

Aportación de hierro a través del riego incorporando quelatos férricos sintéticos

Evaluación de patrones con diferente vigor determinando la influencia en la adquisición de nutrientes

Lourdes Hernández-Apaolaza

Departamento de Química Agrícola. Facultad de Ciencias C-VII. Universidad Autónoma de Madrid.

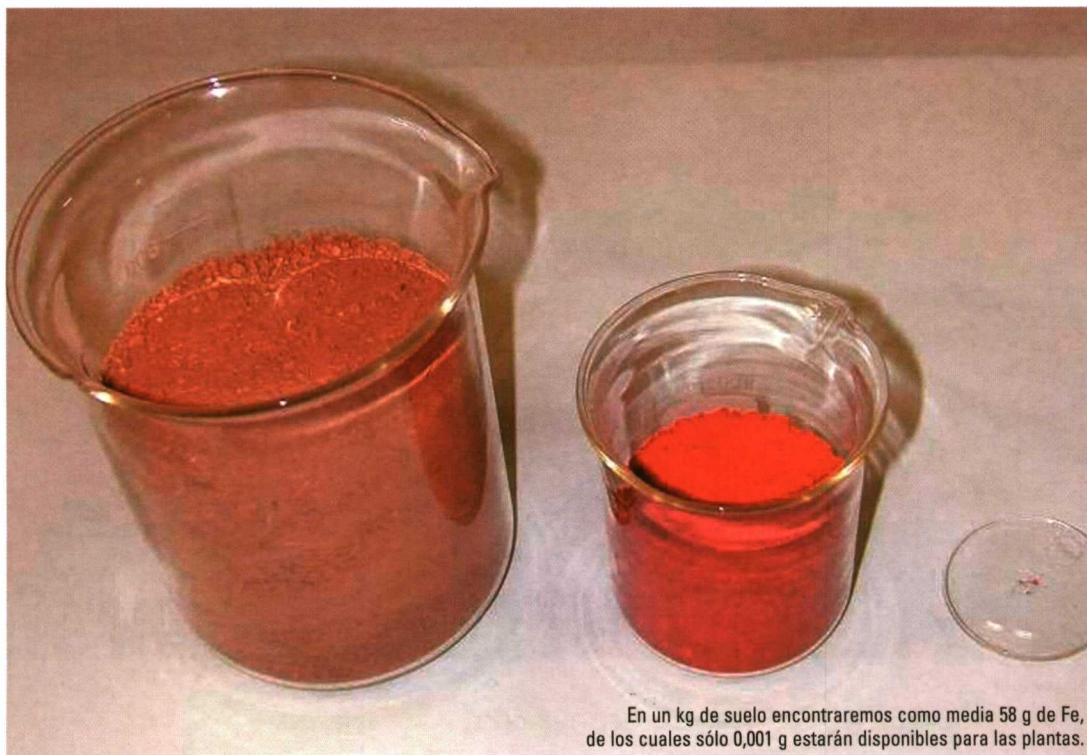
Las deficiencias de micronutrientes en el área mediterránea son comunes en la mayoría de las explotaciones agrícolas. En fertirrigación, más que en cualquier otro sistema de cultivo, se hace necesaria la aplicación de micronutrientes, ya que las raíces de las plantas sólo podrán explorar una pequeña parte del sustrato. Los quelatos de hierro sintéticos han demostrado ser los fertilizantes férricos más eficaces y comunes empleados en este sistema de cultivo, pero hay que tomar precauciones a la hora de elegir la formulación a emplear, puesto que productos con el mismo componente activo declarado pueden presentar características y eficacia diferentes.

Se denominan micronutrientes u oligoelementos aquellos nutrientes que, siendo esenciales, son requeridos por las plantas en cantidades relativamente bajas. Entre ellos se encuentra el hierro, que es el quinto elemento más abundante de la litosfera, siendo su contenido medio en suelos alrededor del 7% (Lindsay, 1979). Podría concluirse de este dato que, en condiciones naturales, la falta de hierro en el medio no es la causa de los estados deficitarios de este elemento en planta; sin em-

bargo, las fases sólidas que aporta dicho elemento son normalmente muy insolubles (Lindsay, 1979; 1994). De ahí que la concentración de hierro en la disolución del suelo, y por tanto disponible para la planta, sea muy pequeña (inferior a 10^{-10} M en suelos neutros y básicos). Además, la solubilidad del ión férrico disminuye a medida que aumenta el pH. Por tanto, suelos de elevado pH y elevado poder tampón, como son los que tienen alto contenido en caliza activa, pueden producir clorosis en las plantas sobre ellos cultivadas. Cualquier cantidad de Fe inorgánico que se adicione al suelo va a precipitar, incrementando la ya abundante cantidad de óxidos de Fe en el mismo y sin ninguna acción fertilizante. Por ejemplo, antes de tres días, la casi totalidad del Fe que se haya adicionado disuelto como Fe(II) habrá precipitado y no estará disponible para la planta. Es por eso por lo que en la actualidad se recomienda únicamente el uso de quelatos solubles o en disolución para la aplicación de micronutrientes metálicos (Lucena, 1995).

