4 dimensiones en un solo mercado



A Arquitectura del Paisaje

URBANISMO Y MEDIOAMBIENTE

H Horticultura Ornamental

FLORES, PLANTAS Y ÁRBOLES

B Bricojardinería

MAQUINARIA Y COMPLEMENTOS

P Puntos de Venta

CENTROS DE JARDINERÍA, FLORISTERÍAS,...

La revista profesional de Horticultura Ornamental, la Bricojardinería y la Construcción del Paisaje.

Los suscriptores del 2002 reciben **GRATIS** la publicación "Cuadernos de Arquitectura del Paisaje"

SUSCRIPCIÓN PLUS

Revistas:
Horticultura + 1 Extra + Horticultura Internacional + QΣj
(25 números al año)

132 €

Sólo **QΣj** (12 números anuales y el libro)

60 €

Informe sobre la Industria Hortícola

Tabla 2:

Rangos de pH del suelo

pH	Rango
< 5,5	Muy ácido
5,5 - 6,0	Medianamente ácido
6,0 - 6,5	Acidez débil
6,6 - 7,0	Acidez muy débil
7,1 - 7,5	Alcalinidad muy débil
7,6 - 8,0	Alcalinidad débil
8,1 - 8,5	Alcalinidad media
> 8,5	Muy alcalino

Tabla 3:

Niveles medios de materia orgánica en los suelos

Porcentaje de materia orgánica	Rango
> 0,90	Muy bajo
1,00 - 1,90	Bajo
2,00 - 2,50	Normal
2,60 - 3,50	Alto
> 3,60	Muy alto

Tabla 4:

Niveles medios de materia orgánica según tipo de suelo

Suelo	Porcentaje de materia orgánica				
	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
Arenoso	0 - 1,25	1,26 - 2,00	2,01 - 3,00	3,01 - 4,00	> 4,00
Franco	0 - 1,0	1,01 - 1,75	1,76 - 2,50	2,51 - 3,50	> 3,50
Arcillosos	0 - 1,5	1,51 - 2,50	2,51 - 3,50	3,51 - 4,50	> 4,50

pudiendo alcanzar niveles de nutrientes muy por encima de lo necesario, llegando a producir interacciones de entre nutrientes de sinergismo y antagonismos (Tabla 5) con repercusión negativa en la nutrición de la planta y en la producción. En términos generales, para equilibrar la fertilidad del suelo se debe mantener una riqueza equilibrada media-alta de nutrientes (Tablas 2, 4, 8, 9, 11, 13).

El N es utilizado por la planta para sintetizar aminoácidos y proteínas. El protoplasma de todas las células contiene proteínas. El N también es requerido por las plantas para otros componentes vitales tales como clorofila, ácidos nucleicos y enzimas.

Materias fertilizantes

Nitrógeno

El nitrógeno (N) es absorbido por las plantas en forma iónica de la solución del suelo preferentemente en forma nítrica (NO_3^-) y en forma amoniacal (NH_4^+) en menor cuantía en una relación media de absorción $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ de 3:1. La absorción se realiza por flujo de masas (80 %-100 %) y difusión (0-20 %), siendo factores de influencia la aireación del suelo y la temperatura y pH de la solución del suelo. El N es utilizado por la planta para sintetizar aminoácidos y proteínas. El protoplasma de todas las células contiene proteínas. El N también es requerido por las plantas para otros componentes vitales tales como clorofila, ácidos nucleicos y enzimas.

El N existe en abundancia en la naturaleza en dos estados: en estado libre en la atmósfera constituyendo las 4/5 partes de la misma y en estado combinado en forma mineral y orgánica. En el suelo el N se encuentra en un 99 % en forma orgánica y el resto en forma mineral no siendo ambas formas disponibles para la planta.



En el cultivo de planta en maceta el sustrato tienen un protagonismo especial ya que acompañará a la planta durante todo su ciclo productivo, incluso en la venta.

Solamente un 2 % del N almacenado en la materia orgánica del suelo se mineraliza por actividad microbiológica, pasando a la solución del suelo quedando disponible para la planta. El contenido medio de N en la materia orgánica mineralizada es del 5 % liberándose una media de 34 kg/ha de N por cada por ciento de contenido de materia orgánica del suelo. El nivel de N total en el suelo y la liberación de N procedente de la mineralización de la M.O según la relación C/N en el se presentan en la Tabla 6.

