

## IMPORTANCIA DEL HIERRO (Fe) EN LA AGRICULTURA

PhD. Germán Esquivel Mata

### INTRODUCCIÓN

Los micronutrientes como el Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Cloro (Cl) y Molibdeno (Mo) son requeridos en pequeñas cantidades y son considerados esenciales en la nutrición de las plantas porque la ausencia parcial o total de alguno de ellos provoca que:

- La planta no pueda completar su ciclo vital.
- No puede ser sustituido por otro elemento.

El hierro es considerado un microelemento esencial para el desarrollo fisiológico de las plantas, debido a que interviene en la formación del pigmento clorofílico y forma parte estructural del primer aceptor de electrones como es la ferredoxina.

Se asimila en forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y en forma orgánica, el contenido de este elemento en los tejidos vegetales varía entre 20 y 250 miligramos por Kg de materia seca. Asimismo, el hierro se encuentra fuertemente involucrado en los procesos respiratorios de la planta y contribuye a la formación de las proteínas.

En la planta el hierro es necesario para la clorofila, fotosíntesis, respiración, etc. La falta de este elemento provoca desequilibrios muy graves en la planta, llegando en algunos casos a la pérdida del cultivo.



## EL HIERRO EN LA PLANTA

Deficiencias de hierro en la planta produce pérdida del color verde de las hojas, denominado clorosis férrica. Muchas veces el problema no es que no haya hierro, el problema real es que no está disponible, el buen abastecimiento del hierro (Fe) dependerá en gran medida de la disponibilidad del hierro para ser absorbido por las raíces más que de la riqueza del suelo en que se halla establecido el cultivo; muchas veces la disponibilidad natural del hierro (Fe) es insuficiente por lo que es necesario complementarlo con aplicaciones vía foliar (mediante aspersiones foliares) o vía radical (diluido en el agua de riego para su inyección vía sistema de riego tecnificado).

Existen diferentes condiciones que provocan una deficiencia de hierro como puede ser la existencia de un pH elevado en el suelo, o que el suelo sea excesivamente calizo o excesivamente rico en fósforo.

Como habíamos mencionado antes la principal función del hierro en la planta es su presencia estructural como parte constituyente de la ferredoxina en el fotosistema I de la fase luminosa de la fotosíntesis, en otras palabras la ferredoxina es la responsable de almacenar la energía luminosa capturada por los cloroplastos (P-700). Su eficiencia es más notoria a medida que la luminosidad es más baja (sobre todo en las mañanas y en las tardes). Lo importante no es salga el sol, lo importante que las plantas absorban la energía luminosa para producir ATP y NAD (energía luminosa transformada en energía química).

Otra de las funciones del hierro es la activación enzimática, donde actúa como grupo prostético: Regulando la actividad del sistema enzimático para la formación de la protoclorofila. Interviene en reacciones de óxido-reducción, tanto en hemoproteínas (citocromos, leghemoglobina, catalasa, peroxidasa, superóxido dismutasa), como en proteínas no-hémicas con enlace Fe-S, en la ferredoxina y enzimas reductasas, nitrogenasas, sulfatos y nitritos reductasas.

Al igual que otros elementos que ya hemos visto, el hierro funciona como componente estructural y como cofactor enzimático. Forma parte estructural de los citocromos, citocromo oxidasa, catalasa, peroxidasa y ferredoxina. Se encuentra tanto en sistemas respiratorios como fotosintetizadores. Aproximadamente, el 75 % del hierro celular está asociado con los cloroplastos, determinando el importante papel que este elemento desempeña en la fotosíntesis. El hierro es esencial para la síntesis de clorofila.

Cuando se suministra a las plantas hierro en diferentes concentraciones se observa una correlación directa entre el contenido de hierro y contenido de clorofila.

La Fitoferritina, en los cloroplastos,  $[(\text{FeO}\cdot\text{OH})_8 (\text{FeO}\cdot\text{OPO}_3\text{H}_2)]$  es una proteína de reserva que se encuentra en las hojas y los frutos, se ha demostrado científicamente que entre el 12-23% de Fe se encuentra en materia seca. Este porcentaje puede alcanzar el 50% del Fe en hojas verde oscuro y en frutos grandes. En el caso particular de los frutos de palto, que siguen creciendo cuando se cosechan las primeras paltas, esto se mejora con aplicaciones de hierro.