La clorosis férrica

Las deficiencias de micronutrientes en el área mediterránea son comunes en la mayoría de las explotaciones agrícolas (Álvarez-Fernández *et al.*, 2006) y su corrección plantea cuantiosos gastos, así como una creciente preocupación ambiental (Nowack y VanBriesen, 2005). Por ejemplo, la clorosis férrica incide en plantaciones de frutales (Tagliavini *et al.*, 2000), cultivos hortíco-



En un kg de suelo encontraremos como media 58 g de Fe, de los cuales sólo 0,001 g estarán disponibles para las plantas.



Plantación de melocotoneros afectada por clorosis férrica.

las y vid en España (Valle del Ebro, Andalucía, Comunidad Valenciana) y otros países. Concretamente, en nuestro país en el año 2004, el gasto en tratamientos correctores con quelatos de Fe fue estimado en 26 millones de euros (García-Marco, 2005).

En fertirrigación, más que en cualquier otro sistema de cultivo, se hace necesaria la aplicación de micronutrientes, ya que las raíces de las plantas, confinadas en el bulbo de goteo, sólo podrán explorar una pequeña parte del sustrato, cuyo contenido en micronutrientes puede resultar insuficiente para el buen desarrollo

del cultivo. Dadas las características diferenciales de este tipo de fertilización, los productos a utilizar han de ser solubles, o mejor, estar ya en disolución. Los productos reconocidos por la legislación (Reglamento (CE) núm. 2003/2003, modificación (CE) 162/2007) se subdividen en inorgánicos y orgánicos. Dentro del primer grupo se encuentran las sales de Fe (II) (riqueza mínima 12% y solubles en agua) y dentro del segundo se engloban los complejos (normativa por desarrollar) y los quelatos férricos (50% Fe soluble en agua debe estar quelado como mínimo por

agentes quelantes autorizados. Además, un agente quelante autorizado puede mencionarse en el etiquetado, si quela, como mínimo, un 1% del hierro soluble en agua).

► Fertilizantes férricos

Sales de hierro

Las sales de hierro han de ser solubles en agua, pero pueden reaccionar con la disolución nutritiva o con el suelo o sustrato y precipitar, por lo que su uso suele estar normalmente poco extendido. Aun peor, la precipitación

puede comenzar en las líneas de riego, sobre todo si existe un elevado contenido de fósforo, por lo que el fertilizante quedaría retenido en los filtros u obturaría los goteros.

Quelatos de hierro

Los quelatos de hierro sintéticos son los fertilizantes férricos más eficaces y comunes tanto en condiciones de campo como en condiciones controladas. Un quelato es un compuesto químico en el que una molécula orgánica rodea y se enlaza por varios puntos a un ión metálico, protegiéndolo de las condiciones externas y evitando así su precipitación. Son, por tanto, moléculas muy estables, y dicha estabilidad dependerá de las características químicas de cada molécula y de las del medio en el que se aplica.

“
En un kilogramo de suelo encontraremos como media 58 g de Fe, de los cuales sólo 0,001 g estarán disponibles para las plantas
”



COSECHADORAS DE OCASIÓN



www.enriquesegura.com

Polígono industrial Sector 4, nº 9
50830 Villanueva de Gállego (Zaragoza). España
Tfno.: 976 18 50 20 • Fax: 976 18 53 74
Móvil: 609 300 299 E-mail: enrique@enriquesegura.com



Figura 1.

CLASIFICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES FÉRRICOS SIMPLES (A) Y DISTRIBUCIÓN DE LAS FORMULACIONES DE QUELATOS FÉRRICOS EN FUNCIÓN DEL AGENTE QUELANTE DECLARADO (B).