El nitrógeno mineral puede estar en tres formas: amoniacal (libre en la solución del suelo, adsorbido en el complejo arcillo húmico y fijado en la red cristalina de algunas arcillas), nítrica (siempre libres en la solución del suelo), y como gas (N_2) en la atmósfera del suelo de baja importancia en la nutrición de la planta.

Las cantidades de NO_3^- y NH_4^+ disponibles en el suelo dependen principalmente de las cantidades de fertilizantes minerales nitrogenados aportadas y las mineralizadas a partir del N orgánico.

Informe sobre la Industria Hortícola



Tabla 5:

Interacciones entre elementos en el suelo

Elemento	Favorece la absorción. Sinergismo	Dificulta o inhibe la absorción Antagonismo
Nitrógeno nítrico	Mg, K	B
Nitrógeno amoniacal	Cu	Mg, Mo,
Fósforo	Mg	K, Ca, Fe, Zn, Cu
Potasio	Fe, Mnq	Mg, B
Calcio	—	P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, B
Magnesio	B, P	—
Hierro	—	P, Mn, Cu
Manganeso	—	Fe
Cinc	—	Fe, Mn, Cu
Boro	Mg	—
Molibdeno	—	Cu
Cobre	—	Mn, Fe

Tabla 6:

Niveles del contenido de nitrógeno en los suelos

N (total) %	Nivel	C/N	Liberación de N
< 0,05	Muy bajo	< 6	Excesiva
0,05-0,10	Bajo	6-9	Alta
0,11-0,20	Medio	10-12	Normal
,21-0,30	Alto	3-15	Escasa
> 0,31	Muy alto	> 15	Muy escasa

Tabla 7:

Sales fertilizantes de nitrógeno

Sal fertilizante	Fórmula	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
Nitrato amónico	NO ₃ NH ₄	33,5 %	-	-	-	-	-
Sulfato amónico	SO ₄ (NH ₄) ₂	21 %	-	-	-	-	24 %
Nitrato cálcico	(NO ₃) ₂ Ca.4H ₂ O	15,5 %	-	-	17 %	-	-
Urea	CO(NH ₂) ₂	46 %	-	-	-	-	-
Fosfato monoamónico	PO ₄ H ₂ NH ₄	11 %	61 %	-	-	-	-
Fosfato diamónico	PO ₄ H(NH ₄) ₂	18 %	48 %	-	-	-	-
Nitrato potásico	NO ₃ K	13%	-	46 %	-	-	-
Nitrato de magnesio	Mg (NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	11 %	-	-	-	16 %	-

Las pérdidas de N en el suelo son debidas a varias causas: por volatilización en forma de amoníaco gas, por erosión debidas a las pérdidas de suelo, por lixiviación cuando se producen elevadas fracciones de lavado de suelos y por absorción de los cultivos que constituyen las pérdidas más elevadas. Las pérdidas de N son repuestas por el N liberado de la mineralización de la M.O y por la aportación de fertilizantes minerales en mayor grado (Tabla 7).

Fósforo

El fósforo (P) es poco abundante en los suelos. La cantidad de fósforo total se expresa como elemento (P) o como anhídrido fosfórico (P₂O₅), variando entre 0,05 % y 0,5 %, aunque raramente alcanza el 0,15%. En el suelo no existe fósforo libre sino combinado en forma de fosfatos formando combinaciones orgánicas y minerales o ionizados en la solución del suelo o fijados en el complejo de adsorción. Las distintas formas del fósforo se distribuyen al 50 % entre el fósforo inorgánico y el fósforo orgánico. En la materia orgánica del suelo el

contenido de P oscila entre el 1 y 3 %, lo que supone entre 350 y 1000 kg/ha para contenidos del 2 % de materia orgánica.

