

LOS MICROELEMENTOS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

Propiedad literaria reservada – Printed in Italy

© Copyright 2004 – VALAGRO SpA

Ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida, memorizada o transmitida en ningún modo o forma, sea esta electrónica, electrostática, fotocopias, etc, sin el permiso escrito de Valagro SpA.

Impreso por: META srl – Corso Trento e Trieste, 43 – 66034 LANCIANO (Ch). Italia

PREFACIÓN

En todos los libros que tratan los problemas de la nutrición vegetal con elementos menores se pone en evidencia el hecho que son indispensables y que por lo tanto no se deben olvidar. Es natural que si una planta sana contiene en la materia seca de sus tejidos 1,5 por ciento de nitrógeno y solamente 250 partes por millón de hierro, 50 partes por millón de manganeso, 6 partes por millón de cobre y 0,1 partes por millón de molibdeno, puede pasar por la mente la idea de no tener en consideración estos componentes menores: se trata de cantidades tan pequeñas!

Pero si traducimos estas cantidades en átomos necesarios para obtener una tonelada de producto vegetal, podemos calcular que una composición equilibrada de los tejidos vegetales se basa en la presencia de 6×10^{26} átomos de N, casi 3×10^{24} átomos de Fe, 6×10^{23} átomos de Mn, 6×10^{22} átomos de cobre y 6×10^{20} átomos de molibdeno. De molibdeno se necesita poquísimos, es cierto, hasta un millón de veces menos átomos con respecto al nitrógeno. Pero un suelo es deficiente de molibdeno si no logra suministrar a las plantas 600 billones de billones de átomos de molibdeno por cada tonelada de producto!

Estos cálculos, que para un químico pueden parecer muy simples, son datos que el agrónomo debe tener siempre presentes: no puede olvidarse jamás de los microelementos. Los microelementos no deben tenerse en consideración únicamente como fuente potencial de contaminación (metales pesados). Deben ser tenidos en cuenta también por parte de las autoridades sanitarias: la alimentación humana en los países desarrollados es cada vez más pobre en microelementos, aunque si es cierto que aumentan cada año los integradores alimenticios (multivitamínicos y multiminerales) que podemos adquirir en las farmacias para equilibrar nuestra dieta en un modo tan poco natural.

Bienvenido sea entonces este volumen, que recapitula en modo simple pero científicamente válido, los principales conocimientos útiles en este tema para el agrónomo que quiere estar actualizado. Con relación a las deficiencias que pueden ser afrontadas con aplicaciones foliares, han hecho bien los autores a tener en consideración también el caso del calcio y el magnesio, elementos generalmente superabundantes, pero que pueden también encontrarse en cantidades inadecuadas. Se trata de un compendio de informaciones prácticas que pueden resultar útiles y agradecidas por el lector.

Profesor Paolo Sequi (*)

(*) *Director Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante (Istituto Experimental para la Nutrición de las Plantas)*

INTRODUCCIÓN

Conjuntas sinergias empresariales, estudios de mercado e investigaciones específicamente científicas han generado la estructura global del libro, que se propone afrontar y definir, de acuerdo con las metodologías más innovativas, un segmento bien marcado en el ámbito de la nutrición vegetal, como es aquel de los microelementos.

Los aspectos técnicos inherentes a la tipología de esta materia, han sido intencionalmente resueltos en la óptica de una simplificación de estudios marcadamente especialísticos, en modo de extender en un amplio radio el aprovechamiento de este manual.

En esta óptica, ha sido considerado útil suministrar primero a los operadores del sector una visión de conjunto que encuadrara la problemática de los nutrientes minerales de las plantas en su globalidad; después se ha dado espacio a la fase operativa, pasando del contexto general a la focalización y al diagnóstico de las más variadas problemáticas, consecuencia de las deficiencias generadas por los microelementos.

Tales combinaciones han permitido la identificación de las estrategias operativas más idóneas, además comprobadas a nivel empresarial mediante experimentaciones innovadoras, enfocadas a la resolución de las problemáticas específicas.

Se ha considerado útil correlacionar el texto con un rico repertorio iconográfico, que rinde inmediatamente y fácilmente identificables los diferentes fenómenos, y por lo tanto, más dúctil y ligera la consulta del texto: esperando sea un “vademécum” y manual de consulta para los usuarios del sector.

Dr. Alberto Piaggese
Valagro S.p.A.

INDICE

I - ASPECTOS GENERALES

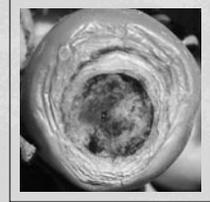
Nutrición mineral de las plantas	pág. 10
Importancia de los elementos químicos de la fertilidad en la fisiología de la planta.....	pág. 12
Factores que influyen en la disponibilidad de los elementos nutritivos.	pág. 15
Clases de deficiencias	pág. 20
Criterios de diagnóstico de las deficiencias nutricionales	pág. 22

II - ABSORCIÓN Y SINTOMATOLOGIA DE LAS DEFICIENCIAS

Hierro.....	pág. 28
Manganeso.....	pág. 33
Zinc.....	pág. 35
Cobre	pág. 38
Boro	pág. 41
Molibdeno	pág. 45
Magnesio	pág. 47
Calcio	pág. 51

III - MICROELEMENTOS QUELATOS: SUS FUNCIÓN EN LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS

Microelementos quelatos: sus función en la nutrición de las plantas...	pág. 60
Características fisico-químicas de los microelementos quelatos: sus influencia sobre la calidad de los formulados	pág. 64
Criterios de aplicación de los microelementos quelatos: las aplicaciones radiculares	pág. 68
Criterios de tratamiento: las aplicaciones foliares.....	pág. 71



LOS MICROELEMENTOS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

I

ASPECTOS GENERALES



Nutrición mineral de las plantas

Los elementos químicos que forman parte de la composición del nuestro planeta son poco más de cien, pero sólo algunos, en virtud de sus características químicas, constituyen la materia viva participando a la formación de las complejas moléculas biológicas y en su funcionamiento.

Los nutrientes minerales tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo de la planta.

Excluyendo el hidrógeno, el oxígeno y el carbono que son aportados a la planta por el agua y el dióxido de carbono, los elementos de la fertilidad se definen de acuerdo a que tan grande sea la cantidad requerida para el crecimiento en:

ELEMENTOS PRINCIPALES: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

ELEMENTOS SEGUNDARIOS: azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

MICROELEMENTOS: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo) y cobalto (Co).

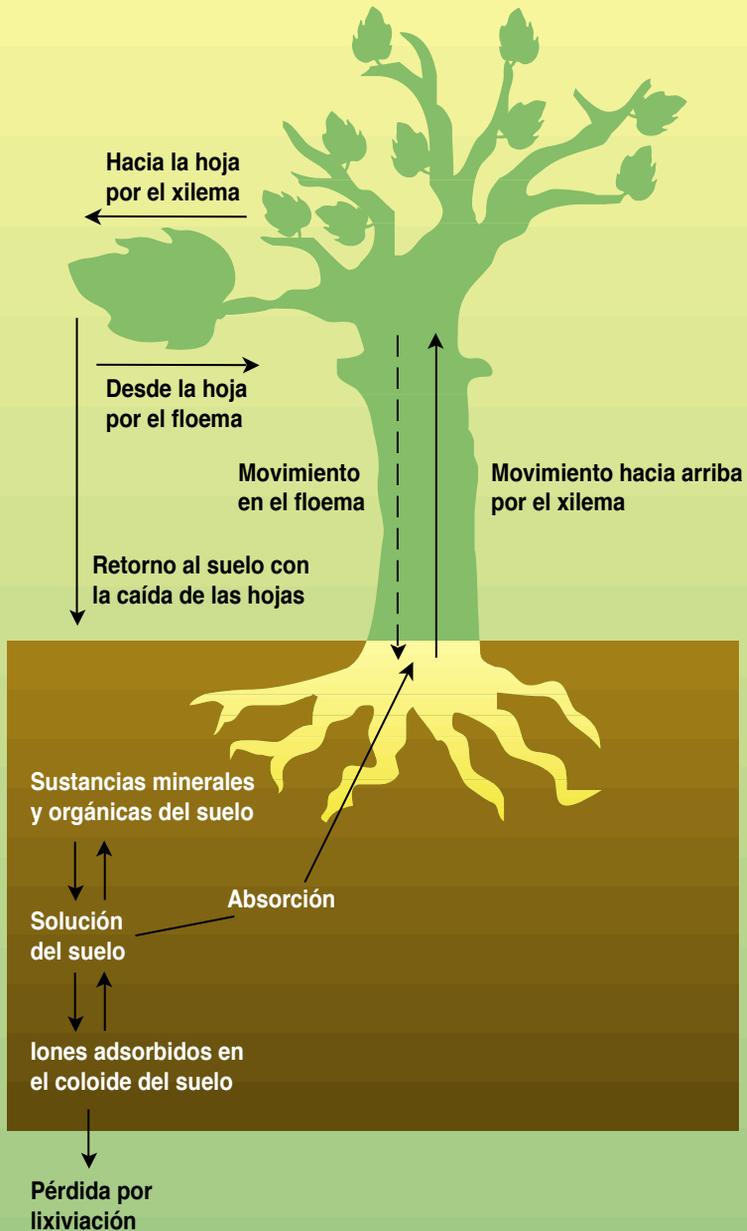
En este manual dedicado a los microelementos, no nos ocuparemos del cobalto, debido a que este elemento es solamente esencial para los animales en forma de vitamina B₁₂, y no lo es para las plantas si no por su presencia en los enzimas de algunas bacterias en simbiosis con las raíces. Trataremos de vez en cuando el magnesio y el calcio, considerando que algunas deficiencias de estos elementos pueden ser curadas con aplicaciones foliares y con técnicas afines a aquellas que se emplean para los microelementos.

Todos los elementos nutritivos son absorbidos por la planta bajo forma de iones.

El fósforo, el azufre, el cloro, el boro y el molibdeno, son absorbidos respectivamente como fosfatos, sulfatos, cloruros, boratos y molibdatos.

Los otros iones son absorbidos bajo la forma de cationes K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Fe²⁺ o Fe³⁺, Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺. El nitrógeno es absorbido bajo forma de NO³⁻, NO²⁻, o NH⁴⁺. Estos iones están disueltos en la solución del suelo en concentraciones variables y cada suelo tiene su composición típica.

MOVIMIENTO DE LOS NUTRIENTES MINERALES



Modificado de: Fisiología delle piante – Ed. edISES 1992



Importancia de los elementos químicos de la fertilidad en la fisiología de la planta

Fisiología de la planta

Las plantas viven en un ambiente iónico muy diluído donde logran nutrirse y por lo tanto sobrevivir, en virtud de la capacidad que tienen de acumular en su interior iones a concentraciones aún 10.000 veces superiores a las externas.

En el suelo las sustancias de bajo peso molecular (entre las cuales están los iones minerales nutritivos), gracias a la difusión y al flujo de masa, se hallan en continuo movimiento alcanzando, de esta manera, las raíces de las plantas.