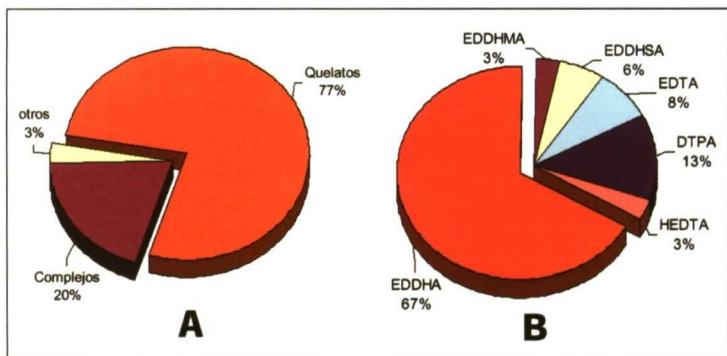
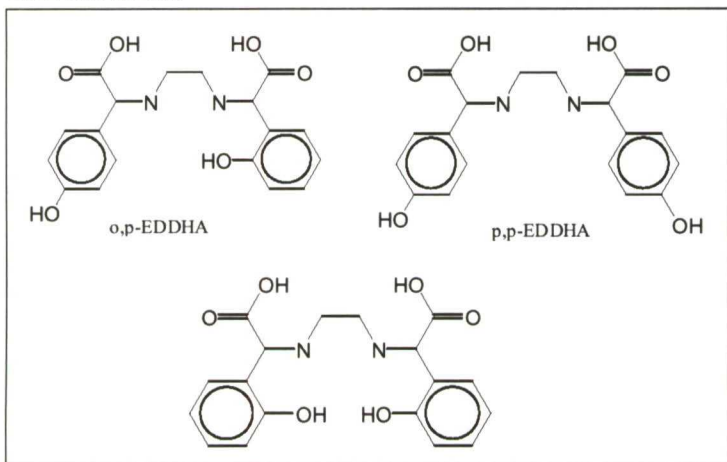


Figura 2.

ESTRUCTURA DE LOS ISÓMEROS POSICIONALES DEL AGENTE QUELANTE EDDHA.



Los quelatos férricos fueron utilizados con éxito en los años cincuenta y sesenta (Carpena *et al.*, 1965). A medida que pasaron los años, fue disminuyendo su calidad y efectividad y fueron apareciendo en el mercado nuevas moléculas. Esto, unido al desarrollo de nuevos sistemas de cultivo, condujo a que en los ochenta y noventa se llevaran a cabo numerosas investigaciones, que inicialmente se centraron en la comparación de moléculas puras (patrones). A principio de la década de los noventa se puso de manifiesto la necesidad de investigar también sobre la eficacia de los productos comerciales, ya que su composición real no coincidía con lo indicado en el etiquetado (Hernández-Apaolaza *et al.*, 1997; 2000).

La constatación de este hecho sirvió para explicar la baja efectividad de muchos de los productos comercializados en aquella época. Es a partir de ese momento cuando se desarrollaron técnicas cromatográficas que permitieron, por primera vez, identificar y cuantificar los principios activos de los quelatos comerciales (Lucena y col., 1996 y otros, Norma CEN prCEN/TS 15452). Además, se realizaron estudios que pusieron de manifiesto la variabilidad entre formulaciones de los quelatos existentes en el mercado español (García-Marco, 2005), su reactividad frente a materiales del suelo y suelos agrícolas y su efecto sobre la nutrición de las plantas. Igualmente, se propusieron nuevas rutas de síntesis

o mejoras de las ya existentes para producir quelatos con mayor riqueza en el componente activo y con menos impurezas.

La legislación vigente, Reglamento (CE) 2003/2003 y sus modificaciones (CE) 2076/2004 y 162/2007, reconoce como agentes quelantes que se pueden emplear en agricultura los siguientes compuestos: EDTA, DTPA, HEEDTA, [o,o] EDDHA, [o,p] EDDHA, [o,o] EDDHMA, [o,p] EDDHMA, EDDCHA y EDDHSA.

Estabilidad de los distintos quelatos férricos

La mayor estabilidad de los quelatos férricos FeEDDHA y FeEDDHMA en disoluciones neutras y alcalinas con respecto a los quelatos férricos de FeEDTA y FeDTPA hace que la utilización de los primeros esté muy extendida en España (figura 1).

El agente quelante EDDHA es uno de los más utilizados desde los años cincuenta. Pero cuando se habla de él hay que tener en cuenta que durante su ruta de síntesis se pueden formar varios isómeros (compuestos químicos con igual composición pero diferente reagrupamiento de átomos o distribución espacial). Podemos encontrar isómeros posicionales (para,para EDDHA, orto,para EDDHA y orto,orto-EDDHA) (figura 2) e isómeros geométricos del o,o-EDDHA (di-racémico-o,o EDDHA y meso-o,o EDDHA).