El fósforo es absorbido por la planta de la disolución del suelo en forma de PO₄H₂⁻ y en menor medida en forma de PO₄H²⁻ y PO₄³⁻. El pH del suelo regula la forma de fosfato. En suelos ácidos predominan las formas mono-

Tabla 8:

Niveles de fósforo en suelos ácidos. Escala BRAY TURK

ppm de P	Nivel
< 3	Muy bajo
3,1 - 7,0	Bajo
7,1 - 20,0	Medio
20,1 - 30,0	Alto
> 30	Muy alto

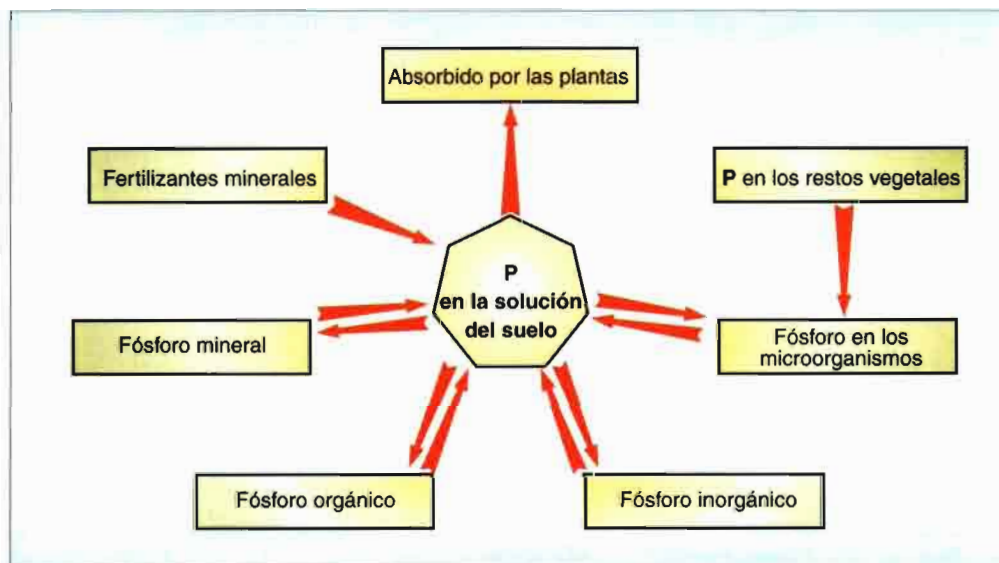
Tabla 9:

**Niveles de fósforo en suelos calizos.
Escala OLSEN.**

Suelo	Fósforo (P) en ppm				
	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
Arenoso	0 - 9	10 - 20	21 - 40	41 - 60	>60
Franco	0 - 10	11 - 25	26 - 45	46 - 70	>70
Arcillosos	0 - 11	12 - 30	31 - 50	51 - 80	>80

Figura 2:

Dinámica del fósforo en el suelo



valentes (PO_4H^{2-}), pasando a formas bivalentes (PO_4H^{2-}) y trivalentes (PO_4^{3-}) conforme aumenta el pH. Los mecanismos que rigen la absorción de P son la difusión (90 %) y flujo de masas (10 %).

El conocimiento de la cantidad total de fósforo de un suelo no tiene gran interés. Lo importante es conocer la cantidad de fósforo (P) que puede ser puesto rápidamente a disposición de la planta. Esta es la parte del fósforo total que se denomina asimilable y que se cuantifica en el análisis del suelo. La Tabla 8 presenta los niveles de P asimilable para suelos ácidos (Método Bray-Turk) y la Tabla 9 los niveles para suelos neutros o básicos (Método Olsen).

La dinámica del fósforo en el suelo se muestra en la Figura 2. En forma mineral, los fosfatos

■ **El potasio se encuentra en el suelo bajo dos formas: en forma mineral y en forma iónica. En forma mineral en compuestos minerales en rocas de origen magmático y de origen sedimentario.**

En forma iónica se encuentra en la solución del suelo...

más abundantes son sales del ácido ortofosfórico (PO_4H^{2-} , PO_4H^{3-}) en los coloides del suelo. El fósforo orgánico es mineralizado por la actividad biológica del suelo pasando a la solución del suelo.

El fósforo no mineralizado y no absorbido por las plantas y el inmovilizado por los microorganismos es adsorbido en la superficie coloidal o precipitado en combinaciones secundarias, dependiendo la fijación o precipitación del pH del suelo. Las pérdidas de P más elevadas se producen por la absorción de los cultivos, existiendo un intercambio con el fósforo mineral y orgánico según riqueza de la solución del suelo. La reposición del fósforo perdido en el suelo se realiza mediante aportación de M.O y principalmente con fertilizantes minerales (Tabla 10).

