

LA PRESENCIA DE Zn Y Mn EN EL QUELATO MÚLTIPLE INCREMENTÓ LA ABSORCIÓN DEL Fe POR LOS CÍTRICOS

Evaluación de un quelato múltiple de Fe, Zn y Mn frente a uno simple de Fe en cítricos

■ Belén Martínez-Alcántara, Ana Quiñones y Francisco Legaz.

Departamento de Citricultura. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

El objetivo central del presente trabajo es cuantificar el antagonismo que se genera entre las absorciones por la planta de los cationes Fe^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} cuando se aportan vía suelo quelatos de Fe. Para ello, se evaluará la respuesta de dos dosis de un quelato de Fe (Greental) o uno múltiple de Fe, Zn y Mn (Vanguard) sobre la biomasa de plántulas de cítricos, contenido y distribución de micronutrientes entre los órganos de la planta, índice de SPAD, pigmentos clorofílicos y fotosíntesis.

En la Comunidad Valenciana, aproximadamente el 85% de los suelos cultivados son calizos (Legaz *et al.*, 1986) por lo que la clorosis férrica, así como las deficiencias en cinc y manganeso, aparece con frecuencia en los cítricos debido a la insolubilización de estos elementos. Estas deficiencias afectan al contenido de clorofilas y nutrientes, influyendo negativamente en la producción y calidad comercial de los frutos, con la consiguiente pérdida de rentabilidad de cultivo (Legaz *et al.*, 1992; Tagliavini *et al.*, 2000). Para la corrección de estas fisiopatías se usan quelatos de Fe aplicados por vía suelo y correctores de Zn y Mn aportados por vía foliar, siendo estos últimos poco eficientes debido a su escasa movilidad desde tejidos foliares desarrollados a órganos jóvenes en crecimiento. La efectividad del Fe-EDDHA (etilendiamina diortohidroxifenil acetato) en la corrección de clorosis en cítricos, que se debe a su estabilidad a pH alcalino, ha sido demostrada en varios trabajos (El-Kassas, 1984; Legaz *et al.*, 1992; Bañuls *et al.*, 2003a). Sin embargo, este suministro de Fe al suelo antagoniza la absorción de Zn y Mn (Warden y Reisenauer, 1991; Bañuls *et al.*, 2003a), esto ocasiona alteraciones en algunos procesos bioquímicos de la plantas.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en veinte plantones de naranjo Valencia Late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) sobre citrange Carrizo (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata*), de tres años, cultivados en contenedores de 25 l de capacidad, con un suelo muy calizo (69% de carbonatos totales y un 30% en calcio activo), en condiciones controladas de invernadero y con riego por goteo. Se efectuaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones de una planta: dos dosis diferenciales de Greental y dos de Vanguard. Como control se usaron cuatro plantas no tratadas (**cuadro I**). Las dosis de micronutrientes se establecieron de acuerdo con Legaz y Primo-Millo (2000). Bañuls *et al.* (2003a) encontraron la mayor acumulación de Fe foliar con la aplicación mensual de Greental en Clementina de Nules sobre citrange Carrizo, al aplicar el Fe a intervalos de una, dos, cuatro y ocho semanas en riego a goteo. En función de este estudio, las dosis se aplicaron en tres fracciones iguales: floración (abril), cuajado (mayo) y crecimiento del fruto (julio).



El estudio se llevó a cabo en veinte plantones de naranjo Valencia Late de tres años, cultivados en contenedores de 25 l con suelo muy calizo.

Las plantas se fertirrigaron según la demanda hídrica del cultivo, con una solución nutritiva con 8,1; 1,1; 1,2 y 4,1 meq l⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y MgO, procedentes de los fertilizantes (nitrato potásico, nitrato amónico, ácido fosfórico y sulfato de magnesio) y de los nutrientes aportados con el agua de riego.

