

MONOGRAFÍA

FERRILENE

Trata y previene la clorosis férrica





pág. 4	PERFIL DE LA EMPRESA
pág. 6	1 HIERRO
	1.1 El hierro en la naturaleza
	1.2 El hierro en el suelo
	1.3 La química del hierro
	1.4 Aspectos generales de la deficiencia de hierro
	1.5 Principales factores que afectan a la disponibilidad del hierro
	1.5.1 Solubilidad del hierro en el suelo
	1.5.2 La presencia de bicarbonatos [pH]
	1.5.3 Interacción del hierro y otros elementos
pág. 12	2 EL HIERRO EN LAS PLANTAS
	2.1 Absorción
	2.2 Estrategias de absorción
	2.2.1 Estrategia I
	2.2.2 Estrategia II
	2.3 Transporte del hierro en las plantas
	2.4 Funciones biológicas del hierro en las plantas
pág. 19	3 LA CLOROSIS FÉRRICA
	3.1 La clorosis férrica
	3.2 Síntomas visibles
	3.4 Corrección de la clorosis férrica
pág. 22	4 LOS QUELATOS
	4.1 Las moléculas quelatantes
	4.2 La estabilidad de los quelatos de hierro
	4.3 La calidad de los quelatos
	4.4 Los quelatos de hierro y su uso en la agricultura
	4.5 Los agentes quelatantes de la línea Ferrilene
pág. 26	5 LÍNEA FERRILENE
	5.1 Historia de los agentes quelatantes
	5.2 FERRILENE 4.8 y FERRILENE
	5.3 FERRILENE TRIUM
pág. 30	6 ENFOQUE FENÓMICO
pág. 37	7 ENSAYOS AGRONÓMICOS
pág. 48	8 BIBLIOGRAFÍA

Perfil de empresa

MISIÓN

Crear un futuro sostenible para las personas y la naturaleza.

VISIÓN

En Valagro vivimos según la mentalidad de tercera vía que persigue la excelencia y aplica la ciencia a la agricultura para producir más alimentos y más sanos, con la sostenibilidad en el corazón.

VALORES

Integridad - actuamos con honestidad, respetando a las personas y a la naturaleza

Pasión - somos responsables del futuro sostenible que estamos construyendo

Confianza - al crear relaciones basadas en hacer lo que decimos

Conexiones - vemos el panorama general y reconocemos la contribución individual

Mentalidad innovadora - creamos posibilidades con valor, curiosidad y determinación.

CULTURA DE EMPRESA

Nos centramos en desafiar lo que ya se ha hecho.

Combinamos la experiencia y la visión empresarial con grandes resultados, persiguiendo constantemente la excelencia.

Trabajamos para que lo imposible se haga realidad.

Para aquellos que son curiosos y nunca dejan de aprender, quienes tienen el valor de aportar cambios y están abiertos a nuevas ideas.

Para aquellos que transmiten sus valores a otros, respetando siempre la diversidad y potenciando la inclusión.

Utilizar la ciencia para aprovechar el potencial de la naturaleza con la vista puesta en la sostenibilidad medioambiental: este es el principio en el que se basa GeaPower. Es la **exclusiva** plataforma **tecnológica** desarrollada por Valagro para convertir potenciales ingredientes activos en soluciones nutricionales de alta calidad.

Gracias a GeaPower, podemos ofrecer soluciones basadas en la innovación sostenible que, utilizando la **tecnología más avanzada**, toman prestados valiosos ingredientes activos de la naturaleza y los devuelven a la naturaleza para obtener **cosechas más saludables, más ricas y mejores**.

GeaPower reduce
el coste de llevar
una solución al
mercado a la vez
que garantiza una
eficacia constante.



PROFUNDO CONOCIMIENTO DE LOS INGREDIENTES ACTIVOS Y LAS MATERIAS PRIMAS

Permite a Valagro identificar, caracterizar y preservar los ingredientes activos específicos que pueden lograr las respuestas fisiológicas objetivo en las plantas.



PROCESOS DE EXTRACCIÓN PROPIOS

Procesos de extracción adaptados para ayudar a mantener la proporción correcta de cada ingrediente en las complejas mezclas naturales.



TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE CRIBADO E INVESTIGACIÓN

- La genómica, la fenómica y otras ciencias "ómicas" permiten a Valagro descifrar los desencadenantes genéticos y moleculares de respuestas fisiológicas específicas en los sistemas vegetales
- Cribado de cientos de muestras por experimento



CAPACIDAD PROBADA DE APORTAR SOLUCIONES COMERCIALMENTE VIABLES

- Amplia experiencia en ensayos de campo
- Estrecha relación entre la actividad comercial y la labor de investigación
- Permite a Valagro analizar de forma rápida los productos candidatos con la mayor probabilidad de obtener viabilidad comercial





1

El hierro

Alberto Stivaletta y Alessandro De Marco - Global Research

1.1 El hierro en la naturaleza

Dependiendo del estado redox, el hierro se encuentra en la naturaleza en forma de Fe³⁺ [férrico] o Fe²⁺ [ferroso]. Después del Si, el O y el Al, el hierro es el elemento más abundante en el núcleo de la Tierra, con un 5,1% aproximadamente, mientras que en el suelo se estima un nivel medio del 3,8% (Lindsay 1979). El hierro suele encontrarse en el suelo en cantidades suficientes para formar diversos compuestos, normalmente en forma de óxidos e hidróxidos. El color del suelo se basa principalmente en la presencia de óxidos libres. Los colores amarillo-marrón en zonas frías/templadas se deben a la presencia de hidróxidos como la goethita. Los colores rojos en las regiones áridas se deben a los óxidos no hidratados, como la hematita.

1.2 El hierro en el suelo

La mayor parte del hierro se encuentra en las estructuras cristalinas de numerosos minerales y en la capa freática. A partir de la erosión de los minerales primarios, se libera hierro soluble que puede

ser utilizado por los organismos, unirse a diferentes enlaces orgánicos o incluso transformarse en minerales secundarios como sulfuros, carbonatos y minerales arcillosos. Los óxidos e hidróxidos de diversas composiciones y grados de cristalización controlan principalmente la solubilidad de este elemento en el suelo (Murad y Fischer, 1988; Lindsay 1979). La goethita es el óxido de hierro más frecuente en el suelo porque es el más estable en las condiciones ambientales que se dan en los suelos. La goethita se encuentra en muchos tipos de suelos y regiones climáticas y es responsable del color ocre de muchos suelos. La goethita se encuentra a menudo asociada a la segunda forma más común, la hematita, aunque la primera no parece estar restringida a una región climática específica, mientras que la hematita se encuentra en zonas tropicales donde las condiciones de temperatura y el pH favorecen su formación.

Es de color rojo y tiene una gran fuerza de pigmentación (Schwertman y Taylor, 1989). Debido

a la bajísima solubilidad de los óxidos de Fe³⁺ en el rango de pH normal del suelo, el hierro liberado se precipita rápidamente como óxido o hidróxido. Sólo una pequeña parte del hierro oxidado se incorpora a los silicatos laminares secundarios (arcillas) y/o es complejado por la materia orgánica (Schwertman y Taylor, 1989). En condiciones de anaerobiosis, los microorganismos pueden utilizar los óxidos de Fe³⁺ como aceptores finales de electrones para lograr la descomposición oxidativa de la materia orgánica. Este proceso provoca la reducción del Fe³⁺ a Fe²⁺, que generalmente es más soluble.

LEYENDA

- 1 Erosión
- 2 Absorción
- 3 Descomposición después de la muerte
- 4 Complejización
- 5 Hidrólisis
- 6 Reducción
- 7 Oxidación
- 8 Reducción por organismos

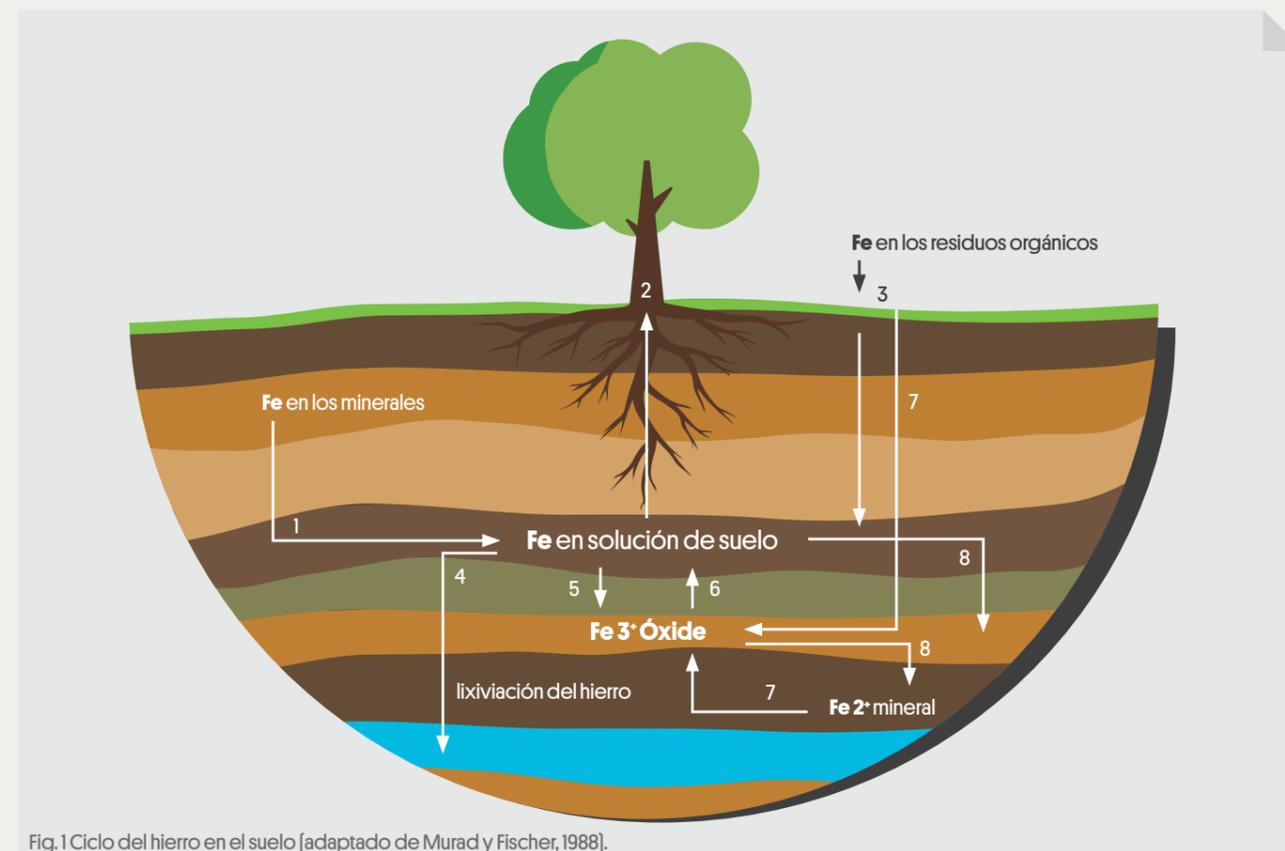


Fig. 1 Ciclo del hierro en el suelo (adaptado de Murad y Fischer, 1988).

1.3 La química del hierro

Los compuestos de hierro pueden existir como formas ferrosas [Hierro (II)], o férricas [Hierro (III)].

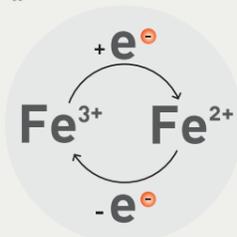


Fig. 2 Reacción de oxidación-reducción del hierro.

El hierro es un elemento de transición caracterizado por la relativa facilidad con la que puede cambiar su estado de oxidación y por su capacidad para formar compuestos octaédricos con diversos enlaces, con una gran variación del potencial redox en función del enlace. Esta variabilidad le confiere una especial importancia en los sistemas redox biológicos y en el suelo [Schwertman y Taylor, 1989; Schwertman, 1991].

1.4 Aspectos generales de la deficiencia de hierro

El hierro [Fe] es un micronutriente esencial para las plantas, los seres humanos y otros animales. A principios del siglo XVII, este elemento fue utilizado como medicina por algunas comunidades, como los egipcios, los hindúes, los griegos y los romanos [Guggenheim, K.Y.]. La Organización Mundial de la Salud [OMS] afirma que la falta de micronutrientes suficientes,

como el Fe y el Zn, representa una gran amenaza para la salud y el desarrollo de la población mundial.

Las deficiencias de vitaminas y minerales siguen siendo un grave problema de salud en todo el mundo, que afecta a más de dos mil millones de personas, es decir, a uno de cada tres individuos [FAO; FIDA; PMA.] y, sobre todo en los países en desarrollo, la búsqueda de soluciones que puedan reducir los efectos nocivos de estos trastornos nutricionales es de suma importancia [Black, R.E.; Allen]. Este enfoque tiene como objetivo colocar el rasgo de densidad de micronutrientes, como el hierro, en los cultivos básicos y en los productos alimenticios, utilizando diferentes procedimientos como las prácticas agronómicas para obtener un producto alimenticio final con un mayor contenido de hierro, considerándolo como una estrategia importante para reducir la deficiencia de Fe en las personas [Cakmak 2002].

1.5 Principales factores que afectan a la disponibilidad del hierro

La deficiencia de hierro se encuentra normalmente en los cultivos que crecen en suelos calcáreos o alcalinos, en las regiones áridas y semiáridas del mundo; estos suelos cubren más del 30% de la superficie terrestre [Figural] [Álvarez-Fernández, et al., 2006]. Las causas de la carencia de hierro no deben estar ligadas únicamente a la falta de disponibilidad de este, sino que pueden depender de numerosas situaciones y tener una

naturaleza distinta. A continuación, se exponen los factores más relevantes que afectan a la disponibilidad del hierro.

1.5.1 La solubilidad del hierro en el suelo

Los estudios realizados por Lindsay [1979, 1991] sobre las distintas solubilidades de los diferentes óxidos e hidróxidos de hierro en el suelo [Fig. 3] ponen de manifiesto que:

1. El óxido de hierro amorfo sería el más soluble mientras que la goethita sería el menos soluble.
2. La solubilidad de los óxidos e hidróxidos de Fe³⁺ presentes en el medio está estrechamente relacionada con el pH del suelo; así, la solubilidad disminuye 1000 veces por cada unidad de pH que se incrementa, reduciendo la concentración de hierro soluble a valores inferiores a 10 E-10 M en ambientes con un valor de pH de 7,5.
3. La región con menor solubilidad del hierro corresponde a un intervalo de pH entre 7,5 y 8,5 [Fig. 4], que coincide con los suelos calcáreos. La concentración de hierro para este intervalo de pH es aproximadamente inferior a 10 E-10 M, una cantidad insuficiente para el

crecimiento óptimo de las plantas, que requieren un rango de hierro soluble de 10 E-4 y 10 E-9 en el medio ambiente [Guerinot y Yi, 1994]. Los estudios realizados por Römheld y Marschner [1986] demostraron que, en los suelos bien aireados, la cantidad de hierro disuelto a valores de pH superiores a 4 es inferior a la cantidad requerida por la mayoría de la vegetación, lo que da lugar a las deficiencias de hierro en las plantas cultivadas en estos suelos.

Dado que el hierro puede estar presente en dos condiciones, el potencial redox del suelo es otro factor que influye en el contenido de este nutriente. En los suelos bien aireados -condición que normalmente cumplen las tierras de cultivo- el Fe³⁺ no se ve alterado por el potencial redox. El Fe²⁺ puede estar presente en diferentes formas según el pH del suelo: a pH inferiores a 6,7 la especie predominante es el Fe²⁺, mientras que a valores de pH superiores las especies principales son el FeOH⁺ [Fig. 5].

En condiciones aeróbicas estas especies son inestables; sin embargo, si hay condiciones reductoras, estas dos especies son las más abundantes y son las que controlan la cantidad de hierro disponible para las plantas [Lindsay, 1991]. En suelos que han sido reducidos recientemente, la solubilidad del hierro estará aparentemente controlada por la siderita [FeCO₃]. Los incrementos en la concentración de CO₂ en el suelo resultarán en una disminución de la solubilidad del hierro para las plantas [Lindsay y Schwab, 1982].

En consecuencia, la regla general para la solubilidad del hierro es que en condiciones aeróbicas y con un pH neutro o alcalino el hierro precipitará en formas insolubles, mientras que con un pH ácido y condiciones reductoras la concentración de hierro soluble será mayor.

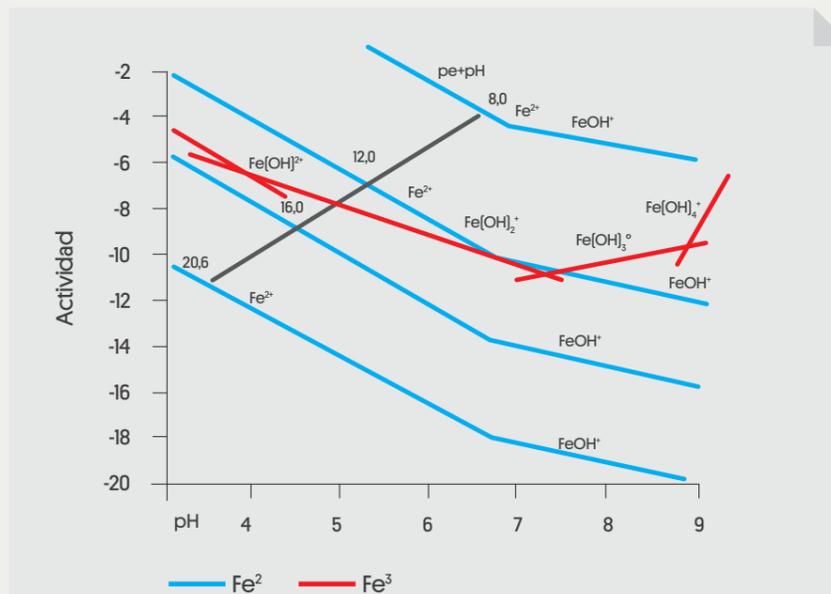


Fig. 5 Efecto con respecto al potencial redox para las formas Fe²⁺ y Fe(OH)⁺ en comparación con las formas hidrolizadas de Fe³⁺ en equilibrio con el sistema Fe-suelo [Lindsay y Schwab, 1982].

1.5.2 Presencia de bicarbonatos (pH)

El ion hidrógeno-carbonato en el suelo calcáreo, desplaza el pH en el rango a 7,5-8,5, y en condiciones extremas hasta 9. A este pH, la concentración de hierro soluble es baja [Lindsay, 1979, 1991; Lindsay y Schwab, 1982]; por lo tanto, es difícil que los cultivos obtengan la nutrición férrica que necesitan. Además, los principales mecanismos de respuesta de la planta se ven afectados negativamente por la carencia de hierro: los protones liberados por la vegetación

se neutralizan, la alcalinización reduce la secreción de compuestos fenólicos y dificulta la reducción del Fe³⁺ en la membrana plasmática [Römheld y Marschner, 1986]. Todo ello influye en la biodisponibilidad del hierro, provocando grandes alteraciones e inhibiendo la respuesta del cultivo a la carencia de hierro. [Susin et al. 1996]. En la Tabla 1 se recogen las características de algunos suelos alcalinos.

