

EL MELOCOTONERO ES UNA DE LAS ESPECIES FRUTALES QUE MÁS SUFREN DEBIDO A LA CARENCIA DE HIERRO

# Efectos de la clorosis férrica en la producción, apariencia y composición química de los frutos

Ana Álvarez-Fernández<sup>1</sup>,  
Juan Carlos Melgar<sup>1,2</sup>, Ajmi Larbi<sup>1,3</sup>,  
Javier Abadía<sup>1</sup>, Anunciación Abadía<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Nutrición Vegetal, Estación Experimental de Aula Dei (CSIC) Zaragoza, España.

<sup>2</sup>Dirección actual: Citrus Center, Texas A&M University - Kingsville, 312 N International Boulevard, Weslaco, TX 78596, USA.

<sup>3</sup>Dirección actual: Institut de l'Olivier, BP 208 Tunis, Cité Mahrajène 1082. Túnez.

La clorosis férrica o deficiencia de hierro es una de las alteraciones nutricionales más importantes que se pueden encontrar en frutales cultivados en suelos calizos o alcalinos, habituales en toda la Cuenca Mediterránea (Rombolà y Tagliavini, 2006). En la hoja, uno de los síntomas típicos de la clorosis férrica es el amarilleamiento intervenal que se desarrolla comenzando en las hojas apicales (Abadía y col., 2004). En algunas especies como el peral, la clorosis es atípica, ya que el amarilleamiento puede afectar a toda la hoja de manera homogénea. A nivel de árbol, en el melocotonero la clorosis suele ser bastante homogénea y afecta por igual a todas las ramas, también a diferencia de lo que ocurre en el peral. En esta especie la clorosis afecta a menudo a algunas ramas que exhiben diferentes grados de clorosis, mientras que otras ramas del mismo árbol pueden permanecer verdes. La clorosis afecta también al crecimiento de los brotes, principalmente debido a la disminución de la fotosíntesis, y causa defoliación, disminución de la cosecha y una reducción en la vida productiva del árbol de hasta cinco o seis años (Rombolà y Tagliavini, 2006). Solo en el área mediterránea se ha estimado que los agricultores destinan unos 74 M€ al año para corregir esta deficiencia, cantidad en su mayor parte dedicada a la compra de quelatos sintéticos de Fe(III)

Ya se han descrito anteriormente pérdidas en rendimiento de las plantaciones de frutales, generalmente asociadas a reducciones en el número y tamaño de los frutos, que se traducen en una reducción de valor de mercado de las frutas procedentes de las plantaciones afectadas por clorosis (Álvarez-Fernández y col., 2006a). Sin embargo, son muy escasos los estudios sobre la influencia de la deficiencia de hierro en el desarrollo del fruto y su maduración. En este trabajo se presentan los efectos de diferentes grados de clorosis en la producción, apariencia y composición química en frutos de melocotonero procedentes de plantaciones comerciales del Valle del Ebro.

(Álvarez-Fernández y col., 2003; Álvarez-Fernández y col., 2006b). Además, la aplicación de quelatos debe ser llevada a cabo todos los años, ya que, debido a su alta solubilidad, estos compuestos se lixivian de forma relativamente fácil del suelo tanto por lluvias como por riegos. Aunque hay que tener en cuenta que los distintos cultivos difieren en su susceptibilidad, se sabe que el melocotonero es una de las especies frutales que más sufren debido a esta carencia. España es el segundo país productor de melocotón en Europa (Faostat, 2008), y los costes derivados de la fertilización férrica encaminados a paliar este problema en nuestro país son muy significativos.

