

Prof. Juan José Lucena Marotta
Universidad Autónoma de Madrid

1 Necesidades de micronutrientes de los cultivos

Los micronutrientes metálicos Fe, Mn y Zn son esenciales para los cultivos. Esto es, las plantas no pueden realizar su ciclo vital en ausencia de estos elementos, ya que están involucrados en el metabolismo de la planta de una manera específica. El Fe es el micronutriente requerido en mayor cantidad. Está involucrado en la síntesis de clorofilas, y participa de un buen número de sistemas enzimáticos importantes para el metabolismo de las plantas. Su deficiencia se denomina clorosis férrica y se caracteriza, de forma visual, por un amarilleamiento intervenal de las hojas jóvenes. Como consecuencia de la clorosis férrica, las plantas se desarrollan peor, teniendo menos vigor y una menor producción. La clorosis es consecuencia del efecto que distintos factores tienen sobre la adsorción y distribución de hierro por las plantas y que es debido a la suma de varios procesos (figura 1). Estos procesos se han de dar a una velocidad suficiente como para suplir las necesidades férricas de la planta y son:

Solubilización de los oxi-hidróxidos de hierro de los suelos, por lo general muy insolubles, tanto más cuanto más elevado es el pH del suelo.

Transporte de Fe soluble hacia las raíces: Este transporte viene ralentizado por las bajas concentraciones de Fe y por las retenciones que este elemento sufre sobre distintos materiales edáficos. La presencia de transportadores sería muy beneficiosa.

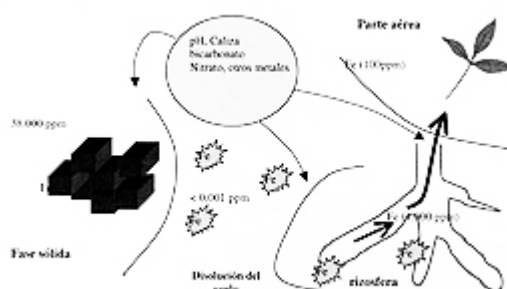


Figura 1. Esquema del proceso de absorción de Fe por plantas.

Absorción de hierro por las raíces jóvenes de las plantas. Este proceso está muy influenciado por el pH, el bicarbonato y presencia de caliza del suelo. De manera general las plantas son capaces de reducir el Fe (III) en la superficie de la raíz y formar Fe (II) que es la especie química que las plantas son capaces de tomar. Existen variedades denominadas eficientes o resistentes con un mecanismo de absorción mucho más eficaz que las variedades susceptibles. En deficiencia de hierro, plantas eficientes dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramíneas (plantas de la estrategia I) son capaces de incrementar el poder reductor de las raíces, se liberan ácidos y reductores, a la vez que la morfología de las raíces cambia. En gramíneas eficientes se liberan fitosideróforos, quelantes específicos de hierro que lo toman del suelo para luego entrar de nuevo en la planta.

Transporte hacia la parte aérea de la planta y su posterior distribución, también impedido por elevados contenidos de bicarbonato en el suelo. En presencia de bicarbonato o de altos contenidos de nitrato el Fe se inmovilizaría en la planta, de manera similar a la del suelo. El mecanismo de entrada en las células estaría impedido. En estos casos el Fe total puede ser elevado (incluso más que en hojas verdes) pero la planta sufriría de clorosis. Es lo que se denomina la paradoja del hierro.

Por lo tanto la clorosis no es consecuencia de la falta de hierro en el suelo, donde es uno de los elementos más abundantes (3,8% de media), sino que es producida por su baja movilidad. Los factores que más inciden en esta baja movilidad son elevados pH y presencia de bicarbonato, mantenida por la caliza activa del suelo.

2 Deficiencias de Mn, Zn y Cu

Si bien las causas de deficiencia de Manganeseo, Zinc y Cobre en suelos son causadas también por la baja disponibilidad de estos nutrientes en suelos de elevado pH, existen algunas características diferenciales respecto del hierro. En primer lugar, son menos abundantes en suelos que el Fe. Así el Mn está presente en concentraciones del orden de 600 mg/kg de suelo y Cu y Zn en el intervalo de 10-60 mg/Kg, pero el requerimiento de los cultivos también es más, por lo que es raro que su deficiencia se deba a falta de los elementos en el suelo. Es el elevado pH, y en el caso del Mn el elevado potencial redox los causantes de la deficiencia.