### **Disponibilidad de Hierro en el suelo**

El hierro en el suelo puede encontrarse en forma ferrosa (de fácil asimilación por la planta) o en forma férrica (poco soluble).

Los factores que más inciden en la disponibilidad del Hierro en el suelo son:

- El elevado pH del suelo
- La presencia de bicarbonato, mantenida por la caliza activa del suelo.

Ambas condiciones ocasionan la baja movilidad y la solubilización de los oxihidróxidos de hierro de los suelos, por lo general muy insolubles.

La mayor absorción de hierro se produce en plantas jóvenes.

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 forma química que las plantas pueden tomar.

Por tanto la clorosis férrica, 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.

La deficiencia del hierro es un factor limitante en el crecimiento de las plantas. El hierro está presente en grandes cantidades en los suelos, pero su disponibilidad para las plantas es generalmente muy baja, y por lo tanto, la deficiencia de hierro es un problema común.

Las plantas pueden absorber el hierro en sus estados de oxidación  $\text{Fe}^{2+}$  (hierro ferroso) y  $\text{Fe}^{3+}$  (hierro férrico), pero aunque la mayoría del hierro en la corteza terrestre está en forma férrica, sin embargo, la forma ferrosa es fisiológicamente la más importante para las plantas. Esta forma es relativamente soluble, pero se oxida fácilmente al  $\text{Fe}^{3+}$ , que tiende a precipitarse.

El  $\text{Fe}^{3+}$  es insoluble en un pH neutro y en un pH alto, y por lo tanto no es disponible para las plantas en los suelos alcalinos y en los suelos calcáreos. Además, en estos tipos del suelo, el hierro se combina fácilmente con los fosfatos, los carbonatos, el calcio, el magnesio y con los iones de hidróxido.

## La absorción del hierro por las plantas

Muchas veces la clorosis férrica está ligada a la alta concentración de hierro en el suelo pero con baja disponibilidad para la planta, sobre todo de aquellos cultivos que están sembrados en suelos calizos. La problemática es debido a baja solubilidad en suelos con pH alcalino.

En caso de baja disponibilidad de Fe hay plantas capaces de desarrollar mecanismos de absorción más activos pero insuficiente cuando el cultivo está sometido a una conducción de alta productividad.

Las plantas usan diversos mecanismos para absorber el hierro. Uno de ellos es el mecanismo de quelación. La planta excreta compuestos llamadas sideróforos, que forman un complejo con el hierro y aumentan su solubilidad. Este mecanismo también implica la participación de las bacterias.

Otro mecanismo implica la extrusión de protones ( $H^+$ ) y de compuestos reductores por las raíces de la planta, para reducir el pH en la zona de raíces. El resultado es un aumento en la solubilidad del hierro.

En este sentido, la elección de la forma de los fertilizantes nitrogenados es importante. El nitrógeno amoniacal ( $NH_4^{4+}$ ) aumenta la extrusión de los protones por las raíces, el pH baja, y el hierro se absorbe mejor por la planta.

El nitrógeno nítrico ( $NO_3^-$ ) aumenta la extrusión de iones de hidróxido, que aumentan el pH en la zona de raíces y contrarrestan la absorción eficiente de hierro.

Las raíces laterales jóvenes son más activas en la absorción de hierro y, por lo tanto, es imperativo mantener un sistema de raíces sano y activo. Cualquier factor que interfiera con el desarrollo de las raíces, interfiere con la absorción del hierro, se puede lograr esta condición haciendo aplicaciones de **ROOTING** vía sistema de riego tecnificado).

## Movilidad en la planta

Un dato a tener en cuenta, en relación con el metabolismo del Fe es su baja movilidad en los tejidos vegetales. Esta movilidad, según Wallace, está influida negativamente por varios factores, como el elevado contenido en P, deficiencia de K, cantidad elevada de Mn y baja intensidad lumínica. La presencia de bicarbonato en el medio radicular reduce la movilidad de Fe en los tejidos vegetales. Esta es la razón de que, en ocasiones, la deficiencia de Fe no es tal, sino que es un problema de movilidad del mismo. El hierro se acumula en las

hojas más antiguas y es relativamente inmóvil en el floema, probablemente debido a la formación de óxidos o fosfatos férricos.