Finalizado el ensayo (noviembre de 2005), se extrajeron las plantas y se tomaron muestras (frutos, hojas, ramas, tronco, raíces gruesas y fibrosas) que se lavaron y secaron. El Fe, Zn y Mn del material vegetal se determinó por espectrometría de absorción atómica (AAAnalyst 200, Perkin-Elmer). En el momento del arranque, se midió el índice de SPAD (colorímetro portátil SPAD-502, Minolta) y la asimilación neta de CO₂ (medidor portátil Ciras 2, PP Systems) en las hojas de la brotación de primavera sin fruto terminal. En estas mismas hojas se determinó su contenido en clorofila con un espectrofotómetro (Shimadzu UV-1601).

Resultados y discusión

Biomasa

Las plantas fertilizadas con micronutrientes presentaron un peso seco superior a las del control, siendo significativo para la dosis mayor de ambos correctores (**figura 1**). Esto se debió al incremento significativo en la biomasa de los órganos jóvenes y raíz fibrosa (**cuadro II**). No se observaron diferencias significativas entre los quelatos estudiados. Los árboles del control no fructificaron por su acusada clorosis férrica (datos no presentados).

Concentración de Fe

Para ambas dosis de Fe, las plantas tratadas con Vanguard siempre concentraron más Fe que las tratadas con Greental, siendo las acumulaciones significativamente mayores en los órganos jóvenes. Por otro lado, la duplicación del Fe aportado con cada quelato incrementó de forma significativa el nivel de éste con respecto al control en el total de la planta, sistema radical y órganos viejos, a excepción de los órganos jóvenes del tratamiento con G₂ (**cuadro III**). En este sentido, Bañuls *et al.* (2003b) no observaron diferencias significativas en la concentración de Fe foliar, en un estudio realizado con dosis diferenciales de Greental en mandarinos.

Concentración de Zn

Los tratamientos con G₁ y G₂ presentaron una disminución progresiva de la concentración de Zn en todos los órganos con respecto al control, como consecuencia del antagonismo originado con la aplicación de Fe (Legaz *et al.* 1992), mientras que con el Vanguard se obtu-

Para ambas dosis de Fe, las plantas tratadas con Vanguard siempre concentraron más Fe que las tratadas con Greental, siendo las acumulaciones significativamente mayores en los órganos jóvenes

Cuadro I.

Dosis diferenciales de micronutrientes.

Tratamientos	mg/planta		
	Fe	Zn	Mn
Control	-	-	-
Greental ^z (G ₁)	150,0	-	-
Greental (G ₂)	300,0	-	-
Vanguard ^y (V ₁)	150,0	16,6	33,3
Vanguard (V ₂)	300,0	33,2	66,6

^zGreental: quelato con 6% Fe (5,25% Fe-o-o-EDDHA); ^yVanguard: quelato combinado con 4,5% Fe (4,0% Fe-o-o-EDDHA), 1% Mn (0,9% Mn-o-o-EDDHA) y 0,5% Zn (0,45% Zn-o-o-EDDHA).

Cuadro II.

Efecto de los tratamientos sobre la biomasa de las plantas (g)^z.

	Control	G ₁	V ₁	G ₂	V ₂	Significación ^y
Órganos jóvenes ^x	10,4b ²	98,9a	84,5a	91,6a	129,8a	*
Órganos viejos ^w	202,5	187,5	203,5	224,1	211,6	ns
Raíz gruesa	216,4	204,7	194,7	194,1	170,4	ns
Raíz fibrosa	32,9b	57,6ab	75,0a	66,1a	64,7a	*

^zMedia de cuatro repeticiones.