## Cambios inducidos por la clorosis férrica en la producción

En un primer ensayo se estudió un ejemplo típico de frutales crecidos en una plantación

de melocotonero (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. Babygold 5), localizada en El Temple (Huesca; 41,97° N, 0,75° W). Los melocotoneros estaban injertados en pie franco en un marco de 4 x 5 m. Las características del suelo, arcillo-limoso, eran: 32% de CaCO<sub>3</sub> total, 13% de caliza activa, 2% de materia orgánica y un pH en agua de 8,0. Estas características son típicas de esta zona del Valle del Ebro. El riego se hizo por inundación y la plantación se fertilizó rutinariamente excepto en lo que respecta al hierro, ya que no hubo fertilización férrica en los dos años anteriores al estudio. No se observaron problemas por falta de agua u otros desórdenes nutricionales distintos de la clorosis férrica. El grado de clorosis se controló mediante medidas no destructivas de la clorofila en hoja, registrando los índices SPAD (SPAD-502, Minolta Corp., Ramsey, NJ, USA), ya que se sabe que la concentración de hierro en hoja no es buen indicador de la clorosis férrica en frutales (Morales y col., 1998; Igartua y col.,

2000). Todas las medidas de SPAD se hicieron en el momento de la cosecha y abarcaron un rango de 7 a 36 unidades de SPAD, equivalentes en concentración de clorofila a un rango de 3 a 17 nmoles por cm<sup>2</sup>.

La clorosis férrica inducida por una deficiencia de hierro disminuyó la producción en melocotonero (**figura 1**). Se pudo observar claramente una relación entre el grado de clorosis y la cantidad de fruto, con una disminución de la cosecha tanto en kilogramos por árbol como en número de frutos por árbol. La disminución fue más acusada en los árboles más afectados por la deficiencia férrica. La pérdida en producción (kg/árbol) puede llegar hasta un 90% en los árboles más cloróticos, que presentaban un 75% de disminución de la concentración de clorofila en hoja.

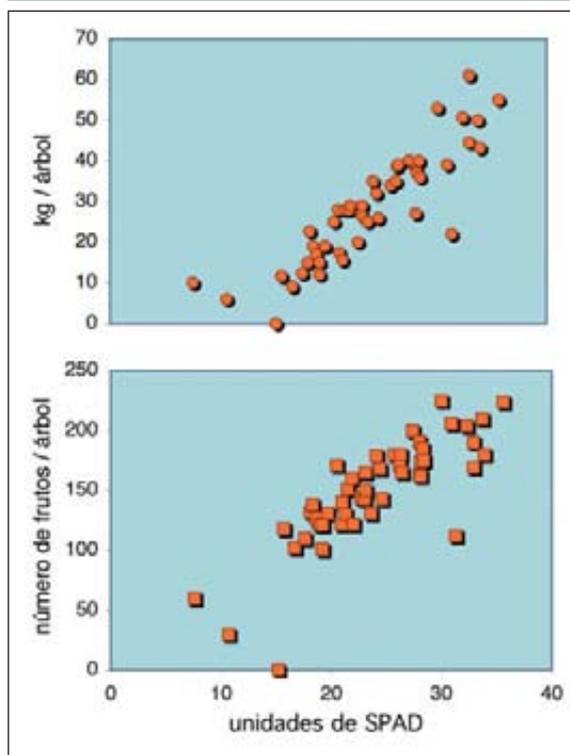
Este efecto negativo sobre la cosecha se puede reducir si se corrige la deficiencia en un momento en el que esta corrección todavía pueda tener repercusión en la floración y cuajado. En la **foto 1** se puede observar la diferencia de floración y producción en un mismo árbol clorótico en el que algunas ramas habían sido tratadas con implantes férricos a la rama durante el año anterior. Se puede observar claramente que en las ramas tratadas (derecha de la fotografía) se incrementó considerablemente tanto el número de flores (**foto 1A**) como el de frutos (**foto 1B**). En esta misma experiencia, tratando con implantes férricos las ramas de un árbol clorótico, se observó además un adelanto de la maduración en las ramas tratadas en comparación con las no tratadas (**foto 2**). Por último, en la **foto 3** se puede observar una muestra de melocotones de ramas procedentes de árboles sanos y otra procedente de árboles afectados por una clorosis severa.