### **Síntomas de deficiencia**

- Clorosis intervenal en las hojas jóvenes (elemento poco móvil), y en casos muy graves, defoliación total.
- Desintegración de cloroplastos.
- Tallos cortos, delgados y curvados.
- Los árboles se defolian y comienzan a secarse por la periferia.
- Los frutos son pequeños, maduran precozmente.

En los cultivos anuales de alta productividad como los paltos, cítricos, vid, etc. se observa una disminución en su crecimiento, aspecto raquítrico y descenso de la producción.

### **Síntomas por exceso**

Salvo raras excepciones, los casos de toxicidad por Fe no suelen producirse, debido a la rapidez de conversión del hierro soluble en compuestos insolubles no disponibles para la planta.

### **Manejo de la deficiencia de hierro**

Cuando se identifica la deficiencia de hierro, se puede tratarla, en el corto plazo, mediante la aplicación de una pulverización foliar de fertilizantes de hierro, pero el mejor curso de acción sería la prevención.

Por lo tanto, el agricultor debe identificar la causa verdadera de la deficiencia de hierro y tratarla, para prevenir el problema futuro. A menudo, la deficiencia de hierro no indica la falta de suministro de hierro, sino que también puede ser relacionada a varias condiciones que podrían afectar la disponibilidad del hierro.

### **Los quelatos de Hierro**

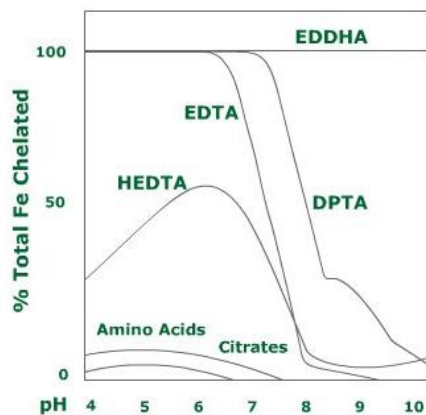
En ocasiones, las plantas presentan enfermedades provocadas por una carencia nutricional de hierro. Esta carencia no se debe, en muchos casos, a un problema de falta de hierro en el suelo, sino a una mala asimilación del hierro del suelo por parte de la planta. Por ello es recomendable la adición de determinadas formas de hierro asimilable, como por ejemplo el empleo de ciertos quelatos.

Para que un quelato sea efectivo debe reunir una serie de condiciones:

1. incrementar la solubilidad del hierro.

2. transportarlo de forma efectiva hasta la raíz de la planta.
3. ser capaz de ceder con facilidad el átomo de hierro.
4. la parte orgánica del quelato debe volver a solubilizar más hierro.

La eficacia de un quelato dependerá, por tanto de la capacidad que éste tenga en realizar estos cuatro procesos 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, HEDTA y DTPA, recogidos en la directiva Europea de fertilizantes más adecuadamente Zn y Mn, por lo que no son efectivos para el hierro.

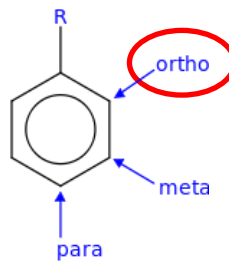


Dentro de las diferentes formas en las que el hierro se encuentra unido a una molécula orgánica, se ha demostrado que el mayor rendimiento agronómico se tiene con la molécula de EDDHA.

La molécula de EDDHA presenta diferentes isómeros o disposiciones espaciales de una misma molécula (orto-orto, orto-para y para-para), pero no todas ellas tienen similar estabilidad cuando se encuentran unidas al hierro, por lo que no todas tienen la misma efectividad agronómica.

El o,o-EDDHA y los compuestos homólogos poseen dos formas isoméricas (isomería óptica) que a la hora de quelar Fe presentarían dos disposiciones espaciales diferentes (isomería geométrica), y corresponden con los isómeros meso y el racémico. La estructura química de los isómeros geométricos del complejo férrico formado con el EDDHA. Se puede observar como el Fe (III) se coordina octaédricamente con el EDDHA, obteniéndose un compuesto con estructura de anillo que protege al Fe de su precipitación y del ataque de oxidantes.

La única que es estable es la orto-orto, que tiene un alto poder para mantener soluble el hierro.