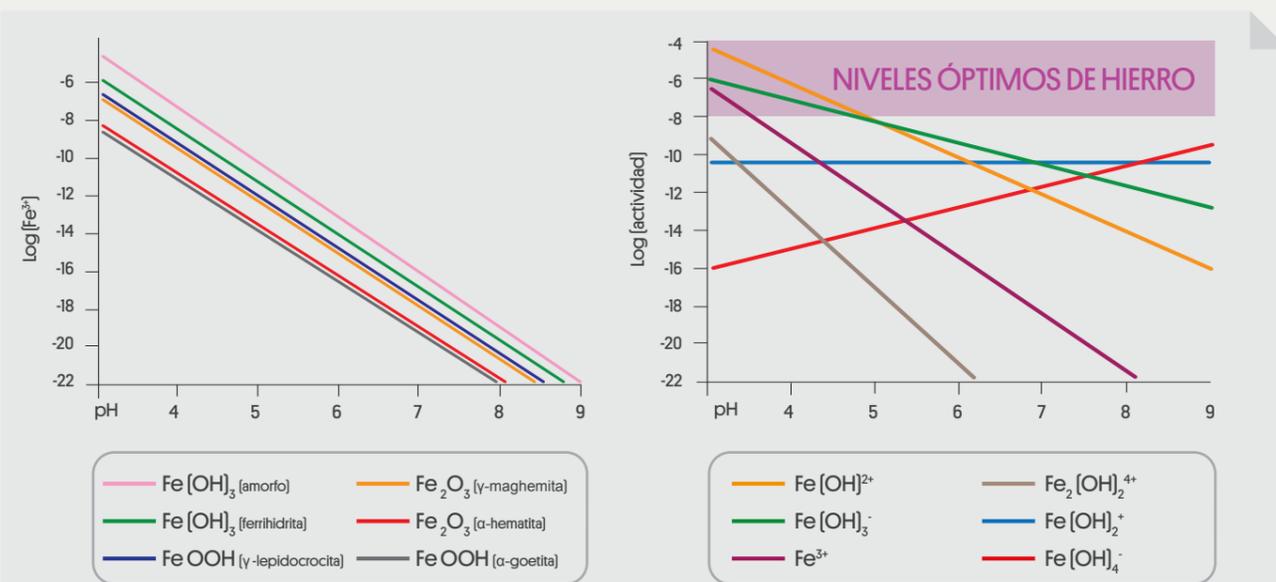


Fig. 3 Actividad del Fe³⁺ en diversos óxidos e hidróxidos férricos presentes en los suelos en función del pH [Lindsay, 1979].

Fig. 4 Especies hidrolizadas de Fe³⁺ en equilibrio con el suelo de Fe [Lindsay, 1979].

SUELO	HORIZONTES, CARACTERÍSTICAS	FERTILIDAD	pH	DISTRIBUCIÓN
Alfisoles	Diferenciado, en especial el horizonte arcilloso	Deficiente, necesita fertilizantes	7,5 / 7,8	Regiones húmedas y templadas de América del Norte y Europa
Aridisoles	Diferenciado, en especial el horizonte arcilloso	Buena con riesgos	7,8 / 8,1	En las regiones desérticas en todo el mundo
Mollisoles	Diferenciado, con un horizonte superficial grueso, oscuro y orgánico	Excelente, en especial para cereales	6,1 / 8,6	Grandes praderas, Pampa argentina, Estepa rusa
Vertisoles	Ninguno, alto contenido de arcilla expansiva	Buena	7,6 / 9,5	Pastos en regiones estacionalmente secas, por ejemplo India, Sudán o Texas

Tab. 1 Principales características de los suelos [alfisoles, aridisoles, mollisoles, vertisoles].

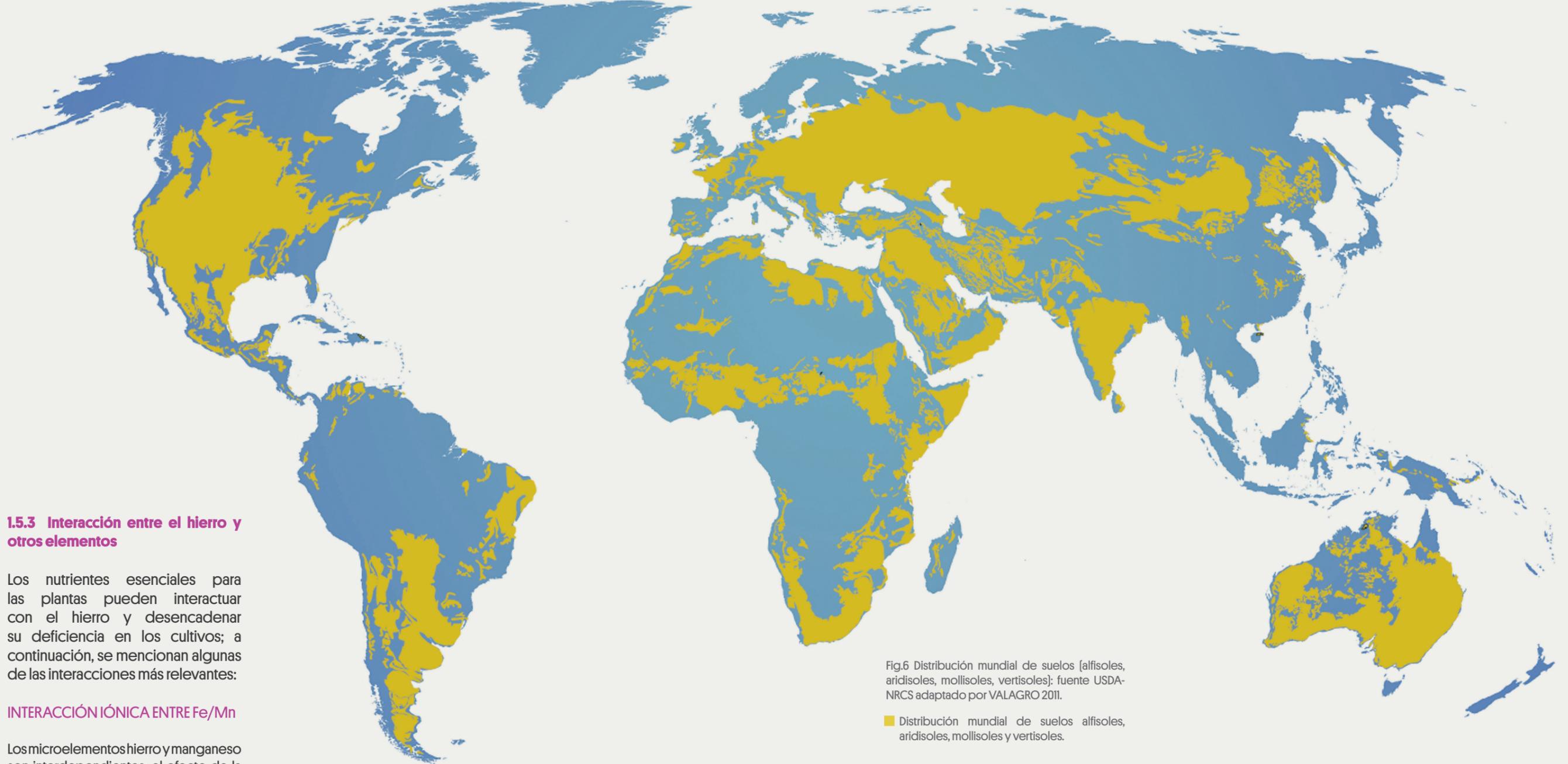


Fig.6 Distribución mundial de suelos (alfisoles, aridisoles, mollisoles, vertisoles): fuente USDA-NRCS adaptado por VALAGRO 2011.

■ Distribución mundial de suelos alfisoles, aridisoles, mollisoles y vertisoles.

1.5.3 Interacción entre el hierro y otros elementos

Los nutrientes esenciales para las plantas pueden interactuar con el hierro y desencadenar su deficiencia en los cultivos; a continuación, se mencionan algunas de las interacciones más relevantes:

INTERACCIÓN IÓNICA ENTRE Fe/Mn

Los microelementos hierro y manganeso son interdependientes: el efecto de la presencia de uno en el tejido vegetal coincide proporcionalmente con la cantidad del otro. La reactividad del hierro depende de su estado de oxidación, pero el manganeso tiene mejor potencial de oxidación que el hierro; si hay un equilibrio entre ambos, el Mn oxida el exceso de hierro y lo transforma en hierro inactivo, que es inmovilizado por los fosfatos, formando un precipitado de hierro-fosfato (fosfoproteína llamada fitoferritina). Si hay un desequilibrio entre ambos, pueden darse dos condiciones diferentes:

1. El exceso de hierro en la solución

provoca la pérdida del equilibrio dinámico entre los dos elementos, lo que da lugar a síntomas secundarios de exceso de hierro con síntomas similares a la deficiencia de manganeso.

2. Si hay un exceso de manganeso, las plantas se vuelven cloróticas en sus hojas nuevas con síntomas similares a la deficiencia de hierro. El exceso de manganeso provoca un exceso de oxidación de Fe²⁺ a Fe³⁺, siendo este último insoluble y por tanto inutilizable para las células.

Altos niveles de Mn soluble en el tejido están relacionados con bajos niveles de Fe soluble y viceversa, [Somers y J. W. Shive 1942].

En situaciones de cultivo al aire libre, la clorosis de hierro ocurre al mismo tiempo, enmascarando la clorosis desencadenada por deficiencia de manganeso. La corrección de esta última provoca en muchos casos la manifestación visual de la segunda y la agrava. Esto ha sido confirmado en numerosas ocasiones por los investigadores [Warden et al. 1991]. Esto significa que la relación Fe/Mn en las soluciones nutritivas es más importante que las concentraciones de Fe y Mn [Somers y Shive 1942, y Warden 1991].

INTERACCIÓN IÓNICA ENTRE Fe/K

El papel del K⁺ es muy importante en cuanto al funcionamiento de la bomba de protones; así, las plantas no son capaces de responder al estrés de hierro en ausencia de K⁺, incluso si dicho ion es sustituido por Na [Jolley et al 1988], lo que significa que un contenido suficiente de potasio está relacionado con una mejor respuesta a la deficiencia de hierro, tanto en plantas de Estrategia I como II. [Hughes et al, 1992].

Por lo tanto, la presencia de potasio es importante para la disponibilidad de hierro; esto se considera útil en términos agronómicos.

FITOSIDERÓFOROS

Muchos autores han demostrado que los fitosideróforos (PS) liberados por las especies de gramináceas pueden movilizar el Fe de fuentes edáficas poco solubles. [Römheld y Marschner 1990]. La cantidad de fitosideróforos presentes en el ambiente está relacionada con el grado de clorosis [Kawai et al, 1988].

TEMPERATURA

Las temperaturas extremas son otro factor que induce a la clorosis férrica; las bajas temperaturas causan una reducción en el desarrollo de las raíces y por lo tanto una reducción en la capacidad de absorber hierro [Chaney, 1984].

Al mismo tiempo, las altas temperaturas reducen la estabilidad de los fitosideróforos, reduciendo la disponibilidad del hierro. [Awad et al. 1988].





2

El hierro en las plantas

Giustino Strolli, Gianluca Nicolini - Global Research

2.1 Absorción

Ante la deficiencia de hierro, las plantas pueden permanecer indiferentes, pueden desarrollar una respuesta leve [plantas ineficientes], o desarrollar mecanismos de adaptación que les permitan aumentar su capacidad de absorción de hierro de la solución del suelo (Fig. 7) [plantas eficientes] (Mengel y Kirby, 2001). En cada grupo, el grado de respuesta es diferente, incluso entre especies y genotipos (Brown y Jolley, 1988; Shi et al., 1993).

En cuanto a los estados de oxidación en los que se presenta el hierro en el suelo -Fe³⁺ y Fe²⁺ ferroso- se acepta que la planta prefiere el Fe²⁺, aunque hay algunas plantas capaces de absorber el hierro como Fe³⁺ quelado. El Fe²⁺ se absorbe preferentemente a través de las raíces mediante un proceso de absorción activa (Uren, 1984), en el caso de los suelos bien aireados, que es normalmente el tipo de suelo en el que se encuentran las tierras de cultivo. En estas condiciones, es necesario dar un paso previo en la reducción

del Fe³⁺ a Fe²⁺. Este proceso lo lleva a cabo una enzima reductasa situada en la membrana plasmática de la raíz (Römheld, 1987).

El Fe²⁺ también es absorbido a través de la epidermis foliar y la superficie de las ramas.

2.2 Estrategias de absorción

En situaciones en las que existe una deficiencia de hierro en el ambiente, las plantas superiores han desarrollado una serie de mecanismos para aumentar la disponibilidad de hierro en la solución del suelo. Dichas plantas se dividen en dos grupos en función del modelo de respuesta que desarrollan ante dicha deficiencia: plantas de estrategia I y de estrategia II (Marschner et al 1986; Brown y Jolley, 1988; Hopkins et al 1992).

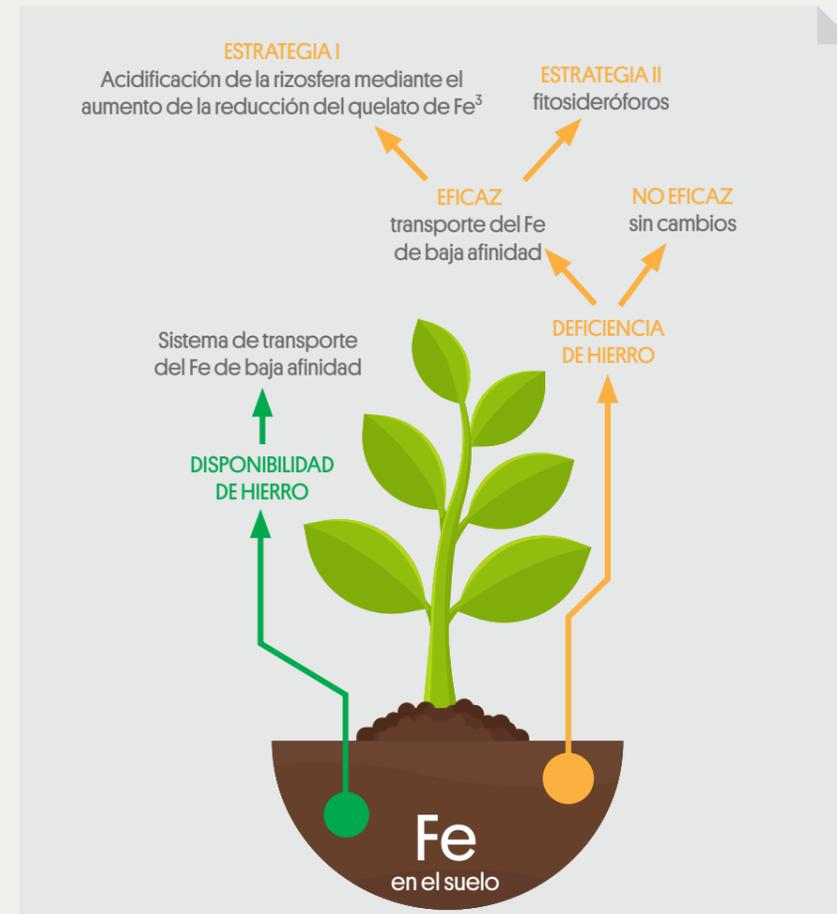


Fig. 7 Reacciones de la planta con deficiencia de hierro.

LEYENDA
→ UNIDIRECCIONAL
↔ MUTUO

ANTAGONISMO

POTASIO [K]	→	BORO [B]
MAGNESIO [Mg]	↔	POTASIO [K]
MOLIBDENO [Mo]	→	COBRE [Cu]
COBRE [Cu]	→	MANGANESO [Mn] HIERRO [Fe]
FÓSFORO [P]	→	ZINC [Zn] POTASIO [K] COBRE [Cu] CALCIO [Ca] HIERRO [Fe]
ZINC [Zn]	→	HIERRO [Fe]
BORO [B]	→	POTASIO [K]
HIERRO [Fe]	→	FÓSFORO [P]
NITRÓGENO [N]	→	POTASIO [K] COBRE [Cu] BORO [B]
CALCIO [Ca]	↔	POTASIO [K] MAGNESIO [Mg] NH ₄ ⁺
CALCIO [Ca]	→	MANGANESO [Mn] ZINC [Zn] BORO [B] FÓSFORO [P] HIERRO [Fe]

SINERGI

NITRÓGENO [N]	→	MAGNESIO [Mg]
MAGNESIO [Mg]	→	FÓSFORO [P]
MOLIBDENO [Mo]	→	NITRÓGENO [N]
POTASIO [K]	→	MANGANESO [Mn] HIERRO [Fe]
SULFATO [SO ₂]	→	NITRÓGENO [N] POTASIO [K] COBRE [Cu] MANGANESO [Mn] MAGNESIO [Mg]
HIERRO [Fe]	→	MANGANESO [Mn]

Tab.2 Interacción iónica de los nutrientes en el suelo.

2.2.1 ESTRATEGIA I

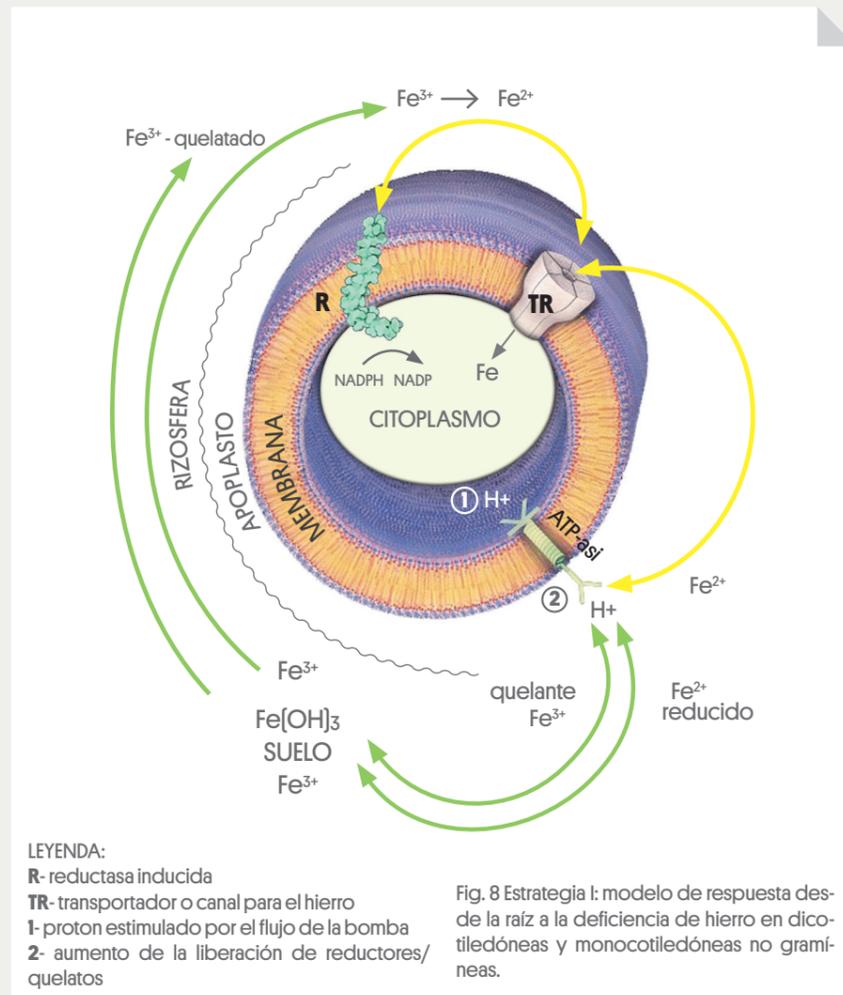
Las plantas dicotiledóneas y monocotiledóneas, excepto las gramíneas, desarrollan este tipo de respuesta. En circunstancias en las que hay una deficiencia de hierro, estas plantas mejoran su absorción a través de tres reacciones:

1. un aumento de la actividad de una reductasa unida a la membrana plasmática en las células de la rizodermis, responsable de la reducción del Fe^{3+} , que provoca un aumento de la descomposición de la reducción del Fe^{3+} , lo que a su vez provoca un aumento de la velocidad de descomposición del Fe^{3+} quelado y, en consecuencia, absorbe el hierro reducido para la planta.