3 Soluciones a las deficiencias de micronutrientes

Genética: selección de variedades más resistentes que sean capaces por sí mismas de extraer el micronutriente presente en suelos. En el futuro será la solución más definitiva, al menos para el Fe, pero los procesos de selección son lentos y a veces las nuevas variedades presentan otros inconvenientes.

Mejor manejo de suelos y cultivo: Cualquier técnica de cultivo que favorezca la aireación permitirá que se desarrollen mejor raíces jóvenes. La adición de materia orgánica estabilizada, a la vez que mejora la estructura del suelo puede complejar los micronutrientes metálicos. Igualmente el uso de acidificantes en zonas localizadas del suelo puede favorecer la nutrición en Fe, Mn, Zn y Cu. Así, se recomienda incrementar la nutrición amoniacal sobre la nitríca en la medida de lo posible.

Uso de fertilizantes:

Inorgánicos: No es eficaz porque precipitan y sólo vienen a incrementar el ya abundante hierro del suelo. Sólo serían considerados para Mn, Zn y Cu pero para aplicación foliar.

Complejantes: Serían moléculas, principalmente orgánicas, capaces de aislar al hierro o los otros micronutrientes de la influencia de los agentes adversos del suelo (pH y bicarbonato). Destaca el uso de complejantes orgánicos (quelatos naturales). Su uso también puede ser recomendado por vía foliar, aunque, como veremos con poco éxito para el hierro.

Quelatos sintéticos: Como caso especial de los complejantes en que las uniones con el micronutriente metálico son múltiples y de elevada estabilidad.

4 Forma de acción de los quelatos

En el caso del hierro los quelatos deben incrementar la solubilización de hierro del suelo y transportarlo hacia la raíz de la planta. Ahí deben ceder el Fe y la parte orgánica del quelato debe volver a solubilizar más hierro. En este sentido los quelatos actúan de modo bien diferente al resto de los fertilizantes. Así, por ejemplo, un potasio añadido al suelo será aprovechado o no, pero un quelato no solo aportará el hierro que con él se aplica al cultivo, sino que puede aumentar el aprovechamiento del hierro nativo del suelo (Figura 2).



5 Tipos de quelatos y complejos. Eficacia.

La eficacia de un quelato dependerá de la capacidad que este tenga en realizar los procesos de solubilización, transporte y cesión del elemento a la planta y de resistir a los factores contrarios como el alto pH, bicarbonato, competencia por otros metales, adsorción sobre los materiales del suelo y resistencia a la degradación de la molécula orgánica. De los quelantes existentes, EDTA y DTPA complejan más adecuadamente Zn y Mn, por lo que no son efectivos para el hierro. EDDHA, EDDHMA, EDDHSA y EDDCHA serían los quelatos más estables, ya que rodean al hierro perfectamente y lo aíslan del medio.

Los complejantes serán moléculas que producirían una menor unión de los metales y los más comunes utilizados son citrato y otros ácidos carboxílicos, obtenidos como residuos de ciertos procesos industriales agroalimentarios, Lignosulfonatos procedentes de la industria del papel, Gluconatos y heptagluconatos, Humatos de distintas fuentes (leonarditas, turbas, ...), Aminoácidos (metalosatos) procedentes de hidrólisis enzimática o ácida de residuos animales o vétales de proteínas, Fosfonatos y Flavonoides. Su uso se reserva para cultivos no muy sensibles y principalmente para aplicaciones foliares. La molécula de EDDHA es la que más se comercializa en España por su elevada eficacia para resolver la clorosis férrica. Se sintetiza con varias posibilidades de isómeros orto-orto, orto-para y para-para, de los cuales únicamente la forma orto-orto sería la más estable. Es, por tanto, muy importante considerar la riqueza de los quelatos únicamente en este isómero. En nuestro laboratorio hemos diseñado una técnica de HPLC de fácil utilización que permite cuantificar la cantidad de Fe unido a los agentes quelantes que presentan la posición orto-orto. Con él se ha podido realizar un análisis de mercado de los productos existentes antes de 1999 y se observó que en general la calidad de los productos era baja. Así la media de Fe quelado en productos Fe EDDHA que declaraban contener un 6% de Fe quelado era únicamente del 2,59%. Además un 20% de esos productos ni siquiera contenían el agente quelante que declaraban en la etiqueta. Actualmente y gracias a la existencia de un método analítico la calidad general ha aumentado encontrándonos con una media de 3,36% en aquellas muestras analizadas en nuestro laboratorio durante los dos últimos años. Aún más, los distribuidores, conscientes de su responsabilidad legal en la veracidad de sus etiquetas declaran las cantidades analizadas, de modo que el agricultor tiene una mayor claridad a la hora de seleccionar un producto comercial.