Es aquí donde el quelato EDDHA actúa de modo diferente a otros quelatos en las formulaciones de hierro. Así, por ejemplo un potasio añadido al suelo será aprovechado o no, pero un quelato no sólo aportará el hierro que con el se aplica al cultivo, sino que puede aumentar el aprovechamiento del hierro nativo del suelo.

En resumen la clorosis férrica no es un problema de falta de hierro sino de su baja movilidad en el suelo. Su solución pasa por aumentar esta movilidad y el mejor método es el uso de quelatos. De los disponibles en el mercado, sólo aquellos que tienen alta afinidad por el hierro y que serían capaces de movilizar el hierro nativo del suelo transportándolo hasta la rizosfera serían eficaces. Estos productos son los Fe-ooEDDHA y sus homólogos EDDHMA, EDDCHA y EDDHSA.

Es muy importante considerar la riqueza de los quelatos, únicamente en sus isómeros activos. 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.

# FITOFOL Fe

**Quelato de Hierro - Corretor de Clorosis Férrica**



### Composición Química de FITOFOL Fe:

- Quelato de hierro 60 g/kilo
- Quelatante: EDDHA (Etilendiamino di(O-Hidroxifenil acético))
- Porcentaje de posición quimeral orto-orto: 42 g/kilo

### Propiedades físico-químicas de FITOFOL Fe:

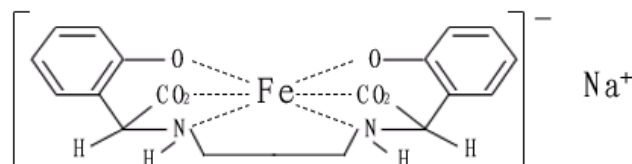
#### Nombre químico:

Ethylenediamine-N,N'-bis(2-hydroxy-phenylacetic acid) ferric- sodium complex; EDDHA-Fe Na

**Formula Química:** C<sub>18</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>6</sub>FeNa

**Peso Molecular:** 435.2

#### Estructura:



FITOFOL Fe como fuente corrector de hierro altamente disponible para la planta por dos razones

1. Su quelatación con EDDHA le confiere estabilidad
2. Su posición quimeral orto-orto (lineal) facilita la penetración hacia en interior de la planta por tener la molécula un menor diámetro

La deficiencia de hierro en las plantas se denomina clorosis férrica, se puede identificar de forma visual por un amarillamiento intervenal de las hojas jóvenes.

La clorosis férrica es consecuencia del efecto de distintos factores como la absorción y distribución de hierro en las plantas.



### Usos y Dosis:

Cultivo	Dosis en aplicaciones foliares		Dosis kg/ha vía sistema de riego tecnificado (campaña)
	Kg/200 L agua	Kg/ha	
Cítricos, Vid, Palto, Melocotón, Mango	0.5	1	10-25
Alcachofa	0.5	1	-
Ají, Páprika, Tomate, Piquillo	0.5	1	10 – 15
Espárrago	0.5	1	10 - 20
Cebolla, Ajo	0.5	1	-
Zapallo, Melón, Sandía	0.5	1	5 - 6
Arroz	0.5	1	-
Papa	0.5	1	-
Ornamentales	0.5	1	-

### Momentos de Aplicación:

Cultivo	Momento de aplicación:
Cítricos, Vid, Palto, Melocotón, Mango	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Después de la cosecha (descanso)</li> <li>• Inicio del desarrollo del fruto</li> <li>• 3. Inicio de la maduración del fruto</li> </ul>
Alcachofa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 días después del trasplante</li> <li>• Inicio de la floración</li> <li>• Si se observan síntomas de deficiencia</li> </ul>
Ají, Páprika, Tomate, Piquillo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando las plantas tengan 5 hojas</li> <li>• Crecimiento y desarrollo del fruto</li> </ul>
Espárrago	<p><b>ALMACIGO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando las plantas tienen 30 días de germinación</li> </ul> <p><b>CAMPO DEFINITIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicio del primer brotamiento</li> <li>• Inicio del segundo brotamiento</li> <li>• 25 días antes del último riego para el chapodo</li> </ul>

