

Clorosis férrica del olivo y técnicas de corrección más adecuadas

Factores relacionados con esta deficiencia y diferentes opciones para su control

Cuando las plantas sufren deficiencia de hierro (Fe) el efecto más visible se observa en las hojas más jóvenes, con un característico amarilleamiento internerval (**foto 1**). En los casos en los que la clorosis no se corrige, las hojas más jóvenes pueden llegar a ser completamente amarillas, su tamaño se reduce y los brotes afectados pueden llegar incluso a perder sus hojas. Las aceitunas de los brotes cloróticos adquieren tonos amarillos o verde claros (**foto 2**), no llegan a alcanzar el tamaño adecuado y pueden llegar a perder su forma característica. En estos casos, y cuando su destino es para aceituna de mesa, la industria no las acepta. En general, el vigor de los árboles afectados disminuye, haciéndose casi imposible el rejuvenecimiento de ramas viejas (**foto 3**) y disminuyendo la producción. En casos extremos, los árboles pueden llegar a ser improductivos o morir.

El olivo y la clorosis férrica

El olivo (*Olea europaea* L.) es un cultivo milenario y muy extendido en la actualidad por la cuenca mediterránea. De hecho, el 98% del

La clorosis férrica es una deficiencia de clorofila en hoja causada por un desarreglo en la nutrición de hierro (Fe). Existe clorosis férrica si los síntomas desaparecen cuando se fertiliza con productos que contengan Fe (por ejemplo, quelato de Fe) pero no N, S, Zn, Cu, Co u otros elementos, solos o en combinación.

M. C. del Campillo¹, V. Barrón¹, J. Torrent¹, M. Pastor², J. Castro², J. Hidalgo² y L. Camacho³.

¹ Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales, Universidad de Córdoba; ² CIFA de Córdoba; ³ Caja Rural de Jaén.

los olivos del mundo, que ocupan una superficie de 8,5 millones de hectáreas, se encuentra en España, Italia, Grecia, Turquía y Túnez. España es el primer productor mundial de aceite de oliva y de aceituna de mesa. Prácticamente hay olivar en todas las comunidades autónomas de España, pero en Andalucía es donde se concentra el 60% de olivos, que repre-

sentan un 80% de la producción nacional.

El olivo es un árbol muy longevo, de gran rusticidad y capacidad de adaptación. Se puede cultivar en una amplia gama de suelos y condiciones, incluyendo los suelos ácidos y alcalinos. Es bastante tolerante a la salinidad y a la sequía, pero no lo es tanto al exceso de humedad en el suelo. En el sur de España, aproximadamente el 70% del olivar se cultiva en suelos calizos, que son, precisamente, los que tienen mayor potencial para inducir la clorosis férrica. Pero, además, en los últimos años, y debido a la política de ayudas al aceite de oliva en los países de la UE, se tiende a aumentar la productividad y calidad de la cosecha. Se están introduciendo prácticas como el riego por goteo, mejora de la fertilización, mayores densidades de plantación y cambio a variedades distintas de las autóctonas (cuya respuesta a largo plazo no es muy bien conocida en el caso de la susceptibilidad a la clorosis férrica). Todas estas circunstancias pueden contribuir a que el problema de la clorosis férrica se incremente en un futuro próximo.

Factores que afectan a la clorosis férrica

Factores de la planta relacionados con la clorosis férrica

Todas las plantas no se ven igualmente afectadas por la clorosis. Incluso cultivares distintos de una misma especie pueden diferir considerablemente en su sensibilidad a la clorosis, por lo que se habla de plantas susceptibles o resistentes a la clorosis. Estas últimas, han desarrollado mecanismos de respuesta a la deficiencia de hierro; las susceptibles no responden o no lo hacen con la misma intensidad que las resistentes. Se ha propuesto la existencia de dos tipos de estrategia frente a la deficiencia: la estrategia 1, que utilizan las dicotiledóneas y las monocotiledóneas no gramíneas (aumentan la secreción de protones a la rizosfera, la de sustancias reductoras y quelantes para obtener más Fe-II) y la estrategia 2, que usan las gramíneas (excretan fitosideróforos -aminoácidos- que movilizan el Fe-III inorgánico). En olivo, se ha observado la existencia de variedades más resistentes a la cloro-



Foto 1.
En el centro, hojas de olivos afectados por clorosis férrica. En los extremos, hojas no sanas. Obsérvese además la reducción del tamaño de las hojas.



Foto 2. Frutos cloróticos (izquierda) y de reducido tamaño procedentes de olivos Picual que mostraban síntomas de clorosis férrica. A la derecha, aceitunas de tonalidad verde intensa y de gran tamaño, procedentes de olivos en los que la clorosis se ha corregido empleando EDDHA-Fe. Finca "Los Robledos" en Santisteban del Puerto (Jaén).

sis, como Cornicabra, Hojiblanca y Nevadillo Negro, y más susceptibles, como Arbequina y Manzanilla de Sevilla, aunque se desconocen los mecanismos de resistencia. Los injertos sobre patrones como Cornicabra, Hojiblanca y Nevadillo Negro pueden conferir tolerancia a las variedades injertadas sobre ellas.