El isómero posicional para, para EDDHA no es capaz de que-

lar Fe, por lo que el Reglamento comunitario sólo acepta los isómeros o,o EDDHA (muy estable) y o,p EDDHA (de rápida acción). EDDHMA, EDDCHA y EDDHSA carecen de isómeros posicionales. En lo que se refiere a los isómeros geométricos del EDDHA, el quelato rac-o,o FeEDDHA es quinientas veces más estable que el meso-o,o FeEDDHA.

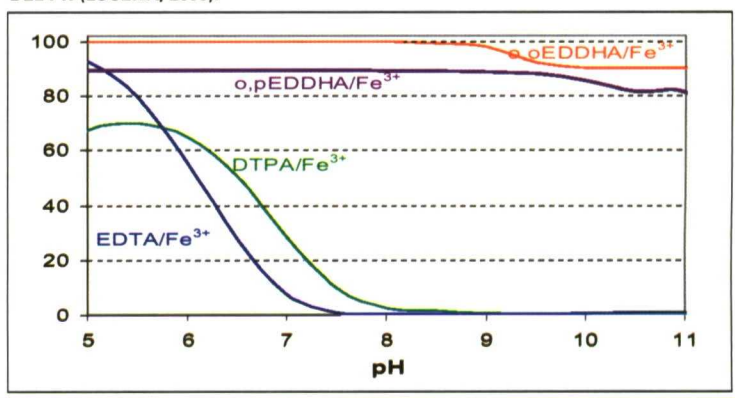
En la formulación de un quelato comercial, además del principio activo, se han de considerar también otros componentes incluidos en la formulación del producto, por ejemplo el catión acompañante (K^+ o Na^+ generalmente) o los materiales inertes adicionados. Éstos normalmente no afectan a la estabilidad del quelato, pero sí a su solubilidad e higroscopicidad. Se recomienda que un quelato que vaya a ser usado en fertirrigación se presente en forma líquida o en microgránulos solubles, sin que se detecten materiales insolubles en la formulación (Lucena, 2005). Las solubilidades en agua típicas para el FeEDDHA (6%) son de 140 g/l y para el FeEDDHMA (6%) de 120 g/l. El FeEDHSA es más soluble, pudiéndose alcanzar valores de 380 g/l.

Influencia del pH

En fertirrigación, la relación Fe-agente quelante-Ca-pH-CO₂ es básica para conocer la eficacia de un quelato. El pH, por sí sólo, no es un factor que incida en la estabilidad de los quelatos en

Figura 3.

DIAGRAMA DE ESTABILIDAD DE LOS QUELATOS FÉRRICOS EN FUNCIÓN DEL PH (LUCENA, 2005).



“
Los quelatos de hierro sintéticos son los fertilizantes férricos más eficaces tanto en condiciones de campo como en condiciones controladas
 ”

sistemas naturales, sino que es este factor unido al de la concentración de ión calcio, como ión competidor del férrico, el que va a influir en el desplazamiento del Fe del quelato (Lucena, 2005). La concentración de CO₂, y en consecuencia de bicarbonato, resultado de su disolución en agua, está involucrada tanto en la inducción de la clorosis, como en la precipitación del Ca y en el control del pH. Por un lado, un incremento de CO₂ precipita calcio en forma de carbonato cálcico, lo que disminuye su competencia con el Fe del quelato; por otro, este aumento de CO₂ produce una disminución en el pH, que en general estabiliza todos los quelatos férricos. En la **figura 3** se recoge el rango de pH a los que son estables los quelatos férricos más empleados, comprobándose que el Fe³⁺-EDDHA (tanto o,o como o,p) son estables en un rango de pH mucho más amplio que el Fe³⁺DTPA y Fe³⁺EDTA.

Conclusiones

Como conclusión, y como consecuencia de todos los aspectos comentados, se puede decir que productos con el mismo componente activo declara-

do pueden presentar características y eficacia diferentes, a pesar de que existen a nivel mundial relativamente pocos productores de este tipo de fertilizantes. Se recomienda, por tanto, la selección cuidadosa de los productos a utilizar exigiendo su boletín de análisis, así como no guiarse únicamente por lo indicado en el etiquetado.