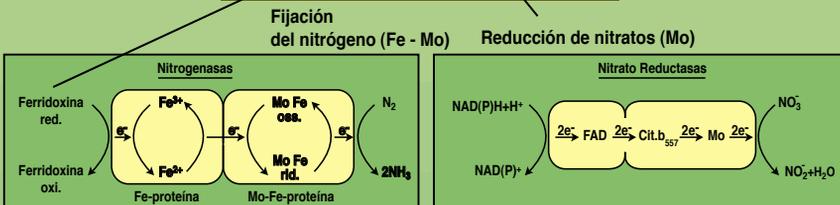
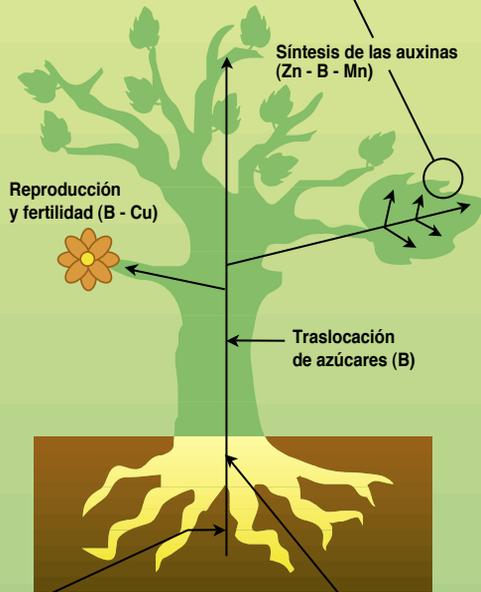
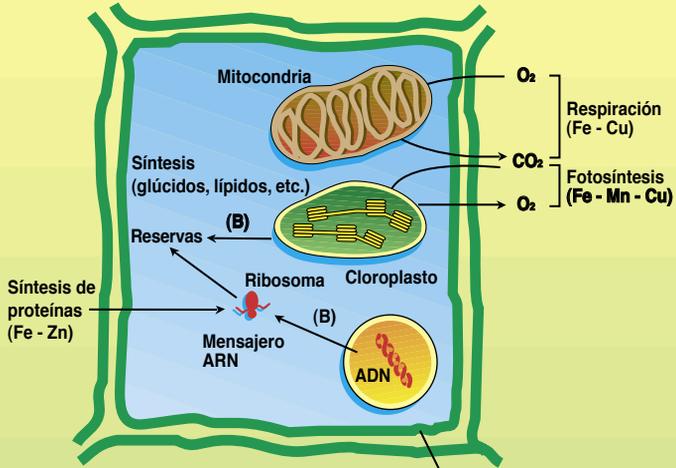
Un elemento nutritivo mineral puede funcionar, además de cómo constituyente de una estructura orgánica, como activador de una reacción enzimática, transportador de carga, u osmo-regulador.

Los micronutrientes, como integrantes de muchas estructuras enzimáticas, son capaces de catalizar la mayor parte de las reacciones típicas del metabolismo de la planta y por ende influenciar la fisiología.

Influencia de los micronutrientes sobre algunos procesos fisiológicos de la planta

ELEMENTOS / FUNCIONES	Boro	Cobre	Hierro	Zinc	Manganeso	Molibdeno
Fotosíntesis		■	■		■	
Crecimiento	■			■		
Fertilidad	■	■				
Síntesis proteica		■		■	■	
Síntesis de lignina		■				
Fijación nitrogenada		■	■			■
Reducción de nitratos		■	■		■	■
Translocación de azúcares	■					

INFLUENCIA DE LOS MICRONUTRIENTES EN LA FISIOLÓGÍA DE LA PLANTA Y DE LA CÉLULA



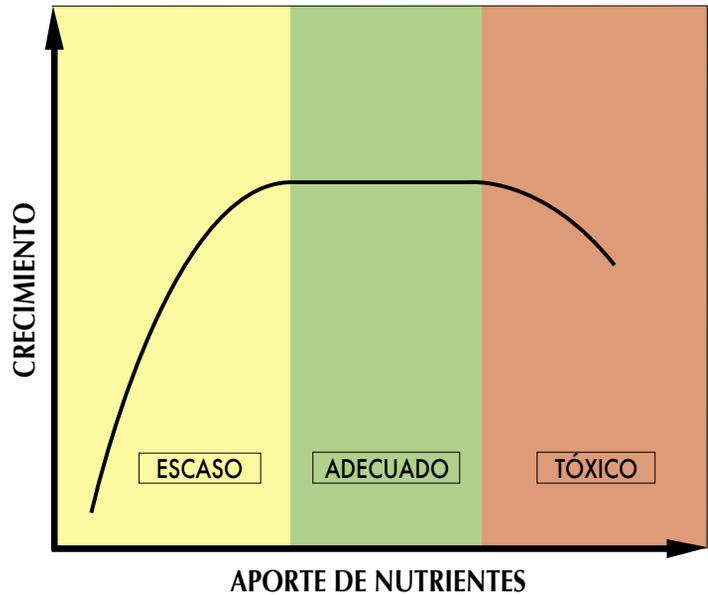
Modificado de: Miele S. - Inf. Agr. 10/96



Cada planta posee su mínimo, óptimo y máximo de tolerancia para cada uno de los citados elementos: por ello su disponibilidad puede ser anormal por defecto (deficiencia o carencia nutricional), o por exceso, verificándose en tal caso fenómenos de fitotoxicidad (intoxicación).

Lo anterior está de acuerdo con el famoso paradigma de Paracelso: “Todo es veneno, nada es veneno, depende de la dosis”.

Relación existente entre el aporte de los nutrientes y el crecimiento de la planta

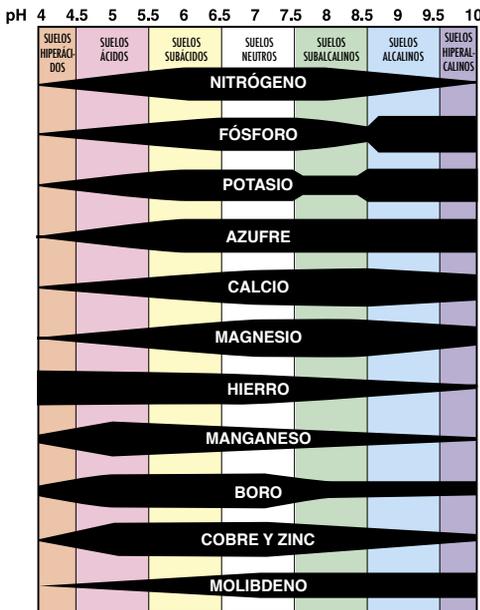


Factores que influyen en la disponibilidad de los elementos nutritivos

El pH de un suelo puede tener una importancia determinante para la disponibilidad de los iones nutritivos, actuando directamente sobre el estado químico de los micronutrientes. En suelos que tienen un pH inferior a 6, el hierro, el zinc, el cobre y el manganeso, están presentes en formas fácilmente asimilables por parte de la planta.

A medida que aumenta la alcalinidad del suelo, los micronutrientes son transformados poco a poco en óxidos, hidróxidos, fosfatos y carbonatos, con una creciente indisponibilidad para las plantas a medida que se forman complejos insolubles con determinadas sustancias allí presentes, siendo de esta manera substraídos a la nutrición de las plantas. En estas condiciones de alcalinidad en cambio, es óptimamente absorbido el molibdeno, que no es asimilable en condiciones de acidez.

pH



Efecto del pH en la disponibilidad de los nutrientes

Fuente: National Plant Food Institute, USA

El ancho de las barras indica la disponibilidad relativa de cada elemento al variar el pH del suelo.



Relación entre asimilabilidad de los elementos químicos de la fertilidad y rango de pH

VALORES DE pH ASOCIADOS A LA MÁXIMA DISPONIBILIDAD DE LOS MICRONUTRIENTES	
ELEMENTOS	pH
Fe.....	3.0-6.5
Mn.....	3.0-6.5
Zn.....	3.5-7.0
Cu.....	5.0-7.5
Mo.....	6.5-9.0
B.....	5.0-7.2

Textura y materia orgánica

Los elementos útiles para la planta están en casi el 98% inmovilizados en la fase sólida del suelo, tanto en las partículas minerales como en las orgánicas, y en el otro casi 2%, están adsorbidos a las partículas coloidales del suelo especialmente a los materiales arcillosos y a los compuestos químicos que presentan enlaces de coordinación (quelatos).

De este modo, solamente una pequeña parte, alrededor del 0.2% de los iones útiles para las plantas (inmediatamente disponibles para la absorción radicular), se encuentra en solución en el agua del suelo.

De esta manera, las condiciones físicas del suelo pueden actuar indirectamente en la disponibilidad de los micronutrientes evitando por ejemplo un fuerte lavado. Los suelos arenosos, a causa de los fuertes lavados resultan los más pobres de micronutrientes.

A su vez la sustancia orgánica actúa directamente en la mejora de la estructura del suelo realizando una acción quelatante hacia los nutrientes metálicos y garantizando la supervivencia de los microorganismos que colonizan el suelo.

Para un crecimiento óptimo de la planta, los elementos nutritivos deben ser absorbidos, y por lo tanto distribuidos, en proporciones adecuadas.

La perturbación de este delicado equilibrio nutricional, puede crear o amplificar (si ya existe), los fenómenos de sinergismo y antagonismo entre los diversos elementos nutritivos presentes en el suelo.

Sinergismos
Antagonismos

ANTAGONISMOS	SINERGISMOS
POTASIO → BORO	NITRÓGENO → MAGNESIO
MAGNESIO ↔ POTASIO	MAGNESIO → FÓSFORO
MOLIBDENO → COBRE	MOLIBDENO → NITRÓGENO
COBRE → MANGANESO HIERRO	POTASIO → MANGANESE HIERRO
FÓSFORO → ZINC POTASIO COBRE CALCIO HIERRO	ZOLFO → NITRÓGENO POTASIO COBRE MANGANESO MAGNESIO
ZINCO → HIERRO	
BORO → POTASIO	
HIERRO → FÓSFORO	
AZOTO → POTASIO COBRE BORO	
CALCIO ↔ POTASIO MAGNESIO NH ₄ ⁺	
CALCIO → MANGANESO ZINC BORO FÓSFORO HIERRO	

Fenómenos de sinergismos
y antagonismos entre los
nutrientes

Existe entre los elementos nutricionales, un antagonismo fisiológico genérico (no en la admisión, sino en los efectos de su admisión; por ejemplo cuando a consecuencia del exceso de un elemento se manifiesta la carencia de otro) y un antagonismo fisiológico específico, como el que existe entre elementos mono y bivalentes (K por un lado, Ca y Mg por el otro).



Existen también sinergismos y antagonismos fisiológicos específicos (no en la absorción de los elementos, sino en los efectos producidos en su absorción: entre K y Na y viceversa; entre Fe, Mn y Zn en forma recíproca; entre B y Ca, pero no viceversa).

Potencial Redox

En condiciones de reducción (suelos con estructura compacta, saturados de agua, etc.) la solubilidad de los micronutrientes para las plantas aumenta considerablemente.

Por ejemplo, las formas reducidas de hierro (Fe^{2+}) y de Manganeseo (Mn^{2+}) resultan más solubles que las formas oxidadas (Fe^{3+} y Mn^{3+}).

Clima

El suelo puede sufrir cambios notables a causa de las variaciones climáticas y por la alternancia de períodos de lluvias y de sequía.