<b>Cultivo</b>	<b>Momento de aplicación:</b>
Cebolla, Ajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicio de formación de bulbos</li> <li>• Crecimiento y desarrollo del bulbo</li> </ul>
Zapallo, Melón, Sandía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicio de la floración</li> <li>• Crecimiento y desarrollo del fruto</li> </ul>
Arroz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 – 20 días después del trasplante</li> <li>• En pleno llenado de grano</li> </ul>
Papa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase inicial (15 días después de la emergencia)</li> <li>• En el llenado y desarrollo de los tubérculos</li> </ul>
Ornamentales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 días antes de la floración</li> <li>• 2. En botón floral</li> </ul>

#### **Recomendaciones del uso de FITOFOL Fe en el cultivo de palto:**

En los campos de palto instalados a lo largo de la costa del Perú es muy frecuente observar los síntomas típicos de deficiencia de hierro (Fe) como el amarillamiento de las hojas con nervaduras de color verde, principalmente en las hojas más jóvenes de las plantas de palta. Esta deficiencias en las plantas son muy comunes cuando se siembra en suelos con pH básico (o alcalinos pH > 7.0) y alto contenido de carbonatos. La falta de aireación, la compactación del suelo y el exceso de riego provocan los mismos síntomas en las plantas de paltas, que la deficiencia de hierro.

#### **Métodos de aplicación:**

Puede aplicarse vía:

- Drench
- Bajo sistema de riego por gravedad
- Fertirriego

#### **Dosis:**

- FITOFOL Fe: 100 – 150 g/árbol
- FITOFOL Fe: 150 – 300 g/árbol en forma de desmanche en zonas o plantas con deficiencias muy severas

Las cantidades de FITOFOL Fe recomendado por árbol pueden ser diluido en los siguientes volúmenes de agua dependiendo de la edad de la plantas.

**Volumen de agua:**

Edad del árbol (en años)	Volumen de agua (litros)
1 – 2	1 - 2
3 – 4	3 – 4
> 5	5

La aplicación puede dividirse en dos partes con un intervalo de 15 días.  
Deberá aplicarse en toda el área radicular activa

**Aplicación vía fertirriego:**

Aplicar FITOFOL Fe en forma constante de 1 – 3 ppm.

La mayor dosis debe hacerse en la época de brotamiento.

Sin embargo a pesar de la aplicación constante se pueden encontrar plantas con mayor requerimiento de hierro (Fe) que muestran mayor clorosis hierro, las cuales son necesarias tratar en forma localizada con una dosis de 50 a 100 gramos de FITOFOL Fe por planta.

**PROGRAMA ANUAL DE APLICACIÓN DE FITOFOL FE EN EL CULTIVO DE PALTA  
EN PRODUCCIÓN**

En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
3.5 ppm			2 ppm			1 ppm			2 ppm		

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307p.
- Fassbender, H.; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de américa latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José. Costa Rica.
- Ferreyra R, Selles G, Ruiz R, Gil P y Barrera C. 2008. Manejo de la clorosis férrica en palto. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 181: 60 p
- Gardiazabal F. 2004. Riego y nutrición el palto. 2° Seminario internacional de paltos. 29 Septiembre - 1 Octubre, 2004. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile.
- Lahav E, Whiley AW. 2002. Irrigation and mineral nutrition. In: Botany, production and uses. Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme B N. (eds.). 2002. Avocado: CAB International Press. London. 416 p.
- Lucena, J. Dpto. Química Agrícola Universidad Autónoma de Madrid
- Marschner P. 2012. Marschner`s mineral nutrition of higher plants. Marschner P. (ed.). Third edition. Academic Press. London, UK. Waltham and San Diego, USA. 645 p. ISBN = 978-0-12-384905-2.
- Mengel, K. y Kirkby, E. 2000. Principios de Nutrición vegetal; Editor: International Potash Institute, 692 p.
- Villagarcía, S.; Ramírez, F.; Aguirre, G.; Malagamba, P.; Medina, C.; Tomassini, L. 1990. Resultados de ensayos de campo sobre fertilización y nutrición mineral en el cultivo de papa. Universidad Nacional Agraria La Molina –Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú.
- Razeto B. 2010. La nutrición mineral de los frutales. Deficiencias y toxicidades. SQM.
- Salazar-García S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. Ed. Instituto de la Potasa y el Fósforo A.C. (INPOFOS). Querétaro, Qro., México.