Factores del suelo relacionados con la clorosis férrica

La clorosis férrica raramente está causada por una deficiencia absoluta de hierro (Fe). El contenido total de Fe en suelo (20.000-30.000 mg/kg) supera, con mucho, las necesidades de las plantas (0,5 mg/kg). Por lo tanto, cualquier factor que afecte a la movilización de Fe disponible para la planta estará relacionado con la clorosis. En el suelo, las formas de Fe y sus propiedades (como mineralogía y cristalinidad) influyen en la cantidad de hierro disponible para la planta. Las propiedades del suelo que afecten al pH de la solución del suelo (como el tamaño de partícula de los carbonatos) van a incidir, también, en la solubilidad de los compuestos de Fe y, por tanto, van a estar relacionados con la clorosis.

- Propiedades de las formas de hierro. La concentración, mineralogía y cristalinidad de los óxidos de Fe presentes en el suelo afecta a la disponibilidad de Fe para la planta. De todos los óxidos de Fe, los no cristalinos son los que tienen mayor reactividad superficial por lo que constituyen la forma de Fe inorgánico más fácilmente movilizable por la planta. El contenido de óxidos de Fe no cristalinos disueltos con oxalato amónico a pH 3 (Fe_0) siempre ha estado correlacionado positivamente con el contenido de clorofila medido en planta. Se han determinado así los niveles críticos de Fe_0 , que separan los suelos inductores de clorosis fé-

rrica de los no inductores. Valores típicos aproximados son 0,65 g/kg para garbanzo; 0,60 g/kg, para soja; 0,50 g/kg, para sorgo; 1,0 g/kg, para melocotonero; y 0,30 g/kg, para olivos Picual, Manzanilla y Hojiblanca.

- Propiedades de los carbonatos. Como la clorosis se observa con frecuencia en los suelos calcáreos, numerosos investigadores han estudiado cuáles de las propiedades de los carbonatos tienen más influencia en la aparición de la clorosis. Sin embargo, la presencia de carbonato no es garantía de la incidencia de clorosis y el contenido de clorofila no está siempre correlacionado con el contenido total de carbonato o de caliza activa. A pesar de todo, la caliza activa se sigue considerando en algunos laboratorios como indicador de la pro-

babilidad de aparición de la clorosis férrica.

- Arcilla. En algunos trabajos se ha observado que el contenido de clorofila tiene una correlación positiva y significativa con el contenido de arcilla. El efecto que tienen las arcillas puede ser debido a: que los óxidos de Fe pueden estar adsorbidos en las superficies de las arcillas y a que algunas arcillas tienen hasta un 2% de Fe, por lo que pueden ser una fuente adicional de hierro.

- Materia orgánica. Las aplicaciones de materia orgánica al suelo reducen a veces la severidad de la clorosis férrica. La materia orgánica es buen agente quelante del Fe y puede estabilizar los compuestos de Fe más solubles e impedir que se transformen a compuestos más cristalinos y, por tanto, menos disponibles para la planta. Sin embargo, se ha observado, también, que las aplicaciones de estiércol han provocado un aumento del grado de clorosis. Esto ha sido atribuido a un aumento de la respiración microbiana, que incrementa el CO_2 y HCO_3^- de la disolución del suelo. Este efecto de la materia orgánica puede ser más severo en condiciones de alta humedad en el suelo, mal drenaje y alta compactación en el suelo, ya que se dificulta así la difusión del CO_2 .

- Composición de la disolución del suelo. Uno de los componentes que más influye en la aparición de la clorosis es el bicarbonato (HCO_3^-). Se ha observado que la clorosis aumenta cuando las concentraciones de HCO_3^- aumentan y cuando se riega con aguas que tienen altos contenidos de HCO_3^- . Todavía no se sabe con certeza cuál es el papel del HCO_3^- en la clorosis. Dado que en condiciones de deficiencia de Fe las raíces de las plantas excretan protones (H^+) para acidificar el pH de la ri-



Foto 3. En los árboles afectados de clorosis y no tratados se acaba reduciendo de forma drástica su vigor, produciéndose su prematuro envejecimiento. La respuesta a los costes de poda de rejuvenecimiento es mínima, reduciéndose de forma irreversible el volumen de copa de los olivos. Respuesta a corte de arroje. La clorosis afecta negativamente al crecimiento de los brotes.

zosfera e incrementar la solubilidad de los compuestos de Fe, la liberación de H^+ se ve favorecida por la absorción de cationes como K^+ y NH_4^+ . Por lo que, en condiciones de deficiencia de Fe, el nitrógeno se puede suministrar en



forma de NH_4^+ . Los fertilizantes amoniacales tienen, sin embargo, una vida muy corta debido a la nitrificación y volatilización, especialmente en suelos calizos.

- **Factores nutricionales.** Se ha observado competencia por parte de los iones Mn, Cu, K y Zn, ya que pueden desplazar al Fe de los quelatos para formar el correspondiente quelato (especialmente, Cu y Zn).

- **Compactación y volumen de raíces.** Dado que los mecanismos de respuesta de la planta se encuentran principalmente en las raíces, un mayor volumen de raíces favorece la respuesta positiva de la planta. Sin embargo, la presencia de un horizonte duro o difícilmente penetrable por las raíces (costra caliza o presencia de roca madre) puede limitar el desarrollo radicular. La compactación dificulta el intercambio gaseoso de la atmósfera del suelo con el exterior, incrementando el contenido de CO_2 y, probablemente, el de HCO_3^- . Así mismo, y en riego localizado con un número reducido de emisores de agua por árbol, el escaso volumen de suelo explorado por las raíces puede dar lugar a un agotamiento del Fe y causar clorosis.

