

INYECCIÓN DE VIVIANITA AL SUELO PARA CORREGIR LA CLOROSIS FÉRRICA EN OLIVO

ROSADO, R., DEL CAMPILLO, M.C., BARRÓN, V. Y TORRENT, J.

Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba, España

Resumen: La clorosis férrica en olivo se observa con frecuencia en árboles cultivados en suelos con alto contenido de carbonato cálcico. En estas condiciones, la producción, la calidad de la aceituna de verdeo y el rendimiento graso disminuyen. La vivianita ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) inyectada en suelos inductores de clorosis férrica (1g kg^{-1}) ha sido capaz de prevenir la clorosis en altramuz, garbanzo y en perales. El objetivo de este trabajo fue estudiar la eficacia y persistencia de la vivianita para corregir la clorosis férrica en olivo cv. Hojiblanca y cv. Manzanilla. La vivianita se preparó en campo de la siguiente forma: en un tanque de 100 dm^3 de agua se disolvieron 2.5 kg de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ y a continuación se añadieron 7.5 kg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ para obtener 5 kg de vivianita en suspensión. La vivianita se inyectó en el suelo a razón de 1 kg árbol^{-1} (olivos < 20 años) y 2 kg árbol^{-1} (olivos > 20 años). Para determinar el grado de clorosis se midió el contenido de clorofila de las hojas más jóvenes, el color de las aceitunas y la producción. El contenido de clorofila de los árboles tratados era, en general, significativamente mayor que el de los árboles control (sin Fe). Estas diferencias se mantuvieron a lo largo del segundo y tercer año después de que se aplicara la vivianita. El color verde de las aceitunas tratadas era significativamente mayor que el de las aceitunas control (amarillo). La producción, cuando se midió, fue mayor en los árboles tratados que en los del control. Por tanto, la vivianita es efectiva para prevenir la clorosis en olivos cv. Hojiblanca y cv. Manzanilla y su efecto permanece en el suelo durante tres años. La síntesis de vivianita es sencilla y los productos que se necesitan son baratos y de fácil adquisición. De acuerdo con el método de preparación descrito este fertilizante aporta otros elementos esenciales como P, N y S.

Palabras clave: Clorosis férrica, suelos calizos, olivo, vivianita, fosfato ferroso.

INTRODUCCIÓN

La clorosis férrica o deficiencia de Fe en olivo (*Olea europaea* L.) se observa con frecuencia en las plantaciones sobre suelos calcáreos. El olivo se cultiva principalmente en los países de la cuenca mediterránea, donde los suelos calcáreos son abundantes. En España, por ejemplo, el 70 % del olivar se encuentra en suelos calizos, y uno de los principales problemas nutricionales es la clorosis férrica. Actualmente, se observa una progresiva incidencia de la clorosis férrica debido, probablemente, a los mayores rendimientos exigidos como consecuencia del aumento de superficie regada, fertilizada y el establecimiento de mayores densidades de plantación. La clorosis férrica comienza a manifestarse en las hojas más jóvenes con un amarilleamiento internervial. Si la clorosis progresa y no se corrige la amarillez puede afectar a toda la hoja, su tamaño puede quedar reducido y los brotes afectados perder sus hojas. Las aceitunas de los brotes cloróticos amarillean y no llegan a alcanzar ni el color ni el tamaño adecuado (Rosado et al., 2000). En estos casos, y cuando su destino es para aceituna de mesa la industria las rechaza. La producción de los árboles cloróticos, el rendimiento graso de las aceitunas y algunos de los parámetros de calidad del aceite de oliva también se han visto mermados (Chova et al., 2000, del Campillo et al., 2000).