Potasio

El potasio (K) está presente en cantidades elevadas en la mayoría de los suelos, en un porcentaje medio en peso del 1,9 %. En la materia orgánica el contenido de K es insignificante a diferencia del N (99 % del total del suelo) y del P (50 % del total del suelo).

El potasio se encuentra en el suelo bajo dos formas: en forma mineral y en forma iónica. En forma mineral se encuentra formando parte de compuestos minerales en rocas de origen magmático y de origen sedimentario. En forma iónica se encuentra en la solución del suelo (disponible para la planta), fijado sobre el complejo adsorbente (potasio cambiante en equilibrio con el de la solución del suelo) y en el interior del complejo adsorbente (difícilmente cambiante). Las distintas formas de potasio en el suelo son muy dinámicas, produciéndose en el suelo reacciones que tienden a equilibrarlas (Figura 4).

El contenido de potasio en el suelo se expresa como elemento (K) y como óxido de potasio (K_2O). La relación entre ambas formas es la existente entre sus pesos atómico y molecular ($2\text{K}/\text{K}_2\text{O} = 0,83$). En la solución del suelo el contenido de K^+ varía ampliamente dependiendo de la riqueza del elemento en el suelo, oscilando entre 4 y 60 ppm. Para una humedad del 20 % (gravimétrica), 1 ppm de K equivale a 750 g de K^+ (900 g de K_2O) por ha

para una profundidad de 25 cm.

La cantidad total de K en los suelos no tiene interés. Al igual que en el fósforo el dato necesario es la cantidad de K que está disponible para la planta, es decir el potasio asimilable, que comprende cambiabile más el soluble. La fertilidad del suelo y los niveles de potasio asimilable en los suelos se muestran en la Tabla 11. Según los valores obtenidos en el análisis de suelo se determinará la necesidad de enriquecerlo o no.

La planta absorbe el potasio en forma iónica de la disolución del suelo principalmente y del fijado sobre el complejo arcillo-húmico en menor grado, realizándose la absorción mediante mecanismos de difusión (80 %) y flujo de masas (20 %). El potasio es esencial para la traslocación de azúcares, interviniendo en la apertura y cierre de los estomas y manteniendo permeables las membranas celulares. Incrementa la concentración salina de los jugos celulares dando mayor resistencia al frío. Promueve el desarrollo radicular e incrementa la resistencia a enfermedades.

La absorción de K de la solución del suelo está influenciada por la concentración de otros cationes con Ca y Mg. También deben considerarse el Al en suelos ácidos y el Na en suelos afectados por las sales.

La mayor parte de las pérdidas de K en los suelos es debida a la absorción de los cultivos, reponiéndose mediante fertilizantes minerales (Tabla 12).

Calcio

El magnesio (Ca^{2+}) es absorbido como Ca^{2+} de la solución del suelo, por flujo de masas (70-75 %) y por difusión (25-30 %), acumulándose en los órganos que transpiran libremente. Es constituyente de la clorofila donde se almacena del 15 % al 20 % del total acumulado en la planta. Interviene como activador de enzimas, almacenándose en órganos de reserva. Emigra fácilmente de órganos viejos a órganos jóvenes en crecimiento.

Figura 3:

Reacciones de equilibrio del K en los suelos

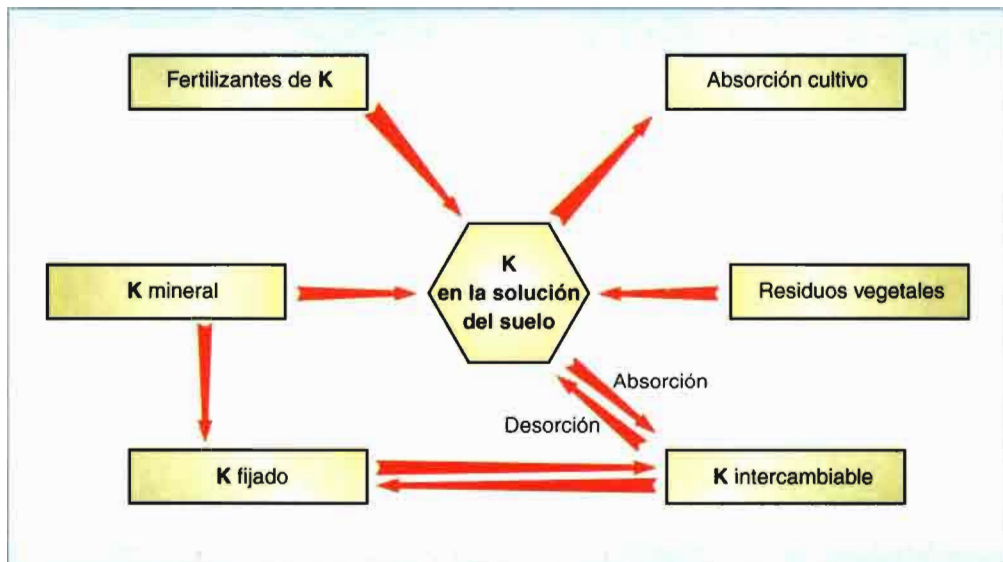


Tabla 10:

Fertilizantes simples y complejos de fósforo.

Sal fertilizante	Fórmula	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S
Superfósforo de cal simple	-	-	18%	-	12 %	-	-
Fosfato tricálcico	-	-	40-42 %	-	40 %	-	-
Fosfato diamónico granulado	$\text{PO}_4\text{H}(\text{NH}_4)_2$	18 %	-	48 %	-	-	-
Fosfato monopotásico	$\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$	-	52 %	34 %	-	-	-
Fosfato monoamónico	$\text{PO}_4\text{H}_2\text{NH}_4$	11 %	61 %	61 %	-	-	-
Acido fosfórico (75 %)	PO_4H_3	-	-	52 %	-	-	-

Tabla 11:

Niveles de potasio en suelos de distinta textura.

Suelo	Potasio (K) en ppm				
	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
Arenoso	0 - 60	61 - 120	121 - 200	201 - 300	> 300
Franco	0 - 110	111 - 220	221 - 350	351 - 500	> 500
Arcillosos	0 - 140	141 - 280	281 - 450	451 - 650	> 650

1 meq de K/100 g de suelo = 391 ppm de potasio (K^+)

Tabla 12:

Fertilizantes de potasio.

Sal fertilizante	Fórmula	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S
Sulfato de potasio (baja solubilidad)	SO_4K_2	-	50 %	-	-	-	10 %
Sulfato de potasio (100% soluble)	SO_4K_2	-	50 %	-	-	-	10 %
Nitrato potásico	NO_3K	13 %	-	46 %	-	-	-
Fosfato monopotásico	$\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$	-	52 %	34 %	-	-	-

Tabla 13:

**Niveles de carbonatos totales
y caliza activa en los suelos.**

Carbonatos totales (CO ₃ Ca)	Nivel
< 5 %	Muy bajo
5,1 % - 10 %	Bajo
10,1 - 20 %	Medio
20,1 - 40 %	Alto
> 40 %	Muy alto
< 6 %	Baja
6,1 % - 9 %	Media
> 9 %	Alta

El contenido medio de calcio en el suelo es del 3,5 %, aunque varía ampliamente de unos suelos a otros. En suelos no calcáreos oscila entre el 0,7 y 1,5 % y en suelos calcáreos puede alcanzar hasta el 25 %. En la solución del suelo el contenido varía entre 30 y 300 ppm, reduciéndose en suelos húmedos entre 8 y 45 ppm. Una concentración de 45 ppm son suficientes para compensar las necesidades de Ca de la mayoría de las especies cultivadas.

El calcio en el suelo aparece en formas combinadas y libres. En forma combinada se encuentra en minerales (silicatos, fosfatos, carbonatos y sulfatos) y la materia orgánica. Libre se encuentra en forma iónica en la solución del suelo (Ca²⁺), intercambiable sobre el complejo adsorbente y fijado dentro del complejo adsorbente. Es el catión fijado más abundante, llegando a representar el 80 % de la CICt del suelo. Es retenido con alta energía de fijación, floculando los coloides arcillosos y húmicos formando el complejo arcillo húmico.

La concentración de Ca²⁺ en la solución del suelo puede disminuir por lixiviación en profundidad, por absorción por los cultivos y microorganismos del suelo y precipitación en forma de carbonatos, fosfatos y sulfatos. En los suelos cultivados, la solución del suelo se enriquece por: aportes de carbonatos de calcio (calcita), carbonatos de calcio y magnesio (dolomita), fertilizantes

con contenido en calcio (nitrato cálcico y superfosfatos) y mineralización de la materia orgánica.