- **Contenido de agua.** Cuando el contenido en agua del suelo es alto, la difusión de gases se reduce, por lo que el contenido de CO_2 y HCO_3^- pueden aumentar. Además, los mecanismos de la respuesta a la clorosis férrica se diluyen.

- **Temperatura del suelo.** Existe evidencia de que la clorosis está afectada por las altas y las bajas temperaturas. En experimentos con soja se ha observado que las temperaturas menores de $12^\circ C$ y mayores de $26^\circ C$ pueden favorecer la clorosis.

En condiciones de campo, algunos de estas propiedades (como el grado de humedad, compactación, temperatura y composición de la disolución del suelo) pueden variar a lo largo del tiempo, así como con las prácticas de cultivo. La contribución de estos factores a la clorosis puede estar en continuo cambio, por lo que no siempre se pueden dar recomendaciones satisfactorias sobre prácticas agronómicas y especies que puedan cultivarse.

Corrección de la clorosis férrica en olivar

La corrección de la clorosis férrica en olivo es relativamente difícil y costosa. Existen diferentes técnicas cuya eficacia no está aún bien contrastada experimentalmente. Entre ellas se encuentran:

- a) Pintura de los troncos con una solución de sulfato de hierro y cal, práctica muy empleada en algunas zonas de la provincia de Jaén (Arjona, Porcuna y Torredonjimeno, fundamentalmente). No existe contraste experimental que avale la bondad de esta práctica.

- b) Pulverizaciones foliares con diferentes productos que contienen hierro, como quelatos, sulfato ferroso y poliflavonoides (lignosulfonato de hierro). En general, se obtienen resultados rápidos de escasa persistencia (días) y a menudo erráticos. En el cultivo de cítricos el empleo repetido de poliflavonoides puede dar resultados aceptables.

- c) Inyecciones de sulfato ferroso al tronco. Su aplicación práctica puede ser viable en olivares jóvenes y con un solo tronco, pero problemática en árboles adultos y de varios troncos, donde es dudoso el punto o puntos de colocación de la inyección y alto coste. Sus efectos podrían durar 2-3 años. Su aplicación en fincas de cierto tamaño no ha cubierto satis-

factoriamente las expectativas derivadas de diversos ensayos.

- d) Utilización de quelatos de hierro aplicados al suelo, fundamentalmente el Fe-EDDHA, bien inyectado a presión en el suelo (olivar de secano) o disuelto en el agua de riego. Sus efectos sólo duran un año o menos, por lo que debe de tenerse en cuenta en el programa de fertilización. Conviene advertir que no todos los preparados comerciales del citado quelato son igualmente eficaces, resultando mucho más interesantes en la corrección de clorosis los preparados que tienen un máximo de Fe-EDDHA en posición orto, al ser más reactivos y estables en el suelo.

- e) Aplicación al suelo de vivianita ($Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$) u otro fosfato ferroso inyectado al suelo en suspensión acuosa. Este tratamiento puede tener una eficacia de más de tres años en olivar.

- f) En nuevas plantaciones y en suelos problemáticos, emplear variedades o patrones tolerantes a clorosis.

En este artículo vamos a dedicar especial atención al empleo de quelatos y a la inyección de vivianita al suelo.

Aplicación de quelatos de hierro al suelo

El tipo de quelato más apropiado para resolver este problema es el Fe-EDDHA, molécula que puede ser eficaz al rango de pH superior a 8, y para la que la velocidad de sustitución del metal quelatado (en este caso el Fe) por los cationes del suelo es muy bajo, por lo que se puede mantener el micronutriente aportado durante más tiempo en el suelo y en forma disponible para la planta.

La actividad y efectividad del Fe-EDDHA está contrastada en la mayoría de los cultivos leñosos (cítricos, frutales de hueso, etc.). Sin embargo, para olivar se desconocían las dosis más adecuadas para resolver el problema, así como la influencia sobre la producción del olivo, teniendo en cuenta el alto coste del producto. Por esta razón se planteó en 1995 un experimento en olivar tradicional centenario en la finca "Los Robledos" en la localidad de Santisteban del Puerto (Jaén). El suelo corresponde, según la clasificación FAO, a un Calcisol pétrico (**foto 4**) con horizontes Ap (0-22 cm), Bc (22-34 cm) y Cmk (>34 cm). El contenido en carbonato cálcico oscila en dichos horizontes entre el 51 y 46%, con caliza activa del 21%, materia orgánica 1,50% y pH en agua entre 8 y 8,2. El agua de riego es de buena calidad, con una conductividad eléctrica de 1,3 dS/m y contenido en bicarbonatos de 2,1 meq/l. Su textura es franco-arcillosa. Los árboles presentaban un grado de clorosis severo en el momento de comenzar el experimento, eligiendo-

Isabion[®]

el "bioestimulante" de sus olivos

Sequestrene[®]

la "salud de hierro" de sus olivos



Novartis Agro S.A.

Marina, 206 - 08013 - Barcelona
Telf.: 933 064 700 - Fax: 933 064 795
Internet: www.cp.es.novartis.com

 **NOVARTIS**

se una parcela de árboles homogéneamente afectados. Antes del comienzo del ensayo se midió el volumen de copa de los árboles, comprobándose que no existían diferencias significativas de tamaño entre los árboles asignados por sorteo a cada dosis de Fe-EDDHA a emplear. El volumen de copa era en aquel momento de 102 m³/árbol, normal en este tipo de plantaciones (80 olivos/ha). Se diseñó un experimento con cuatro dosis de quelato: 0, 25, 50 y 75 g/olivo de producto comercial con un 6% de riqueza (Sequestrene 138 Fe G 100), aplicándose cada una de ellas a 5 olivos distribuidos en bloques al azar. La cantidad total anual de quelato se aplicó disuelto en el agua de riego en tres momentos: comienzo de la brotación (primavera), mitad del mes de junio (verano) y a principio de otoño. Los árboles recibieron además un abonado N-P-K en fertirrigación en una proporción de equilibrio 3-1-2, aportándose 120 kg de nitrógeno por hectárea.