## Efecto de la clorosis férrica en la apariencia y la composición del fruto

Un segundo ensayo se llevó a cabo en la misma plantación situada en El Temple (Huesca). El aclareo, práctica que tiene que ser muy controlada en este tipo de estudios, fue moderado (entre 3 y 21 kg por árbol) y se llevó a ca-

**FIGURA 1.**

**Relación entre la concentración de clorofila en hojas jóvenes (estimada mediante valores de SPAD) 90 días después de plena floración y la producción total en kg/árbol y número de frutos/árbol en una plantación comercial en el Valle del Ebro.**



bo teniendo en cuenta el nivel de clorofila de las hojas del árbol. La clorosis se evaluó, como en el apartado anterior, estimando la concen-

**Solo en el área mediterránea se ha estimado que los agricultores destinan unos 74 M€ al año para corregir esta deficiencia, cantidad en su mayor parte dedicada a la compra de quelatos sintéticos de Fe(III)**

tración de clorofila de las hojas jóvenes del árbol mediante medida de los valores de SPAD. Estos índices de SPAD permitieron agrupar los árboles seleccionados para el estudio en tres clases: árboles sin síntomas de clorosis (+Fe, control con valores de SPAD de 39 a 43), árboles que desarrollaron una clorosis moderada a lo largo de la estación (-Fe, clorosis moderada con valores de SPAD de 24 a 44), y, por último, árboles con síntomas severos de padecer la deficiencia (-Fe, clorosis severa con valores de SPAD de 18 a 24). Se realizaron medidas de producción (kg/árbol y número de frutos/árbol), características físicas (tamaño y peso del fruto y firmeza) y características químicas (acidez, compuestos fenólicos, vitamina C, ácidos orgánicos y azúcares) de los frutos. Todos los frutos se recogieron manualmente en las mismas fechas, cuando los frutos de los árboles no afectados (controles) habían alcanzado la maduración comercial. Como ya hemos comentado anteriormente, la clorosis en melocotonero suele ser homogénea en todas las ramas de un mismo árbol.

## Cambios en la producción y apariencia del fruto

También en este caso, como en el caso anterior, se observó un descenso de producción tanto en peso por fruto como en número de frutos, siendo el des-

censo en número de frutos mucho más acusado en el caso de la denominada clorosis moderada que en la severa (**cuadro I**), aunque las diferencias encontradas entre clorosis moderada y severa no fueron estadísticamente significativas ( $p < 0,10$ ). Diferencias en el grado de clorosis produjeron también efectos diferentes en parámetros relacionados con la apariencia del fruto, como son el peso fresco, tamaño medio de los frutos y firmeza (**cuadro I**). Así, el peso fresco medio por fruto disminuyó cuando los frutales presentaban una clorosis severa, siendo menos afectado en árboles con clorosis moderada. En cuanto al tamaño del fruto, una clorosis severa indujo una disminución en el tamaño medio del fruto, mientras que la clorosis moderada incrementó el tamaño con respecto al encontrado en los frutos de los árboles control. Este aumento de tamaño puede tener importancia práctica, ya que este tipo de



Foto 1. Efecto de la clorosis férrica en melocotonero. En la fotografía se puede observar la floración (A) y la cosecha (B) en un árbol de melocotonero afectado por clorosis en el que algunas ramas habían sido tratadas con implantes férricos durante el año anterior (parte derecha de A y B).

### CUADRO I.

Efecto de la clorosis férrica sobre la producción (kg/árbol y frutos/árbol, en %), y apariencia del fruto —peso fresco (PF) por fruto (g), tamaño de fruto (diámetro, mm) y firmeza (graduación Durofel)—.

	Clorosis	Producción (%)	Frutos/árbol (%)	Peso fresco (PF)/fruto	Tamaño fruto	Firmeza
+Fe	No	100a	100a	236±30a	69,0±0,3b	70,0±0,4b
-Fe	Moderada	17±6b	19±7b	203±8ab	74,2±0,3a	71,1±0,5b
-Fe	Severa	26±7b	40±12b	160±11b	65,4±0,3c	72,7±0,5a

Los datos son media ± EE (n = 4 para los valores por árbol y 196 a 300 dependiendo del grado de clorosis para los valores por fruto). Las medias seguidas de diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes a  $p < 0,10$ . Datos tomados de Álvarez-Fernández y col., 2011.

clorosis moderada podría tener un efecto similar al aclareo, con lo que quizá se podría conseguir un aumento final del tamaño del fruto sin necesidad de programar un aclareo rutinario. Esta práctica consistiría en inducir una ligera clorosis a través de un control muy preciso del suministro de hierro al árbol y evitaría los gastos que conlleva el aclareo manual o químico. Sin embargo, esta hipótesis debería ser confirmada en estudios posteriores, ya que la clorosis también aumenta la heterogeneidad en el tamaño del fruto y otros parámetros de calidad a nivel de árbol (Álvarez-Fernández y col., 2011).