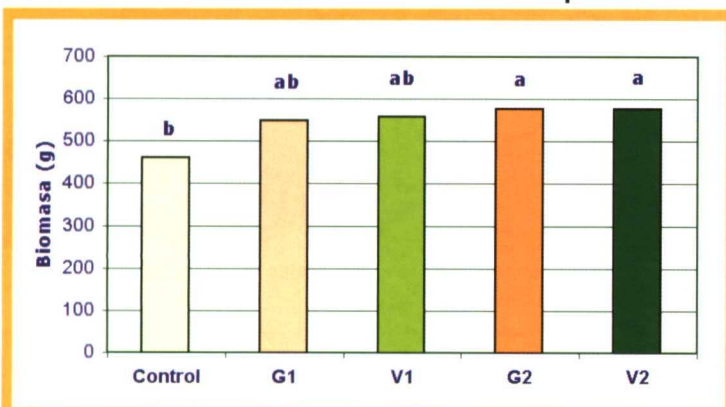
^yLetras distintas en una misma fila son significativamente diferentes según test LSD-Fisher (*) para P≤0,05; no significativo (ns) para P>0,05.

^xFrutos, hojas y ramas de nuevas brotaciones.

^wHojas y ramas viejas y tronco.

Figura 1.

Efecto de los tratamientos sobre la biomasa de las plantas.



vo una tendencia opuesta en los órganos jóvenes y viejos, así como en el total de la planta. Las plantas tratadas con V₁ y V₂ mostraron una acumulación en Zn significativamente superior a las del tratamiento con G₂ (**cuadro IV**). Esto indica que una dosis baja de Zn incorporada al quelato de Fe fue suficiente para contrarrestar el efecto antagónico del Fe frente al Zn. Bañuls *et al.* (2003a) también encontraron reducciones en la concentración foliar de Zn en árboles de Clementina de Nules tratados con Greental en relación al control. Sanz (2005) encontró una respuesta similar en el nivel foliar de Zn en un ensayo con ambos quelatos en melocotonero.

Concentración de Mn

Los tratamientos G₁ y G₂ provocaron una reducción notable en la concentración de Mn en los órganos jóvenes con respecto al control (**cuadro V**). En las plantas tratadas con G₁ y G₂ disminuyó la acumulación foliar de Mn (datos no presentados), situándose en el nivel bajo de acuerdo con Legaz y Primo-Millo (1995). Al igual que en el caso del

Zn, esta disminución se debió al antagonismo en la absorción de estos elementos con el Fe. Sin embargo, los tratamientos con V₁ y V₂ situaron el Mn en el nivel óptimo (Legaz y Primo-Millo, 1995). Esto tam-

Cuadro III.

Efecto de los tratamientos sobre la concentración de Fe (ppm)^z.

	Control	G ₁	V ₁	G ₂	V ₂	Significación ^y
Órganos jóvenes ^x	54,3bc	48,9c	88,4ab	53,5c	112,5a	*
Órganos viejos ^x	39,1b	42,8b	44,7b	59,4a	68,9a	*
Raíz gruesa	109,7b	111,3b	161,3a	178,3a	187,3a	*
Raíz fibrosa	1.461,0b	1.831,3b	1.959,8b	2.886,8a	3.171,0a	*
Total planta	170,3d	256,4cd	348,9bc	409,9ab	459,8a	*

^zMedia de cuatro repeticiones. Letras distintas en una misma fila son significativamente diferentes según test LSD-Fisher. Y No significativo (ns) para P>0,05 y significativo (*) para P≤0,05. ^xMedia ponderada.

Cuadro IV.

Efecto de los tratamientos sobre la concentración de Zn (ppm)^z.

	Control	G ₁	V ₁	G ₂	V ₂	Significación ^y
Órganos jóvenes ^x	20,2ab	18,8ab	23,2a	15,4b	22,4ab	*
Órganos viejos ^x	22,5ab	22,2ab	22,7a	19,4b	22,9a	*
Raíz gruesa	32,2	32,8	31,6	27,9	31,9	ns
Raíz fibrosa	163,8	128,2	131,3	125,1	144,3	ns
Total planta	36,8ab	36,7ab	39,9a	32,9b	38,8a	ns ^{0,10}

^z y ^x: véase cuadro III.

Cuadro V.

Efecto de los tratamientos sobre la concentración de Mn (ppm)^z.