Esta disociación de los quelatos es el mecanismo principal en la estrategia I. Esto hace que las células de las raíces de las plantas de la estrategia I posean dos sistemas de reducción del Fe^{3+} : la reductasa estándar y la turbo reductasa, su capacidad reductora es 20 veces mayor que el sistema estándar [Moog y Brüggeman, 1994].

2. Consiste en la expulsión de H^+ a través de las raíces hacia la rizosfera. Esta subestrategia es menos frecuente; sólo algunas dicotiledóneas la demuestran [Marschner et al., 1986; Zocchi y Cocucci, 1990; Toulon et al., 1992]. Este efecto se debe a la inducción de una bomba de protones, que depende del ATP de la membrana plasmática [Zocchi y Cocucci, 1990; Toulon et al., 1992]. La disminución del pH de la rizosfera se produce una vez que se aumenta la capacidad de excreción de protones, lo que permite aumentar la solubilidad del hierro presente en el suelo y la actividad de la turbo reductasa, ya que esta enzima alcanza su máxima actividad a un pH de 6,5 [Holden et al., 1991; Jolley et al., 1988], destacando el papel del K^+ en el funcionamiento de la bomba de protones.

3. Esta tercera subestrategia se encuentra en algunas especies; las plantas que demuestran la estrategia I se caracterizan por la inducción



LEYENDA:

R- reductasa inducida

TR- transportador o canal para el hierro

1- proton estimulado por el flujo de la bomba

2- aumento de la liberación de reductores/ quelatos

de un sistema de transporte de hierro en la membrana plasmática [Young y Terry, 1982; Fox et al., 1996; Fox y Guerinot, 1998]. Los estudios realizados con plantas de pepino demostraron que existen dos sistemas diferentes de transporte de hierro [uno con alta afinidad y otro con baja afinidad]. En situaciones en las que hay suficiente hierro, el sistema de baja afinidad transporta el hierro a la planta, mientras que el sistema de alta afinidad se activa si hay deficiencias de hierro [Zaharieva y Römheld, 2000].

CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN LA RAÍZ

Además de estas tres reacciones, las plantas que desarrollan esta estrategia pueden generar otro tipo de respuesta para aumentar la capacidad de absorción de hierro del suelo [Abadía 1998; López-Millán, 2000]. Tienden a aumentar la superficie de contacto entre las raíces y el suelo. Dichos cambios

consisten en la formación de pelos radiculares, el engrosamiento de las regiones subapicales y el desarrollo de células de transferencia en el engrosamiento [Welkie y Miller, 1993].

EXCRECIÓN DE COMPUESTOS DE BAJO PESO MOLECULAR

Las raíces de las plantas pueden excretar una gran variedad de compuestos orgánicos, incluyendo azúcares reductores, ácido cafeico, aminoácidos, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y flavinas. La tasa de exudación y su composición dependen del pH, la temperatura y el tipo de suelo, la intensidad de la luz, la edad y el estado nutricional de la planta, y la presencia de microorganismos [Jones, 1998].

CAMBIOS PROTEICOS EN LA RAÍZ

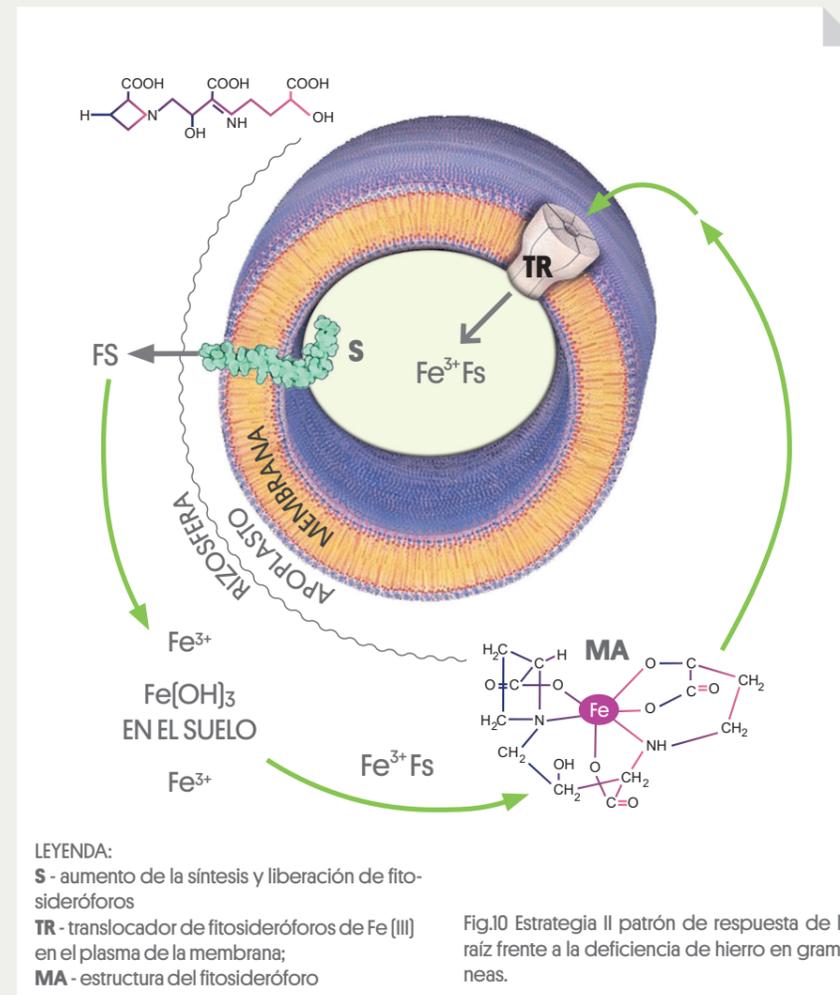
Diversos trabajos realizados mediante electrodeposición y transcripción in vitro del ARNm de la

raíz [Bienfait, 1988b; Herbiik et al, 1996].

2.2.2 ESTRATEGIA II

Sólo las gramíneas desarrollan este tipo de respuesta; la respuesta de las plantas de la estrategia II a situaciones de carencia de hierro se caracteriza por la liberación en la zona radicular de aminoácidos proteinógenos de bajo peso molecular, los llamados Fito sideróforos, que quelatan el Fe^{3+} presente en el suelo y son posteriormente absorbidos sin reducción previa a través de un sistema de transporte de Fito sideróforos de Fe^{3+} con alta afinidad [Römheld y Marschner, 1986; Takagi, 1976]. La liberación de fitosideróforos sigue un ritmo diurno característico [Fig 9] y se reduce rápidamente con el suministro de hierro [Marschner, 1995]. El ritmo diurno en la liberación de fitosideróforos en las plantas con deficiencias de hierro está inversamente relacionado con el volumen de un tipo particular de vesícula en el citoplasma de las células corticales [Nishizawa y Mori, 1987].

Fitosideróforos (PS) es el nombre dado al ácido mugéico y sus derivados. Se liberan a través de las raíces y forman complejos muy estables con el Fe^{3+} , aumentando así la cantidad de hierro en disolución. El número de PS liberados está relacionado con el grado de resistencia a la clorosis [Kawai et al., 1988; Hansen et al., 1996]. La biosíntesis de las PS en la raíz se incrementa si aumenta la deficiencia, con un aumento de hasta 20 veces respecto a las plantas control [Takagi et al., 1984]. El transporte del complejo al citoplasma de la célula se realiza a través de una proteína específica recientemente identificada [Curie et al., 2001] y localizada en la zona apical de la raíz y el tallo y que permite el transporte del complejo Fe^{2+} -NA [NA= nicotianamina] y posiblemente de otros metales [Hell y Stephan, 2003]. Una vez que el complejo está en el citosol, el Fe^{3+} se libera y la PS se degrada o se excreta al exterior.



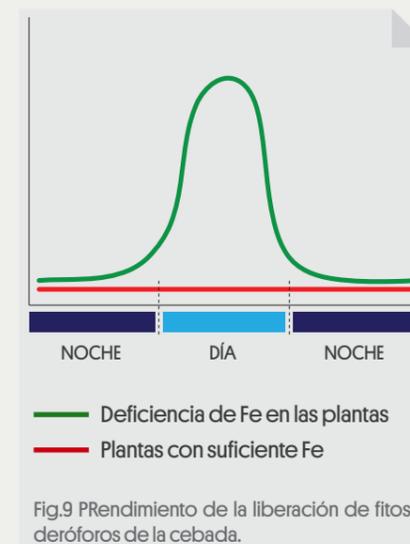
LEYENDA:

S - aumento de la síntesis y liberación de fitosideróforos

TR - translocador de fitosideróforos de $Fe(III)$ en el plasma de la membrana;

MA - estructura del fitosideróforo

Se ha demostrado que la PS liberada y el complejo de hierro se absorben a través de las raíces de la planta [Kawai y Alam, 2005]. Ambos demuestran una absorción diferente, lo que sugiere que las células de la raíz podrían diferenciar entre la PS liberada y el complejo, de modo que la PS liberada podría ser excretada en la rizosfera. Metionina + nicotianamina + ácido 2-deoximugéico + ácido 3-hidromugéico. El ciclo de síntesis de la metionina [Fig.11] experimenta una activación sustancial en las raíces de las plantas deficientes en hierro causada por la metionina para la síntesis de fitosideróforos; este hecho se ha establecido en las raíces, pero no



en la parte de la planta que está por encima del suelo [Kobayashi et al., 2006].

2.3 Transporte del hierro en las plantas

El ion ferroso es transportado a través de la corteza de la raíz vía el sinplasto por medio de los plasmodesmos cuando aparece en forma de Fe²⁺ - nicotianamina [Pich et al., 1997; Stephan, 2002]. Posteriormente y todavía en el sinplasto del sistema radicular, el Fe²⁺ sufre una oxidación para convertirse en Fe³⁺. Una vez en la forma Fe³⁺, es transportado a las partes superiores de la planta a través del xilema en forma de un complejo soluble de dicitrato [Tiffin, 1970; Cambell y Redinbaugh, 1984; López- Millán et al., 2000^a; Mengel y Kirby, 2001; Stephan, 2002]. Una vez que el hierro llega a las hojas, debe volver a cruzar la membrana plasmática de las células foliares. Este paso requiere de nuevo la reducción del Fe³⁺ a Fe²⁺, proceso que es llevado a cabo por una enzima reductasa como la de la raíz [Brüggemann et al., 1993; de la Guardia y Alcántara, 1996; González-Vallejo et al., 1998, 2000; Rombolá et al., 2000]. Aunque el transporte se realiza a través del xilema, se encontró hierro en el floema. La capacidad de transportar este ion está relacionada con la respuesta de las plantas a las deficiencias de hierro. El transporte de Fe³⁺ en el floema se realiza como Fe³⁺ - nicotianamina [Becker et al., 1992; Stephan y Scholz, 1993]. Hay que tener en cuenta que altas concentraciones de Fe²⁺ en el citoplasma celular tienen efectos tóxicos [Mengel y Kirby, 2001]. Por lo tanto, el hierro debe ser rápidamente oxidado a Fe³⁺. Así, el ion ferroso es transportado al cloroplasto, donde se oxida a Fe [OOH] y se acumula en forma de una fosfoproteína conocida como fitoferritina, una proteína multinómica que segrega más de 4- 103 átomos de hierro en forma de mineral estable dentro del recubrimiento proteico [Theil, 1987; Andrews et al., 1992; Lahlere y Briat, 1993], creando una reserva de hierro

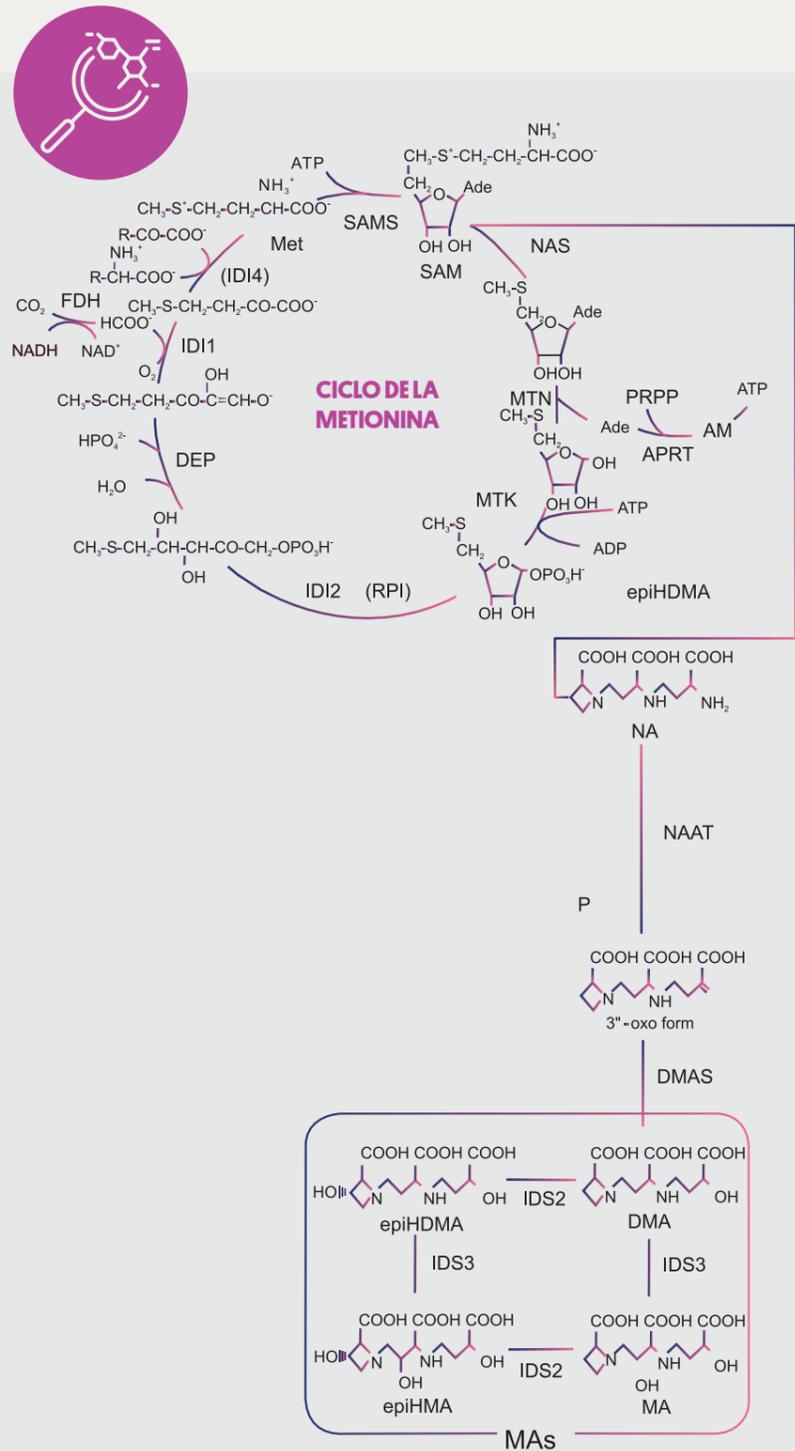


Fig.11 Síntesis de fitosideróforos y el ciclo de la metionina en gramíneas [Kobayashi et al., 2005].

no tóxica en la célula. La fitoferritina se encuentra principalmente en los cloroplastos, pero no se limita únicamente a este orgánulo, ya que también se ha encontrado en el xilema y el floema [Smith, 1984].

En situaciones en las que hay deficiencias de hierro, el ion férrico se reduce de nuevo a un ion ferroso, que podría ser transportado en forma de Fe-nicotianamina a través de las células [Mengel y Bübl, 1983; Lahlere y Briat, 1993]. El transporte de hierro en las plantas de estrategia II -a través de las raíces y el xilema- se realiza en forma de Fe- Fito sideróforo [Mori et al., 1991; Alam et al., 2001; Kawai et al., 2001].

2.4 Funciones biológicas del hierro en las plantas

La deficiencia de hierro representa un problema mundial en la producción de cultivos, afectando al rendimiento tanto cualitativa como cuantitativamente [Mortvedt, 1991]; las plantas no alcanzan su pleno potencial de crecimiento, y el valor nutricional se ve comprometido, lo que provoca pérdidas económicas y limitaciones en la selección de cultivos [Chaney, 1984]. En casos extremos, la deficiencia de hierro puede dar lugar a la pérdida total de la cosecha [Chen y Barak, 1982]. La lista de cultivos que se ven afectados es muy amplia y se incluyen en ella cultivos como el manzano, los cítricos, la viña, el pistacho, el arroz de secano, el sorgo y la soja [Marschner, 1995].

Al ser un componente esencial de las proteínas y las enzimas, el hierro desempeña un papel importante

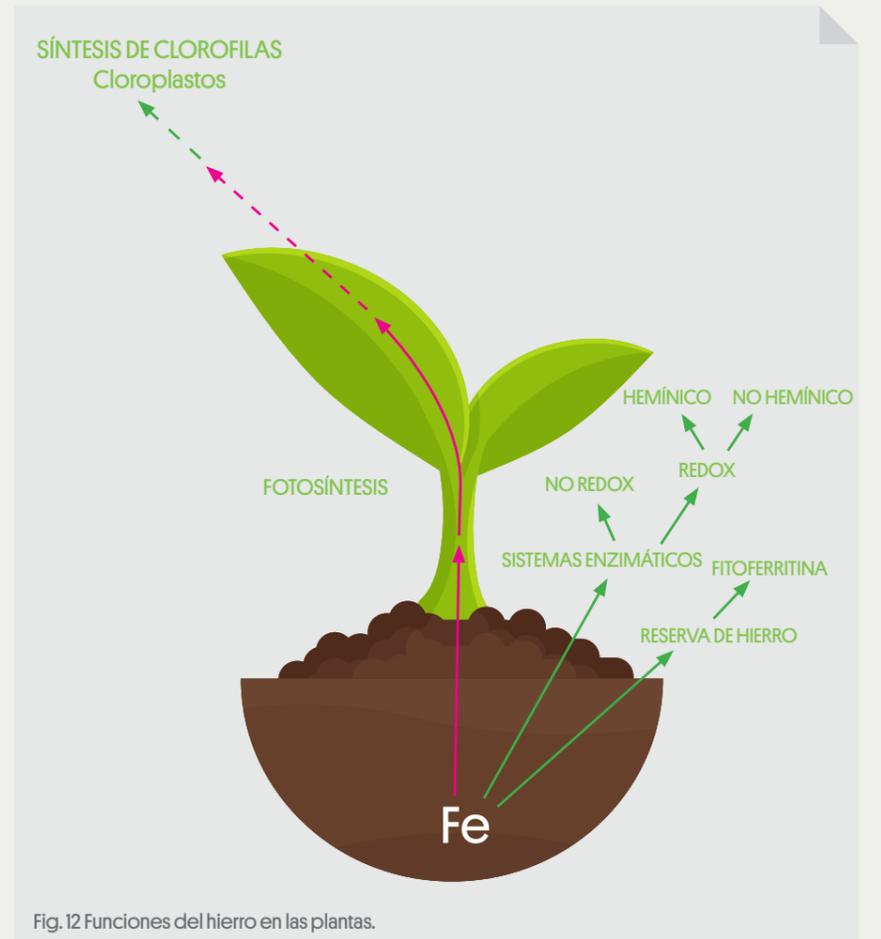


Fig.12 Funciones del hierro en las plantas.

en procesos biológicos básicos como la fotosíntesis, la síntesis de la clorofila, la respiración, la fijación del nitrógeno, los mecanismos de captación [Kim y Rees, 1992], siendo esencial para el mantenimiento de la estructura del cloroplasto y la función de síntesis del ADN a través de la acción del ribonucleótido reductasa [Reichard, 1993]. El hierro es también un cofactor activo de muchas enzimas necesarias para la síntesis de hormonas vegetales, como el etileno, la lipoxigenasa, el ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidasa [Siedow, 1991] o el ácido abscísico [compuestos activos en muchas vías de desarrollo de las plantas y en sus respuestas adaptativas a las condiciones ambientales fluctuantes]. [Rout y Sahoo, 2015].