En cada uno de los cinco años de duración del ensayo se controló la producción de los olivos, así como el tamaño del fruto y su rendimiento graso. En 1999 se controló, además, el contenido en clorofila de la hoja (unidades SPAD), el color de la aceituna (índice visual), así como la evolución del tamaño del fruto y la formación de aceite en la aceituna.

La **figura 1** muestra las producciones de aceite obtenidas por olivo (kilo de aceituna por rendimiento graso) en cada uno de los cinco años de duración del experimento. Salvo cierto tipo de anomalías (año 1997) debidas probablemente a la típica alternancia de producción del olivo después de cosechas abundantes, la respuesta productiva debida a la aplicación del Fe-EDDHA se produjo ya desde el primer año (1995). La producción media de aceite aumentó entre un 18 y un 26%, mostrándose la dosis de 50 g/árbol como suficiente para resolver el problema de clorosis en esta finca, dosis orientativa de partida para olivares tradicionales adultos de porte similar a los del experimento. En el conjunto de los años, la dosis de 25 g/olivo se mostró insuficiente.

En los años secos 1995 y 1999 es en los que se observó una mejor respuesta a la aplicación del quelato de hierro. Después de un periodo de años lluviosos (1997), la respuesta a la aportación fue menos rentable, probablemente porque el agua de lluvia movilizó ciertas cantidades de hierro del suelo, haciendo menos necesaria la aplicación del quelato en esta situación.

Para el conjunto de los años, y teniendo en cuenta el coste de aplicación del quelato por olivo:

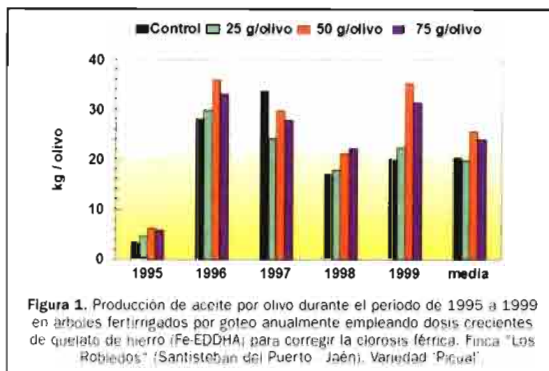


Figura 1. Producción de aceite por olivo durante el periodo de 1995 a 1999 en árboles fertirrigados por goteo anualmente empleando dosis crecientes de quelato de hierro (Fe-EDDHA) para corregir la clorosis férrica. Finca "Los Robledos" (Santisteban del Puerto, Jaén). Variedad "Picual".

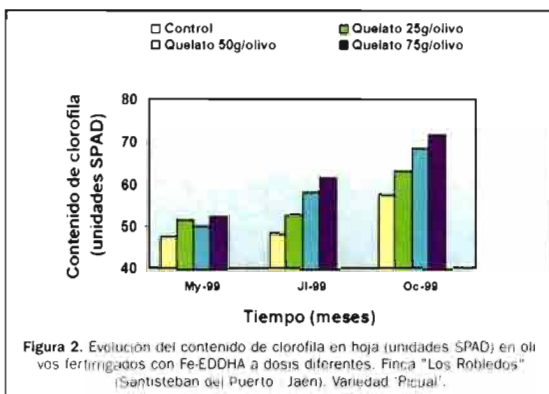


Figura 2. Evolución del contenido de clorofila en hoja (unidades SPAD) en olivos fertirrigados con Fe-EDDHA a dosis diferentes. Finca "Los Robledos" (Santisteban del Puerto, Jaén). Variedad "Picual".

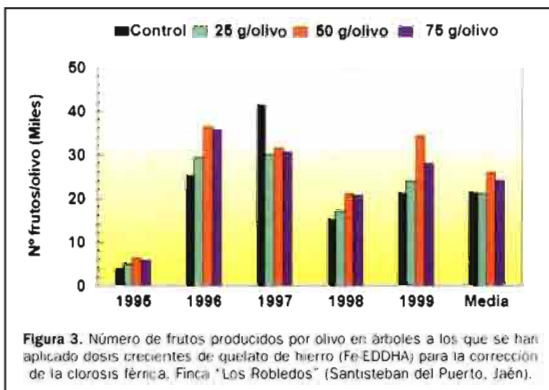


Figura 3. Número de frutos producidos por olivo en árboles a los que se han aplicado dosis crecientes de quelato de hierro (Fe-EDDHA) para la corrección de la clorosis férrica. Finca "Los Robledos" (Santisteban del Puerto, Jaén).

$$50 \text{ g} \times 3.2 \frac{\text{ptas}}{\text{g}} = 160 \frac{\text{ptas}}{\text{olivo}}$$

así como la producción (P) obtenida y el precio de venta del aceite, libre de coste de recolección y molturación, incluyendo precio más importe de la ayuda de la UE de 350 ptas/kg, supondría un beneficio de:

$$(P_{\text{actual}} - P_{\text{previa}}) \frac{\text{ptas}}{\text{olivo}} \times 350 \frac{\text{ptas}}{\text{kg}} = (24.8 - 20.4) \times 350 = 1540 \frac{\text{ptas}}{\text{olivo}}$$

es decir, se obtendrían anualmente más de 9 pts. de beneficio por cada peseta invertida en la corrección de la clorosis.