Los frutos de árboles controles mostraron diámetros de fruto comprendidos entre 60 y 80 mm, los moderadamente cloróticos entre 60 y 90 mm y los que presentaban una clorosis severa entre 50 y 80 mm. Además, en los melocotoneros moderadamente cloróticos más de un 80% de los frutos tuvieron diámetros mayores de 70 mm, mientras que en los árboles control sólo un 40% de los frutos alcanzaron este tamaño. En este experimento, el color del fruto se vio poco afectado por la clorosis severa, pero no por la moderada, aunque también en este caso aumentó la heterogeneidad del color de los frutos dentro del árbol (Álvarez-Fernández y col., 2011). Se ha descrito anteriormente que el efecto de la clorosis sobre el color del melocotón es dependiente del cultivar utilizado en los estudios (Álvarez-Fernández y col., 2003).

La firmeza solo se vio afectada por la clorosis severa, encontrando frutos más firmes en los árboles más cloróticos (**cuadro I**). Estos cambios en color y firmeza (que es uno de los índices más aceptados para estimar la maduración en el caso del melocotón) reflejan cambios en el estado de maduración, observándose un retraso en la misma, sobre todo en el caso de los árboles con clorosis severa. Este retraso en la maduración ya se había observado en melocotonero (Álvarez-Fernández y col., 2003; Razeto y Valdés, 2006) y en otras especies como el tomate o *Citrus* (para revisión consultar Álvarez-Fernández y col., 2006a).

### Cambios en la composición química del fruto

Los análisis químicos se llevaron a cabo en una muestra homogénea de nueve frutos por árbol, todos comercialmente aceptables, seleccionados de una muestra mucho mayor, utiliza-

da para realizar los análisis de las características físicas. Para estudiar el efecto de la clorosis férrica en la composición y, con el objeto de evitar las diferencias en el nivel de maduración de los frutos dentro de un mismo árbol, se utilizaron frutos con características físicas similares procedentes de árboles sanos o afectados por la deficiencia, como ya se ha hecho en estudios precedentes (Álvarez-Fernández y col., 2003). La clorosis férrica, tanto moderada como severa incrementó significativamente la acidez y la concentración de compuestos fenólicos, responsables de la astringencia y el amargor, pero solo la clorosis moderada afectó significativamente el contenido de vitamina C (**cuadro II**). La relación del contenido total de azúcares respecto del contenido de ácidos orgánicos, nuevamente considerado como un índice de madurez, se vio también afectada por la clorosis. Todos estos datos (incremento de la acidez y compuestos fenólicos y descenso de la relación azúcares/ácidos) apuntan a un retraso en la maduración.

**Los resultados obtenidos muestran que la clorosis férrica tiene un claro efecto sobre la maduración del fruto, retrasando la misma significativamente. El efecto más importante inducido por la clorosis férrica en melocotonero fue una gran reducción de la producción, incluso cuando la clorosis se considera moderada**

En lo que respecta a los ácidos orgánicos, aunque la cantidad total de ácidos orgánicos aumentó, el aumento no fue significativamente diferente entre los grados de clorosis y, además, no todos los ácidos estudiados variaron

de la misma forma (**cuadro III**). Así, mientras el ácido málico no presentó diferencias significativas, los ácidos cítrico y quínico aumentaron en el caso de clorosis moderada y severa, respectivamente. Tanto el contenido total de azú-

cares como el contenido de sacarosa, azúcar mayoritario en melocotón, no fueron afectados por la deficiencia. Sin embargo, en azúcares minoritarios como sorbitol se vio un aumento significativo en los árboles afectados por cloro-



Foto 2. Detalle de la diferencia de cosecha en las ramas tratadas con implantes férricos (derecha) y las no tratadas (izquierda) en un mismo árbol de melocotonero. Se puede apreciar también la defoliación producida en el brote que permanece clorótico



Foto 3. Muestra típica de melocotones procedentes de ramas control y afectadas por clorosis.