El más conocido de los

componentes de los sistemas no hemínicos es la ferredoxina, una proteína férrica que actúa como receptor final de electrones en muchos procesos metabólicos como la fotosíntesis, la reducción del nitrato y el sulfato [Mengel y Kirby, 2001; Marschner, 1995]. Su elevado potencial redox le permite reducir sustancias como el NADP⁺, el nitrato, el oxígeno y el sulfato. La aconitasa es una enzima con hierro no hemínico que cataliza la isomerización de citrato a isocitrato en el ciclo de los ácidos tricarbóxicos [Hsu y Miller, 1968; Beinert y Kennedy, 1989; Marschner, 1995]. Otras enzimas con hierro no hemínico son las riboflavinas; se acumulan en plantas con deficiencias de hierro 200 veces más que en plantas que crecen en ambientes con suficiente cantidad del elemento [Welkie y Miller, 1989]. Dicha acumulación de riboflavina

se produce porque la deficiencia de hierro provoca alteraciones en el metabolismo de las purinas ya que la enzima xantina oxidasa está seriamente dañada [Schlee et al., 1968].

Las enzimas superóxido dismutasa constituyen otro sistema de hierro no hem que elimina los radicales libres aniónicos superóxidos: se trata de isoenzimas comunes en los cloroplastos, pero también pueden encontrarse en las mitocondrias, los peroxisomas y el citoplasma [Droillar y Paulin,

1990], o la xantina oxidasa, que tiene funciones en procesos metabólicos como la fotosíntesis, la respiración mitocondrial, la fijación de N₂, la reducción de SO₄²⁻ a SO₃²⁻, etc. Hay una serie de enzimas menos conocidas en las que el hierro también actúa como componente metálico en las reacciones redox o como elemento de conexión entre la enzima y el sustrato [Marschner, 1995]. Entre ellas se encuentran las lipoxigenasas que regulan la peroxidación lipídica, por

lo que están implicadas en la senescencia celular y tisular y en las combinaciones huésped-patógeno y, por tanto, en la resistencia a las enfermedades [Nagarathana et al., 1992]. El hierro desempeña un papel importante en la fotosíntesis no sólo por su participación en la síntesis de la clorofila [Miller et al., 1984], sino también por su influencia en la morfología de los cloroplastos [Terry y Abadía, 1986; Marschner 1995].

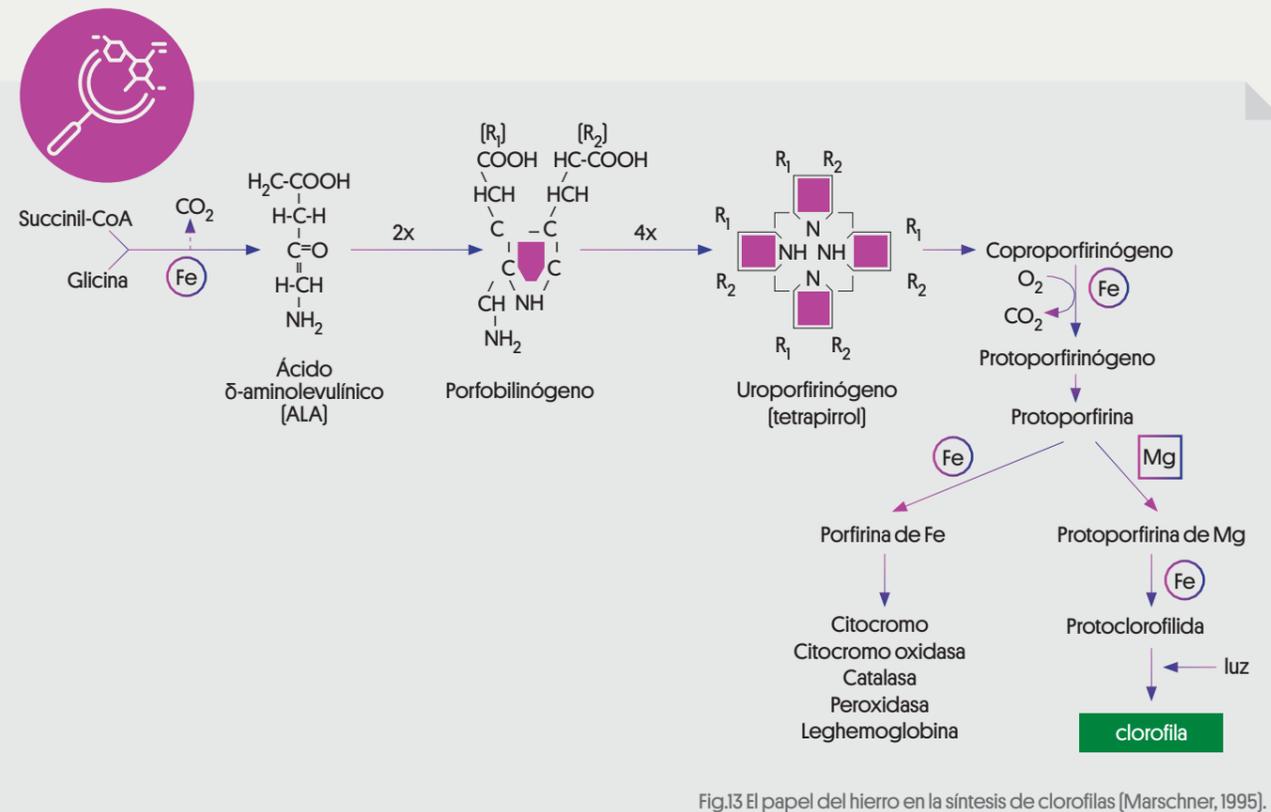


Fig.13 El papel del hierro en la síntesis de clorofilas [Marschner, 1995].



3

La clorosis férrica

Giustino Siroli - Global Research

3.1 LA CLOROSIS FÉRRICA

La clorosis férrica se considera una de las deficiencias nutricionales más complejas [Pestana et al., 2003] y está originada por diversos factores relacionados con la disponibilidad de hierro en el suelo, su absorción por las raíces y su distribución en los tejidos de la planta [Lucena, 2000^a. Alvarez-Fernandez, 2000].

La clorosis férrica, generalmente, se manifiesta por la pérdida de color verde de las hojas, debido a una disminución de la concentración de pigmentos fotosintéticos, fundamentalmente clorofilas [Abadia y Abadia, 1993]. Aparece, generalmente, en la zona intervenal de las hojas jóvenes, mientras que las nervaduras permanecen verdes, debido a que el hierro se distribuye escasamente hacia las zonas de crecimiento [Chaney, 1984].

Un aspecto importante de la clorosis férrica es que provoca la disminución o la inactivación de todos los procesos fisiológicos en los que interviene el hierro y en particular de la síntesis de clorofilas, lo que se traduce en una reducción de la producción y de la calidad de los cultivos, incluso en la muerte prematura de la planta.

Los medios utilizados hasta el momento para resolver este problema son: la aplicación localizada de sales y quelatos de hierro a las plantas [aplicación al suelo o por vía foliar], modificación artificial del pH de la solución del suelo [aplicación de ácidos orgánicos o inorgánicos] y el uso de cultivares de la variedad del cultivo con la habilidad de tomar el hierro de suelos en donde este elemento se encuentra poco disponible [Olsen et al., 1987; Chen y Barak, 1982; Emery, 1982].

3.2 SÍNTOMAS VISIBLES

La deficiencia de hierro es la sintomatología más fácil de reconocer de las provocadas por otros micronutrientes ya que produce un tipo de clorosis realmente característica. Los síntomas van a variar dependiendo de:

- La edad de la hoja;
- La gravedad de la deficiencia;
- Las condiciones del entorno.

En el caso de las gramíneas, los síntomas son más difíciles de identificar ya que se pueden confundir con el magnesio, debido a que se presentan en forma de bandas entre nervios, alternadas en amarillo con nervios verdes. Debe tenerse en cuenta que en muchos casos la clorosis es un problema que está más relacionado con la movilidad del hierro que con una deficiencia de este elemento. Por ello, no es de extrañar que es una misma planta haya zonas que presenten clorosis férrica y otras que no. Las características de los síntomas visibles son las siguientes:

- Las hojas viejas presentan un color verde, mientras que las hojas jóvenes empiezan a amarillear. Diversos estudios demuestran que existe correlación entre el aporte de hierro y los contenidos de clorofila en las hojas.
- Según va avanzando la carencia, se observa la característica clorosis intervenal, siendo los vasos los únicos que conservan el color verde, creando un contraste con el color amarillento o blanquecino de la rama.
- En casos de carencia extrema, el amarilleamiento puede llegar a ser total y aparecen zonas necróticas en los bordes del limbo, produciéndose una caída precoz de las hojas y, en casos muy graves, defoliación total.
- Los tallos permanecen finos y curvados, produciéndose una importante reducción del crecimiento.
- En plantas anuales se observa una disminución del crecimiento, un aspecto raquítico y un descenso de la producción. Los árboles defolian y comienzan a secarse por la periferia; los frutos son pequeños y maduran precozmente.

3.3 CORRECCIÓN DE LA CLOROSIS FÉRRICA

La clorosis férrica se considera compleja, y por ello deben tenerse en cuenta diversas técnicas para su prevención y tratamiento. La primera solución es la selección genética del cultivo, mejorando así los mecanismos de absorción del hierro y disminuyendo su susceptibilidad a la clorosis férrica [Charlson et al., 2003]. El uso de cultivares tolerantes se considera la mejor solución para combatir esta carencia en suelos encañados, aunque esta técnica está lejos de ser una solución para los frutales y otras especies [Álvarez-Fernández et al., 2003a]. Se trata de una medida preventiva que se toma antes de la plantación. Sin embargo, una vez establecido el cultivo, la aplicación de prácticas agrícolas correctas es crucial para prevenir la aparición de la clorosis férrica [Chen, 1997].

Estas prácticas consisten en eliminar los riesgos de compactación, alcalinización e inundación del suelo, dando preferencia a un buen drenaje y controlando la frecuencia de los riesgos. Otra práctica, utilizada regularmente con los frutales y los viñedos, es el cultivo conjunto con otras plantas anuales, lo que reduce la compactación y aumenta la porosidad, la filtración y el contenido de materia orgánica del suelo.

Se trata de una medida preventiva que se toma antes de la plantación. Sin embargo, una vez establecido el cultivo, la aplicación de prácticas agrícolas correctas es crucial en la prevención de la clorosis férrica [Chen, 1997]. En situaciones de deficiencia de hierro, ésta debe corregirse con la aplicación de fertilizantes con o sin hierro en el suelo o en la planta. Dentro de los

compuestos que contienen hierro se encuentran los complejos férricos; quelatos de hierro y sales orgánicas férricas o ferrosas que aumentan el contenido de hierro en la planta y en el suelo. Y, dentro de los que no contienen hierro, hay acidificantes y materia orgánica que favorecen la solubilización del hierro nativo no disponible. Estos tratamientos pueden aplicarse al suelo en estado sólido o líquido, en fertirrigación o en aplicaciones foliares.



ALTAMENTE SENSIBLES	MODERADAMENTE SENSIBLES	POCO SENSIBLES
CÍTRICOS, VINO	ALFALFA	MANZANA
SORGO	CEBADA	PATATA
MELOCOTOÓN	MAÍZ	REMOLACHA
NOGAL, PERA	ARROZ	
SOJA, ROSA	TRIGO	
FRESA, TOMATE	AVENA	
KIWI		

Tab.3 Sensibilidad de diferentes cultivos a la deficiencia de hierro.

Fig.14-19 Síntomas de la clorosis férrica en las plantas



Fig.14 Clorosis férrica en maíz



Fig.16 Clorosis férrica en rosa



Fig.18 Clorosis férrica en cereza



Fig.15 Clorosis férrica en viña



Fig.17 Clorosis férrica en melocotón



Fig.19 Clorosis férrica en azaleas





4

Quelatos

Angelo Squadrone, Luciano Di Sciullo, Antonio Menna, Giuseppe Iezzi, Antonio Coccia, Giulio Maria Cocco - Global Operations

4.1 LAS MOLÉCULAS QUELATANTES

Los agentes quelantes o ligandos son moléculas orgánicas con dos o más grupos funcionales capaces de compartir pares de electrones con un ion metálico central. De este modo, se forma una estructura cíclica en la que se retiene el metal, evitando así su precipitación en condiciones ambientales específicas.

Los quelatos de hierro representan una forma más soluble de hierro y, en consecuencia, aumenta la captación desde las raíces. Existen dos grupos de agentes quelantes, ambos derivados de los ácidos poliamino carboxílicos, dependiendo de la presencia o ausencia de grupos fenólicos en su estructura. Por un lado, están los agentes quelantes que tienen una estructura como la del EDTA, que se denominan no fenólicos, y por otro, están los que contienen grupos fenólicos [EDDHA, EDDHSA...]. La figura 26 muestra la estructura de las moléculas de o,o-EDDHA.

La estructura de los quelantes fenólicos proporciona seis grupos funcionales donantes de electrones: dos ácidos carboxílicos, dos aminas secundarias y dos fenoles. La fuerza de la coordinación de los grupos donantes está relacionada con la acidez del metal y la basicidad del protón del oxígeno y del nitrógeno donante.

La mejor capacidad de los quelantes fenólicos se debe a la presencia de dos grupos fenólicos, que son más básicos, y permite mantener eficazmente el Fe³⁺ en solución en suelos encañados [Lindsay, 1979].

	R1	R2
o,o-EDDHA	H	H
EDDHSA	SO ₃ K	SO ₃ K

Tab.4 Radicales de agentes quelatantes fenólicos.

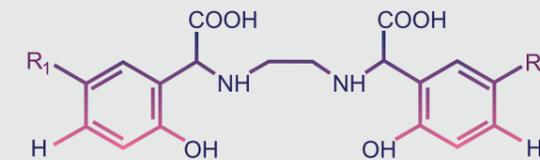


Fig.20 La estructura del agente quelatante fenólico.

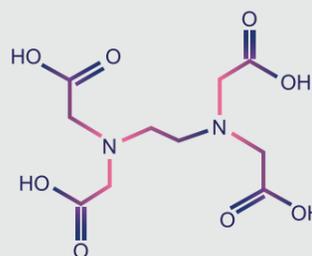


Fig.21 Estructura del EDTA.

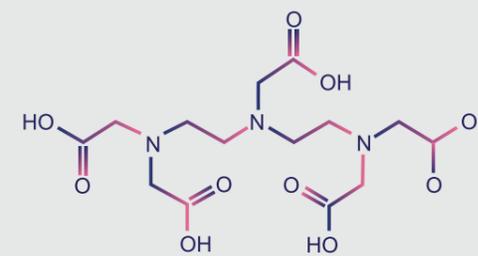


Fig.22 Estructura de DTPA.

4.2 LA ESTABILIDAD DE LOS QUELATOS DE HIERRO

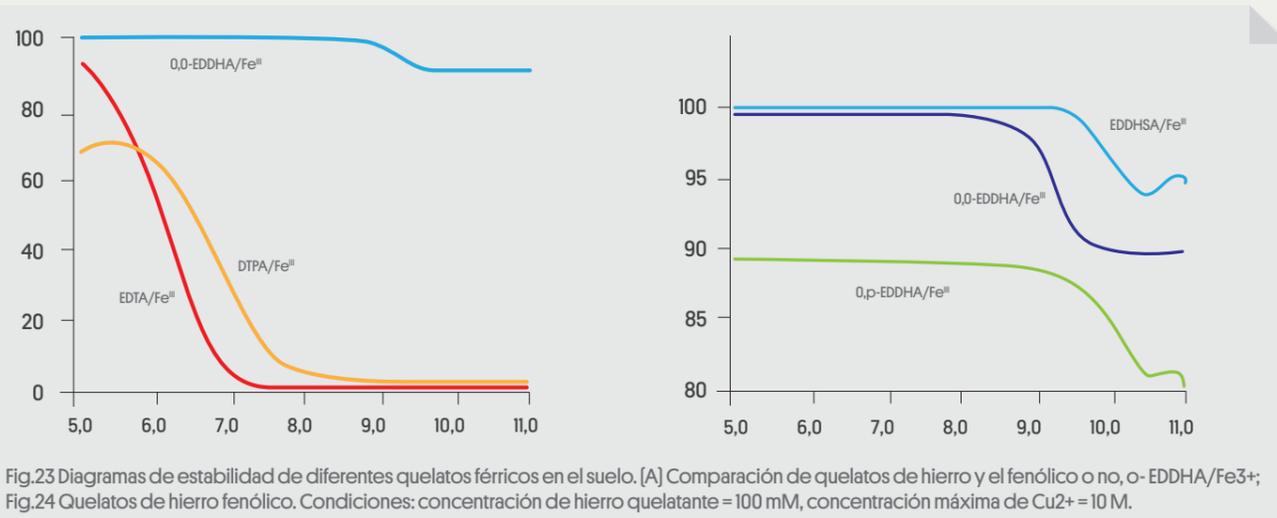
Los factores que afectan a la estabilidad de los quelatos de hierro son la estructura del agente quelante, el metal y las condiciones ambientales [luz, microorganismos, temperatura, fuerza iónica, pH, presión parcial de CO₂, potencial redox y presencia de otros iones] [Álvarez-Fernández, 2000]. Las constantes de estabilidad de diferentes agentes quelantes con el Fe³⁺ se reportan en la Tabla 5. Se puede observar que las constantes de estabilidad de los quelatos de hierro fenólicos son similares entre sí y considerablemente superiores a las de los no fenólicos, excepto para el o,p-EDDHA/Fe³⁺.

Estas diferencias de estabilidad se atribuyen fundamentalmente a la estructura de los ligandos. La estabilidad de los quelatos de hierro formados por ligandos hexadentados aumenta con el número de grupos fenólicos disponibles en la coordinación. Así, la estabilidad del quelato de hierro aumenta si los carboxilatos se sustituyen por dos fenolatos para crear

o,o-EDDHA, o EDDHSA [Tabla 5]. Los quelatos de hierro también aumentan su estabilidad una vez que el número de grupos donantes disponibles para coordinarse está en una disposición octaédrica con el Fe³⁺. De ahí que la constante de estabilidad más baja para el o,p-EDDHA/Fe³⁺ cEn el o,p-EDDHA/Fe³⁺, el grupo hidroxilo fenólico está en posición para con el carbono alifático, y como consecuencia no se produce ningún enlace con el hierro, y la posición es ocupada por una molécula de agua [Yunta et al., 2003a].

EDTA	25,0
DTPA	27,3
o-o EDDHA	35,9
o-p EDDHA	28,72
EDDHSA	32,79
HBED	39,01

Tab. 5 Logaritmo de las constantes de estabilidad $[\text{FeL}]/[\text{Fe}^{3+}][\text{L}]$ con EDTA Fe³⁺ y DTPA Fe³⁺ [Martell y Smith, 1974] del regioisómero y los diastereómeros de o,o-EDDHA y EDDHSA [Yunta et al., 2003 a y b].



4.3 LA CALIDAD DE LOS QUELATOS

La cantidad de coordinación entre el metal y los compuestos quelantes aromáticos varía de 4 a 6 en función de la posición del oxígeno fenólico de las moléculas. Así, el o-o-EDDHA forma seis enlaces, el o-p-EDDHA estabiliza el hierro con cinco enlaces, y el p-p-EDDHA con sólo cuatro enlaces [como ocurre con el hierro EDTA]. El número de enlaces es un punto fundamental que influye en la estabilidad de las moléculas quelatadas mencionadas, es decir, en su incapacidad para evitar que el hierro sea insoluble en un entorno alcalino.