Los métodos actualmente más utilizados para remediar la clorosis férrica, o son compuestos de Fe relativamente económicos pero de escasa eficacia (sulfato ferroso) o son compuestos de Fe altamente eficaces (quelatos) pero, también, muy caros. Sin embargo, se ha observado que la vivianita ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), aplicada a suelos calcáreos a la dosis de 1 g kg^{-1} suelo, es capaz de prevenir la clorosis férrica en altramuza y en garbanzo cultivado en macetas bajo condiciones controladas (Eynard et al., 1992) y en perales cultivados en campo haciendo uso de las prácticas agrícolas tradicionales (Iglesias et al., 1998). En los experimentos realizados en maceta, la vivianita en polvo se mezcló con el suelo antes de realizar la siembra. En el experimento de campo, la vivianita en forma de suspensión se inyectó en el suelo en varios puntos alrededor del tronco. En estas condiciones se ha observado que la inyección de vivianita al suelo (1 kg árbol^{-1}) ha sido eficaz para corregir la clorosis férrica en peral, al menos, durante cinco años. En condiciones de invernadero se ha mostrado que dosis de vivianita entre 0.6 y 1 g kg^{-1} eran eficaces para prevenir la clorosis férrica en olivos cv. Picual (Marta, 1999). La vivianita, aunque es poco soluble al pH que tienen los suelos calcáreos, parece liberar Fe que evoluciona a compuestos amorfos (ferrihidrita o lepidocrocita poco cristalina) que constituyen la fuente principal de Fe para las plantas cultivadas en suelos calizos (Loeppert y Hallmark, 1985; del Campillo y Torrent, 1992).

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la eficacia y persistencia de la vivianita para corregir la clorosis férrica en olivo cultivado en suelos calcáreos. Para ello se seleccionaron campos de ensayo con olivos cv. Manzanilla de Sevilla y cv. Hojiblanca en los que se inyectó una suspensión de vivianita sintetizada en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

SÍNTESIS Y APLICACIÓN DE LA VIVIANITA

La suspensión de vivianita se preparó directamente en el campo. En un tanque con capacidad para 100 dm³ de agua se añadieron 2.5 kg (NH₄)₂HPO₄ y se agitó hasta su completa disolución. A continuación se añadieron 7.5 kg de FeSO₄·7H₂O y se removió hasta obtener una suspensión de color verde-azulado claro que contenía, aproximadamente, 5 kg de fosfato de Fe (vivianita precipitada). Las partículas de vivianita tienen un tamaño comprendido entre 2 y 10 μ m, por lo que se pueden mantener en suspensión con una agitación continua en el tanque. En estas condiciones, 20 dm³ de la suspensión contienen, aproximadamente, 1 kg de vivianita. Esta suspensión de vivianita se inyectó en el suelo utilizando un inyector en forma de T conectado al tanque, de modo que la presión y el volumen aplicado podían ser controlados. Las inyecciones se aplicaron alrededor del tronco del árbol, en la proyección de la copa y en varios puntos, a una profundidad de 25-35 cm, que es donde se encuentran, generalmente, la mayor parte de las raíces.

SELECCIÓN DE CAMPOS EXPERIMENTALES

Se seleccionaron cuatro campos experimentales, tres en la provincia de Sevilla ('Las Pitas', 'Cañaveralejo' y 'Villares') y uno en la de Málaga ('Sequera') en los que la clorosis del olivo había sido observada cada año desde 1995. Los olivos de 'Las Pitas' eran cv. Hojiblanca y tenían ochenta años. El diseño experimental fue de dos bloques completamente al azar y dos tratamientos (árboles control a los que no se añadió Fe y árboles tratados a los que se añadieron 2 kg vivianita por árbol). Cada parcela elemental tenía dos árboles y la vivianita se aplicó en Mayo de 1997. En 'Cañaveralejo' y en 'Sequera' los olivos eran cv. Hojiblanca y cv. Manzanilla, respectivamente, y tenían veinte años. En estas dos fincas, el diseño experimental fue de cinco bloques completamente al azar y dos tratamientos (árboles control a los que no se añadió Fe y árboles tratados a los que se añadió 1 kg de vivianita por

árbol). Cada parcela elemental tenía dos árboles. La vivianita se inyectó en Mayo de 1998. En 'Villares' los olivos eran cv. Hojiblanca y tenían un año. El diseño experimental fue de cinco bloques completamente al azar y dos tratamientos (árboles control a los que no se añadió Fe y árboles tratados a los que se añadió 1 kg de vivianita por árbol). Cada parcela elemental tenía dos árboles. La vivianita se aplicó en Mayo de 1998. El análisis estadístico se realizó con el programa Costat (CoHort Software) y las medias se separaron mediante el método del LSD (Least Significant Difference) ($P < 0.10$).

ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE SUELO

En cada una de las parcelas se recogieron muestras de suelo en cuatro puntos. En cada punto se recogió una muestra de suelo representativa del horizonte superficial (Ap) y otra del horizonte que en el que se desarrollaban la mayor parte de las raíces (generalmente, entre 15 y 35 cm). Las muestras del mismo horizonte se mezclaron para obtener una muestra representativa de cada horizonte, de forma que se guardaron dos muestras de suelo de cada parcela. Estas muestras se secaron al aire, se desmenuzaron y se pasaron por un tamiz de 2 mm para determinar las propiedades en el laboratorio. Se determinaron el pH, la materia orgánica, los carbonatos, la textura y el Fe extraíble con oxalato según describen del Campillo y Torrent (1992).

MUESTREO Y ANÁLISIS DEL MATERIAL VEGETAL

En cada árbol y a una distancia del suelo de aproximadamente 1.60 m se recogieron 30 brotes al azar. En cada brote se seleccionó la hoja más joven, que estuviera completamente expandida (≥ 3 cm) y se midió el índice de clorofila (IC) con el aparato Minolta (unidades SPAD). El IC de cada árbol se calculó como el valor medio de las 30 medidas realizadas en cada hoja. En los campos 'Sequera' y 'Cañaveralejo' se midió también el IC antes de aplicar la vivianita (marzo de 1998) para comprobar la homogeneidad en el grado de clorosis de los árboles de los campos experimentales. En todos los campos experimentales, el IC se midió después de aplicar la vivianita en mayo, julio y octubre de 1998 y de 1999. En el campo 'Las Pitas', el IC se midió también en octubre de 1997.

En los campos 'Las Pitas' y 'Sequera' se anotó la producción de aceitunas de cada uno de los árboles. En el campo 'Sequera' en el momento de la recolección de la aceituna de verdeo se recogieron 16 aceitunas al azar 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). La media de estos 16 datos se consideró como el índice visual del color. En el campo de 'Villares' se midió el diámetro del tronco a una altura de 40 cm respecto del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de las fincas tenían un primer horizonte, caracterizado por la ausencia de raíces, poco profundo (oscilaba entre 5 y 15 cm). El segundo horizonte (con un espesor entre 15 y 30 cm) caracterizado por la presencia de gran cantidad de raíces, estaba limitado en profundidad por la presencia de un horizonte petrocálcico o roca calcárea dura. Los suelos se clasificaron como Lithic Calcixerepts o Petrocalcic Calcixerepts (USDA, 1998). En la [Tabla 1](#) se muestran algunas de las propiedades de los suelos de los campos experimentales. El contenido de materia orgánica variaba entre 5.6 y 22.8 g kg⁻¹. El pH medido en H₂O oscilaba entre 8.2 y 8.6, típico de suelos calizos. Así, el equivalente de carbonato cálcico (ECC) variaba entre 576 y 990 g kg⁻¹ y el de caliza activa (ECCA) entre 224 y 322 g kg⁻¹. La formas de Fe no cristalinas (Fe_o y Fe_{ca}), que son las que están relacionadas con la incidencia de la clorosis, presentan valores bajos (Fe_o entre 0.04 y 0.30 g kg⁻¹ y Fe_{ca} entre 0.18 y 0.42 g kg⁻¹). En el trabajo realizado por Benítez et al., (2000) se pone de manifiesto que el nivel crítico de Fe_o, que separa los suelos que inducen clorosis férrica en cv. Hojiblanca y Manzanilla de los que no la inducen, es de 0.30 g kg⁻¹. El nivel crítico de Fe_{ca} es de 0.50 g kg⁻¹. Como se puede observar en la Tabla 1, el Fe no cristalino medido como Fe_o o bien como Fe_{ca} es inferior al considerado como valor crítico, lo que justifica la aparición de clorosis en estos suelos.