Finalmente, sería deseable destacar la creciente preocupación medioambiental por el uso de quelatos. Si bien las cantidades de quelatos añadidos al medio ambiente con fines agrícolas son bajas respecto a su uso para otros fines industriales, no se debe menospreciar el posible impacto que tiene el uso de moléculas no biodegradables o de las impurezas presentes en los productos comerciales. Dichas impurezas pueden ser de varias procedencias, reactivos no consumidos, productos de foto-oxidación, isómeros no deseables, etc., aunque estos subproductos no parecen presentar una influencia negativa sobre el crecimiento de los cultivos (Hernández-Apolaza *et al.*, 2006). La escasez de datos sobre el comportamiento medioambiental de estos compuestos ha llevado a plantear la identificación y cuantificación de los productos de degradación a través de técnicas como HPLC, RMN, IR, MS, valoraciones potenciométricas y fotométricas (Gómez-Gallego *et al.*, 2005) y a evaluar el efecto que producen en el desarrollo de las plantas. A pesar de todos estos trabajos, la implicación medioambiental del empleo de quelatos férricos es un tema que necesita de una mayor dedicación y concienciación por parte de todos los agentes implicados en la producción y manejo de estos productos. ■

Bibliografía

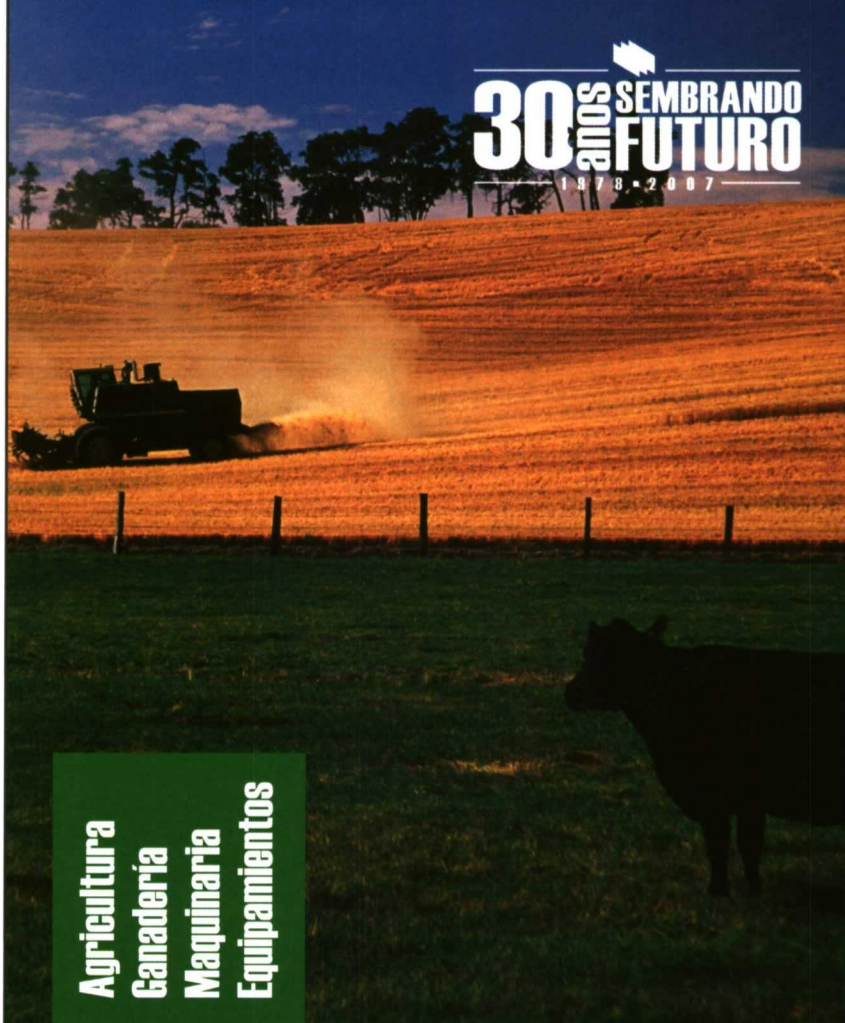
Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores en redaccion@eumedla.es.



FERIA INTERNACIONAL
Semana Verde
 de Galicia



> **13 al 17 de Junio '07**



**Agricultura
 Ganadería
 Maquinaria
 Equipamientos**

sembrando futuro <<<



FEIRA INTERNACIONAL DE GALICIA
 36540 SILLEDA · Pontevedra · Tel 986 577000
semanaverde@feiragalicia.com
www.feiragalicia.com