En consecuencia, los productos comerciales a base de EDDHA

contienen siempre isómeros orto-orto, orto-para o para-para; la calidad del producto final está vinculada principalmente al porcentaje de isómero orto, orto, el complejo más estable.

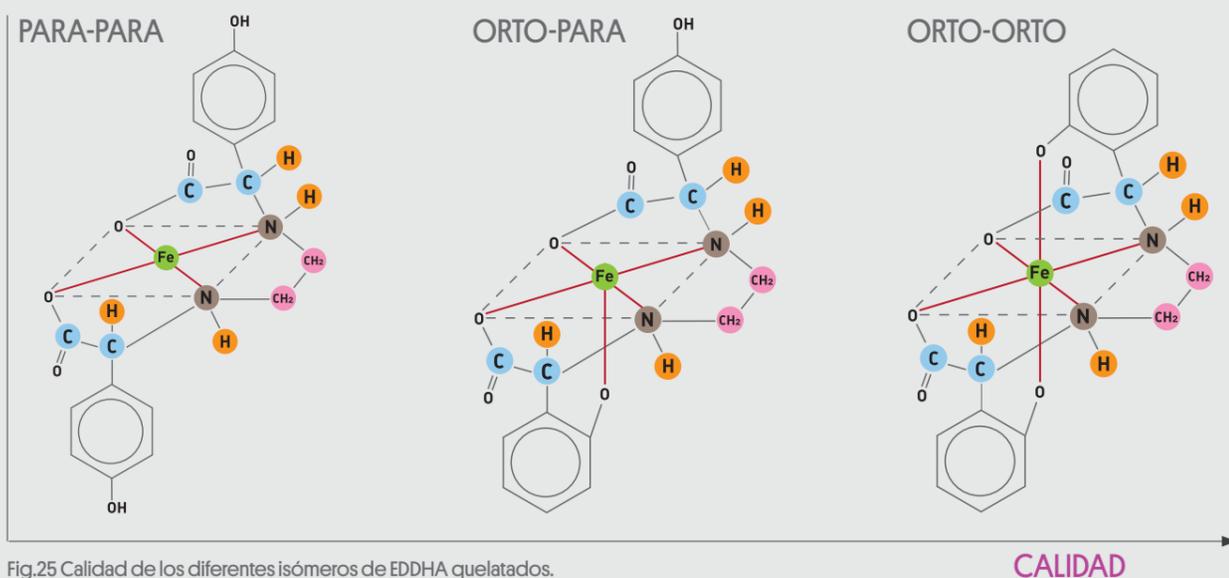
4.4 LOS QUELATOS DE HIERRO Y SU USO EN LA AGRICULTURA

Los quelatos de hierro se utilizan en la agricultura para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos. Si los cultivos se encuentran en condiciones pedoclimáticas desfavorables, los quelatos pueden utilizarse según dos estrategias:

- Preventiva, cuando los síntomas

visibles no se han manifestado y el objetivo es evitar su manifestación.

- Curativa, cuando la clorosis férrica es visible, y el objetivo es recuperar el correcto estado nutricional de la planta. En base a la modalidad de aplicación, podemos distinguir entre quelatos de hierro de uso principalmente radical [fenólicos: EDDHA, EDDHSA, HBED], y de uso foliar [no fenólicos: EDTA, DTPA]. Los quelatos fenólicos se utilizan principalmente en las vías radicales porque son más estables que los quelatos no fenólicos en los rangos de pH que se encuentran normalmente en los terrenos que favorecen la aparición de la carencia de hierro.



4.5 LOS AGENTES QUELATANTES DE LA LÍNEA FERRILENE DE VALAGRO:

Fe-EDDHA

• Es un complejo en el que el hierro está unido a una molécula orgánica a través de más enlaces de coordinación (preferentemente 6) en el isómero orto-orto.

• En este complejo, el hierro está totalmente disponible para su absorción activa a través de las raíces.

• Desde el punto de vista agronómico, la fracción o-o del complejo EDDHA confiere estabilidad y persistencia al Fe en el suelo, por lo que resulta útil para curar las carencias de hierro en condiciones extremas.

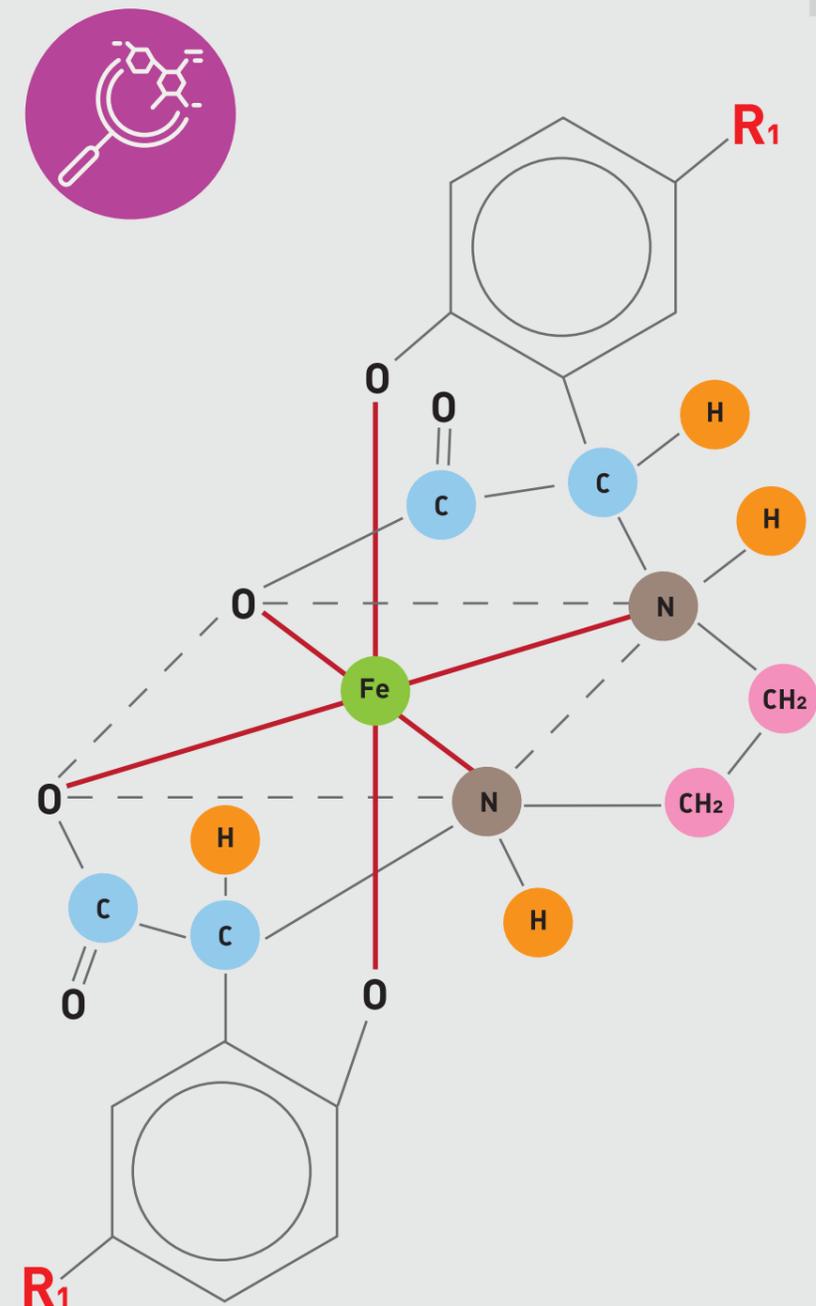
Fe-EDDHSA

• Se diferencia de la molécula de EDDHA por la presencia del grupo sulfónico en la posición para en el anillo benzoico del fenol estructural.

• La sal de potasio se utiliza en la síntesis; cantidades suficientes de potasio optimizan la absorción de hierro en el tejido vegetal.

• Desde el punto de vista agronómico, el complejo EDDHSA proporciona estabilidad al Fe y una acción rápida, lo que aumenta el rebrote de las plantas.

Además, la solubilidad del Fe-EDDHSA es unas 3,4 veces mayor que la del Fe-EDDHA. La presencia de grupos sulfo hace que los grupos fenólicos sean más ácidos, lo que se traduce en un aumento de la afinidad del hierro para este quelato. [Klem-Marciniak Molecules 2021, 26, 1933].



Fe-EDDHA	R1= H
Fe-EDDHSA	R1 = SO ₃ K

Fig.26 Estructura de los agentes quelatantes Fe-EDDHA, Fe-EDDHSA.





5

Línea Ferrilene

Rita Basile - Global Marketing & Development

5.1 HISTORIA DE LOS AGENTES QUELATANTES

¡FABRICAMOS QUELATOS!

Valagro es una de las empresas más importantes del mundo que fabrica productos a base de quelatos de hierro en su propia planta quelatante.

La capacidad de fabricar quelatos de hierro directamente es importante, ya que permite a Valagro comprobar y garantizar la calidad de los productos finales. Los productos quelatados son siempre controlados y analizados por el laboratorio interno de Valagro antes de ser envasados y comercializados.

La línea Ferrilene es una línea completa de los mejores quelatos de hierro disponibles [EDDHA; EDDHA] para adaptarse a las condiciones adversas específicas del suelo en las que la disponibilidad de hierro se ve afectada. Estos quelatos pueden proporcionar hierro a las plantas en el rango de pH de 4 a 10. El quelato aumenta la solubilidad del hierro y lo transporta a la raíz de la planta, donde lo libera rápidamente. La línea incluye Ferrilene Trium, que debido a sus diversos componentes tiene la característica de tener una triple acción contra la clorosis férrica; la línea Ferrilene también incluye Ferrilene 4.8 y Ferrilene.

HISTORIA DE LA PLANTA DE QUELATOS

A principios de la década de los 90, en Valagro (en aquel momento llamada Farmer), comenzó la construcción del nuevo edificio de la fábrica de quelatos, en la que el trabajo en Valagro del químico Leo Giannantonio (actual Director Global de Q-EHS & Compliance) desempeñó un papel decisivo, cubriendo así todas las necesidades de las tierras de cultivo, sus propietarios, y más. Procedente de ese sector específico, Leo comprendía que solamente un reducido número de industrias en todo el mundo fabricaban micronutrientes quelatados y que, aunque constituían un nicho de negocio, incluso las pequeñas producciones garantizaban altos márgenes económicos. También conocía las propiedades de esas moléculas que contenían los



«Somos químicos, es decir, cazadores... la naturaleza es inmensa y compleja, pero no es impermeable a la inteligencia; debemos rodearla, perforarla y sondearla, buscar la abertura o crearla».
Primo Levi

nutrientes, como las pinzas (o quelas) de un cangrejo, transportándolo intacto a la planta y evitando su solidificación y dispersión en el suelo. La expiración de la patente de Ciba sobre los micronutrientes quelatados hizo que su fabricación dejara de ser cara, pero muy pocas industrias lo hacían. Giuseppe y Ottorino se dieron cuenta de que sería más económico producir los suyos propios, teniendo en cuenta que ya disponían de las instalaciones. De hecho, no sólo podrían envasar y vender los quelatos, sino que también podrían utilizarlos para fabricar otros fertilizantes, por ejemplo, de tipo hidrosoluble, y, por supuesto, fabricar sus propios ingredientes garantizaría la calidad que se había convertido en el mantra de la empresa, ya que era el único aspecto que podía diferenciarla. La apuesta por los quelatos pronto dio sus frutos. La instalación dirigida por Pino Codagnone, que se

convirtió inmediatamente en su personificación al haber supervisado todo el proceso de instalación, funcionaba a pleno rendimiento al cabo de un par de años, lo que supuso un importante aumento de la facturación. A ello contribuyó el hecho de que se ampliara la clientela potencial de la empresa a otro tipo de industrias que utilizan micronutrientes en otros sectores manufactureros, lo que llevó a Farmer a adquirir la empresa milanesa Siso, la misma en la que trabajaba Leo, y a convertirse en la única empresa italiana que fabrica agentes quelatantes. Más inversiones, más investigación y desarrollo, más ingresos, más beneficios: era un círculo virtuoso, un camino claramente definido que seguía fortaleciendo toda la estructura.

Fuente: 2020 Valagro Book- Creating the future. Since 1980

5.2

FERRILENE 4,8 Y FERRILENE

[previene y trata la clorosis férrica]

CARACTERÍSTICAS

En esta última clasificación encontramos diferentes concentraciones de hierro orto-orto quelado, así como los agentes quelantes de hierro más importantes, el Fe-EDDHA y el Fe-EDDHA. Este grupo de quelatos estables aportan hierro de forma eficiente a los cultivos en condiciones difíciles y representan importantes herramientas en la cura y prevención de la clorosis férrica. Actualmente se incluyen en este grupo de productos los isómeros orto-orto y orto-para. En resumen, dentro de la línea Ferrilene encontramos productos que son estables frente a la hidrólisis, aseguran la absorción de hierro en situaciones difíciles, tienen un efecto rápido y a largo plazo, el metal no es fácilmente sustituido por otro metal, no son fitotóxicos, se forman en microgránulos solubles que no generan polvo y aseguran una rápida y total solubilidad.

COMPOSICIÓN

PRODUCTO	FERRILENE 4.8	FERRILENE
AGENTE QUELATANTE	EDDHA	EDDHA
HIERRO SOLUBLE EN AGUA	6%	6%
FRACCIÓN QUELADA	100%	100%
% HIERRO ORTO-ORTO	4.8%	3.8%

MODO DE EMPLEO Y DOSIS

PRODUCTO	FERRILENE 4.8	FERRILENE
FRUTAL DE PEPITA Kg/ha	5-30	10-30
FRUTAL DE HUESO Kg/ha	5-30	10-30
FRESA Kg/ha	5-15	5-15
CÍTRICOS Kg/ha	5-30	10-30
UVA DE MESA Kg/ha	5-30	10-30
KIWI Kg/ha	5-30	10-30
HORTÍCOLAS/ EXTENSIVOS Kg/ha	5-15	5-15
FLORES Kg/ha	5-15	5-15
PLANTAS EN MACETA g/planta	0,5 - 2	0,5 - 2



5.3

FERRILENE TRIUM

[Triple acción contra la chlorosis]

CARACTERÍSTICAS

Ferrilene Trium es la última innovación tecnológica dentro de la línea: fruto de la investigación y el desarrollo, marca un punto de inflexión en el tratamiento de la clorosis férrica mediante un enfoque

multiestratégico. Ferrilene Trium basa su efecto en una serie de elementos interrelacionados que lo convierten en un producto integral y único entre los productos enfocados a corregir la clorosis férrica. FERRILENE TRIUM contiene diferentes componentes que se interrelacionan en el complejo suelo-planta como se muestra en la siguiente figura. Todo ello dentro de

un minúsculo y complejo microgránulo altamente soluble obtenido mediante una reacción química específicamente diseñada para VALAGRO, fruto de la visión de GEAPOWER, que manifiesta una vez más el conocimiento y la tecnología de Valagro en la producción y desarrollo de soluciones a medida para la agricultura.

COMPOSICIÓN

1. En FERRILENE TRIUM Existen dos tipos de quelatos de hierro, el Fe-EDDHA y el Fe-EDDHA en posición orto-orto; el primer Fe-EDDHA se distingue por su estabilidad y persistencia en el suelo. El segundo Fe-EDDHA es un quelato estable y a la vez muy soluble, lo que le confiere la característica de una acción rápida. La sal de potasio se utiliza en la síntesis del producto; el potasio administrado en cantidades adecuadas optimiza la absorción del hierro, lo que hace que la presencia de potasio en esta forma sea una característica positiva del producto.

2. FERRILENE TRIUM contiene una proporción igual de hierro y manganeso; por lo tanto, en esta sección discutiremos brevemente la importancia del manganeso en la planta. Este micronutriente es absorbido por la planta principalmente en forma divalente [Mn²⁺]. En esta forma, se combina rápidamente con ligandos orgánicos en los que puede oxidarse rápidamente a Mn (III) y Mn (IV). El manganeso tiene varias funciones en el metabolismo de las plantas. Las más documentadas y exclusivas del manganeso en las plantas verdes son las que rompen la molécula de agua y el sistema de evolución del O₂ de la fotosíntesis que se produce en los cloroplastos y que se denomina reacción de Hill. Por ello, la carencia de manganeso afecta principalmente a la fotosíntesis y a la evolución del O₂. Además, es un catalizador de la síntesis de la clorofila y participa en las reacciones de oxidación-reducción en las plantas. Forma parte de la estructura de la manganina, componente de la síntesis del glutatión, de la activación de la metionina, del control hormonal y de la síntesis de proteínas. El manganeso [Mn] también actúa como un importante cofactor para varias enzimas fundamentales en la biosíntesis de metabolitos secundarios en la planta asociados a la vía del ácido shikímico, incluyendo



Fig. 27 Compuestos de FERRILENE TRIUM.

aminoácidos aromáticos fenólicos, cumarinas, lignina y flavonoides. La presencia actual de hierro y manganeso en Ferrilene Trium en forma de quelatos altamente estables asegura el mantenimiento de una óptima relación recíproca entre ambos elementos, evitando el fenómeno de la clorosis secundaria.

3. La presencia de ingredientes biológicamente activos hace de Ferrilene Trium un producto único que ofrece una respuesta integral a la hora de curar y prevenir la clorosis férrica. La triple acción de Ferrilene Trium es:

ACCIÓN	RESULTADO
1. Facilita la absorción del hierro mediante dos agentes quelatantes distintos, Fe-EDDHA/Fe-EDDHA.	Tiene una acción rápida [EDDHA] y es persistente [EDDHA] en la cura y prevención de la clorosis férrica.
2. Proporciona a la planta el equilibrio adecuado de Fe/Mn	Asegura una relación óptima entre los dos elementos, mejorando las funciones metabólicas en la planta y curándola de la clorosis férrica provocada por la deficiencia de Fe y Mn.
3. Los principios activos biológicos mejoran la actividad de las puertas de protones.	Mejora la capacidad de absorción de la planta, haciéndola más fuerte y vigorosa.

Los componentes biológicamente activos con actividad bioestimulante actúan directamente sobre la raíz aumentando los niveles de absorción de hierro y manganeso y mejorando el contenido en clorofila de las hojas.

5.2.3 MODO DE EMPLEO Y DOSIS (FERTIRRIGACIÓN)

PRODUCTO	FERRILENE TRIUM
POMÁCEAS	10-30 Kg/ha
DRUPÁCEAS	10-30 Kg/ha
FRESA	5-15 Kg/ha
CÍTRICOS	10-30 Kg/ha
UVA DE MESA	10-30 Kg/ha
KIWI	10-30 Kg/ha
HORTÍCOLA/EXTENSIVOS	5 -15 Kg/ha
FLORES	5-15 Kg/ha
PLANTAS EN MACETAS	0.5 - 2 g/plant

PRODUCTO	FERRILENE TRIUM
AGENTE QUELATANTE	EDDHA/ EDDHA
HIERRO SOLUBLE EN AGUA	6%
FRACCIÓN QUELADA	100%
% HIERRO ORTO-ORTO	4.0%
MANGANESIO [Mn-EDTA]	1%
POTASIO [K ₂ O]	6%





6

Enfoque fenómico

Stefano Di Russo - Plant phenotyping associate

6. ENFOQUE FENÓMICO EN EL KIWI

Mediante el sistema Scanalyzer 3D, se obtienen imágenes en diferentes longitudes de onda (RGB, UV, NIR) y se observan los efectos del prototipo analizado en el fenotipo de la planta.

La estandarización de las condiciones de crecimiento de las plantas (riego, microclima, suelos) y la gestión informatizada de los datos nos permiten analizar eficazmente los resultados de más de 3.000 plantas al día.



Fig. 28 Sistema Scanalyzer 3D.