**CUADRO II.**

Efecto de la clorosis férrica sobre la relación del contenido total de azúcares / contenido total de ácidos orgánicos, acidez (% ácido málico), compuestos fenólicos totales (mg 100g<sup>-1</sup> PF) y vitamina C (mg 100 g<sup>-1</sup> PF).

Clorosis		Total azúcares/ Total ácidos	Acidez	Compuestos fenólicos	Vitamina C
+Fe	No	6,2±0,4a	0,34±0,01b	0,89±0,12b	2,9±0,2a
-Fe	Moderada	5,5±0,2b	0,39±0,01a	1,60±0,12a	1,4±0,2b
-Fe	Severa	5,7±0,5ab	0,38±0,02a	1,49±0,12a	2,6±0,2a

Los datos son media ± EE (n = 12). Las medias seguidas de diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes a p < 0,10. Datos tomados de Álvarez-Fernández y col., 2011.

**CUADRO III.**

Efecto de la clorosis férrica sobre la concentración de ácidos orgánicos y azúcares (mg 100 g<sup>-1</sup> PF).

Clorosis		Málico	Cítrico	Quínico	Total
+Fe	No	663±26a	188±16b	145±12b	996±52a
-Fe	Moderada	661±43a	237±12a	184±10ab	1.083±52a
-Fe	Severa	741±48a	220±17ab	208±14a	1.169±72a

Clorosis		Sacarosa	Glucosa+Fructosa	Sorbitol	Total
+Fe	No	4.510±210a	1.534±91b	84,3±101b	6.128±281a
-Fe	Moderada	4.208±213a	1.603±59a	117±9ab	5.928±250a
-Fe	Severa	4.820±229a	1.682±72a	154±15a	6.655±286a

Los datos son media ± EE (n = 12). Las medias seguidas de diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes a p < 0,10. Datos tomados de Álvarez-Fernández y col., 2011.

sis severa. En lo que respecta al contenido de hexosas (glucosa + fructosa) en el fruto también se pudo observar un aumento, inducido por la clorosis tanto en grado moderado como severo. Sobre estos frutos se realizaron análisis del contenido mineral (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn) y, en general, no se vieron diferencias significativas (no mostrado). Sólo en los casos de concentraciones de P y Zn se observó un aumento con la clorosis, mientras que la concentración de Cu disminuyó en los árboles afectados por la deficiencia.

**Madurez y disponibilidad de carbono**

Como hemos visto en los apartados anteriores, los resultados obtenidos muestran que la clorosis férrica tiene un claro efecto sobre la maduración del fruto, retrasando la misma significativamente. En melocotonero, como ya se ha comentado, la clorosis afecta uniformemente a todas las ramas, y conlleva una disminución de la tasa de fotosíntesis (Larbi y col., 2006) y, por lo tanto, una baja disponibilidad de carbono para los frutos. Se ha descrito que cuando la disponibilidad de carbono es alta, el desarrollo del fruto es temprano (Bertin,

2005), y en manzano se ha observado un inicio temprano de la producción de etileno (que interviene en la regulación de la maduración en frutas climatéricas) en los frutos de los árboles de carga (número de frutos por árbol) baja (con alta disponibilidad de carbono) en comparación con los frutos de los árboles con alta carga frutal (Dal Cin y col., 2007). Además, esta hipótesis está de acuerdo con los aumentos encontrados en la concentración de hexosas, ya que se han encontrado incrementos de estos compuestos en melocotones crecidos en baja disponibilidad de carbono (Morandi y col., 2008).