	Control	G ₁	V ₁	G ₂	V ₂	Significación ^y
Órganos jóvenes ^x	16,0ab	9,9b	25,1a	10,7b	28,6a	*
Órganos viejos ^x	19,1	18,9	19,5	22,5	17,5	ns
Raíces gruesas	29,5	28,0	26,6	24,9	25,5	ns
Raíces fibrosas	104,4	95,0	120,7	114,3	128,5	ns
Total planta	29,8	28,7	35,2	31,6	34,6	ns

^z y ^x: véase cuadro III.

Cuadro VI.

Efecto de los tratamientos^z sobre el índice de SPAD^y, contenido en clorofila a^x y fotosíntesis^w en el momento del arranque.

	SPAD	Clorofila a (Mg/g p.s.)	Fotosíntesis neta (Mmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)
Control	22,2c	711c	3,0c
G ₁	49,3b	2.684b	6,5bc
V ₁	52,2ab	2.949ab	12,0a
G ₂	55,2ab	3.236ab	8,8ab
V ₂	57,7a	3.485a	12,8a
Significación ^v	*	*	*

^zMedia de cuatro repeticiones. Letras distintas en una misma columna son significativamente diferentes según test LSD-Fisher. ^yMedido 97 días después de la última aplicación; tres lecturas por planta. ^xCalculada a partir de los valores del índice de SPAD a través de la correlación: $y=4,0718x^{1,6652}$, $R^2=0,9266$. ^wAsimilación neta de CO₂. ^vSignificativo (*) para P≤0,05.

bién refleja que el efecto antagónico del Fe frente al Mn se eliminó al adicionar una dosis baja de Mn al Fe quelatado. Sanz (2005) encontró incrementos en el contenido foliar de Mn en los árboles tratados con Vanguard, mientras que los tratados con Greental mantuvieron un nivel similar al control.

Índice de SPAD, clorofila y fotosíntesis

En el momento del arranque, los valores del índice de SPAD fueron significativamente más bajos en los controles que en los árboles tratados con Greental y Vanguard, siendo ligeramente superiores para este último (cuadro VI). Tagliavini *et al.* (2000) observaron un aumento de los índices de SPAD en hojas de perales tratados con Fe-EDDHA vía suelo en relación al control. Sanz (2005) encontró valores de SPAD ligeramente superiores en hojas de melocotonero a los cien días de aplicar Vanguard. Las hojas de las plantas control presentaron una concentración óptima en Fe; sin embargo, su índice de SPAD fue extremadamente bajo en relación al de las plantas tratadas que alcanzaron un nivel foliar alto (datos no presentados). Esto se explicaría por la denominada "paradoja de la clorosis" en la que las hojas cloróticas y no cloróticas tienen niveles similares de Fe total. De modo que al inmovilizarse parte de éste en los ácidos orgánicos (citrato y malato), se redujeron drásticamente la clorofila a y la fotosíntesis neta. El Fe aplicado con ambos quelatos aumentó significativamente el contenido en clorofila a y la fotosíntesis neta, obteniéndose los mayores valores de fotosíntesis en las hojas de los árboles tratados con V₂. Por otro lado, las plantas tratadas con V₂ presentaron valores significativamente superiores con respecto a los obtenidos con G₁ en los tres parámetros citados.

Conclusiones

La presencia de Zn y Mn en el quelato Vanguard incrementó la absorción de Fe por los cítricos cultivados en un suelo muy calizo, contrarrestando el efecto antagónico de este elemento en la absorción de Zn y Mn cuando se aplica el quelato simple Greental. Otros parámetros como el índice de SPAD, el contenido en clorofila a y la fotosíntesis mejoraron con este quelato múltiple. La información obtenida sugiere que la aplicación de un quelato múltiple sería muy útil para corregir las deficiencias de Fe, Zn y Mn en los suelos calizos. ■



Sintomatología de la deficiencia en Fe en las plantas no tratadas (izquierda) en relación a las tratadas con Fe (derecha).

Bibliografía: Existe una amplia bibliografía a disposición de los lectores en redaccion@eumedia.es