6 Usos de los distintos tipos de quelato

Las características observadas nos permiten recomendar, como información técnica, su uso según las distintas condiciones del suelo e irrigación.

	% Fe Q	Características suelo		Tipo de riego		Utilización por planta
		Suelos ricos ox Fe	Suelos ricos m.o.	Localizado	Inundación	
EDDHA	**	*	*	***	**	***
EDDHMA	***	**	*	**	*	**
EDDHA	*	***	***	***	-	*

***Muy Buena **Buena *Medio

Esta tabla es orientativa, y está realizada pensando que la dosis del hierro efectivamente quelado es la misma. Hay que señalar que en fertirriego no es necesario realizar aplicaciones muy frecuentes de los quelatos. Es más recomendable realizar aplicaciones cada 15 días con dosis ligeramente superiores. De esta manera la ligera adsorción de los quelatos no implica una marma importante en su uso y se favorece el efecto transportador enunciado al principio.

Por último, hay que recordar que los quelatos férricos son productos orgánicos de síntesis, muy estables en las condiciones para las que están diseñados, pero no en otros medios. Así pues para un buen uso de los quelatos conviene mantener ciertas normas como son:

No mezclar nunca con ácidos. Esto es especialmente importante en fertirriego donde se puede aconsejar la utilización de disoluciones ácidas.

No mezclar con elevadas concentraciones de fosfato, como es en las cubas de disoluciones concentradas usadas en fertirriego.

No mezclar con fungicidas cúpricos. El Cu es el principal competidor del hierro por los agentes quelantes, por lo que si está en concentraciones elevadas producirá la inactivación del quelato y la precipitación del hierro.

No dejar que le degrade la luz. En este sentido el fertirriego permite una fácil incorporación de los quelatos en profundidad por lo que es una técnica adecuada. Sin embargo las aplicaciones foliares no están recomendadas.

7 Quelatos sintéticos de Mn, Zn y Cu

Los quelatos comerciales de Mn, Zn y Cu están principalmente basados en EDTA o DTPA. Estos agentes quelantes presentan menor especificidad que los de hierro, por lo que es fácil que haya un desplazamiento de los micronutrientes por Ca u otro micronutriente. Es por eso que en fertirriego, si se añaden como quelatos debe haber agente quelante suficiente para todos los micronutrientes. Igualmente se debe buscar un equilibrio entre ellos y evitar competencias y desequilibrios con otros metales. De todas formas, la planta tiende a responder bien a los tratamientos por los que su aplicación no suele ser problemática.

8 Complejos

Como ya se ha mencionado los complejos son menos estables que los quelatos. En la actualidad y en España se llegan a comercializar cerca de 400 marcas, incluyendo los de Ca. Los más abundantes son los de lignosulfonatos. El número de productos a base de aminoácidos ha disminuido en los últimos años, coincidiendo con la regulación del sector y con la aparición de métodos de análisis adecuados que demuestran su baja estabilidad. De hecho los estudios teóricos de estabilidad ya indican que no son capaces de formar complejos estables con Fe, Mn y Zn.