El aumento de la producción podría deberse a una mejora de la eficiencia fotosintética, al aumentar el contenido de clorofila en hojas (**fig. 2**) a medida que aumenta la cantidad de Fe-EDDHA empleada por árbol, así como del tamaño de las hojas (**foto 1**). Todo ello redundaría, por un lado, en un aumento del número de frutos producidos por olivo (**fig. 3**) y, a pesar de

ello, en una mayor capacidad de llenado de los frutos. La **fig. 4** muestra la evolución del tamaño del fruto para las diferentes dosis de quelato empleadas en el periodo desde el 21 de julio de 1999 hasta la recolección. Se observa que, como consecuencia de la mayor eficacia fotosintética, una mayor dosis de hierro permite un mayor crecimiento de los frutos, así como una mayor acumulación de aceite en la aceituna (**fig. 5**).

El ensayo ha permitido igualmente evaluar la influencia de la deficiencia en hierro sobre el color de los frutos, mostrándose más verdes las aceitunas procedentes de los árboles donde se aplicó mayor dosis de Fe-EDDHA, mientras que los testigos mostraban un color más amarillento, tonalidad que predominaba a medida que se reducía la dosis de quelato (**foto 2** y **fig. 6**).

Aplicación de vivianita al suelo

Diversos estudios han puesto de manifiesto que la vivianita, aplicada a suelos calcáreos a la dosis de 1 g/kg de suelo, ha sido capaz de prevenir la clorosis en plantas sensibles como altramuz, garbanzo y olivo cultivados en macetas bajo condiciones controladas y en peral cultivado en campo con las prácticas agrícolas tradicionales. En estas condiciones se observó que la inyección de vivianita al suelo (1 kg/árbol) fue eficaz para corregir la clorosis férrica en peral, al menos durante cinco años.

La vivianita es un fosfato ferroso (Fe₃(PO₄)₂ · 8H₂O) que presenta una serie de ventajas frente a otras sales inorgánicas de Fe para corregir la clorosis férrica:

- La vivianita tiene un contenido de Fe (>30%) superior a la mayoría de los fertilizantes de hierro, por lo que tiene gran capacidad para liberar Fe a la disolución del suelo.
- Aunque es poco soluble al pH que tienen la mayoría de los suelos, la liberación de Fe parece ser favorecida porque el ion fosfato es absorbido por las raíces de las plantas, por las superficies de algunos minerales del suelo o precipitado por cationes de la disolución del suelo.
- El ion ferroso liberado puede ser tomado directamente por las plantas o bien puede oxidarse y precipitar como óxido de Fe no cristalino (ferrihidrita), ya que el ion fosfato impide la cristalización de compuestos cristalinos de Fe. La ferrihidrita, debido a su alta superficie específica y a su alta solubilidad, constituye la fuente principal de Fe para la planta en suelos calizos.
- La vivianita se puede sintetizar en campo y los productos necesarios (sales de Fe y P) son de bajo precio y uso frecuente por los agri-

cultores. Además, la presencia de fósforo hace aumentar su valor como fertilizante.

Para estudiar la eficacia y la persistencia de la vivianita en la corrección de la clorosis férrica en olivo cultivado en suelos calcáreos, se seleccionaron campos de ensayo con olivos de la variedad Manzanilla de Sevilla (en Sevilla), Hojiblanca (en Sevilla) y Picual (en Jaén), en los que la clorosis del olivo había sido observada cada año desde 1995. En el campo de Hojiblanca la vivianita se inyectó en abril de 1997, cuando los olivos tenían un año. El diseño experimental fue de tres bloques al azar y tres tratamientos (árboles control a los que no se añadió Fe y árboles tratados a los que se añadió 0,5 y 1 kg de vivianita, por pie). En la plantación de Manzanilla de Sevilla (olivos de 20 años) se inyectó 1 kg de vivianita/olivo en marzo de 1998. En la plantación de Picual (olivos de 80 años) se inyectaron 2 kg de vivianita/olivo en marzo de 1998. En ambos casos, el diseño experimental fue de cinco bloques y dos tratamientos.

La suspensión de vivianita se preparó directamente en el campo usando un tanque de poliéster con capacidad para 100 litros. Por cada 100 l de agua se añadieron