En condiciones extremas de temperatura, la asimilación de los micronutrientes disminuye fuertemente y además la actividad radicular es fuertemente inhibida.

Las lluvias intensas y persistentes, causan una lixiviación de los micronutrientes; contrariamente, en condiciones de baja disponibilidad hídrica, la movilidad de los iones puede resultar fuertemente reducida.

Influencia negativa de las diversas condiciones climáticas sobre la disponibilidad de los micronutrientes

ELEMENTOS FACTORES CLIMÁTICOS	Manganeseo	Cobre	Zinc	Hierro	Boro	Molibdeno	Magnesio
FRÍO	•		•	•			•
ASFIXIA RADICULAR	•		•	•			•
SEQUÍA	•				•	•	
INTENSA LUMINOSIDAD				•	•		
AIREACION ESCASA				•			

La actividad de mineralización de la flora microbiana y fúngica del suelo es providencial para la circulación de las sustancias nutritivas en la naturaleza. A través de ella, las sustancias orgánicas no se acumulan en el ambiente como sustancias inútiles, sino que son mineralizadas para un nuevo proceso de transformación en materia orgánica por parte de los vegetales.

Los microorganismos reaccionan de esta manera en la transformación de la sustancia orgánica determinando indirectamente un aumento de la capacidad quelatante del suelo y por lo tanto una mayor disponibilidad de los micronutrientes.

Microorganismos



Clases de deficiencias

La falta, aún de uno solo de los elementos nutritivos, produce una serie de síntomas de deficiencia que si no son corregidos a tiempo, pueden conllevar a que el crecimiento de la planta se detenga incluso a la muerte de la misma.

Absoluta o primaria

Hacen parte de esta categoría las deficiencias causadas por la excesiva escasez de ciertos elementos del suelo. En este caso será suficiente suministrar al suelo el elemento en déficit, de esta manera la deficiencia desaparecerá.

Condicionada o indirecta

Es una deficiencia típica de aquellos suelos que aún conteniendo un determinado elemento en cantidades elevadas, presentan deficiencias porque tal elemento está presente en un estado químico-físico que no permite que la planta lo asimile. Esta situación se puede presentar en condiciones de pH extremo o en casos de antagonismo iónico.

En este caso será necesario aportar el elemento en forma de quelato, evitando de esta manera todas las influencias negativas que el suelo puede ejercer sobre la disponibilidad del mismo. Otra alternativa es aplicarlo por vía foliar (también en forma de quelato). Los niveles de concentración de cada uno de los elementos químicos esenciales para la planta, por debajo de los cuales se manifiestan los síntomas de deficiencias, ya se conocen para la mayor parte de los cultivos. Se debe tener en cuenta que estos niveles pueden variar en función de la edad de la planta, del tipo de órgano analizado y de la variedad.

Intervenciones curativas

Generalmente las medidas de corrección de niveles bajos de elementos son tomadas solamente cuando ya se evidencia el síntoma típico de la deficiencia (DEFICIENCIA EVIDENTE).

Desde el punto de vista productivo, el suministro de pequeñas dosis de los elementos esenciales para la planta cuando todavía no se han manifestado los síntomas de deficiencias (DEFICIENCIA OCULTA), conlleva a un aumento considerable de los niveles productivos finales.

Intervenciones preventivas



Crterios de diagnóstico de las deficiencias nutricionales

Método visual

El método visual fue el primero y por largo tiempo el único usado para verificar las deficiencias y los excesos de elementos minerales.

La verificación de una deficiencia o de un exceso nutricional requiere, para ser realmente efectiva, que la observación sea realizada cuando apenas están empezando a aparecer los síntomas.

Los inconvenientes del método visual son principalmente:

- Un frecuente y estrecho parecido de los síntomas de cada una de las deficiencias nutricionales entre sí y con aquellos de algunas enfermedades.
- Diferencias entre los síntomas de la misma deficiencia dentro de las diversas especies y variedades.
- Aparición tardía de los síntomas.

Crterios de diagnóstico visual de las principales deficiencias nutricionales.

TEJIDO	SÍNTOMAS PRINCIPALES	ELEMENTO
HOJA MADURA	CLOROSIS → UNIFORME → INTERNERVAL	N, S Mg, Mn
	NECROSIS → DE LOS MARGENES Y DE LA PUNTA → INTERNERVAL	K Mg, Mn
HOJA JOVEN	CLOROSIS → UNIFORME → INTERNERVAL	S Fe, Zn, Mn
	NECROSIS (CLOROSIS)	Ca, B, Cu
	DEFORMACIÓN	Mo, Zn, B

Las determinaciones químicas que se realizan con el fin de obtener un plan de fertilización, se hacen por lo general sobre una muestra de suelos previamente homogeneizada.

Análisis químico de suelos

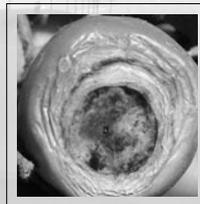
Se debe tener siempre presente durante la interpretación de los resultados, que la muestra analizada es solo una parte del suelo considerado. El material parental, su cantidad absoluta y sus características también deben ser tenidas en cuenta con el fin de realizar una recomendaciones de fertilización lo más ajustadas posible.

La fertilidad química, o sea la riqueza del suelo en elementos necesarios para la vida vegetal en formas asimilables para la planta, es difícilmente apreciable en cuanto que las metodologías de extracción de laboratorio de dichos elementos es una simulación aproximada de la realidad.

*Análisis de los tejidos
(Análisis foliar)*

El estado nutricional de un cultivo y por lo tanto una eventual deficiencia, pueden ser determinado mediante el análisis de los órganos de la planta (Hojas, tallos, pétalos).

Para que este tipo de análisis sea verdaderamente efectivo, se deben confrontar el órgano afectado por la deficiencia y uno sano. El análisis debe realizarse sobre el mismo tipo de órgano y hasta dónde sea posible, la muestra de ambos órganos debe ser tomada en la misma etapa de desarrollo del cultivo, a la misma altura (con respecto al eje vertical de la planta), con la misma exposición (respecto al sol), etc.



LOS MICROELEMENTOS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

II

ABSORCIÓN Y SINTOMATOLOGÍA DE LA DEFICIENCIA

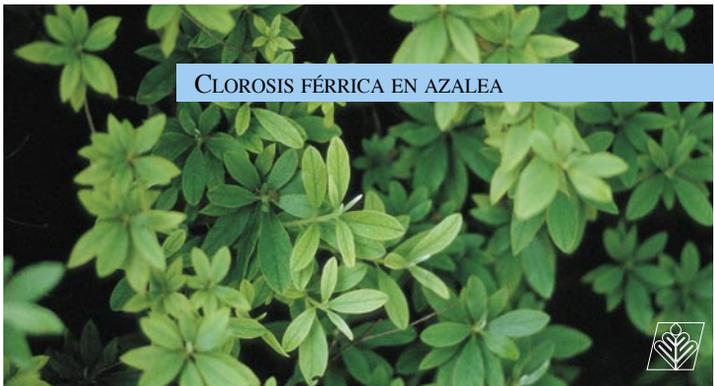
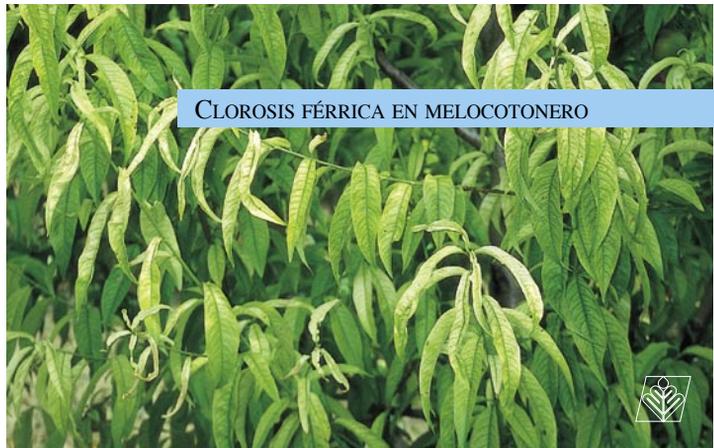


HIERRO

Absorción

El hierro es absorbido preferentemente por las raíces como ión ferroso (Fe^{2+}), forma en la cual es más aceptable para ser introducido en la estructura de las biomoléculas, y sobre todo más soluble en la solución del suelo. Es absorbido también por la epidermis foliar y por la superficie de las ramas.

En la planta es transformado en ión férrico (Fe^{3+}) y transferido en forma quelatada con ácido cítrico a las hojas donde es almacenado como ferritina (ferroproteína).



El hierro es un componente de las metalo-proteínas (ferrosulfoproteínas, citocromos del tipo B y C, citocromo-oxidasas, catalasas, peroxidasas, mono y di oxigenasas) y como tal asume la función de catalizador de los procesos respiratorios y de la formación de la clorofila (síntesis de las porfirinas).

Funciones biológicas

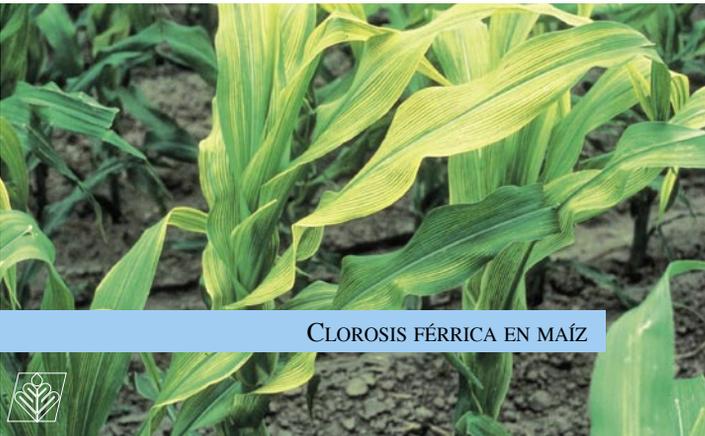
SÍNTOMAS SEVEROS DE DEFICIENCIA DE HIERRO EN PERO



En el suelo se encuentra en la estructura de muchos minerales cristalinos y bajo forma de óxidos e hidróxidos amorfos, así como de fosfatos y de humatos.

En los suelos calcáreos forma óxidos e hidróxidos insolubles, esto quiere decir que aunque esté presente en cantidades abundantes, se evidenciarán bajos niveles de absorción de las formas asimilables para la planta.

Influencia en la disponibilidad



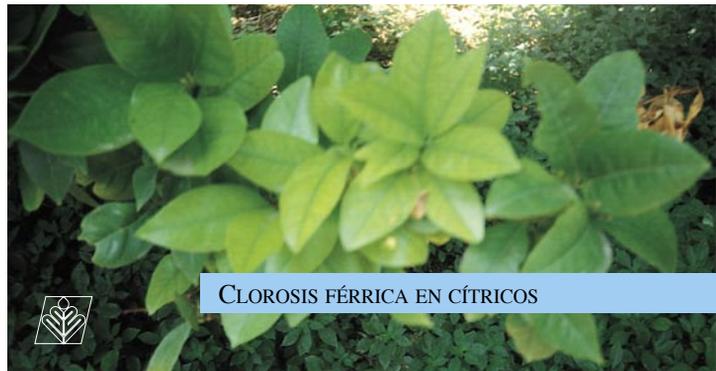
CLOROSIS FÉRRICA EN MAÍZ



La disponibilidad está comprometida también por las condiciones de baja temperatura del suelo, por excesos de: fósforo (P), de aluminio (Al), y metales pesados (Cu, Cd, Mn, Ni, Zn), y por una absorción desequilibrada de cationes y aniones.