Empezamos a ver el ensayo en kiwis, en la variedad hayward. En este ensayo se probaron 7 quelatos diferentes en comparación con la planta sin tratar. Se realizó una aplicación para cada uno cuando apareció la clorosis.

Información general

Localización	Metaponto (sur de Italia)
Variedad	Hayward
Inversión [p/ha]	-
Nivel de ensayo	II



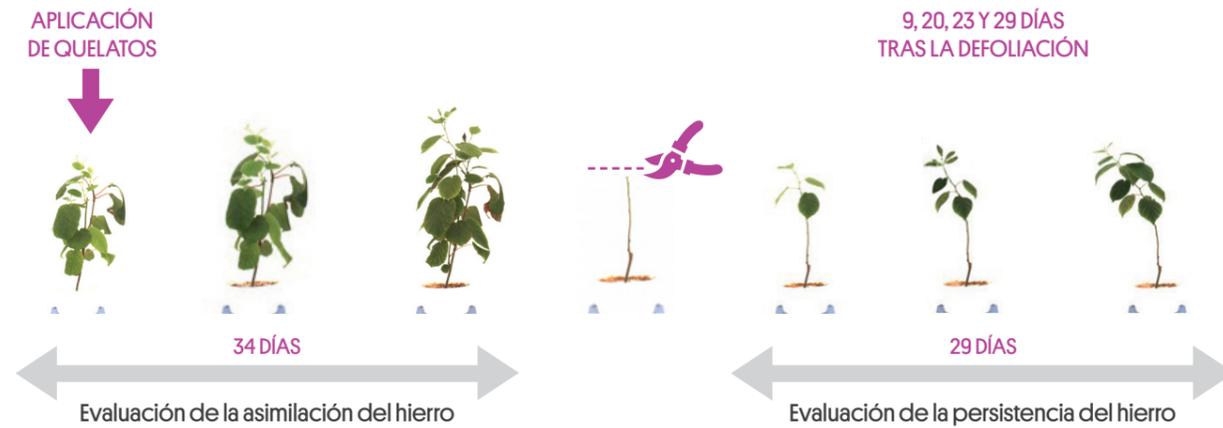
Fecha y fase de crecimiento de las aplicaciones

Nº	Tratamiento	Fecha	Fase de crecimiento
1º	A	04/07/2012	Cuando aparece la clorosis

Tratamientos

Tratamiento	Dosis	Nº de aplicaciones	Volumen de agua	Fecha de los tratamientos
FERRILENE 4,8	5 g/planta	1	100 ml/planta	A
TRIUM	5 g/planta	1	100 ml/planta	A
Testigo	-	-	-	-

En estos ensayos hemos evaluado la asimilación del hierro hasta 34 días después de la aplicación de los quelatos. Luego hemos retirado las hojas para evaluar la persistencia del hierro en el suelo hasta 29 días después de la defoliación. En ambos casos se detectó biomasa digital, aumento de las clases de color y baja fluorescencia. Empezamos a ver la evaluación de la asimilación del hierro.

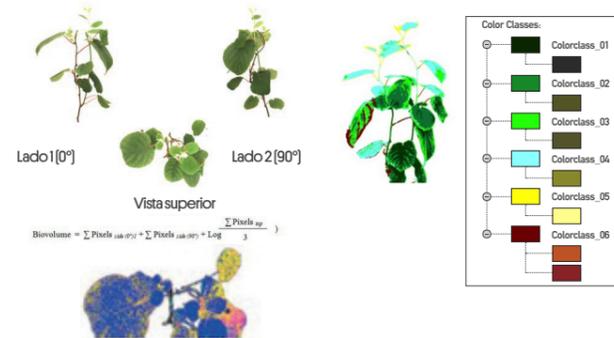


1. RGB [Red-Green-Blue] → crecimiento y color

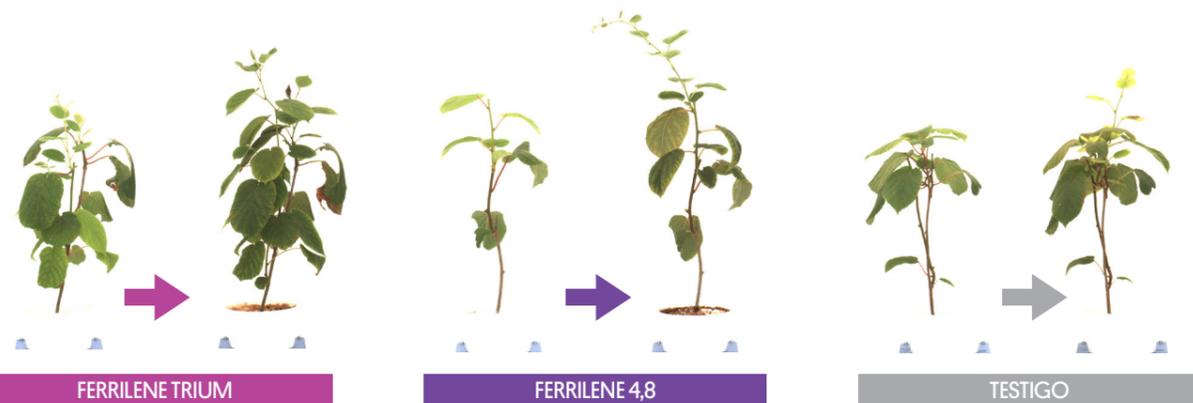
- Biomasa digital
- Aumento de las clases de color

2. UV [ultra violeta] → actividad fotosintética

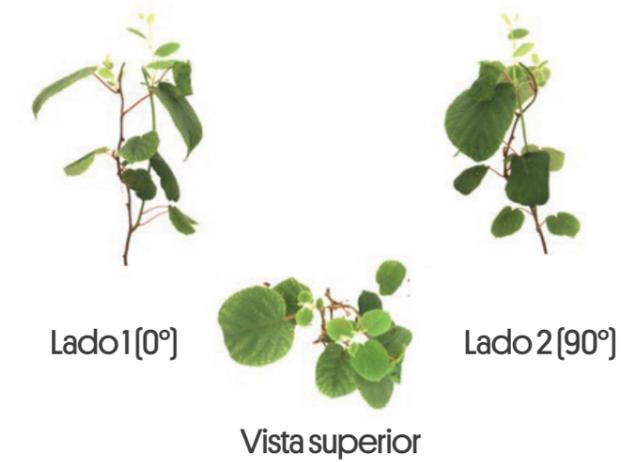
- Baja fluorescencia



RGB: EVALUACIÓN DE LA ASIMILACIÓN DEL HIERRO – BIOMASA DIGITAL

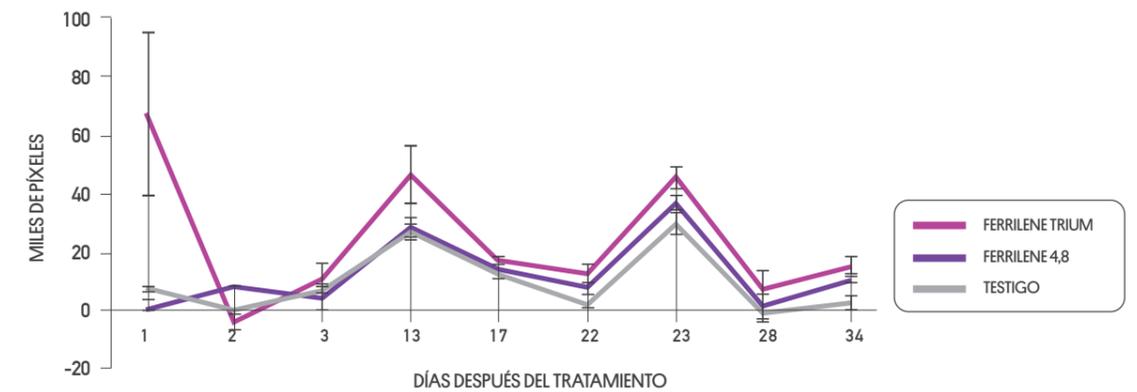


Estas imágenes se hicieron en la cámara RGB antes de la aplicación. Veamos el crecimiento de la planta tras la aplicación de quelatos. Esta es la situación 34 días después de la aplicación. Como se puede ver el testigo mostró algunas hojas apicales amarillas en comparación con otros tratamientos.



$$\text{Biovolum} = \frac{\sum \text{Pixels}_{\text{side}(0^\circ)} + \sum \text{Pixels}_{\text{side}(90^\circ)} + \text{Log} \frac{\sum \text{Pixels}_{\text{top}}}{3}}{3}$$

Con la cámara RGB hemos hecho 3 imágenes diferentes para cada tratamiento: de lado, vista superior y de lado de 90 grados; que a través de esta fórmula la estación informática ha calculado la biomasa digital.



El prototipo Ferrilene 4,8 mostró el mejor resultado en términos de biomasa digital. Luego hemos evaluado el aumento de las clases de color desde el verde oscuro hasta el marrón.



AUMENTO DE LAS CLASES DE COLOR

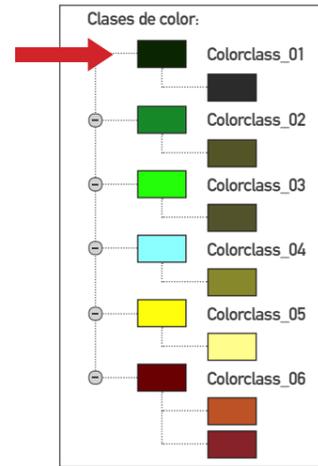
FERRILENE TRIUM



FERRILENE 4,8

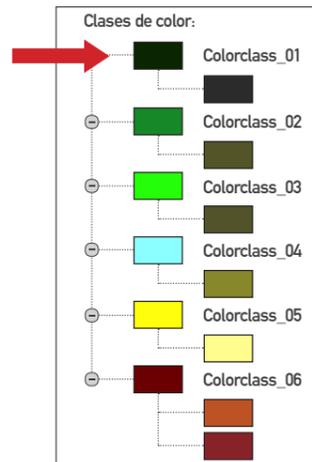
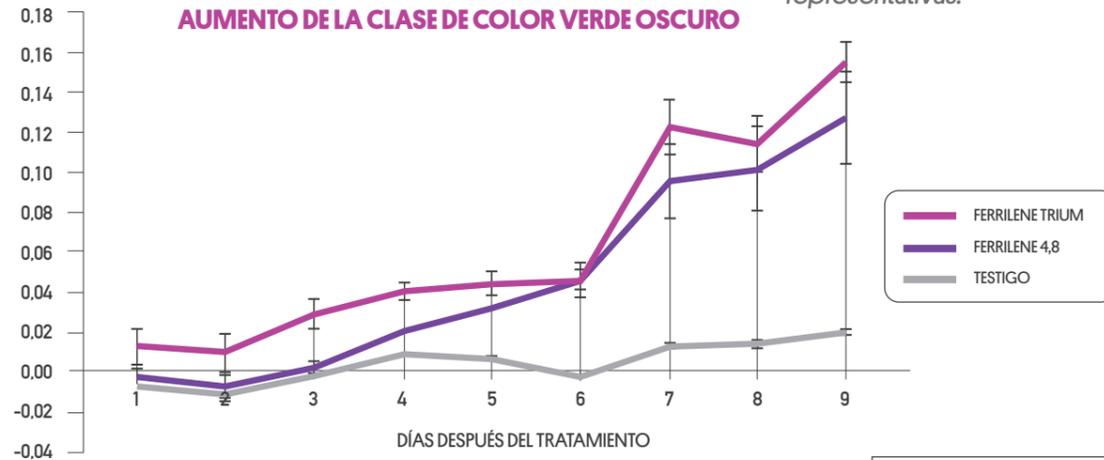


TESTIGO



Estas imágenes son una muestra de la situación inicial antes de los tratamientos... mientras que las otras se hicieron 34 días después de la aplicación. Ahora veremos los resultados sobre el aumento de la clase de color verde oscuro y amarillo que son las clases de color más representativas.

AUMENTO DE LA CLASE DE COLOR VERDE OSCURO



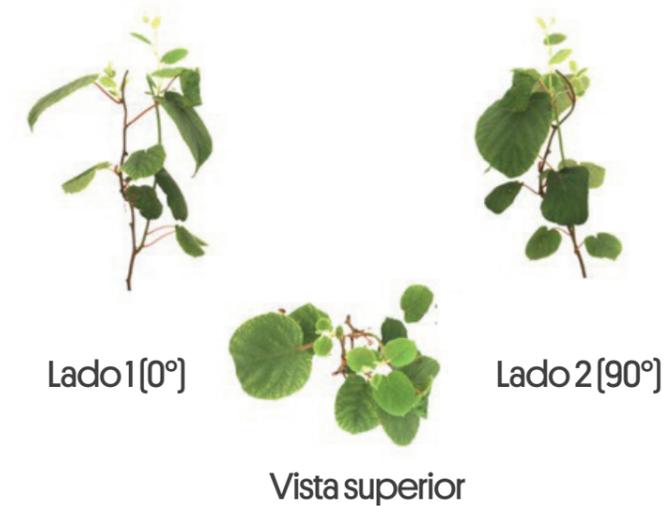
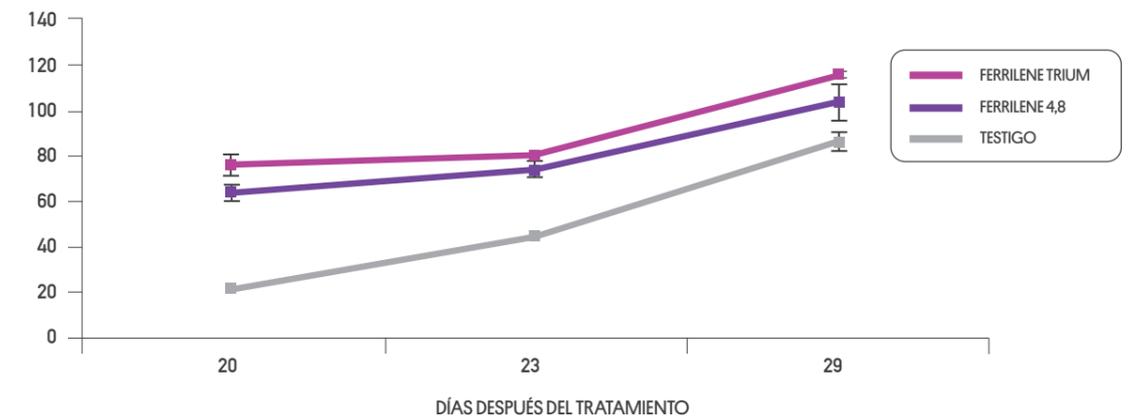
El primer grupo de quelatos que incluye Ferrilene 4,8 y Ferrilene Trium fue el que mostró los mejores resultados.

RGB: EVALUACIÓN DE LA PERSISTENCIA - BIOMASA DIGITAL

Ahora vamos a ver la persistencia del hierro en el suelo tras la defoliación de las plantas.



Esto es con la cámara RGB... donde es posible ver una clara diferencia entre las plantas tratadas y la no tratada que mostró mucha clorosis.

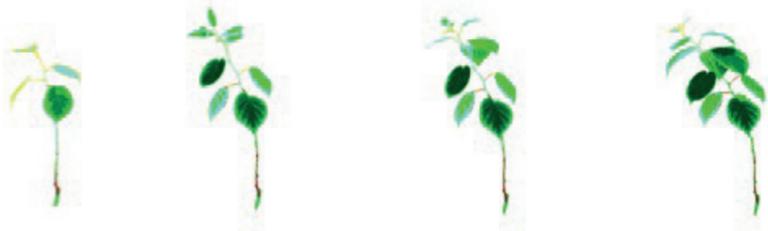


$$\text{Biovolumen} = \sum \text{Pixels}_{\text{side}(0^\circ)} + \sum \text{Pixels}_{\text{side}(90^\circ)} + \text{Log} \left(\frac{\sum \text{Pixels}_{\text{top}}}{3} \right)$$



AUMENTO DE LAS CLASES DE COLOR

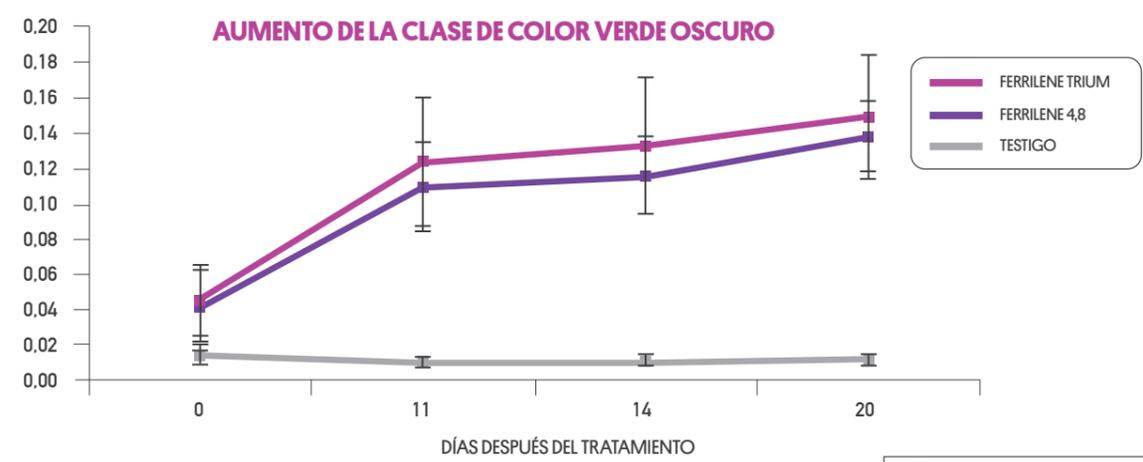
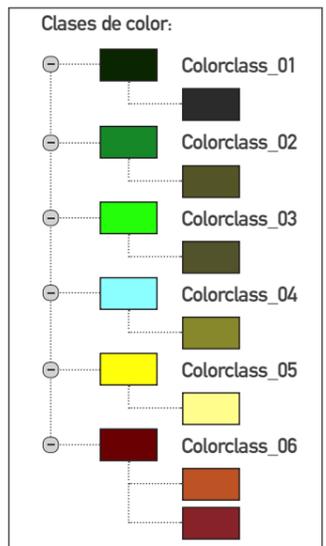
FERRILENE TRIUM



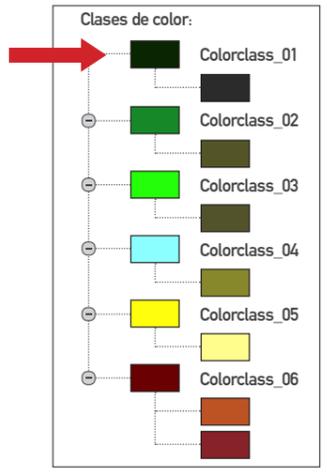
FERRILENE 4,8



TESTIGO



Todos los prototipos han aumentado la clase de verde oscuro.



7
Ensayos agronómicos

FERRILENE 4,8 Melocotón

LOCALIZACIÓN
Catania - Italia

VARIEDAD
Baby gold 7

MÉTODO DE APLICACIÓN
Fertirrigación localizada



Información sobre el cultivo y descripción del suelo

ID Ensayo:
FERRILENE 12.OPEAC.01ITA_X



Distancia entre líneas	4,5 m
Distancia en filas	2,0 m
p/ha	1000



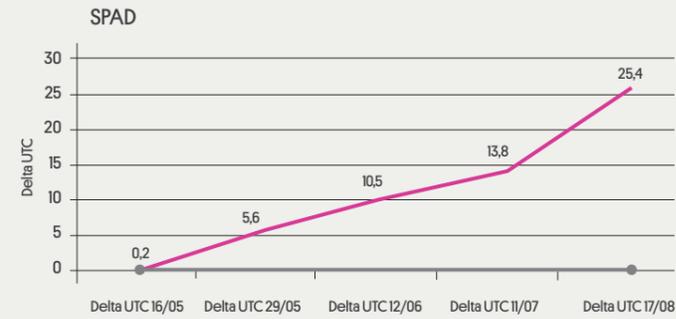
Suelos con un alto contenido en carbonatos y un pH elevado, en los que el hierro [Fe] no está disponible de forma natural para la planta, y es necesario complementarlo en el suelo con fertilizantes quelatantes de hierro.