Este tipo de productos suelen destinarse para aplicaciones foliares. La fertilización foliar es una práctica ventajosa en el sentido que se puede aplicar más correctamente y con menos pérdidas los nutrientes para las plantas. Si bien para muchos macronutrientes la tasa de absorción es muy elevada, para los micronutrientes generalmente es baja y dependiente de diversos factores. El complejo, durante el proceso de absorción foliar debe atravesar diversas barreras como son la cutícula con presencia de cera y cutina y las paredes celulares con pectinas y celulosa. Estas barreras son alternativamente lipofílicas e hidrofílicas por lo que las moléculas deben ser capaces de atravesar ambos medios. Además, debe mantenerse el elemento de forma soluble y que no precipite. La absorción vía estomálica también es posible, pero no exenta de barreras. Una vez que ha atravesado estas barreras debe atravesar la membrana celular, donde normalmente existen transportadores específicos para cada elemento. De esta manera, se nutrirían las células más exteriores con los elementos, pero luego deben ser transportados, sobre todo a las zonas de crecimiento. Así, por ejemplo, se ha observado que con mojantes y penetrantes adecuados el hierro puede entrar en la hoja, pero sin embargo su transporte suele ser nulo. Más eficaz es la aplicación de Mn y Zn como sales o complejados. Su absorción es facilitada, por ejemplo, por los lignosulfonatos.

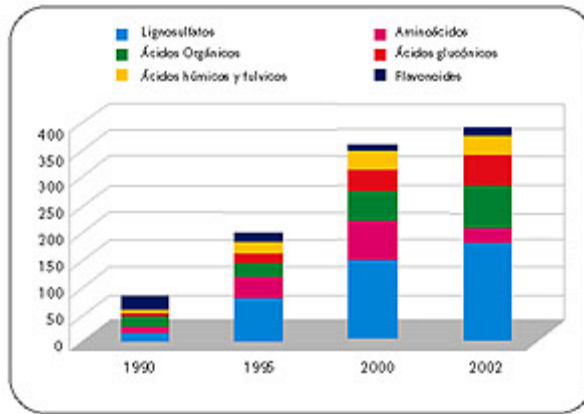


Figura 11. Evolución del número de productos de complejos comercializados en

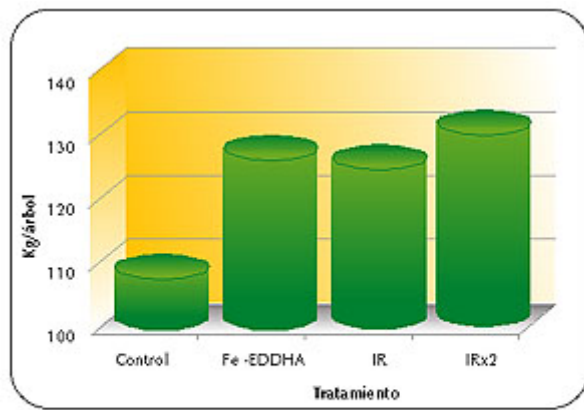


Figura 12. Producción media de naranjos tratados con dos dosis de un extracto de algas (IR) con elevada acción hormonal.

9 Sustancias que afectan a la fisiología de las plantas

El proceso de absorción de nutrientes viene regulado por el propio vegetal, por lo que no es extraño que se pueda mejorar en presencia de ciertos compuestos, principalmente con acción hormonal. Por ejemplo, la absorción radicular de hierro se produce únicamente en las zonas de las raíces en crecimiento, por lo que un incremento del crecimiento radicular por la acción hormonal implicará, en presencia de suficiente fertilizante férrico, un aumento en su tasa de absorción. En la figura 12 se presenta el aumento de producción obtenido en campo en naranjos tratados con un extracto de algas en el que se observó el efecto directo sobre la fisiología de la planta. El problema de la introducción de este tipo de productos es que puede permitir la aparición de fraudes por los denominados productos "milagrosos". Para evitar este se debe tener en cuenta que la fertilización no puede ser eliminada, por lo que ningún producto debe ser utilizado en vez de los fertilizantes. Además en los activadores de la fisiología de las plantas se debería de describir claramente qué componentes son los que actúan y de qué manera.

Fuente: www.chileriego.cl