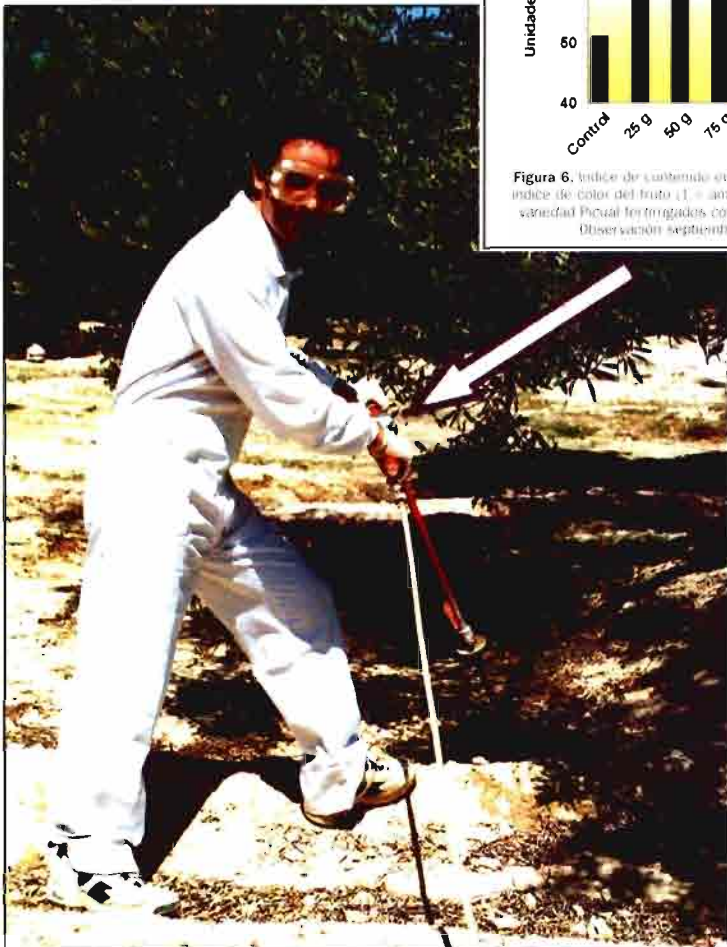


Foto 5. Aplicación de vivianita al suelo con inyector en forma de T provisto de caudalímetro.

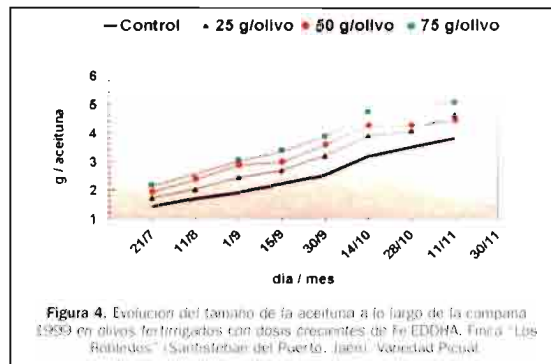


Figura 4. Evolución del tamaño de la aceituna a lo largo de la campaña 1999 en olivos fertilizados con dosis crecientes de Fe EDDHA. Finca "Los Robledos" (Sansteban del Puerto, Jaén). Variedad Picual.

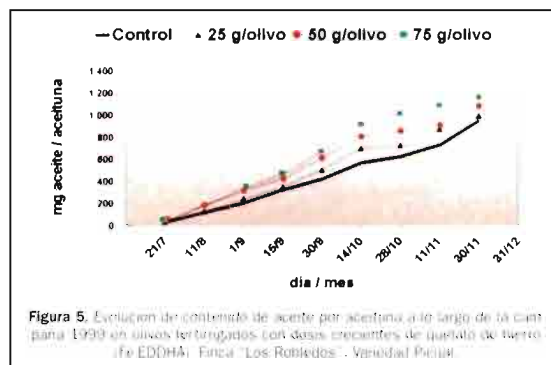


Figura 5. Evolución de contenido de aceite por aceituna a lo largo de la campaña 1999 en olivos fertilizados con dosis crecientes de quelato de hierro (Fe EDDHA). Finca "Los Robledos". Variedad Picual.

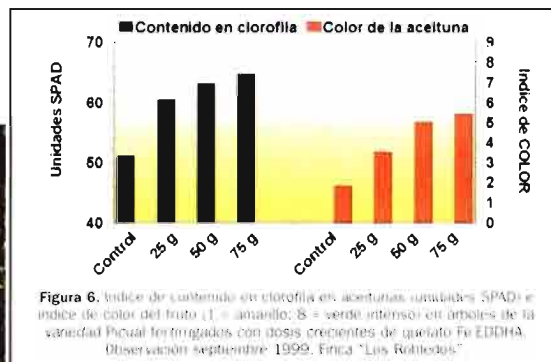


Figura 6. Índice de contenido en clorofila en aceitunas (unidades SPAD) e índice de color del fruto (1 = amarillo; 8 = verde intenso) en árboles de la variedad Picual fertilizados con dosis crecientes de quelato Fe EDDHA. Observación septiembre 1999. Finca "Los Robledos".

2,5 kg de fosfato diamónico cristalino $[(NH_4)_2 HPO_4]$ hasta su completa disolución; a continuación, se agregaron 7,5 kg de sulfato de hierro cristalino $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$ para obtener, aproximadamente, 5 kg de fosfato de Fe (vivianita) precipitado. Para evitar la sedimentación y obtener una mezcla homogénea, se mantiene una agitación continua en el tanque. En estas condiciones, 20 l de la suspensión contienen alrededor de 1 kg de vivianita. La suspensión de vivianita se aplicó en el suelo utilizando un inyector en forma

de T equipado de caudalímetro (foto 5). Las inyecciones se aplicaron alrededor del tronco del árbol, en varios puntos (10-20) y a la profundidad que se encuentran la mayoría de las raíces (25-35 cm).

Teniendo en cuenta el precio de los fertilizantes utilizados para la síntesis de la vivianita y el de su aplicación, se estima que el coste de inyectar 1 kg de vivianita/olivo es de 225 pts./olivo y el de aplicar 2 kg/olivo es de 350 pts./olivo. Estos gastos quedan costeados en cuanto se obtenga 1 kg adicional de aceite/árbol tratado.