La evolución del índice de clorofila (IC) de los cuatro campos experimentales se muestra en las Figuras 1-4. En los campos experimentales de 'Cañaveralejo' y 'Sequera', se midió el IC antes de aplicar la vivianita (marzo de 1998) y no se observaron diferencias significativas entre los árboles control y los que iban a ser tratados con vivianita (Figuras 2 y 4). En los muestreos realizados el año que se aplicó la vivianita, el IC era mayor en los árboles tratados que en los del control (Figuras 1-4). Las diferencias fueron significativas en octubre en el campo 'Las Pitas' ([Figura 1](#)), en mayo en el campo 'Cañaveralejo' ([Figura 2](#)), en mayo, julio y octubre en el campo 'Villares' ([Figura 3](#)) y en julio y octubre en el campo 'Sequera' ([Figura 4](#)). En los muestreos realizados el segundo año después de aplicar vivianita (1998 para el campo 'Las Pitas' y 1999 para 'Cañaveralejo', 'Villares' y 'Sequera'), las

diferencias en IC entre los árboles tratados y los del control eran significativas en todos los campos experimentales (Figuras 1-4). El IC, medido en el campo 'Las Pitas' tres años después de aplicar vivianita (1999), fue mayor en los árboles tratados que en los del control. Las diferencias fueron significativas en mayo y octubre (Figura 1). Es decir, la vivianita es eficaz en la corrección de la clorosis Fe en olivo y su efecto parece persistir, al menos, tres campañas agrícolas. Estos resultados están en línea con los obtenidos en peral en cuyo caso el efecto de la vivianita ha persistido durante cinco años (Iglesias et al., 1998). La producción de aceitunas medida en 1998 y 1999 en los campos 'Las Pitas' cv. Hojiblanca y 'Sequera' cv. Manzanilla fue mayor en los árboles tratados que en los del control y las diferencias fueron significativas en 1999 en la finca de 'Sequera' ([Tabla 2](#)). El índice visual del color de aceituna medido cv. Manzanilla ('Sequera') fue significativamente mayor en los árboles tratados que en los del control ([Tabla 3](#)). Finalmente, el diámetro del tronco (medido en los olivos de dos años) era mayor y de forma significativa en los árboles tratados que en los del control.

CONCLUSIONES

La vivianita es capaz de corregir la clorosis férrica en olivo (cv. Hojiblanca y Manzanilla) ya que se ha observado un aumento en el contenido de clorofila en hoja y aceituna, así como en la producción (en aquellos casos que fue medida). La vivianita tiene capacidad para prevenir la clorosis férrica en olivo, al menos, tres años. Esto hace que el uso de vivianita sea una interesante alternativa a otros métodos utilizados para corregir la clorosis férrica.

BIBLIOGRAFIA

Benítez, M.L., Pedrajas, V. M., del Campillo, M.C. y Torrent, J. (2000). Iron chlorosis in olive in relation to soil properties. Nutrient Cycling Agroecosystems (aceptado y pendiente de ser publicado).

Chova, M.M, Peña, F., del Campillo, M.C., Delgado, A. y Díaz, M.A. (2000). Efecto de la corrección de clorosis férrica en olivar con fosfato de hierro y su posible repercusión en los parámetros de la calidad del aceite de oliva. Edafología (en este número).

del Campillo, M.C. y Torrent, J. (1992). Predicting the incidence of iron chlorosis in calcareous soils of southern Spain. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 23:399-416.

del Campillo, M.C., Barrón, V., Torren, J., Pastor, M., Castro, J., Hidalgo, J. y Camacho, L. (2000). La clorosis férrica del olivo y técnicas de corrección más adecuadas. *Vida Rural*. 108: 54-60.

Eynard, A., del Campillo, M.C., Barrón, V. y Torrent, J. (1992). Use of vivianite ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) to prevent iron chlorosis in calcareous soils. *Fertilizer Research*. 31:61-67.