La determinación del calcio total en un suelo no dice nada respecto a su actividad o disponibilidad para la planta. Es importante determinar el nivel de carbonatos totales y de caliza activa del suelo que es el calcio fácilmente soluble y cambiante entre el complejo y la solución del suelo (Tabla 12).

■ **El calcio tiene efectos muy variados en el suelo. En el aspecto físico actúa como floculador de los coloides electronegativos, estabiliza la estructura y favorece la circulación del agua en el suelo. En el aspecto químico, neutraliza la acidez...**

El calcio tiene efectos muy variados en el suelo. En el aspecto físico actúa como floculador de los coloides electronegativos, estabiliza la estructura y favorece la circulación del agua en el suelo. En el aspecto químico, neutraliza la acidez, aumenta el % de S.B, interviene en mecanismos de intercambio catiónico y produce an-



Informe sobre la Industria Hortícola

Figura 4:

Reacciones de equilibrio del Ca y del Mg en el suelo

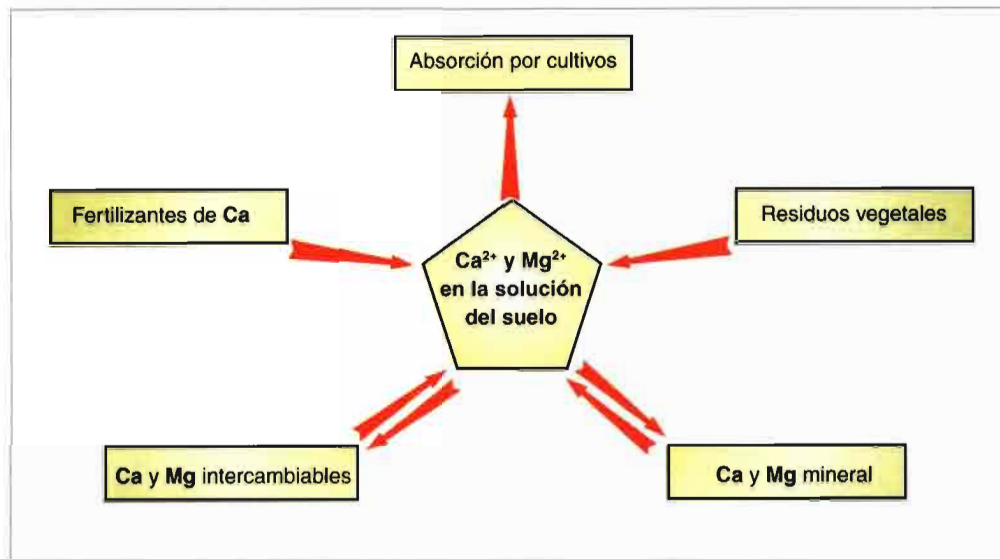


Tabla 14:

Fertilizantes más comunes de calcio y de magnesio

Sal fertilizante	Fórmula	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
Nitrato de Calcio	NO ₃) ₂ Ca	15,5 %	-	-	17 %	-	-
Superfosfato de Cal simple	Ca(PO ₄ H ₂)		18 %	-	12 %	-	11 %
Superfosfato tricálcico	3Ca(PO ₄ H ₂)		45 %	-	6 %	-	1-1,5 %
Sulfato de Magnesio	SO ₄ Mg .7H ₂ O	-	-	-	10 %	13 %	
Nitrato de magnesio	(NO ₃) ₂ Mg	11 %	-	-	-	9,5 %	-

tagonismo con K, Fe, Mn, B y Zn. En el aspecto biológico, actúa como alimento vegetal, favorece la respiración radicular, favorece la evolución de la M.O y estimula los microorganismos nitrificadores del suelo.