CLOROSIS FÉRRICA EN ROSA



CLOROSIS FÉRRICA EN CÍTRICOS

Concentración foliar crítica

50 mg x kg⁻¹ Fe (materia seca)

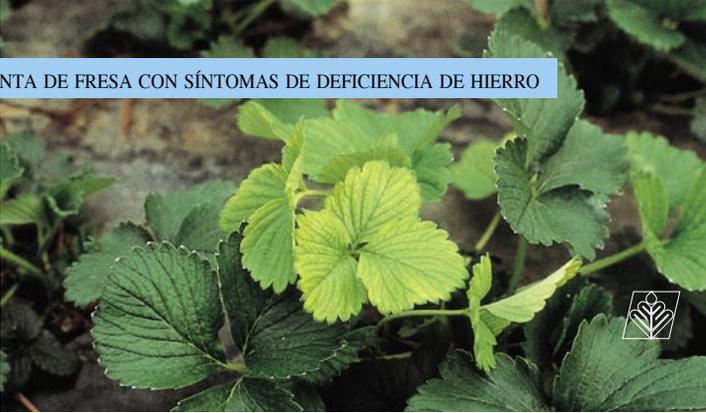
Síntomas de carencia (deficiencia)

Las manifestaciones de deficiencia se presentan principalmente en suelos con reacción alcalina, calcáreos, dolomíticos, y sobre todo si existen deficiencias de potasio.

La deficiencia de hierro puede verificarse aún en suelos ácidos ricos en fósforo (P), donde el hierro se precipita en forma de fosfato. También se han verificado algunos pocos casos en que follajes que han recibido aplicaciones excesivas de fungicidas que contienen cobre (Cu), manganeso

(Mn) o zinc (Zn) causan deficiencias de hierro (las hojas tratadas, con el tiempo caen y elevan dramáticamente los contenidos de estos elementos en el suelo).

PLANTA DE FRESA CON SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE HIERRO



Los síntomas de la deficiencia se manifiestan por lo general en hojas jóvenes en forma de una clorosis intervenal muy pronunciada.

La prolongación en el tiempo de la deficiencia puede conllevar a la necrosis foliar y a un amarillamiento de las hojas más maduras.

Otros síntomas típicos de esa deficiencia son:

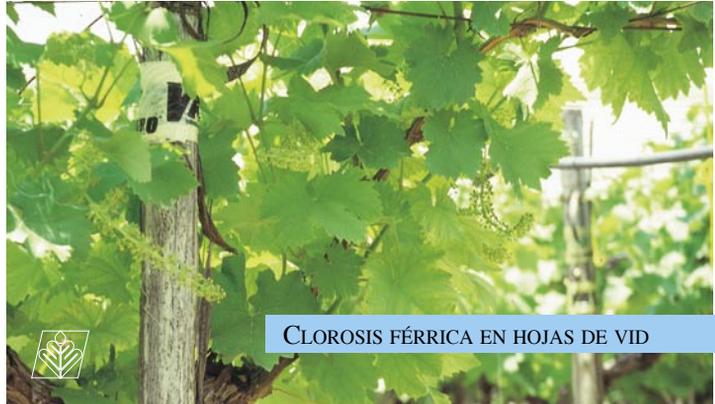
- defoliaciones apicales
- escaso desarrollo de las yemas
- bajo porcentaje de floración
- formación de frutos pequeños y pálidos.

CLOROSIS FÉRRICA EN CEREZO





A las deficiencias de hierro son más susceptibles las plantas arbóreas como la vid y algunos frutales que las herbáceas.



Sensibilidad de distintos cultivos a la carencia (deficiencia) de Hierro.

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Cítricos Vid Sorgo Melocotón (Durazno) Nogal Peral Soja (Soya) Rosa Fresa Tomate Kiwi	Alfalfa Cebada Maíz Arroz Trigo Avena	Manzano Patata (Papa) Remolacha



MANGANESO

Este micronutriente es absorbido preferentemente por la planta como ión manganeso (Mn^{2+}). En este estado oxidativo forma complejos estables con moléculas biológicas.

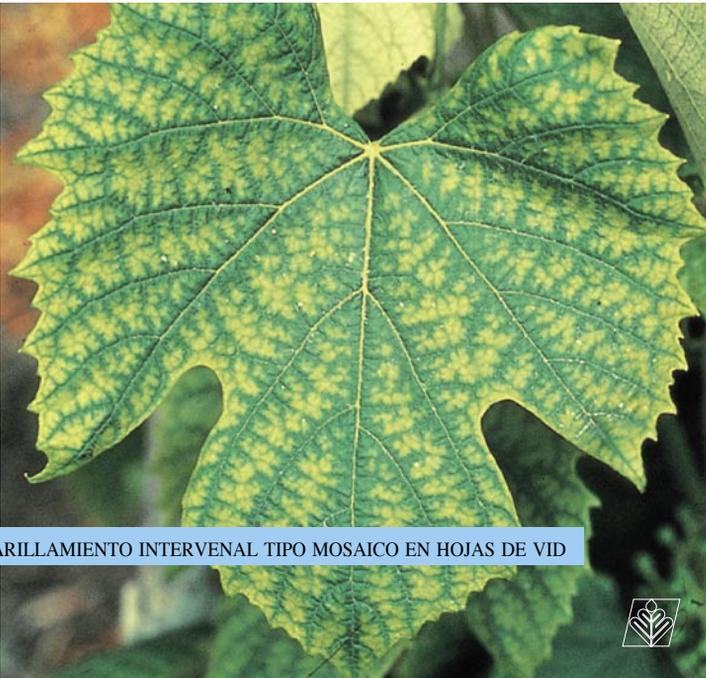
Absorción

El manganeso como el hierro cataliza la formación de la clorofila y las reacciones de óxido-reducción en los tejidos (metabolismo de las auxinas).

Funciones biológicas

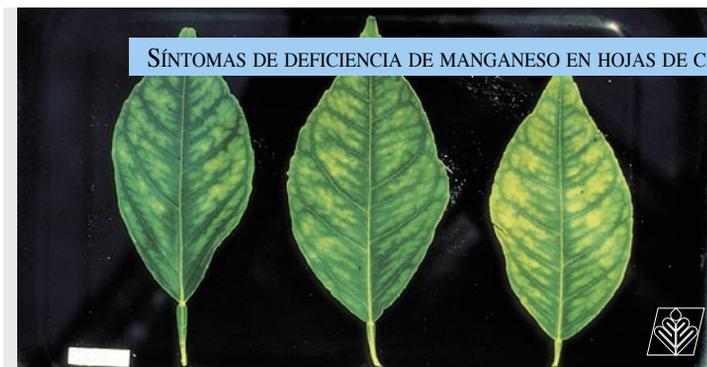
En las plantas es un elemento poco móvil y en el suelo se encuentra en compuestos análogos a aquellos del hierro. Su disponibilidad es limitada en suelos que presentan altos valores de pH o que presentan carbonatos libres.

Influencia en la disponibilidad



AMARILLAMIENTO INTERVENAL TIPO MOSAICO EN HOJAS DE VID





Concentración foliar crítica

20 mg x kg⁻¹ Mn (materia seca)

Síntomas de carencia (deficiencia)

Se manifiesta tanto en hojas jóvenes como en aquellas adultas, en forma de clorosis intervenal y una sucesiva formación de manchas necróticas, al principio pequeñas y después confluentes. Las nervaduras, aún las más sutiles, permanecen verdes confiriendo a la hoja un aspecto intensamente reticulado.

En los cotiledones de las semillas de guisantes (arveja) y de algunas variedades de judía (fríjol) se presenta como

Sensibilidad de diferentes cultivos a la carencia (deficiencia) de Manganeso

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Lechuga, Judías (Frijol) Espinaca, Patata Cebolla, Trigo Soja (Soya) Avena, Rabanito Melocotonero (Durazno)	Alfalfa, Cebada Maíz, Repollo Pepino (Cohombro) Tomate, Nabo Tréboles, Brócoli	Espárrago Centeno



ZINC

Es absorbido por las raíces de las plantas como ión bivalente (Zn^{2+}). También es muy fácilmente absorbido por la epidermis foliar y por las ramas.

Absorción

Está implicado en la síntesis del triptofano, precursor clave de las auxinas. Estimula diversas actividades enzimáticas en los vegetales (fosfatasas, decarboxilasas, etc), el metabolismo del nitrógeno y la formación de pigmentos flavonoides y del ácido ascórbico. Es un antagonista biológico del hierro. El cobre y el magnesio a menudo hacen sinergias con el zinc.

Funciones biológicas

DESARROLLO ASIMÉTRICO DE LA LÁMINA FOLIAR DE LA VID



DEFICIENCIA SEVERA EN NECTARINA





Influencia en la disponibilidad

La disponibilidad del zinc disminuye notablemente en los suelos alcalinos, produciendo frecuentemente deficiencias de este elemento a pesar de que exista una discreta cantidad en el suelo. Un alto contenido de fósforo en la planta reduce la translocación del zinc de las raíces a la parte aérea.

Condiciones climáticas de frío o lluvia también pueden acentuar la deficiencia.



NECROSIS INTERVENAL CON MANTENIMIENTO DEL COLOR VERDE EN LAS NERVADURAS DE LA HOJA DE REMOLACHA AZUCARERA

Concentración foliar crítica

20 mg x kg⁻¹ Zn (materia seca)

Síntomas de carencia (deficiencia)

Las manifestaciones de deficiencia de zinc que se observan en los diferentes suelos muestran un comportamiento acropétalo y son estimuladas por la luz.

En condiciones de deficiencia, el zinc influye directamente en el desarrollo de la planta manifestándose como un acortamiento de los entrenudos y el típico aspecto arositado.

Los frutos son frecuentemente pequeños; presentan formas inmaduras y son sujetos a un alto porcentaje de caída.

Sensibilidad de distintos cultivos a la carencia (deficiencia) de Zinc

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Cítricos, Vid Maíz Sorgo Cebolla Judía (Frijol)	Cebada, Soja (Soya) Remolacha Patata (Papa) Tomate	Alfalfa, Zanahoria Espárrago, Avena Trigo

En las hojas se observa un reducción de la lámina foliar y la típica forma de media luna; además se presentan manchas intervenales verde pálido, amarillas y a veces blancas.

En las monocotiledóneas se manifiesta como bandas paralelas a la nervadura central.

Las raíces se muestran más pequeñas de lo normal y con los ápices curvados.

La deficiencia de zinc se observa con más frecuencia en las pomáceas (manzana, pero), drupáceas (frutos de hueso), vid y cítricos.