Iglesias, I., Dalmau, R., Marcé, X., del Campillo, M.C., Barrón, V. y Torrent, J. (1998). Diversos fosfatos de hierro presentan eficacia prolongada en la prevención de la clorosis férrica en peral. *Fruticultura Profesional*. 99: 76-87.

Loeppert, R.H. y Hallmark, C.T. (1985). Indigenous soil properties influencing the availability of iron in calcareous soils. *Soil Science Society of American*. 49:597-603.

Marta, J. (1999). Respuesta del olivo a diferentes fuentes de hierro en suelos y substratos calcáreos. Trabajo Profesional Fin de Carrera. E.T.S.I.A.M. Universidad de Córdoba.

Rosado, R., del Campillo, M.C., Barrón, V. y Torrent, J. (2000). Long term effect of vivianite in preventing iron chlorosis in olives on calcareous soils. 10th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants. Houston, USA.

FIGURAS Y TABLAS.

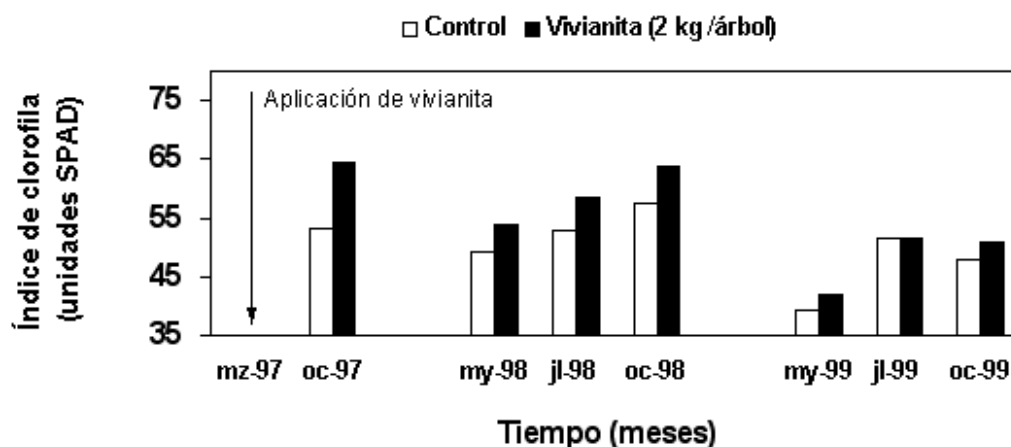


Figura 1. Evolución del índice de clorofila (unidades SPAD) en olivos (cv. Hojiblanca, campo 'Las Pitás') control (sin Fe) y tratados con vivianita. Letras distintas indican valores significativamente distintos ($P < 0.10$).

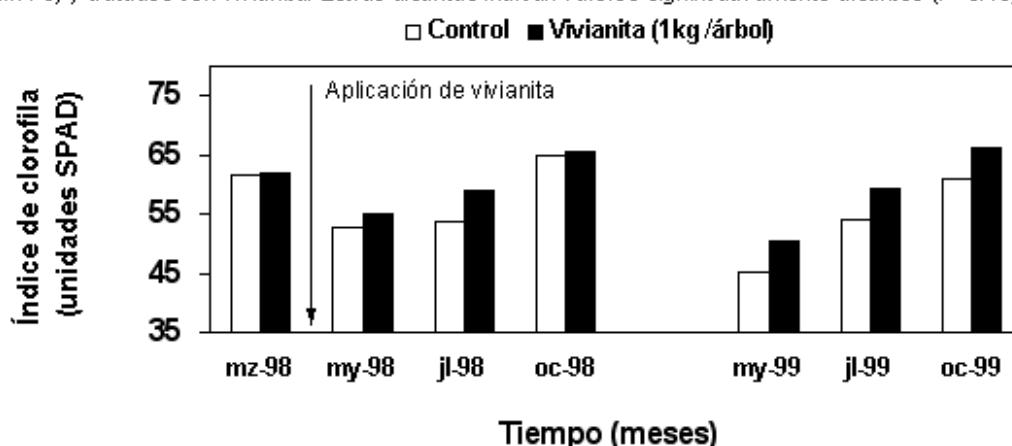


Figura 2. Evolución del índice de clorofila (unidades SPAD) en olivos (cv. Hojiblanca, campo 'Cañaveralejo') control (sin Fe) y tratados con vivianita. Letras distintas indican valores significativamente distintos ($P < 0.10$).