Para reducir costes y tiempo en la aplicación de la vivianita se está estudiando, actualmente, la posibilidad de aplicar la vivianita utilizando un inyector hidráulico y mediante riego por goteo.

En cada árbol y a una distancia del suelo de aproximadamente 1,60 m (a la altura de los ojos del observador) se recogieron 30 brotes al azar. Se seleccionó entonces la hoja más joven de cada brote que estuviera completamente expandida (≥ 3 cm) determinándose el contenido de clorofila con el aparato Minolta. En los campos de Manzanilla y Picual se midió también el contenido de clorofila antes de aplicar la vivianita (marzo de 1998) a fin de comprobar la homogeneidad en el grado de clorosis de los árboles de los campos experimentales. El contenido de clorofila se midió después de aplicar la vivianita en mayo, julio y octubre de 1998, y mayo, julio y noviembre de 1999. En el campo de Hojiblanca, el contenido de clorofila se midió, también, en julio y octubre de 1997. En septiembre, en los campos de Manzanilla y Picual se tomaron

al azar 16 aceitunas por árbol, en las que se hizo una estimación visual del contenido de clorofila. Para ello se utilizó una escala que iba desde el 1 (= amarillo pálido) hasta el 8 (=verde característico de la variedad).

Las propiedades de los campos experimentales son características de los suelos fuertemente calcáreos. El contenido en carbonatos varía entre 61 y 77% y el de caliza activa entre un 10 y 28%. El valor del Fe extraíble con oxalato (Fe_0) es de 0,12 g/kg en el campo de Manzanilla; 0,20 g/kg, en el de Hojiblanca; y 0,20 g/kg, en el de Picual. Como el nivel crítico Fe_0 para Manzanilla de Sevilla, Hojiblanca y Picual es de 0,30 g/kg es lógica la aparición de clorosis férrica en estos campos de ensayo.

La evolución del contenido de clorofila en hoja en los cuatro campos experimentales se muestra en las figuras 7, 8 y 9. En los campos en los que se midió la clorofila antes de la inyección de la vivianita (marzo de 1998) no se observaron diferencias significativas entre los árboles control y los que se iban a tratar con vivianita (fig. 7 y 8). En mayo de 1998 (primer

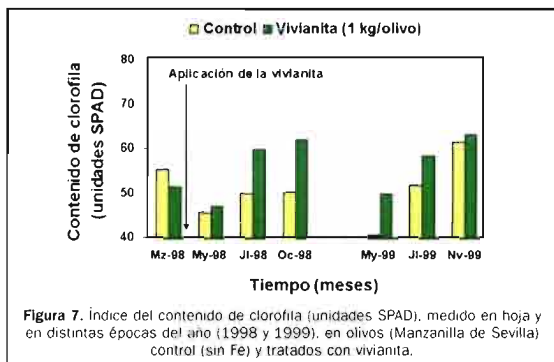


Figura 7. Índice del contenido de clorofila (unidades SPAD), medido en hoja y en distintas épocas del año (1998 y 1999), en olivos (Manzanilla de Sevilla) control (sin Fe) y tratados con vivianita.

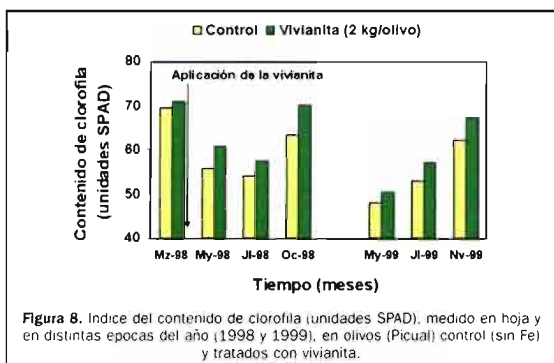


Figura 8. Índice del contenido de clorofila (unidades SPAD), medido en hoja y en distintas épocas del año (1998 y 1999), en olivos (Picual) control (sin Fe) y tratados con vivianita.

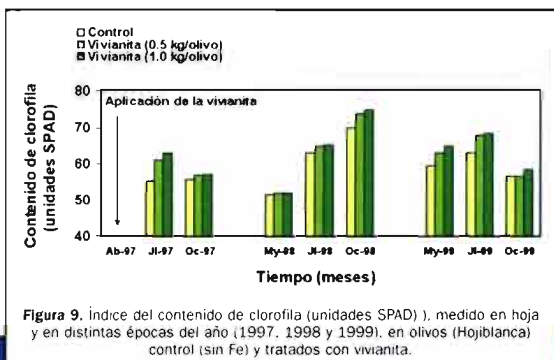


Figura 9. Índice del contenido de clorofila (unidades SPAD), medido en hoja y en distintas épocas del año (1997, 1998 y 1999), en olivos (Hojiblanca) control (sin Fe) y tratados con vivianita.