Protocolo de ensayo

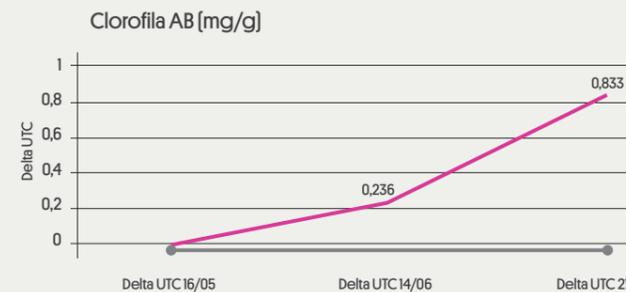
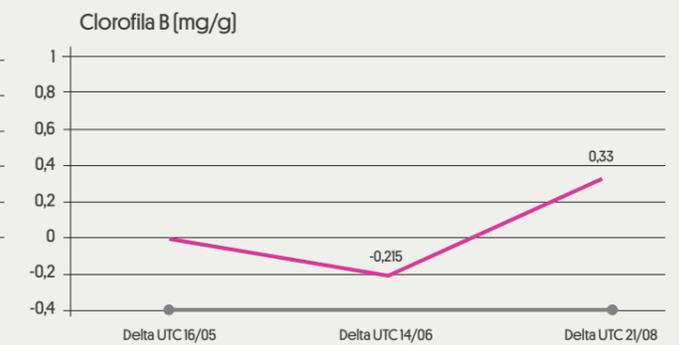
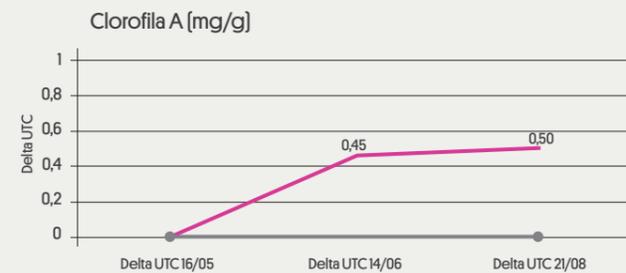
PRODUCTO	Nº de aplicaciones	Dosis [kg/ha]	1ª aplicación	2ª aplicación	3ª aplicación
TESTIGO	-	-	-	-	-
FERRILENE 4,8	3	5	16/05 Desarrollo del fruto	29/05	26/06

La distribución de las aplicaciones de fertilizantes se realizaron con niveles de producción normales. Se realizaron aplicaciones de mantenimiento de herbicidas antes y después de la emergencia en toda la zona del ensayo, según fuera necesario.

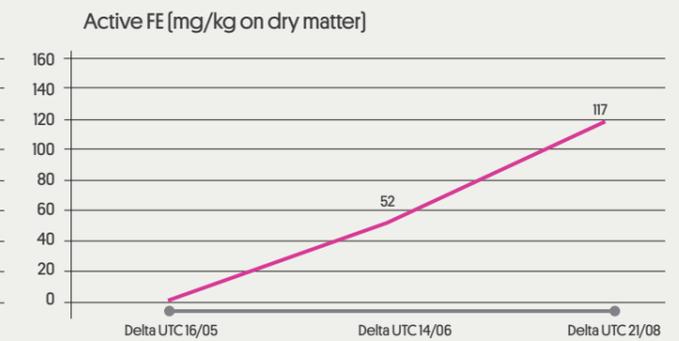
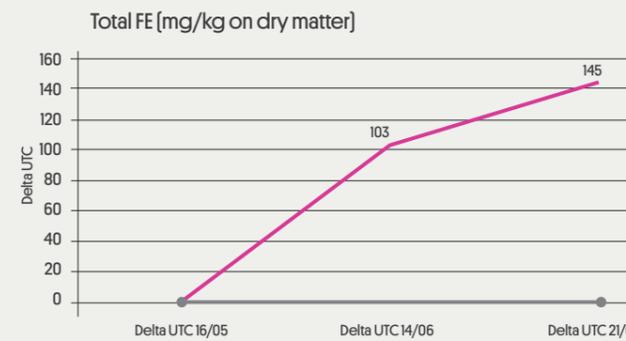
Resultados SPAD vs TESTIGO



Resultados CLOROFILA vs TESTIGO



Resultados FE (mg/kg) vs TESTIGO



FERRILENE TRIUM

Tomate - invernadero



LOCALIZACIÓN

Catania - Italia



VARIEDAD

Icram



MÉTODO DE APLICACIÓN

Fertirrigación localizada



Información sobre el cultivo y descripción del suelo

ID Ensayo:
FERRILENE12.VTOFR.01ITA_X



Distancia entre líneas	1,00 m
Distancia en filas	0,33 m
p/ha	30000

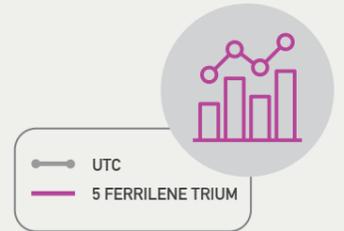
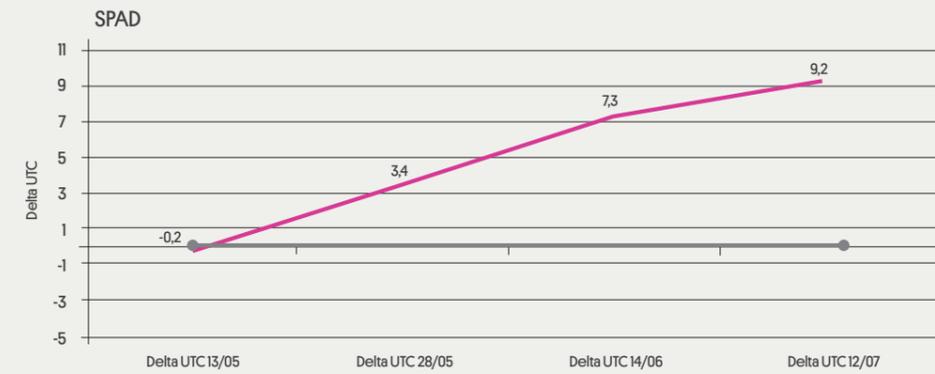


Suelos con un alto contenido en carbonatos y un pH elevado, en los que el hierro [Fe] no está disponible de forma natural para la planta, y es necesario complementarlo en el suelo con fertilizantes quelatantes de hierro.

Protocolo de ensayo

PRODUCTO	Nº de aplicaciones	Dosis [kg/ha]	1ª aplicación	2ª aplicación
TESTIGO	-	-	-	-
FERRILENE TRIUM	2	5	13/05 Floración - 6º racimo	16/06 Maduración - 1º Racimo

Resultados SPAD vs TESTIGO



FERRILENE

Uva de mesa

LOCALIZACIÓN
Catania - Italia

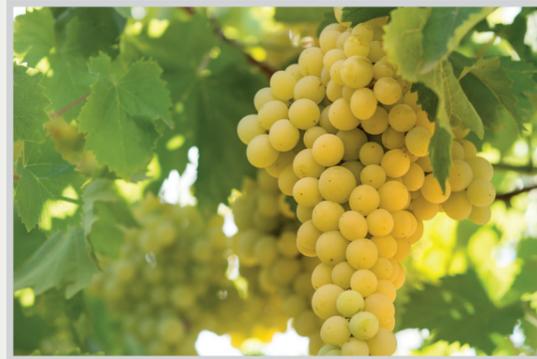
VARIEDAD
Italia

MÉTODO DE APLICACIÓN
Fertirrigación localizada



Información sobre el cultivo y descripción del suelo

ID Ensayo:
FERRILENE12.OGRTA.0IITA_X



Distancia entre líneas	3,00 m
Distancia en filas	3,00 m
p/ha	1000

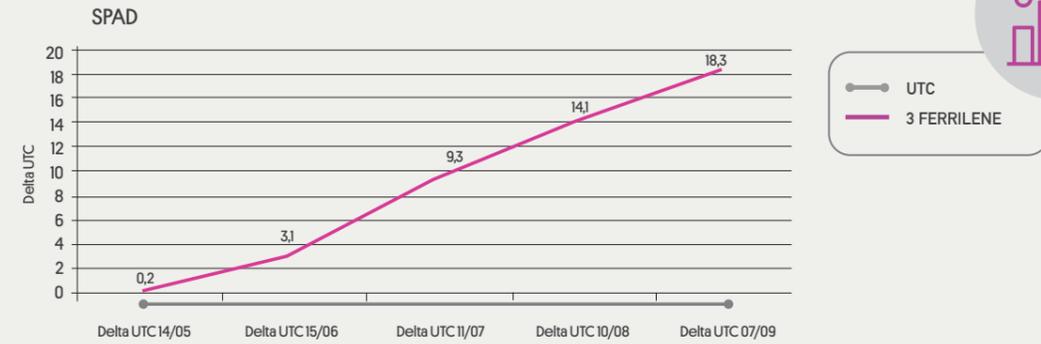


Suelos con un alto contenido en carbonatos y un pH elevado, en los que el hierro [Fe] no está disponible de forma natural para la planta, y es necesario complementarlo en el suelo con fertilizantes quelatantes de hierro.

Protocolo de ensayo

PRODUCTO	Nº de aplicaciones	Dosis [kg/ha] 1ª aplicación	Dosis [kg/ha] 2ª aplicación	1ª aplicación	2ª aplicación
TESTIGO	-	-	-	-	-
FERRILENE	2	5	10	24/05 Floración	11/07 Desarrollo del fruto

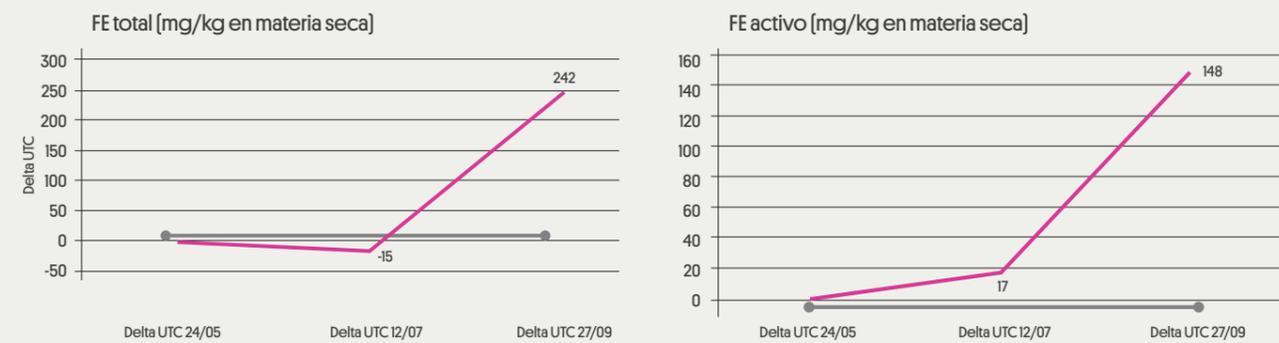
Resultados SPAD vs TESTIGO



Resultados CLOROFILA vs TESTIGO



Resultados FE (mg/kg) vs TESTIGO



FERRILENE 4,8

Pera



LOCALIZACIÓN

Ferrara - Italia



VARIEDAD

Abate Fétel



MÉTODO DE APLICACIÓN

Fertirrigación localizada



Información sobre el cultivo y descripción del suelo

ID Ensayo:
FERRILENE12.OPEAR.01ITA_X



Distancia entre líneas	3,30 m
Distancia en filas	0,70 m
p/ha	4329



Suelos con un alto contenido en carbonatos y un pH elevado, en los que el hierro [Fe] no está disponible de forma natural para la planta, y es necesario complementarlo en el suelo con fertilizantes quelatantes de hierro.

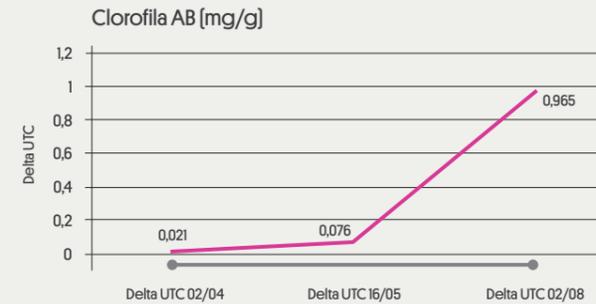
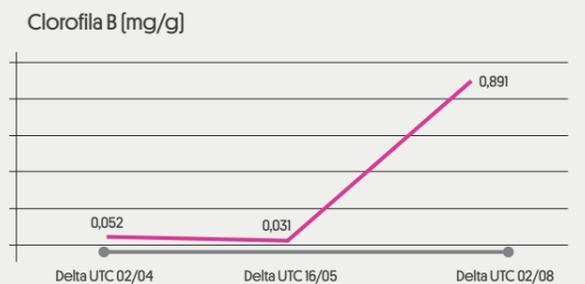
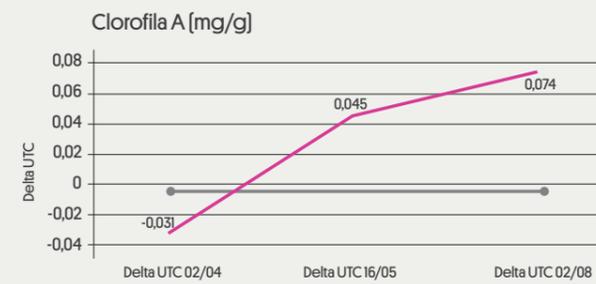
Protocolo de ensayo

PRODUCTO	Nº de aplicaciones	Dosis (kg/ha) 1ª aplicación	1ª aplicación
TESTIGO	-	-	-
FERRILENE 4,8	1	20	25/04 Floración

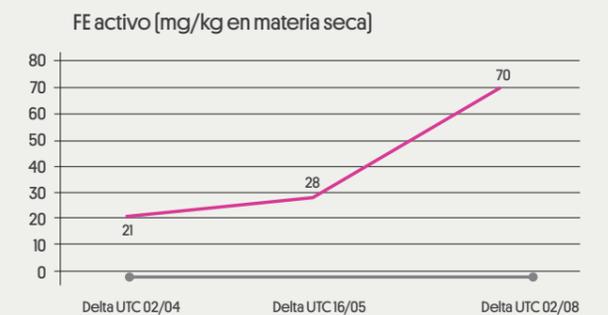
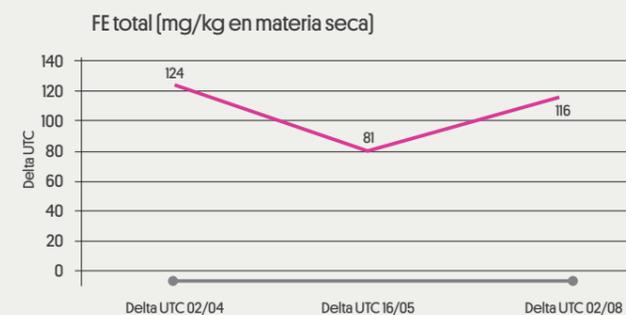
Resultados SPAD vs TESTIGO



Resultados CLOROFILA vs TESTIGO



Resultados FE (mg/kg) vs TESTIGO



FERRILENE TRIUM

Uva de vino



LOCALIZACIÓN

San Michele all'Adige - Italia



VARIEDAD

Cabernet franc



MÉTODO DE APLICACIÓN

Fertirrigación localizada



Información sobre el cultivo y descripción del suelo

ID Ensayo:
FERRILENE12.OGRWI.0IITA_MACH_X



Distancia entre líneas	2,2 m
Distancia en filas	0,9 m
p/ha	5050



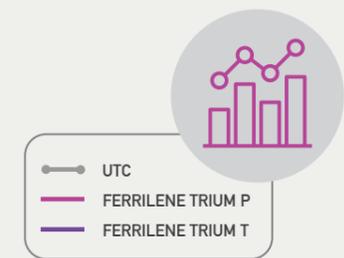
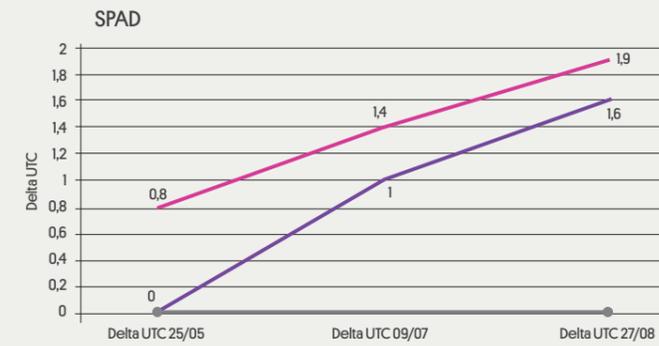
Suelos con un alto contenido en carbonatos y un pH elevado, en los que el hierro [Fe] no está disponible de forma natural para la planta, y es necesario complementarlo en el suelo con fertilizantes quelatantes de hierro.

% Arena	58	P ₂ O ₅ ppm	80
% Limo	34	K ₂ O ppm	75
% Arcilla	8	MgO ppm	230
pH	7.8	CaCO ₃ %	60
Sustancia orgánica %	2.8	CEC meq/100 gr	13

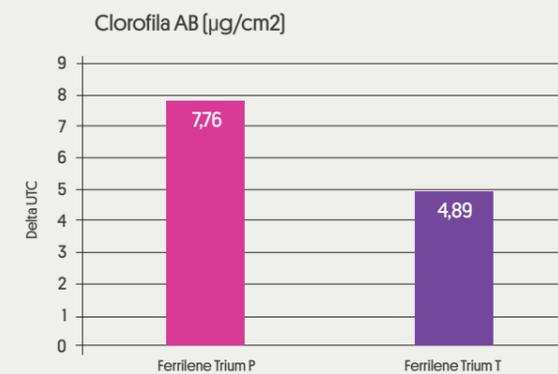
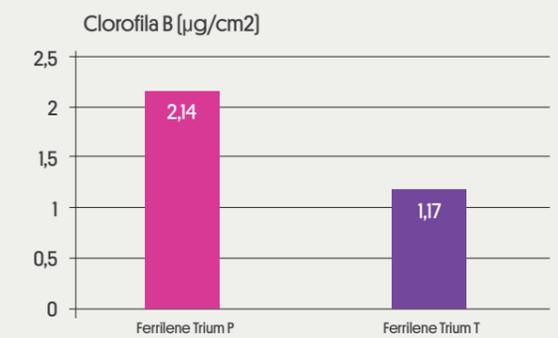
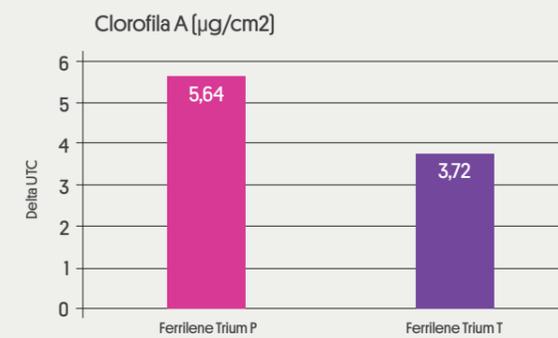
Protocolo de ensayo

PRODUCTO	Nº de aplicaciones	Dosis [kg/ha]	1ª aplicación
TESTIGO	-	-	-
FERRILENE TRIUM P (Tratamiento previo)	1	10	26/04
FERRILENE TRIUM T (Tratamiento tardío)	1	10	07/06

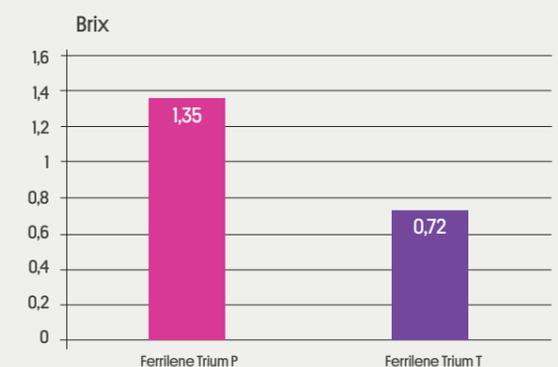
Resultados SPAD vs TESTIGO



Resultados CLOROFILA vs TESTIGO



Resultados





8

Bibliografía

Abadía J. 1998. Absorción y transporte de Fe en las plantas. Pp.: Xiii-xxiv. En: actas del VII simposio nacional-III ibérico sobre nutrición mineral de las plantas. Ed. Universidad autónoma de Madrid. Madrid, España.