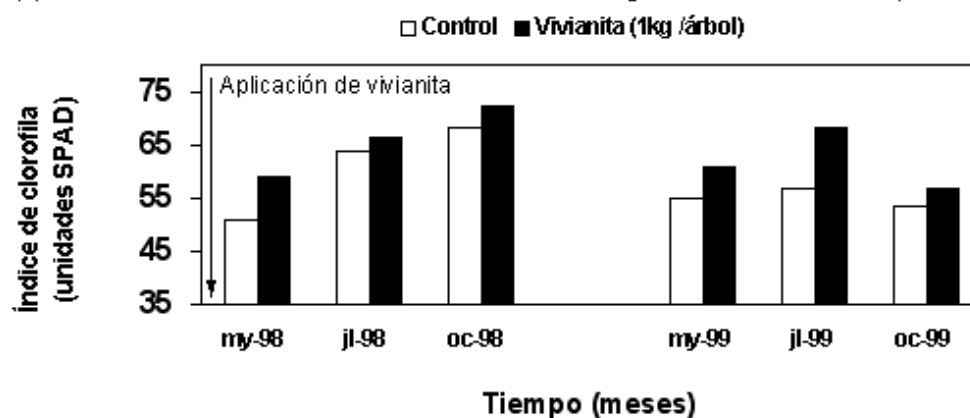


Figura 3. Evolución del índice de clorofila (unidades SPAD) en olivos (cv. Hojiblanca, campo 'Villares') control (sin Fe) y tratados con vivianita. Letras distintas indican valores significativamente distintos ($P < 0.10$).

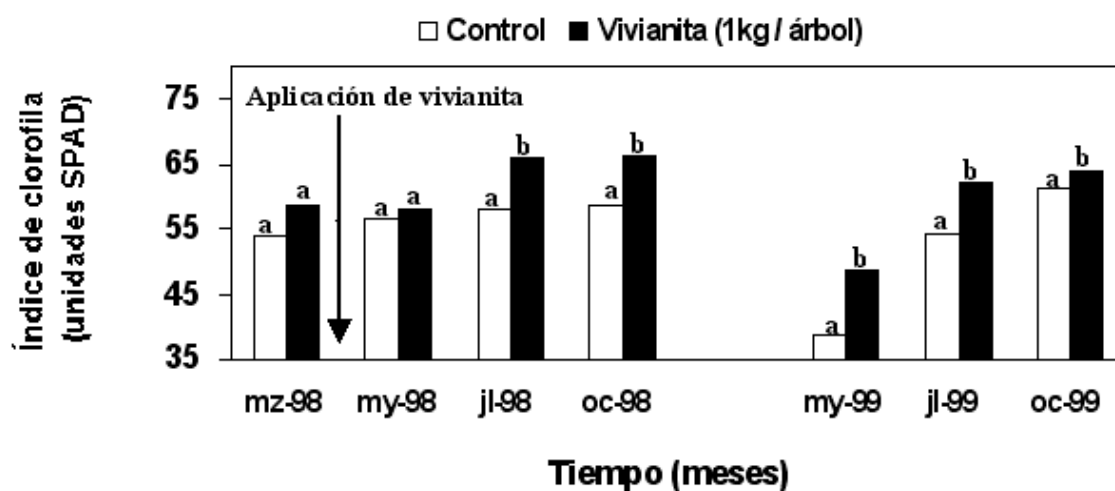


Figura 4. Evolución del índice de clorofila (unidades SPAD) en olivos (cv. Manzanilla, campo 'Sequera') control (sin Fe) y tratados con vivianita. Letras distintas indican valores significativamente distintos ($P < 0.10$).