DECOLORACIÓN ACENTUADA EN HOJAS DE CÍTRICOS



ESTRÍAS LONGITUDINALES EN HOJAS DE MAÍZ



COBRE

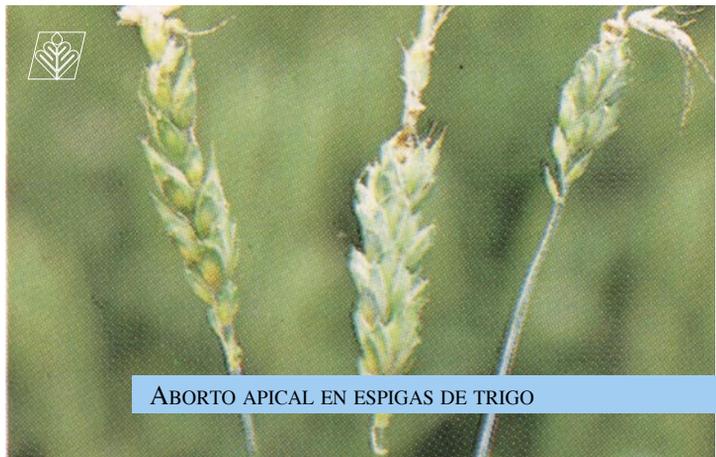
Absorción Es absorbido como ión bivalente (Cu^{2+}).

Funciones biológicas Muchos enzimas con diversas propiedades y funciones (tiroxinasas, lacasas, ascorbioxidasas, mono y diaminoxidasas) son activadas por este elemento químico de la fertilidad.

Estabiliza la clorofila, participa en el metabolismo de las proteínas y de los carbohidratos y en la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico (N_2) en las leguminosas.

Influencia en la disponibilidad En el suelo se encuentra en pequeñas concentraciones, pero su presencia constante hace que las condiciones de carencia sean muy raras (la excepción son los suelos turbosos).

Un exceso de este elemento resultaría tóxico para la planta. Una carencia ocasional de cobre se puede producir a continuación de un exceso de aplicación de fosfatos, los cuales tienden a formar con el cobre compuestos insolubles.



ABORTO APICAL EN ESPIGAS DE TRIGO

5 mg x kg⁻¹ Cu (materia seca)

Concentración foliar crítica

ENROLLAMIENTO FOLIAR EN PATATA (PAPA)



Deficiencias moderadas y agudas dan síntomas visibles que interesan las partes apicales de la planta, pero no son tan vistosas como en los otros microelementos.

En los cereales, el ápice de las hojas asume un aspecto clorótico y las hojas presentan enrollamiento y una escasa amplitud de la lámina. En casos graves la espiga no se forma.

Síntomas de carencia (deficiencia)

CLOROSIS EN HOJAS DE REMOLACHA AZUCARERA





Sensibilidad de los diversos cultivos a la carencia de cobre (CU)

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Alfalfa, Lechuga Trigo, Espinaca Cítricos, Cebolla	Cebada, Sorgo, Zanahoria, Apio, Maíz, Berza (Repollo), Remolacha, Tomate Nabo	Espárrago Judía (Fríjol) Guisante (Arveja) Centeno, Patata (Papa), Soja (Soya)

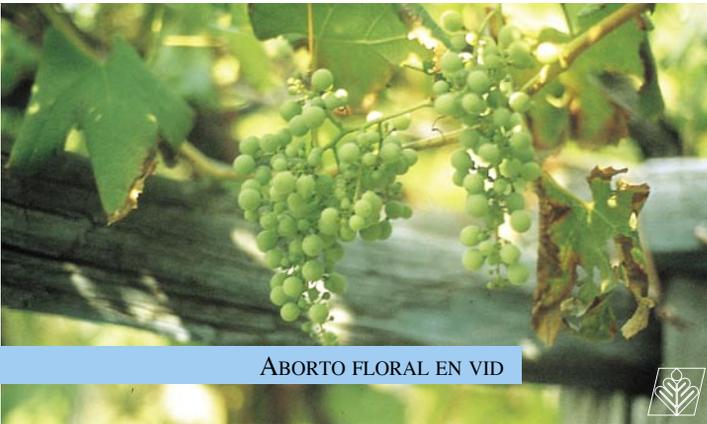
BORO

Es utilizado por las plantas como ácido bórico H_3BO_3 , forma en la cual se encuentra en la solución acuosa a pH neutro.

Absorción

En las plantas se encuentra en pequeñas cantidades, concentrado especialmente en las partes jóvenes, las cuales lo contienen en cerca del doble con respecto a las partes adultas. Las raíces lo contienen en menor cantidad que las hojas.

Funciones biológicas





Ejercita un efecto estabilizante en los complejos Ca^{2+} de la lamela media y es capaz de influenciar algunos procesos fisiológicos que se encuentran bajo el control hormonal (floración, fructificación, germinación del polen).



FORMACIÓN DE INCISIONES SUBEROSAS EN FRUTAS DE PERO

Además está implicado en la actividad de la membrana y por lo tanto, en la transferencia de los azúcares al interior de la planta. Influencia el alargamiento del tubo polínico y en consecuencia la fecundación del ovario.

Influencia en la disponibilidad

La disponibilidad del boro es pH dependiente, es baja a pH inferiores a 5 y comprendidos entre 7 y 8,5, y crece a pH comprendidos entre 5 y 7 y superiores a 8,5.



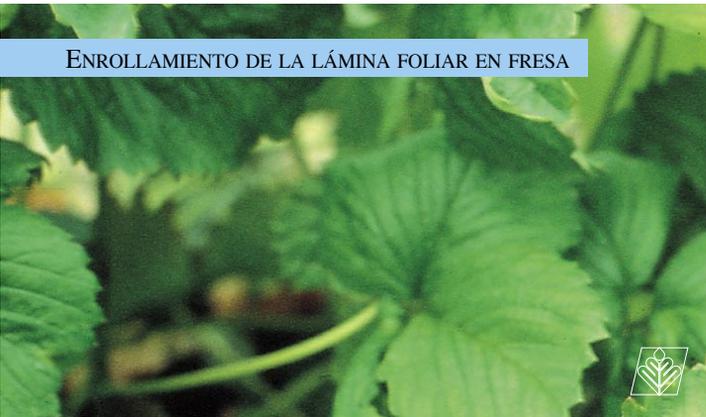
FORMACIÓN DE INCISIONES SUBEROSAS EN UN FRUTO DE MANZANO



DEFORMAZIONE “CORALINA” DE LA RAÍZ DE LA VID

La disponibilidad de este elemento es reducida por uso excesivo de Nitrógeno (N), por aplicaciones recientes de cal, y por situaciones climáticas con veranos secos seguidos de inviernos lluviosos.

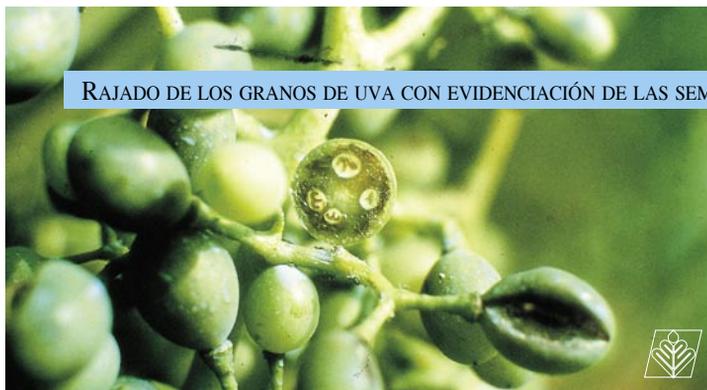
Es un elemento poco móvil que la planta no es capaz de almacenar, así que la deficiencia de boro se puede manifestar imprevistamente en cualquier momento del ciclo productivo.



ENROLLAMIENTO DE LA LÁMINA FOLIAR EN FRESA

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Remolacha, Zanahoria Apio, Girasol, Manzano Olivo, Rosa, Vid	Berza (Repollo), Lechuga, Maíz, Melocotón (Durazno) Pera, Tomate Espinaca, Tabaco	Patata (Papa) Espárrago, Cebolla Pepino (Cohombro) Trigo, Centeno Sorgo, Soja (Soya)

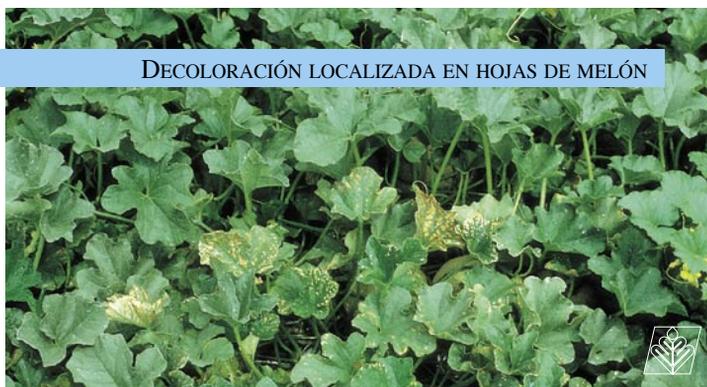
Sensibilidad de diferentes cultivos a la carencia (deficiencia) de Boro



RAJADO DE LOS GRANOS DE UVA CON EVIDENCIACIÓN DE LAS SEMILLAS

Concentración foliar crítica

20 mg x kg⁻¹ B (materia seca)



DECOLORACIÓN LOCALIZADA EN HOJAS DE MELÓN

Síntomas de carencia (deficiencia)

La deficiencia de boro se manifiesta en las más variadas clases de suelos.

Causa la muerte de la yema apical y la sucesiva emisión de yemas secundarias. Las plantas presentan entrenudos cortos y un aspecto de arbusto enano.

En las hojas causa engrosamiento, fragilidad y puntos cloróticos.

Reduce la fecundación floral e incrementa la caída de los frutos inmaduros.

Causa además necrosis, agrietamientos y deformación de frutos y raíces.

MOLIBDENO

A diferencia de los otros microelementos, el molibdeno (MoO_4^{2-}) resulta fácilmente asimilable en los suelos alcalinos y menos en los ácidos o arenosos.

Absorción

En los tejidos vegetales se encuentra asociado a la nitrato-reductasa, enzima de la cual depende la capacidad de los organismos vegetales de utilizar el nitrato ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2$), que por lo tanto, favorece la formación de aminoácidos y proteínas.

Funciones biológicas

Favorece la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico. Es además un elemento esencial para la síntesis de la clorofila.

MANCHADO EN HOJA DE REMOLACHA AZUCARERA



La disponibilidad de este elemento está fuertemente limitada en los suelos ácidos, en los cuales está favorecida la formación de polianiones de molibdato que limitan fuertemente la absorción del elemento por parte de la planta.

Influencia en la disponibilidad



Concentración foliar crítica

0,1 mg x kg⁻¹ Mo (materia seca)

Síntomas de carencia (deficiencia)

La deficiencia de molibdeno se manifiesta por lo general bajo forma de clorosis en las hojas basales más viejas. Aquellas más jóvenes resultan pálidas y menos desarrolladas de lo normal.

Se presenta una disminución del crecimiento de la planta y una reducción de la floración.

En las crucíferas las hojas se muestran translúcidas debido a la incompleta formación de las paredes celulares.