La dinámica del Ca en el suelo se muestra en la Figura 6, produciéndose un equilibrio entre el Ca cambiante y el Ca de la solución, con desplazamientos de adsorción y desorción dependiendo de la cantidad de Ca en la solución del suelo. El intercambio con el Ca mineral es muy lento, teniendo poca relevancia en la nutrición vegetal. Las pérdidas más elevadas de Ca en los suelos se produce por la absorción de los cultivos, siendo repuestas por los fertilizantes minerales principalmente (Tabla 14). En cultivos de regadío una de las fuentes de

aporte de Ca es el agua de riego. Por cada meq/l de concentración se aportan al suelo 20g de Ca por m³ de agua, cantidad que se deberá tener presente en la fertilización de los cultivos.

Magnesio

El magnesio (Mg²⁺) es absorbido como Mg²⁺ de la solución del suelo por flujo de masas (85-90 %) y por interceptación (10-15 %). Es constituyente de la clorofila donde se almacena del 15 % al 20 % del total acumulado en la planta e interviene como activador de enzimas, almacenándose en órganos de reserva, emigrando fácilmente de órganos viejos a órganos jóvenes en crecimiento.

El contenido de magnesio en los suelos varía entre el 0,1 % en suelos de textura gruesa de regiones húmedas al 4 % en suelos

Los sustratos inertes aportan sobre todo propiedades físicas, mientras que la fertirrigación los complementa aportando propiedades químicas.

Tabla 15:

Fertilizantes inorgánicos de microelementos

Sal fertilizante	Fórmula	Riqueza
Sulfato de manganeso	$\text{SO}_4\text{Mn} \cdot \text{H}_2\text{O}$	Mn-32 %; S - 19 %
Sulfato de zinc	$\text{SO}_4\text{Zn} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	Zn-22,7%; S - 13 %
Sulfato de cobre	$\text{SO}_4\text{Cu} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Cu-25,4%; S - 13 %
Acido bórico	BO_3H_3	B-17,5 %
Molibdato amónico	$\text{Mo}_7\text{O}_{24}(\text{NH}_4)_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Mo-5,7%

Tabla 16:

Elementos quelatados

Elementos quelatados riqueza y observaciones
Fe-EDTA: 6 % de Fe. Para medios de cultivo con pH < 6. No mezclar con cantidades altas de Zn, Mn (no quelatos), P y Ca.
Mn-EDTA: Para medios de cultivo con pH entre 5,5 y 7,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe y Zn (no quelatos), P y Ca.
Zn-EDTA: Para medios de cultivo con pH entre 5,5 y 8,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe y Zn (no quelatos), P y Ca.
Cu-EDTA: Para medios de cultivo con pH entre 6 y 7,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe, Mn y Zn (no quelatos), Ca y Mg.
Fe-HEDTA: 6 % de Fe. Para medios de cultivo con pH < 6,5. No mezclar con cantidades altas de Mn (no quelato), P y Ca.
Fe-EDDHA: 6 % de Fe. Para medios de cultivo con pH > 4. No mezclar con P y cantidades altas de Cu.
Fe-EDDHMA: 6 % de Fe. Para medios de cultivo con pH > 4. No mezclar con cantidades altas de Mn (no quelato), P y Ca.
Fe-EDDHSA: 6 % de Fe. Para medios de cultivo con pH comprendidos entre 4 y 8,5

semiáridos de textura fina en los que la fuente principal es la eponita ($\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

El magnesio en el suelo se encuentra en forma soluble (Mg^{2+}) y en forma intercambiable. El Mg intercambiable oscila normalmente entre el 4 % y 20 % de la CICt de los suelos, no debiendo bajar del 10 % para una correcta nutrición de las plantas. La concentración de Mg en la solución del suelo oscila entre 5 y 50 ppm.

Deficiencias de Mg se pueden producir en suelos donde la relación Ca/Mg varía entre 10/1 a 15/1. Por otro lado, grandes cantidades de K intercambiable pueden interferir la absorción de Mg. Generalmente la relación K/Mg recomendada debe ser inferior a 5/1 para cultivos extensivos, de 3/1 para cultivos hortícolas al aire libre y de 2/1 en cultivos de invernadero.

Deficiencias de Mg se pueden producir en suelos donde la relación Ca/Mg varía entre 10/1 a 15/1. Por otro lado, grandes cantidades de K intercambiable pueden interferir la absorción de Mg.

La absorción de Mg por los cultivos depende de la cantidad de Mg en la solución, del pH, del porcentaje de saturación en la CICt y de la cantidad de otros cationes intercambiables entre los que se encuentra el NH_4^+ que dificulta la disponibilidad de K en

suelos con bajo K intercambiable cuando se aportan fertilizantes nitrogenados en forma amoniacal.