CUADRO I. ÍNDICE VISUAL DEL COLOR EN ACEITUNA (MANZANILLA Y PICUAL) EN LOS ÁRBOLES CONTROL (SIN FE) Y EN LOS FERTILIZADOS CON VIVIANITA

	Año	Manzanilla		Picual	
		Control (sin Fe)	Vivianita	Control (sin Fe)	Vivianita
Índice visual de color en aceituna. Escala de 1 (=amarillo) a 8 (=verde)	1998	4,6 a	5,6 b		
	1999	4,5 a	8,7 b	4,2 a	6,1 b

muestreo después de inyectar vivianita en los campos Manzanilla y Picual, el contenido de clorofila era mayor en los árboles tratados con vivianita que en los del control, aunque las diferencias sólo eran significativas en el campo de Picual (fig. 7 y 8). En julio y en octubre de 1998 y de 1999 las diferencias en el contenido de clorofila entre los árboles tratados y los del control fueron significativas en todos los campos experimentales, salvo la medida de octubre en Hojiblanca (fig. 7, 8 y 9). Es decir, la vivianita es eficaz en la corrección de la clorosis férrica en olivo y su efecto persiste, al menos, tres campañas agrícolas en el campo de Hojiblanca (fig. 9). Estos resultados están en línea con los obtenidos en peral, en cuyo caso el efecto de la vivianita ha persistido durante cinco años. En el campo de Hojiblanca, en el que se estudió el efecto de

PREPARACIÓN DE LA VIVIANITA:

En 100 litros de agua añadir:
 2.5 kg de fosfato diamónico (agitar hasta disolución)
 7.5 kg de sulfato ferroso.
 Se obtienen:
 5 kg de vivianita/100 litros.

la dosis, no se observaron diferencias significativas en el contenido de clorofila entre los árboles tratados con 0,5 y 1 kg de vivianita por árbol. Sólo se registraron diferencias significativas en el contenido de clorofila, entre las distintas dosis de vivianita, en el muestreo de mayo de 1999 (fig. 9).

Finalmente, en los campos Manzanilla y Picual el índice visual de color de aceituna fue significativamente mayor en los árboles tratados que en los del control durante los años 1998 y 1999 (cuadro I).

Conclusiones

El uso de quelatos de hierro (Fe-EDDHA) es eficaz en la corrección de la clorosis férrica en olivar, mostrándose eficaz la dosis de 50 g por olivo, cuando se aplica en árboles adultos con marco tradicional. Esta eficacia se ha traducido en una desaparición de la tonalidad amarillenta de las hojas de los árboles y en una mayor producción de aceite y aceitunas. La respuesta está fundamentada en que el quelato favorece mayor eficiencia fotosintética, mayor superficie foliar y tamaño de los árboles, por lo que se consigue mayor contenido de clorofila, mayor número de frutos por árbol y mayor capacidad de llenado. La aplicación de quelato debe realizarse anualmente.

La vivianita es eficaz corrigiendo la clorosis férrica en olivo (Manzanilla de Sevilla, Hojiblanca y Picual), ya que se ha observado un aumento en el contenido de clorofila en hoja y aceituna. Su efecto ha demostrado ser persistente durante, al menos, tres campañas agrícolas. La obtención de los productos necesarios y la síntesis de la vivianita en campo es fácil y económica. Además, la vivianita aporta fósforo, por lo que hace que sea un fertilizante más completo. ■

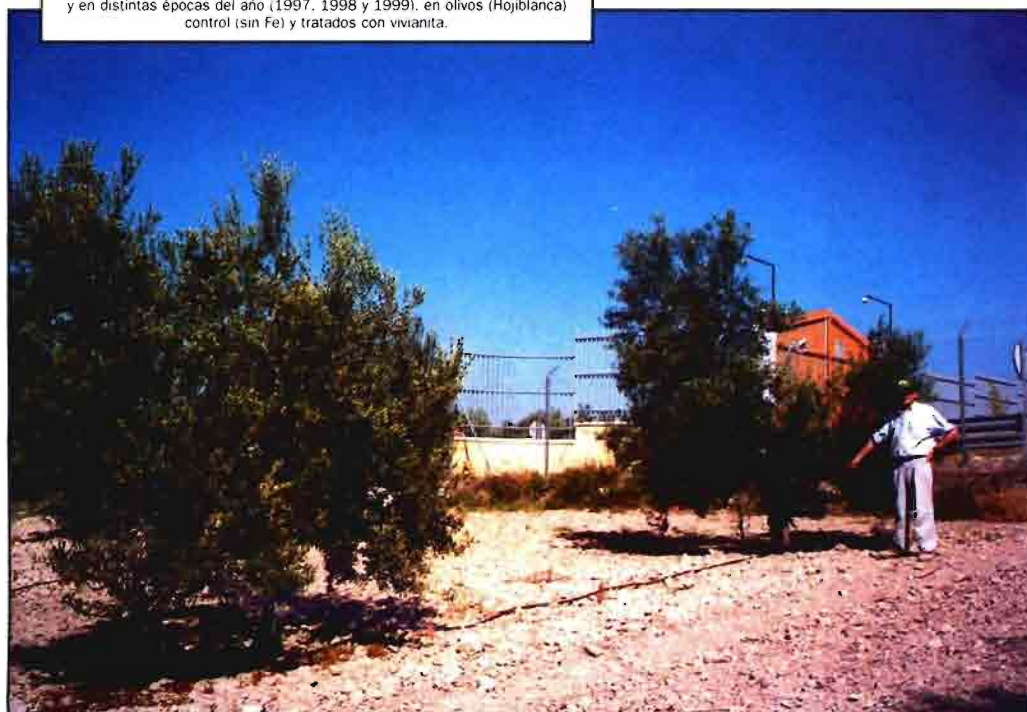


Foto 6. Olivos del campo experimental de Manzanilla de Sevilla en el que se muestra a la izquierda un árbol control (no tratado con Fe) y a la derecha otro tratado con vivianita. La fotografía se realizó dos años después de aplicar la vivianita.