AMARILLAMIENTO UNIFORME EN HOJAS DE REMOLACHA AZUCARERA (A LA DERECHA)



Sensibilidad de diferentes cultivos a la carencia (deficiencia) de Molibdeno

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Acelga, Espinaca Coliflor, Cebolla Lechuga, Melón	Alfalfa, Judía (Frijol) Zanahoria, Cítricos Remolacha, Tomate Nabo	Espárrago, Cebada Trigo, Patata (Papa) Centeno

MANCHAS AMARILLAS EN HOJAS DE CÍTRICOS



MAGNESIO

El magnesio es absorbido por las plantas como ión bivalente Mg^{2+} y en el interior de la planta se une a varios compuestos metalorgánicos, entre los cuales están la clorofila y la fitina.

Absorción

La función importante más conocida del magnesio es su papel como átomo central de la molécula de clorofila.

Funciones biológicas

El magnesio desempeña una función esencial en la síntesis proteica, sirviendo de puente para la agregación de las subunidades ribosomiales.



DEFICIENCIA EN HOJAS DE TOMATE



Participa a la formación de varios pigmentos e influye en la actividad de las fosfatasa, implicadas en la formación de los ésteres fosfóricos de los azúcares.



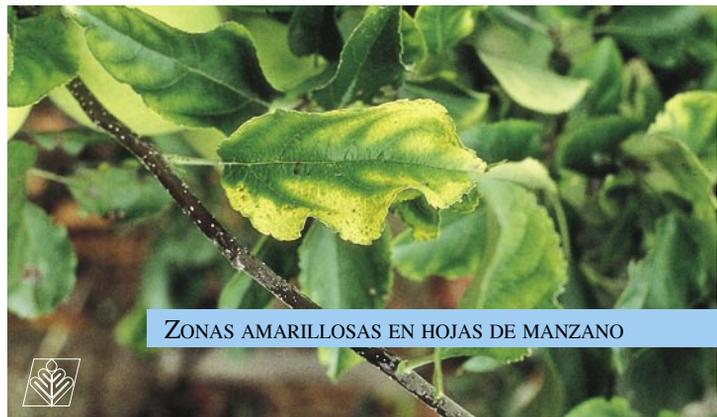
ZONAS AMARILLOSAS EN HOJAS DE MANZANO





Influencia en la disponibilidad

El contenido de magnesio está estrechamente correlacionado con la naturaleza física del suelo; es máximo en suelos arcillosos y mínimo en aquellos arenosos donde el magnesio está sometido a fuertes lavados.



La disponibilidad de este elemento es fuertemente limitada en suelos netamente alcalinos o ácidos y en aquellos con bajo contenido de materia orgánica.

Se pueden verificar condiciones de deficiencia en suelos con niveles elevados de potasio. Por lo general la absorción de magnesio es obstaculizada por la presencia de grandes cantidades de potasio y calcio, antagonistas iónicos.



DEFICIENCIAS EN HOJAS DE PATATA (PAPA)



2 g x kg⁻¹ Mg (peso seco)

Concentración foliar crítica



AMPLIAS ZONAS AMARILLOSAS ENTRE LAS NERVADURAS PRINCIPALES Y NECROSIS DE LOS MÁRGENES FOLIARES EN VID



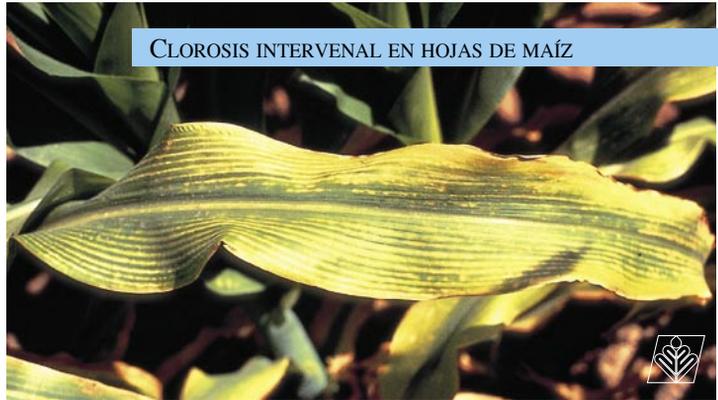
La sintomatología de la deficiencia de magnesio varía de planta a planta y en consideración a la elevada movilidad de este ión al interior de los organismos vegetales, aparece primero en las hojas más viejas y después eventualmente en aquellas más jóvenes, manifestando amarillamientos o clorosis intervenales que en los casos más graves de carencia, se necrosan.

Síntomas de carencia (deficiencia)



Sensibilidad de diferentes cultivos a la carencia (deficiencia) de Magnesio

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Berza (Repollo), Puerro, Nabo, Drupáceas, Vid, Manzana, Melón, Tomate, Remolacha azucarera, Maíz	Cebolla, Lechuga, Espinaca, Guisantes (Arveja), Pepino (Cohombro)	Zanahoria, Judía verde (Habichuela), Haba



CALCIO

El calcio se encuentra en los suelos cultivados bajo forma de carbonato, sulfato u otros minerales. Entre estas formas los carbonatos representan la forma mayormente asimilable de la planta, ya que en presencia de agua y anhídrido carbónico se transforman en bicarbonatos solubles.

En la planta el calcio se encuentra en forma soluble como sulfato, o bien insoluble, como oxalato.

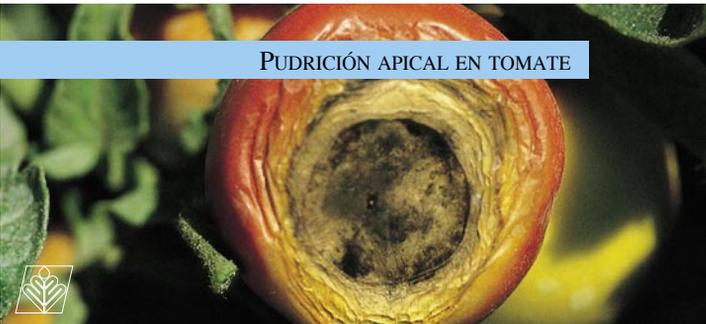
Absorción



SECAMIENTO FISIOLÓGICO EN MELÓN

El calcio desempeña un papel fundamental en la estabilidad de la membrana y en la integridad celular, ya que las elevadas concentraciones de este elemento inhiben la actividad de las poligalacturonasas, responsables de la degradación de los pectatos.

Funciones biológicas



PUDRICIÓN APICAL EN TOMATE



MANCHAS NECRÓTICAS EN MANZANO

Es un activador de algunas enzimas y cumple la función de neutralizar los ácidos orgánicos (tóxicos para la planta) producidos en la respiración.



DECOLORACIÓN DE LOS ÁPICES FOLIARES EN LILIUM

Desempeña una actividad antagónica a aquella del potasio favoreciendo la reducción del volumen del plasma, incrementando la transpiración y reduciendo la absorción de agua.

Elevadas cantidades de este elemento son requeridas por la planta durante la formación del polen.



RAJADO DEL GRANO DE UVA

Los suelos que presentan deficiencia de calcio son normalmente ácidos. Ciertamente, los valores óptimos de pH para la nutrición cálcica están comprendidos entre 6,5 y 8,0.

El agua ejerce sobre los compuestos de calcio una acción de solubilización y transporte al interno del suelo, formando a menudo en los horizontes más profundos sedimentos de carbonato de calcio.

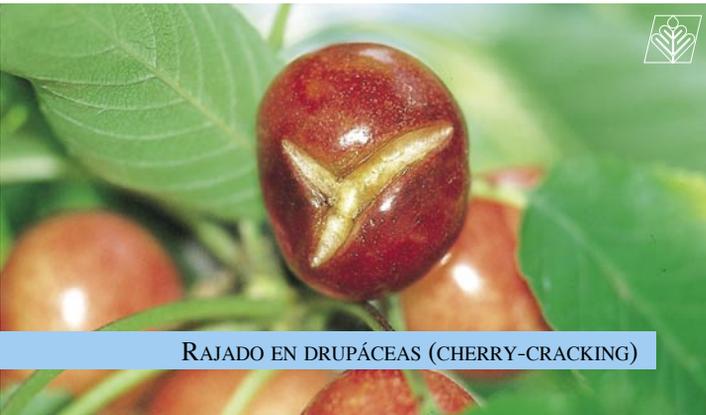
Influencia en la disponibilidad

RAJADO Y SUBERIFICACIÓN EN NECTARINA (CRACKING)



La materia orgánica desempeña un papel muy importante en el mejoramiento de la asimilabilidad del calcio.

Crecimiento acelerado del cultivo, lluvias intensas, fuertes fertilizaciones potásicas o con nitrógeno amoniacal, son factores que pueden inducir una potencial deficiencia de calcio.



RAJADO EN DRUPÁCEAS (CHERRY-CRACKING)



Concentración foliar crítica

Los análisis foliares tiene poco significado en el caso del calcio, debido a que revelan valores críticos de concentración muy variables (Diagnosis of Mineral Disorder in Plants. G Ed. Robinson, Vol 2, pág 10).

Esto se debe a que muchas veces, dentro de los tejidos vegetales, el calcio forma compuestos insolubles con ácidos orgánicos (se cristaliza) y por lo tanto, no está disponible para la planta. En otras palabras, un análisis foliar puede señalar que los niveles de este elemento son adecuados, pero en realidad la planta está carente del mismo. Lo anterior sucede por que las metodologías de laboratorio usadas en la realización de análisis foliares, extraen todo el calcio de los tejidos vegetales y no diferencian entre calcio asimilable y calcio no asimilable. En caso de deficiencia de calcio las primeras zonas de la planta interesadas son aquellas de rápido crecimiento; por ejemplo los meristemas.

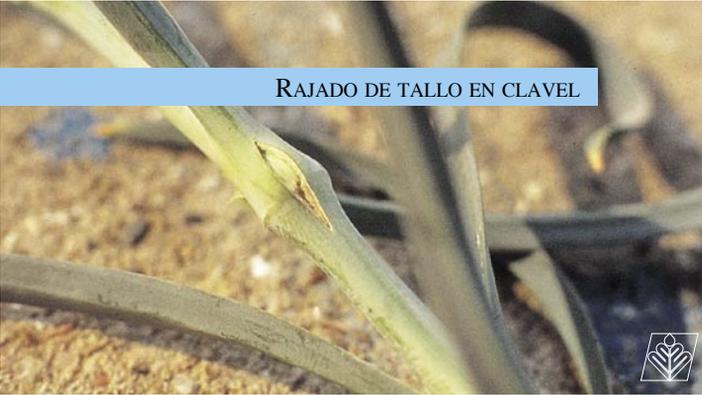
Síntomas de carencia (deficiencia)

Otros síntomas característicos son la aparición de clorosis, especialmente en los márgenes de las hojas más jóvenes y el “enrollamiento” de hojas con notables signos de malformación.



SECAMIENTO DE LOS MÁRGENES FOLIARES EN LECHUGA (TIP-BURN)

RAJADO DE TALLO EN CLAVEL

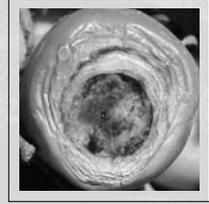


Dada la escasa movilidad del calcio al interno de la planta, los síntomas de deficiencia son más vistosos en las partes jóvenes y muchos menos en aquellas viejas.

En los frutos, los síntomas más típicos son la presencia de manchas necróticas (Manzano) y la pudrición apical (Tomate).