Las pérdidas de Mg por lixiviación en los suelos pueden ser muy elevadas cuando se producen altas fracciones de lavado, principalmente en suelos de textura gruesa. Las pérdidas se incrementan cuando se aportan fertilizantes como el sulfato de potasa (SO_4K^2), disminuyendo las pérdidas cuando la fórmula del abono potásico está en forma fosfórica (PO_4H^{2-}).

Azufre

El suelo contiene entre el 0,06 y 0,1 % . Los minerales y rocas donde se encuentra almacenado son el yeso ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), la eponita ($\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y piritita (S_2Fe) principalmente. Las plantas absorben el S en forma SO_4^{2-} de la solución del suelo mediante flujo de masas. El azufre no es te-





nido en cuenta en la fertilización debido a que el contenido de los suelos, el aporte de los fertilizantes, el precipitado por el agua de lluvia y el incorporado por el agua de riego compensan la absorción de las distintas especies cultivadas.

Microelementos

Los microelementos son elementos trazas, oligoelementos, elementos menores etc. estas denominaciones no son del todo satisfactorias y en cualquier caso se derivan del aspecto de la cantidad absorbida por los cultivos. Desde un aspecto cualitativo, en la nutrición de las plantas tienen igual importancia que la asumida para los macroelementos. Este aspecto cualitativo les da el carácter de esencial.

Los microelementos actualmente reconocidos como esenciales son el hierro (Fe), manganeso

Panorámica de un cultivo de cítricos en Murcia.

Terreno semidesértico donde nuevamente la combinación entre la voluntad empresarial, el clima y la fertirrigación significan cultivos rentables en el tiempo.

(Mn), Cinc (Zn), cobre (Cu), B (boro) y molibdeno (Mo).

Los microelementos existentes en el suelo agrícola proceden de la meteorización de las rocas madres (variando ampliamente el contenido entre el 5 % para el Fe y trazas para el Mo) y del contenido de la M.O (principalmente).

Los microelementos se encuentran en el suelo bajo diferentes formas: compuestos minerales en la roca madre y minerales (no asimilables), forma adsorbida o ligada en el interior del retículo cristalino de las arcillas (lentamente asimilable), compuestos orgánicos de la M.O (asimilables una vez mineralizada), forma cambiante en la superficie del complejo de adsorción (fácilmente asimilables) y en la solución del suelo (totalmente asimilables).

La solubilidad de cada uno de ellos depende del pH del suelo:

Fe <5; Mn 5-6; Zn 5-7; B 5-7; Cu 5-7; Mo >7.

Las plantas absorben los microelementos por vía radicular y por vía foliar. Por vía radicular la absorción se produce mediante flujo de masas, difusión e interceptación. Por vía foliar se produce cuando las hojas se rocían con una solución de elementos nutritivos, permitiendo su penetración en el apoplasto del mesofilo, incorporándose a las células o retransportados a otras partes de la planta.

Los microelementos no entran generalmente en los programas de fertilización, siendo utilizados cuando aparece algún síntoma de deficiencia.

En la técnica del riego por goteo, se deberían tener presentes en la fertirrigación a las concentraciones adecuadas debido a la menor exploración de suelo por las raíces y riesgo de pérdidas por lixiviación.

Bibliografía

- ANDRE LOUÉ 1988. Los microelementos en agricultura. Editorial Mundi-Prensa.
- ANDRES GUERRERO. 1990. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ed. Mundi-Prensa.
- BARBER S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic Approach. Jhon Wiley & Sons, New York.
- CHARLES A. BLACK. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers, London.
- FOLLET R.H., MURPHY L.S., DONAHUE R.L. 1981. Fertilizers and Soil. Amendments. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New York.
- FUENTES YAGUE J.L. 1990. El suelo y los Fertilizantes. Editorial Mundi-Prensa.
- THOMSON L.M., TROEH L.M. 1982. Los suelos y su fertilidad. 1982. Editorial Reverté S.A.
- TISDALE S.L., WERNER L. NELSON., JAMES D. BEATON., JHON L. HAVLIN. 1993. Soil fertility and fertilizers. McMillan Publishing Company, New York.