**Conclusiones**

El efecto más importante inducido por la clorosis férrica en melocotonero fue una gran reducción de la producción, incluso cuando la clorosis se considera moderada. Esta reducción se ha asociado a disminuciones en la carga de fruto. El tamaño del fruto se incrementó con la clorosis moderada y disminuyó en el caso de clorosis severa. Los dos grados de clorosis estudiados afectaron uniformemente a to-

das las ramas, dando lugar a frutos con mayor firmeza, una alta acidez y mayor contenido de compuestos fenólicos totales y una menor relación azúcares/ácidos orgánicos. Estos resultados sugieren un retraso en la maduración que puede ser atribuido a una baja disponibilidad de carbono para los frutos. Todos los niveles de clorosis incrementaron la heterogeneidad en la apariencia de los frutos. ●

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (proyectos AGL2006-1416 y AGL2009-09018, cofinanciados con fondos FEDER), la Comunidad Europea (proyecto ISAFRUIT, Thematic Priority 5-Food Quality and Safety, 6th Framework Programme of RTD; N° de proyecto FP6-FOOD-CT-2006-016279), y el Gobierno de Aragón (Grupo A03).

**Bibliografía ▼**

- Abadía J, Sanz M, Abadía A 2004 Causas y efectos de la clorosis férrica en frutales. *Vida Rural* 186: 54-57.
- Álvarez-Fernández A, Abadía J, Abadía A 2006a Iron deficiency, fruit yield and quality. En: Abadía J, Barton LL (Eds.), *Iron Nutrition and Interactions in Plants*. Springer, Dordrecht, pp. 85-101.
- Álvarez-Fernández A, Abadía J, Abadía A 2006b Evaluación química y agronómica de quelatos de hierro sintéticos. *Vida Rural* 227: 20-22 y 44-45.
- Álvarez-Fernández A, Melgar JC, Abadía J, Abadía A 2011 Effects of moderate and severe iron deficiency chlorosis on fruit yield, appearance and composition in pear (*Pyrus communis* L.) and peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). *Environ. Exp. Bot.* (in press). DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.12.012.
- Álvarez-Fernández A, Paniagua MP, Abadía J, Abadía A 2003 Effects of Fe deficiency-chlorosis on yield and fruit quality in peach (*Prunus persica* L. Batsch). *J. Agric. Food Chem.* 51:5738-5744.
- Bertin N 2005 Analysis of the tomato fruit growth response to temperature and plant fruit load in relation to cell division, cell expansion and DNA endoreplication. *Annals Bot.* 95:439-447.
- Dal Cin V, Danesin M, Botton A, Boschetti A, Dorigoni A, Ramina A 2007 Fruit load and elevation affect ethylene biosynthesis and action in apple fruit (*Malus domestica* L. Borkh) during development, maturation and ripening. *Plant Cell Environ.* 30:1480-1485.
- FAOSTAT. <http://faostat.fao.org>. 2008.
- Igartua E, Grasa R, Sanz M, Abadía A, Abadía J 2000 Prognosis of iron chlorosis from the mineral composition of flowers in peach. *J. Hort. Sci. Biotech.* 75:111-118.
- Larbi A, Morales F, Abadía J, Abadía A 2003 Effects of branch solid Fe sulphate implants on xylem sap composition in field-grown peach and pear: changes in Fe, organic anions and pH. *J. Plant Physiol.* 160:1473-1481.
- Morales F, Grasa R, Abadía A, J Abadía 1998 The iron "chlorosis paradox" in fruit trees. *J. Plant Nutr.* 21:815-825.
- Morandi B, Corelli Grappadelli L, Rieger M, Lo Bianco R 2008 Carbohydrate availability affects growth and metabolism in peach fruit. *Physiol. Plant.* 133:229-241.
- Razeto B, Valdés G 2006 Fruit analysis as an indicator of the iron status of nectarine and kiwi plant. *HortTech.* 16:579-582.
- Rombolà AD, Tagliavini M 2006 Iron nutrition of fruit tree crops. En: Abadía J, Barton LL (Eds.), *Iron Nutrition and Interactions in Plants*. Springer, Dordrecht, pp. 61- 83.