MUY SENSIBLES	MEDIANAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Berenjena, Tomate Drupáceas, Manzano, Melón, Lechuga, Fresa, Apio, Clavel, Pimentón	Patata (Papa), Trigo, Maiz, Avena	Azalea, Gardenia

Sensibilidad de los distintos cultivos a la carencia (deficiencia) de Calcio



LOS MICROELEMENTOS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

III

**MICROELEMENTOS QUELATADOS:
SU PAPEL EN LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS**



Microelementos quelatados: su papel en la nutrición de las plantas

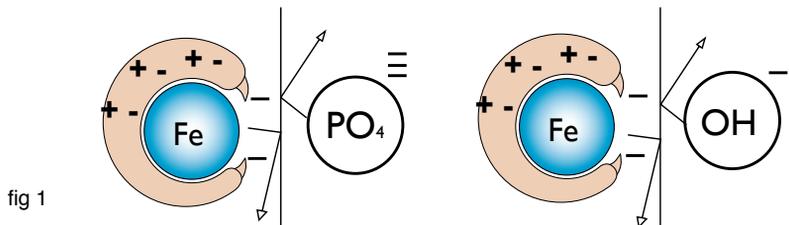
Los “microelementos”

Los microelementos son absorbidos por las plantas en pequeñas cantidades, en el orden de decenas o centenas de gramos por hectárea y por año. Normalmente el suministro viene efectuado por vía radicular, pero últimamente y cada vez más, se está difundiendo la modalidad de aplicación vía foliar con el objetivo de suministrar a la planta un elemento de crucial importancia en una determinada etapa fenológica.

Microelementos en forma iónica y en forma quelada

Los microelementos pueden ser suministrados en dos formas desde el punto de vista físico-químico: forma iónica (sales simples disueltas en la solución a aplicar) y “quelato” (o “complejo”) o sea los elementos químicos están unidos a moléculas orgánicas a través de más de un enlace de coordinación. El uso de microelementos en esta forma físico-química en vez de sales simples, se ha impuesto en los últimos años debido a la notable eficacia agronómica de ésta clase de moléculas. Es bastante frecuente encontrarse con condiciones de campo, sobre todo pedológicas, que hacen difícil la absorción de algunos elementos por parte de las raíces. Es necesario recordar que en suelos alcalinos y/o con alto contenido de carbonato de calcio activo, algunos microelementos (hierro, manganeso, zinc y boro) ven fuertemente limitada su disponibilidad para las plantas. De hecho en este tipo de

La protección físico-química contra la insolubilización del elemento...



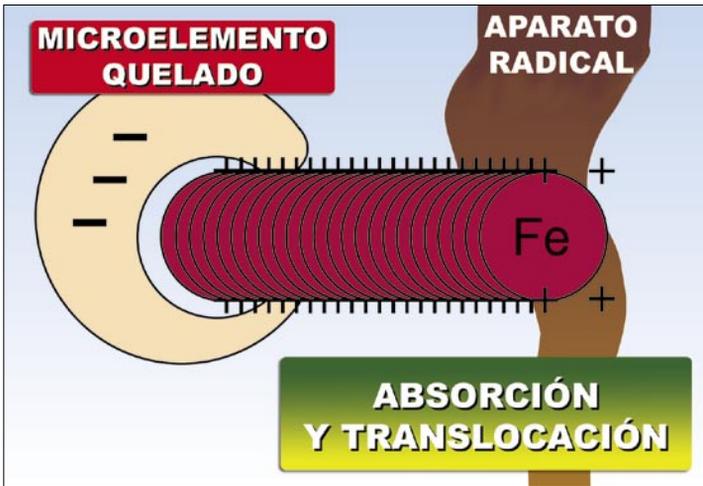


Fig.1 bis

suelos algunos microelementos dan lugar a la formación de algunos compuestos insolubles: óxidos, hidróxidos, fosfatos y carbonatos. Aunque estos compuestos están en la solución del suelo, la planta es incapaz de tomarlos. Aplicaciones foliares y radiculares de microelementos “quelatados” hacen que el microelemento, protegido de la insolubilidad a través del enlace con la molécula quelatante (*figura 1*), resulte plenamente disponible a la absorción activa de las raíces o de las células foliares (*figura 1 bis*).

La notable eficacia de esta clase de molécula no es debida solamente a su capacidad “físico-química” de proteger el metal de la insolubilidad; siendo la absorción en sí misma un proceso activo y altamente selectivo, los quelatos de síntesis presentan características “bioquímicas” que los hacen ser válidamente “reconocidos” de las enzimas vegetales que se encargan de transportar los micronutrientes al interior de los tejidos vegetales. Los microelementos pueden ser absorbidos con o sin molécula quelatante (*figura 1 bis*). Por esta razón, por ejemplo, algunas monocotiledóneas no “reconocen” el EDDHA como transportador de hierro y por lo tanto el Fe-EDDHA puede resultar una molécula ineficaz en esta clase de plantas en el tratamiento de las deficiencias de hierro*.

...y el reconocimiento bioquímico de la molécula quelatante

*De este y de otros agentes quelatantes actualmente en uso se hará mención en las páginas siguientes.



Las moléculas quelatantes

La investigación científica, desde hace ya bastante tiempo, ha identificado un grupo de moléculas quelatantes que poseen el requisito arriba mencionado, de “proteger” el microelemento de manera tal que permite la absorción por parte de la planta.

Las siglas

Estas moléculas se pueden reagrupar de la siguiente manera:

- *moléculas quelatantes exclusivas para tratamientos radiculares* EDDHA; EDDHSA.

Este tipo de moléculas se utiliza exclusivamente para quelatar el hierro dada la alta afinidad con este elemento que da lugar a moléculas de elevada estabilidad.

- *moléculas quelatantes que se pueden utilizar bien en fertirrigación bien en aplicaciones foliares*- EDTA, HEDTA, DTPA, LSA.

Este segundo grupo de moléculas es utilizado para quelatar el hierro (en este caso dando lugar, con respecto a las moléculas arriba mencionadas a compuestos generalmente menos estables en relación con el pH, manganeso, zinc, cobre e incluso también elementos como el calcio y magnesio).

Características generales

Aquello que diferencia los dos grupos de moléculas y que divide su uso en las dos modalidades de aplicación (foliar y radicular) es: la estabilidad química cuando varían las condiciones de pH del medio, en particular por el hierro.

Estabilidad de las moléculas quelatantes en relación con el pH.

Estabilidad de la estructura con respecto al pH del medio.

Los microelementos quelatizados son, con excepción del hierro, altamente estables a las variaciones de pH. Su estructura, y por lo tanto su eficacia agronómica permanecen invariables tanto con pH fuertemente ácidos o pH fuertemente alcalinos. Al contrario, en lo que respecta al hierro, se puede en general afirmar que con pH alcalino los quelatantes EDDHA-EDDHSA son notablemente más estables que los EDTA, HEDTA, LSA y DTPA (Figura 2). Esta es otra importante razón por la

cual los primeros en particular por el EDDHA, son más eficaces, y por lo tanto más empleados en tratamientos radiculares contra la deficiencia de hierro dada la elevada frecuencia de suelos con pH básico.

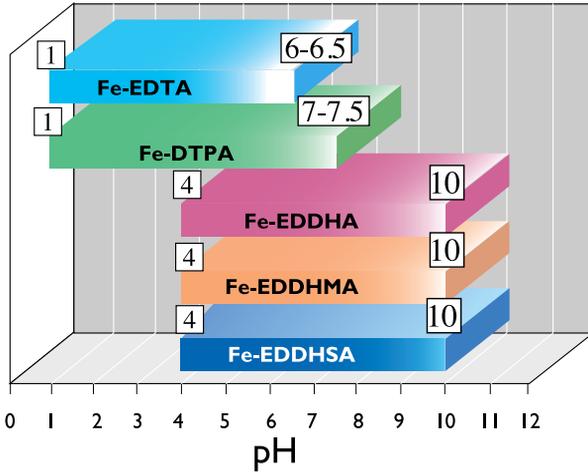


Fig. 2



Características físico-químicas de los microelementos quelatados: su influencia sobre la calidad de los formulados

La calidad de los formulados

El hierro quelatado con EDDHA, EDDHSA.

El concepto de “calidad” de los formulados a base de microelementos quelatados es amplio y de difícil definición. Se puede afirmar que un formulado de calidad, además de que los contenidos del elemento deben corresponder con lo que viene en la etiqueta, debe:

- garantizar a la planta la disponibilidad del elemento incluso en condiciones de pH muy elevado (del suelo, del sustrato, de la solución nutritiva);
- ser suficientemente soluble de tal manera que:
 - a) pueda ser empleado incluso, en los más sofisticados sistemas de fertirrigación sin correr ningún riesgo de obturación de los filtros;
 - b) pueda penetrar óptimamente en el suelo junto con la solución nutritiva aplicada.

Con relación al primer aspecto, la disponibilidad del elemento quelatado incluso en condiciones extremas de pH, está influenciada determinadamente por la estructura química de la molécula EDDHA-EDDHSA.

La estructura del EDDHA-EDDSA

La molécula quelatante, en todos los casos, está constituida por un grupo etilendiamino (EDA) al cual están unidos dos grupos fenólicos. La diferencia entre los quelatantes radica en el hecho que: en el EDDHA, al carbono en *para* del grupo fenol está unido un hidrógeno (H); en el EDDHSA al mismo átomo está unido un grupo sulfónico (-SO₃H).

Sin embargo, como se puede observar examinando las figuras 3 y 4, el número de enlaces hierro-molécula quelatante puede variar entre 4 y 6 dependiendo de que los grupos fenólicos estén unidos al resto de la molécula

a través del carbono en *para* o a través del carbono en *orto*. De esta manera las moléculas así llamadas *orto-orto* se unirán al hierro con 6 enlaces, aquellas *orto-para* con 5 enlaces, mientras que en aquellas *para-para* serán solamente 4 enlaces (de manera similar a lo que sucede con el Fe-EDTA, por ejemplo).

El número de enlaces resulta fundamental al influir en la *estabilidad* de la molécula quelatante discutida previamente, o sea su capacidad para impedir que el hierro llegue a ser insolubilizado en un ambiente alcalino. De hecho, la calidad del formulado específico dependerá en gran parte del porcentaje de moléculas *orto-orto*, las más estables dentro del total de las moléculas quelatantes. Por este motivo se puede afirmar que un quelato de hierro de alta calidad debe contener al menos un 80% de moléculas *orto-orto*. Por lo tanto, obtener quelatos con un alto porcentaje de moléculas *orto-orto* significa garantizar una alta eficacia aún en condiciones de pH difíciles (pH alcalino).