Abadía a, sanz m, de las rivas j y abadía j. 1989. Photosynthetic pigments and mineral composition of Fe deficiency pear leaves. J. Plant Nutr. 12:827-838.

Alam, s.; Kamei, s.; Kawai, s. 2001. Effects of iron deficiency on the chemical composition of the xylem sap of barley. Soil Sci. Plant Nutr. 47(3): 643-649.

Álvarez-fernández a. 2000. Calidad y eficacia de quelatos férricos [Fe-EDDHA, Fe-EDDHA, Fe-EDDHA y Fe-EDDHA] como fertilizantes. Tesis doctoral. Pp.:463. Universidad autónoma de Madrid.

Álvarez-fernández a, cremonini m a, sierra m a, placucci g y lucena j j. 2002A. Nature of impurities in fertilizers containing EDDHA/Fe³⁺, EDDHA/Fe³⁺ and EDDHA/Fe³⁺ chelates. J. Agri. Food Chem. 50(2):284-290.

Álvarez-fernández a, sierra m a y lucena j j. 2002B. Reactivity of synthetic Fe chelates with soils and soil components. Plant Soil 241(1):129-137.

Álvarez-fernández a, abadía a, abadía j y lucena j j. 2003A. Diagnóstico y corrección de la clorosis férrica. En: I Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal-Agro Latino. Nutri-Fitos 2003. Tomo 2. Pp.:158-166.

Alvarez-Fernandez, et al., 2006; Chen and Barak, 1982; Hansen, et al., 2006; Mortvedt, 1991

Awad, f., Römhild, v., Marschner, h. 1988. Mobilization of ferric iron from a calcareous soil by plant-borne chelators. J. Plant Nutr. 11:701.

Becker, r.; Grün, m; scholz, g. 1992. Nicotinamide and the distribution of iron in the apoplast and symplast of tomato [*Lycopersicon esculentum* Mill] planta. 187: 48-52.

Beinert, h.; Kennedy, m. C. 1989. Engineering of protein bound iron-sulfur clusters. A tool

for the study of protein and cluster chemistry and mechanism of iron-sulfur enzymes. Eur. J. Biochem. 186: 5-15.

Bienfait h f. 1985. Regulated redox processes at the plasmalemma of plant root cells and their function in iron uptake. J. Bioenerg. Biomembr. 17(2):73-83.

Bienfait h f. 1988B. Proteins under control of the gene for Fe efficiency in tomato. Plant Physiol. 88(3):785-787.

Black, R.E.; Allen, L.H.; Bhutta, Z.A.; Caulfield, L.E.; de Onis, M.; Ezzati, M.; Mathers, C.; Rivera, J. Maternal and child undernutrition: Global and regional exposures and health consequences. Lancet 2008, 371, 243-260

Brown j, c.; jolley v. D. 1988. Strategy i strategy ii mechanism affecting iron availability to plants may be established too narrow or limited. J. Plant Nutr. 11:1077-1098.

Brüggemann w, maas-kantel k y moog p r. 1993. Iron uptake by leaf mesophyll cells: the role of the plasma membrane-bound ferric-chelate reductase. Planta 190(2):151-155.

Cambell, w.H. Y redinbaugh, m.G. 1984. Ferric-citrate reductase activity of nitrate reductase and its role in iron assimilation by plants. J. Plant Nutr. 7:799-806.

Chaney r I. 1984. Diagnostic practices to identify iron-deficiency in higher plants. J. Plant Nutr. 7(1-5):47-67.

Charlson d v, cianzio s r y shoemaker r c. 2003. Associating SSR markers with soybean resistance to iron deficiency chlorosis. J. Plant Nutr. 26(10-11):2267-2276.

Chen y y barak p. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. Adv. Agron. 35:217-240.

Chen y. 1997. Remedy of iron deficiency - present and future. En: abstracts 9th international symposium on iron nutrition and interactions in plants. Pp.: III. Hohenheim, stuttgart, Germany.

Curie c, panaviene z, loulergue c, dellaporta s I, briat j f y walker e I. 2001. Maize yellow

stripe 1 encodes a membrane protein directly involved in Fe(III) uptake. Nature 409(6818):346-349.

De la guardia m d y alcántara e. 1996. Ferric chelate reduction by sunflower [*Helianthus annuus* L.] Leaves: influence of light, oxygen, iron-deficiency and leaf age. J. Exp. Bot. 47(298):669-675.

Droillard, m. J.; Paulin, 1990. Isoenzymes of superoxide dismutase in mitochondria and superoxide isolated from petals of carnation [*Dianthus caryophyllus*] during senescence. Plant Physiol 94:1187-1192.

FAO; IFAD; WFP. The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 International Hunger Targets: Taking Stock of Uneven Progress 2015. Available online: <http://www.fao.org/3/a-i4646e.pdf> [accessed on 10 August 2020].

Fox, t.C. Y guerinot, m.L. 1998. Molecular biology of cation transport in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49:669-696.

Fox, t.C.; Shaff, j.E.; Grusak, m.A.; Norvell, w.A.; Chen, y.; Chaney, r.L. Y kochian, I.V. 1996. Direct measurement of ⁵⁹Fe-labeled Fe²⁺ influx in roots of pea using a chelator buffer system to control free Fe²⁺ in solution. Plant Physiol. 111:93-100.

Gonzalez-vallejo, e.B.; Susin, s.; Abadía, a; abadía, j. 1998. Changes in sugar beet leaf plasma membrane Fe(III)-chelate reductase activities mediated by deficiency, assay buffer composition, anaerobiosis and the presence of flavins. Protoplasma. 205:163-168.

Guerinot m I y yi y. 1994. Iron: nutritious, noxious and not readily available. Plant Physiol. 104(3):815-820.

Guggenheim, K.Y. Chlorosis: The Rise and Disappearance of a Nutritional Disease. J. Nutr. 1995, 125, 1822-1825.]]

Hansen n c, jolley v d, berg w a, hedges m e y krenzer e g. 1996. Phytosiderophore release related to susceptibility of wheat to iron deficiency. Crop Sci. 36(6):1473-1476.

Hell r y stephan u w. 2003. Iron uptake,

trafficking and homeostasis in plants. *Planta* 216(4):541-551.

Herbik a, giritch a, horstmann c, becker r, balzer h j, bäumlein h y stephan u w. 1996. Iron and copper nutrition-dependent changes in protein expression in a tomato wild type and the nicotianamine-free mutant chloronerva. *Plant physiol.* 111(2):533-540.

Holden m j, luster d g, chaney r l, buckhout t j y robinson c. 1991. Fe³⁺ - chelate reductase activity of plasma membrane isolated from tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.) Roots- comparison of enzymes from fedeficient and fe-sufficient roots. *Plant physiol.* 97(2):537-544.

Hopkins, b. G.; Jolley, v. D.; Brown, j. C. 1992. Plant utilization of iron solubilized by oat phytosiderofore. *J. Plant nutr.* 15:1599-1612.

Hsu, w.; Miller, g. W.; 1968. Iron in relation to acotinase hydratase activity in glycine max. *Merr. Biochim. Biophys. Acta* 15: 711-713.

Hughes, d.F., V.D. Jolley and j.C. Brown. 1992. Roles for potassium in the iron-stress response mechanisms of strategy i and strategy ii plants. *J. Plant nutr.* 15: 1821-1839.

Jolley, v.D.; Brown, j.C.; Blaylock, m.; Camp, s. 1988. A role for potassium in the use of iron in plants. *J. Plant nutr.* 11: 1159-1175.

Jones d I. 1998. Organic acids in the rhizosphere-a critical review. *Plant soil* 205(1):25-44.

Kawai s y alam s. 2005. Iron stress response and composition of xylem sap of strategy ii plants. Pp.: 289-309. En: iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms: iron in plants and microbes. Barton, I. L. And abadía, j. Eds.; Kluwer academic publishers: dordrecht, the netherlands.

Kawai, s.; Kamei, s.; Matsuda, y.; Ando, r.; Kond, s.; Ashizawa, a.; Alam, s. 2001. Concentrations of iron and phytosiderophores in xylem sap of iron-deficient barley plants. *Soil sci. Plant nutr.* 47 (2): 265-272.

Kawai s, takagi s i y sato y. 1988. Mugineic

acid-family phytosiderophores in rootsecretions of barley, corn and shorgum varieties. *J. Plant nutr.* 11(6-11):633-642.

Klem-Marciniak, E.; Huculak-Maczka, M.; Marecka, K.; Hoffmann, K.; Hoffmann, J. Chemical Stability of the Fertilizer Chelates Fe-EDDHA and Fe-EDDHA over Time. *Molecules* 2021, 26, 1933. <https://doi.org/10.3390/molecules26071933>.

Kobayashi, t.; suzuki, m.; Inoue, h.; Itai, r. N.; Takahashi, m.; Nakanishi, h.; Mori, s.; Nishizawa, n. K. 2005. Expression of iron-acquisition-related genes in iron-deficient rice is co-ordinately induced by partially conserved iron-deficiency-resposive elements. *J. Exp. Bot.* 56: 1305-1316.

Kobayashi,t.; Nishizawa, n. K.; Mori, s. 2006. Molecular analysis of iron-deficient graminaceous plants. In iron nutrition in plants and rhizospheric microorganism. (L. L. Barton; j. Abadía [eds]). Springer. Isbn-101-4020-4742-8 (hb). Netherlands. 395-435.

Laulhere j p.; Briat j f. 1993. Iron release and uptake by plant ferritin : effects on ph, reduction and chelation. *Biochem. J.* 290: 693-699.

Lindsay, w.L. 1979. Chemical equilibria in soils. Ed. John and sons n.Y. Isbn 0-471-02704-9.

Lindsay, w.L. 1991. Iron oxide solubilization by organic matter and its effect on iron availability. *Plant soil* 130:27-34.

Lindsay w l y schwab a p. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J. Plant nutr.* 5(4-7):821-840.

Lobreaux, s. Briat, j. F. 1991. Ferritin accumulation and degradation in diferents organs of pea (*pisum sativum*) during development. *Biochem. J.* 274: 601-606.

López millan, a, f.; morales, f.; Abadía, a.; Abadía a.; Abadía, j. 2000^a. Effects of iron deficiency on the composition of the leaf apoplastic fluid and xylem sap in sugar beet. Implications for iron and carbon transport. *Plant physiol.* 124: 873-884.

López-millán a f. 2000. Adquisición y

transporte de hierro en plantas. Tesis doctoral. Pp.: 236. Estación experimental de aula dei. Csic. Zaragoza, españa.

Lucena j j. 2000A. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron chlorosis. A review. *J. Plant nutr.* 23(11-12):1591-1606.

Lucena j j. 2003. Fe chelates for remediation of fe chlorosis in strategy i plants. *J. Plant nutr.* 26(10-11):1969-1984.

Lucena j j. 2005. Iron fertilizers in correcting iron deficiencias in plants. Pp.: 105-130. En: iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms: iron in plants and microbes. Barton, I. L. And abadía, j. Eds.; Kluwer academic publishers: dordrecht, the netherlands.

Marschner, h., Röemheld, v., Kissel, m. 1986. Diferent strategies in higher plants in movilization and uptake of iron. *J. Plant nutrition* 9 695-713.

Marschner, h. 1995. Mineral nutrition in higher plants. Academic press. Isbn 012-473542-8.

Mengel, k.; Bübl, w. 1983. Verteilung von eisen in blättern von weinreben mit hco₃-induzierter chorose. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, 145: 261-267.

Mengel, k. Kirkby, a.E. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer academic publishers. Isbn 0-7923-7150-k (hb. Isbn 1-4020-008-1[pb]).

Mengel, k. Malissiovas, n. 1982. Light dependent proton excretion by roots of entire vine plants (*vitis vinifera* l.) *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, 145: 261-267.

Miller, r. W.; Pushnik, j. C.; Welkie, g. W. 1984. Iron chlorosis, a world wide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. *J. Plant nutr.* 7:1-22.

Mori, s.; Nishizawa, n.; Hagashi, h.; Chimo, m.; Yoshimura, e.; Ishihara, j. 1991. Why are young rice plants highly susceptible to iron deficiency?. *Plant soil.* 130: 143-156.

Moog p r y brüggemann w. 1994. Iron reductase systems on the plant

plasmamembrane- a review. *Plant soil* 165(2):241-260.

Murad, e.; Fisher, w r. 1988. The geobiochemical cycle of iron. In iron in soils and clay minerals. (J. W. Stucki, et al. Eds). D. Reidel publishing ccompany: 1-18 pp.
Nagarathana, k. C.; Shetty, a.; Bhar, s. G.; Shetty h. S. 1992. The possible involment og lipoxxygenase in downy mildew resistance in peral miller. *J. Exp. Bot.* 43:1283-1287.

Nikolic, m. 1998. The role of the redox systems in uptake and traslocation og iron by higher plants. *Lugoslav. Physiol pharmacol. Acta* 34 (2): 479-489.

Nishizawa, n., Mori, s. 1987. The particular vesicle appearing in the barley root cells and its relation to muginei acid secretion. *J. Plant nutr.* 10:1013.1020.

Pestana m, vareennes a y aráujo faria e. 2003. Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: a review. *Food, agriculture & enviroment* 1(1):46-51.

Pich a, hillmer s, manteuffel r, scholz g. 1997. First immunohistochemical localization of the endogenous Fe²⁺ -chelator nicotianamine. *J. Exp. Bot.* 48(308):759-767.

Rabotti, g. Y zocchi, g. 1994. Plasma membrane-bound h⁺ -atpase and reductase activities in fe-deficient cucumber roots. *Physiol. Plant.* 90:779-785.

Rombolà, a. D.; Brüggeman,; López-millán, a. F.; Tagliavini, m.; Marangoni, b.; Moog, p. R. 2000. Iron source affects iron reduction and re-greening of kiwifruit [actinicia deliciosa] leale. *J. Of plant nutrition*, 23:1751-1765.

Rombolà, a. D.; Brüggemann, w.; López-millan, a. F.; Tagliavini, m.; Abadía, j.; Marangoni, b.; Moog, p. R. 2002. Biochemical responses to iron deficiency in kiwifruit [actinidia deliciosa]. *Tree physiology.* 22: 869-875.

Römheld, v. 1987. Existence of two difference strategies for the acquisition of iron in higher plants. Pp 353-374. In iron transport in microbes, plant and animals. G. Winkelmann, d. Van der helm, j. B. Neiland. Vch-verlag. Weinheim.

Römheld v y marschner h. 1986. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. Pp.: 155-204. En: advance in plant nutrition. Vol.2. Tinker b. Y laüchli a. Eds; praeger scientific, new york.

Römheld, v., Marschner, h. 1990. Genotypical differences among graminaceous species in release of phytosiderophores and uptake of iron phytosiderophores. *Plant soil.* 123:147-153.

Römheld, v. Y marschner, h. 1991. Functions of micronutrients in plants. En: micronutrients in agriculture, 2^o ed. J.J. Mordvedt, f. R. Cox, I. M. Shuman and r. M. Welch, [eds.]. Sssa book series, n^o4, Madison, wi. Usa. Pp:297-328.

Rout and Sahoo, *Reviews in Agricultural Science*, 3:1-24, 2015. doi:10.7831/ras.3.1

Sánchez-andreu j, jordá j y juarez m. 1991. Reactions of feedta and feeddha applied to calcareous soils. Pp.: 57-62. En: iron nutrition and interactions in plants. Chen, y. And hadar, y; Kluwer academic publishers: dordrecht, the netherlands.

Schlee, d.; Reinbothe, d.; fritsche, w. 1968. Der einfluss von eisen auf den purinstoffwechsel und die rivoflavinbildung von canadida guilliermondii [cast]. *Lang et g. Allg. Mikrobiol* 8: 127-138.

Schwertmann, u.; 1991. Solubility and dissolution of iron oxides. In iron nutrition and interactions inplants. (Y. Chen; y. Hadar). Kluwer academic publishers isbn 0-7923-1095-0: 3-27.

Schwertmann, u.; Taylor, r. M. 1989. Iron oxides. In mineral in soil environments 2nd edition) (j. B. Dixon; s. B. Weed eds). Soil science society of america. 677 South segoe road madison. Wl 53711. Usa. Ssa book series. No.1: 379-438.

Shi y, byrne d h, reed d w m y loeppert r h. 1993. Iron chlorosis development and growth response of peach rootstocks to bicarbonate. *J. Plant nutr.* 16(6):1039-1046.

Siebner-freibach h, hadar y y chen y. 2004. Interaction of iron chelates with clay minerals. *Soil sci. Soc. Am. J.* 68(2):470-480.

Smith, b. N. 1984. Iron in higher plants: storage and metabolic rate. *J. Plant nutr.* 7: 729-766.

Susin, s.; Abadía, a.; Gonzales-reyes, j. A.; Lucena, j. J.; Abadía, j. 1996. The ph requirement for in vivo activity of the iron-deficiencyinduced "turbo" ferric chelate reductase. A comparison of the iron-dificiency-induced iron reductase activities of intact plants and isolated plasma membrane fractions in sugar beet. *Plant physiology.* 110: 111-123.

Somers, i. l., Gilbert, s. G., And shive, j. W. 1942. The iron-manganese ratio in relation to the respiratory CO₂ and the deficiency toxicity symptoms in soybeans. *Plant physiol.* 17: 317-320.

Stephan w y scholz g. 1993. Nicotinamine: mediator of transport of iron and heavy metals in the phloem?. *Physiol. Plant.* 88:522-529.

Stephan, u. W.; 2002. Intra- andintercellular iron trafficking and subcellular compartmentation withn roots. *Plant and soil* 241: 522-529.

Takagi s, nomoto k y takemoto t. 1984. Physiological aspect of mugineic acid, a possible phytosiderophore of graminaceous plants. *J. Plant nutr.* 7(1-5):469-477.

Takagi, s. 1976. Naturally occurring iron-chelating compounds in oat- and rice-root washings. Activity measurement and preliminary characterization. *Soil sci. Plant nutr.* 22:423-433.

Terry n y abadía j. 1986. Function of iron in chloroplasts. *J. Plant nutr.* 9(3-7):609-646.

Theil, e. C. 1987. Ferritin: structure, gene regulation, and cellular function in animals, plants and microorganisms. *Annu. Rev. Biochem.* 56: 289-315.

Tiffin, l. O. 1970. Translocation of iron citrate and phosphorus in xylem exudates of soybean. *Plant physiol.* 45:280-283.

Toulon v, sentenac h, thibaud j b, davidian j c, moulineau c y grignon c. 1992. Role of





Síguenos en



Valagro S.p.a se encuentra en Ctra. de Murgis, 25
04710 Santa María del Águila, Almería [España]
Teléfono +34 950 58 32 60
www.valagro.com



Forma parte de la comunidad digital de Valagro.
Explora la nueva aplicación e-Hub.
¡Únete!

Win the Global challenge together.