El concepto de "estabilidad"

Fig. 3

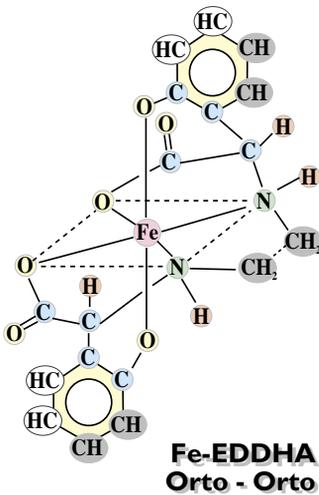
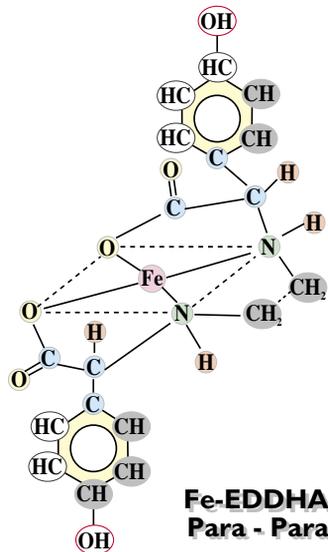


Fig. 4





Los quelatos
DTPA, EDTA, HEDTA

Otros quelatos – los quelatos con DTPA, EDTA y HEDT (ácido dietilentriaminopentaacético, etilendiam inotetraacético e hidróxidos etilendiaminotetraacético, respectivamente).

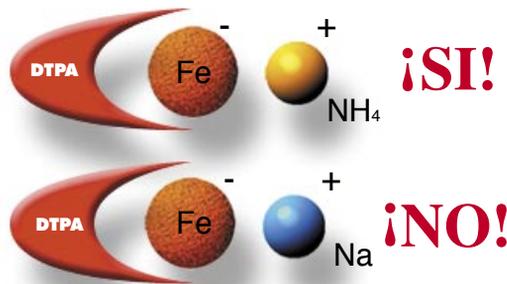
También en el caso de los quelatos de síntesis con DTPA, HEDTA o DTPA, se tiene la presencia de moléculas de conocida eficacia agronómica en la prevención y corrección de los síntomas de carencia de hierro y ya ampliamente utilizadas por los agricultores desde hace muchos años. Estas garantizan una excelente penetración de los microelementos en los tejidos de la planta, determinando un rápido restablecimiento de las condiciones óptimas de nutrición.

Lo que aquí queremos subrayar es que las formulaciones parecidas desde el punto de vista de la composición indicada pueden presentar notables diferencias en su aplicación y eficacia.

El DTPA sódico y amoniacal

Se puede tomar por ejemplo el Fe-DTPA (agente quelante ácido dietilentriaminopentaacético). El Fe-DTPA, de carga negativa, se puede formular con grupos amoniacales o con cationes sodio (ver figura 5).

Fig. 5



El DTPA puede ser amoniacal o sódico.

Esto hace que, en este segundo caso, las formulaciones alcancen porcentajes muy elevados de este elemento potencialmente fitotóxico para las plantas. Por ello sería oportuno elegir formulaciones con DTPA de tipo amo-

niacal, más que de tipo sódico. Las otras características importantes del DTPA, sobretodo con respecto a los EDTA, son la mayor resistencia a la fotodegradación por la luz (de todos modos queda la fotolabilidad recordada antes) y los menores peligros de fitotoxicidad del tratamiento (en igualdad de dosis utilizada). Al contrario, los microelementos quelatados con EDTA son de hecho aquellos donde estos riesgos son más considerables, sobretodo para los cultivos sensibles.

Otros quelatos – los quelatos con LSA (ligninsulfonato de amonio).

El quelato (o complejo) con LSA

Una ulterior tipología de moléculas quelatantes es aquella de los ligninsulfonatos. Los microelementos complejados con LSA (ligninsulfonato de amonio) se caracterizan, no solamente por la elevada eficacia agronómica en la resolución de las *microcarencias* (deficiencias de microelementos), también por:

- una drástica reducción de los riesgos de fitotoxicidad que conllevan los tratamientos;
- mejora de la humectabilidad de las soluciones;
- compatibilidad con los agroquímicos más comunes.

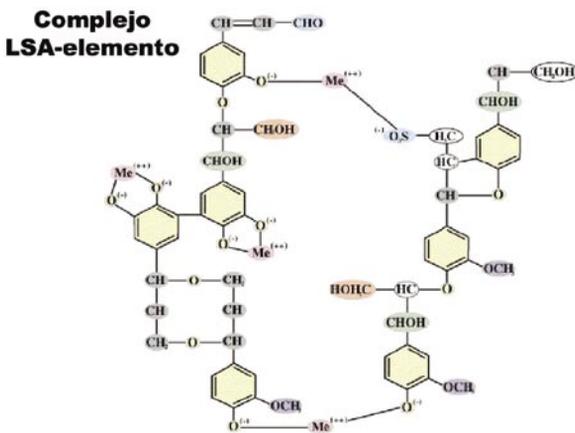


Fig. 6



Criterios de aplicación de los microelementos – los tratamientos radiculares.

*Como se aplican las
moléculas quelatantes
– Los tratamientos
radiculares*

Concepto de validez general: es preferible intervenir en fenómenos de *microcarencias* (a través de aplicaciones preventivas) antes de que se manifiesten los síntomas de la deficiencia.

De hecho, en el momento en que ya se observan síntomas evidentes de *microcarencias* (generalmente en forma de amarillamientos y necrosis foliares, y en forma de desarrollo tardío, bajo porcentaje de cuajado y crecimiento insatisfactorio del fruto), ya se han registrado daños a la calidad y cantidad de la producción.

Criterios de diagnóstico

En estos casos, las aplicaciones “curativas” con microelementos quelatados serán indispensables para preservar lo máximo posible las metas de producción.

El diagnóstico de la deficiencia puede ser hecho a “ojo” analizando el tipo de síntoma, sin embargo se recomienda realizar análisis foliares (cuya interpretación debe ser acorde con la realidad específica del cultivo). Los análisis foliares pueden detectar las deficiencias cuando aún están ocultas, y esto permite hacer correcciones antes de que se manifiesten los síntomas típicos.

Se debe tener en cuenta que basándose, por ejemplo, en los síntomas foliares, no siempre es posible saber cual es el elemento en déficit.

Ya que a menudo las condiciones que predisponen la deficiencia, por ejemplo de hierro, son las mismas que producen las de manganeso, zinc o boro, a veces se está en presencia de deficiencias múltiples y los síntomas de una pueden “enmascarar” los de la otra.

En fin, se hace necesario notar que una deficiencia puede ser causada no tanto por la escasez de un determinado

elemento sino por el exceso de otro, debido a fenómenos de antagonismo (figura 6). De hecho, muchas vías de entrada a la planta (físicas o bioquímicas) de los elementos nutritivos son las mismas; por lo tanto el exceso de uno, puede afectar de manera negativa la absorción de otro. También existe la posibilidad de que se puedan formar compuestos insolubles en el interior de los tejidos vegetales (entre los mismos elementos nutritivos absorbidos), lo que impide su utilización y genera fitotoxicidad.

Las aplicaciones radiculares

ANTAGONISMOS	SINERGISMOS
POTASIO → BORO	NITRÓGENO → MAGNESIO
MAGNESIO ↔ POTASIO	MAGNESIO → FÓSFORO
MOLIBDENO → COBRE	MOLIBDENO → NITRÓGENO
COBRE → MANGANESO HIERRO	POTASIO → MANGANESE HIERRO
FÓSFORO → ZINC POTASIO COBRE CALCIO HIERRO	ZOLFO → NITRÓGENO POTASIO COBRE MANGANESO MAGNESIO
ZINCO → HIERRO	
BORO → POTASIO	
HIERRO → FÓSFORO	
AZOTO → POTASIO COBRE BORO	
CALCIO ↔ POTASIO MAGNESIO NH ₄ ⁺	
CALCIO → MANGANESO ZINC BORO FÓSFORO HIERRO	

Fig.7

En las aplicaciones radiculares de microelementos quelatados, cuando las condiciones pedológicas generan *microcarencias* (pH por encima de 8-8.5, suelos pesados o excesivamente arenosos, anóxicos o con bajos contenidos en materia orgánica), se deberán utilizar moléculas de alta calidad con un elevado índice de estabilidad. En estas condiciones condiciones serán necesarias dosificaciones tendencia superiores respecto a aquellas utilizadas en condiciones menos difíciles. En estas condiciones difíciles serán necesarias dosificaciones superiores, que deberán

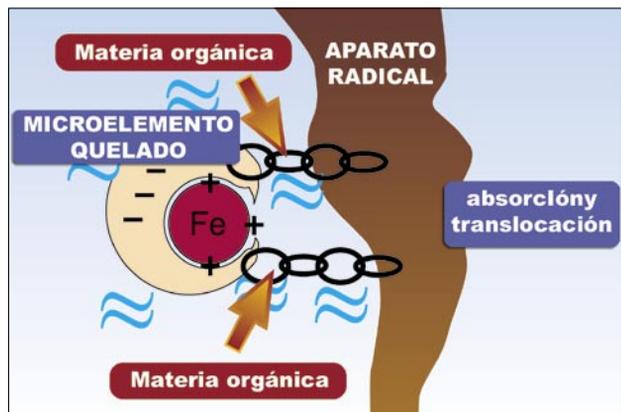


La solubilidad de las moléculas quelatantes, arma de doble filo.

aumentar según aumenten las condiciones adversas. Por esta razón, se recomienda el uso de las moléculas Fe-EDDHA y Fe-EDDHA Valagro®, que gracias a la alta calidad de quelatización permiten su uso en una amplia gama de dosis, desde las más bajas hasta las más altas sin correr riesgos de fitotoxicidad (tanto en tratamientos de tipo preventivo o curativo). Por ejemplo, para la uva de mesa se aconseja de 10 a 50 gramos de quelato/planta/intervención según la edad y el tamaño de la misma planta. Para los cultivos hortícolas protegidos, como también para cultivos de florícolas y ornamentales: 0.5 - 1.5 g/m. El intervalo de dosificación (estudiado para la aplicación radicular y para cada aplicación en particular) está en función de la masa vegetativa de las plantas, del grado de clorosis férrica, de la densidad de implantación y, repetimos, según el tipo de aplicación, que puede ser de mantenimiento, prevención o de cura.

Para finalizar, es necesario destacar como la elevada solubilidad de los microelementos quelatados determina la posibilidad teórica de lixiviación en caso de lluvias o irrigaciones excesivas. Por esto es preferible realizar las aplicaciones en las etapas fenológicas en las cuales hay una mayor demanda del microelemento, o fraccionando la dosis total a aplicar y mezclando el quelato con productos que contengan alto contenido de materia orgánica (figura 8).

Fig.7



Criterios de tratamiento – las aplicaciones foliares

Como ha sido señalado arriba, las aplicaciones foliares con elementos quelatados (lo que se aplica a todas y cada una de las moléculas mencionadas) han demostrado ser una herramienta altamente efectiva en la prevención y cura de las *microcarencias* (deficiencias de microelementos). En los tratamientos contra las *microcarencias* más comunes, a las pocas horas de la aplicación de los quelatos o complejoado, se notan zonas de tejido reverdecidas en forma de pequeños puntos, que después se van extendiendo por todo el limbo de la hoja prosiguiendo con el proceso curativo. Las dosis a utilizar varían en función del agente quelatante y de la concentración del microelemento quelatado, sin embargo con los microelementos quelatados con EDTA, HEDTA y DTPA es necesario estar atentos a no superar determinadas concentraciones en la solución nutritiva, las cuales son a menudo indicadas en la etiqueta, para evitar grandes riesgos de lesión a la lámina foliar. Tales riesgos son notablemente reducidos o eliminados utilizando los complejados con LSA (arriba mencionados) debido a la alta afinidad del agente quelatante con los tejidos foliares.

