

ABSORCIÓN Y TRANSLOCACIÓN DEL CALCIO Y NITRÓGENO EN PLANTAS JÓVENES DE CÍTRICOS CULTIVADAS EN SUELO

Equipo de Nutrición y Fertilización de Cítricos y Frutales
Departamento de Citricultura y Producción Vegetal (IVIA)

1. INTRODUCCIÓN

El calcio es un elemento esencial para las plantas por su importante papel en el mantenimiento de la integridad celular y la permeabilidad de las membranas celulares, proporciona ligamientos intermoleculares estables pero reversibles, predominantemente en las paredes celulares y en las membranas plasmáticas. Es necesario para el crecimiento continuo del brote apical de los meristemas de la raíz (ya que activa el crecimiento de los sistemas radiculares jóvenes). Se requiere también para la elongación y la división celular, participa en la translocación de los carbohidratos y juega un papel en la utilización del nitrógeno por las plantas. En el proceso de absorción radicular y transpiración debe considerarse como regulador frente al de K^+ y Na^+ . Además, es un elemento que fortalece la resistencia al ataque de patógenos e interviene en la formación de enzimas que activan numerosas reacciones: adenosintrifosfatasa (ATP-asa), α -amilasa, entre otras (Kirkby & Pilbeam, 1984).

El calcio se absorbe y transporta en forma iónica y, su absorción puede presentar algunos problemas ya que la vía de entrada del calcio es a través del espacio libre intercelular (apoplasto), siendo transportado hacia el xilema solo en las raíces en la que la endodermis suberizada no impide su paso (Russell y Clarkson, 1976). Es, por tanto, un transporte pasivo, en contraste con los otros elementos. El calcio, como catión Ca^{2+} , entra en el apoplasto (canales entre paredes celulares y células adyacentes)

RESUMEN

El calcio es un elemento esencial para las plantas por su importante papel en el mantenimiento de la integridad celular y la permeabilidad de las membranas celulares. Con el fin de mejorar el conocimiento de la absorción y translocación del calcio absorbido por los cítricos se ha realizado un segundo convenio con la empresa YARA IBERIAN S.A. donde se han abordado dos objetivos, cuantificar la absorción de Ca y N procedente de fertilizantes marcados con isótopos estables (^{44}Ca , ^{15}N) en plantas jóvenes de naranjo salustiano cultivadas en suelo durante un ciclo vegetativo completo y evaluar la proporción del contenido de estos nutrientes de los órganos jóvenes desarrollados durante las brotaciones de primavera (floración) y verano que procede del nitrato cálcico absorbido durante un ciclo (objetivo 1). Las plantas que recibieron calcio de los fertilizantes aplicados presentaron una biomasa significativamente superior a las plantas sin aporte extra de calcio con un aumento en el contenido de Ca total en la planta completa y en algunos órganos en los dos ensayos. El aporte de calcio no afectó de forma significativa a la absorción concentrada de N ni al contenido en éste.

y es ligado en forma intercambiable en las paredes celulares y en la superficie interior de la membrana plasmática. La absorción del calcio, así pues, queda restringida al movimiento apoplástico, sólo permitido en las raíces jóvenes no suberizadas. De ahí la importancia de mantener una continua actividad radicular para fortalecer una adecuada asimilación cálcica, constituyendo probablemente la forma más efectiva de optimizarla.

Además de la absorción, para conocer la translocación del calcio absorbido es necesaria la utilización de la técnica de dilución isotópica. La utilidad de la investigación con estos trazadores isotópicos, es que permite identificar y evaluar el destino de los isótopos estables (^{15}N , ^{44}Ca , ^{57}Fe , ...) aplicados en el sistema planta-suelo.

Con este fin, se ha realizado un segundo convenio con la empresa YARA IBERIAN S.A. donde se han abordado dos objetivos, en el 1º se ha cuantificado la absorción de Ca y N procedente de fertilizantes marcados con isótopos estables (^{44}Ca , ^{15}N) en plantas jóvenes de cítricos cultivadas en suelo durante un ciclo vegetativo completo y en el 2º también se ha evaluado la proporción del

contenido de estos nutrientes de los órganos jóvenes desarrollados durante las brotaciones de primavera (floración) y verano que procede del nitrato cálcico absorbido durante un ciclo (objetivo 1) que después de acumularse en los órganos viejos se translocan hacia los nuevos tejidos. En ambos objetivos se utilizará el nitrato cálcico, aplicado al suelo, marcado con los isótopos estables ^{44}Ca y ^{15}N . Además, se repetirán los mismos tratamientos que los definidos en los dos objetivos pero eliminando cualquier aporte de calcio de la solución nutritiva, para conocer la cantidad de calcio que proviene del contenido en el suelo, y sí influye el "No aporte" de calcio en la absorción de N.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Material vegetal y condiciones de cultivo

En marzo de 2012 se transplantaron 15 plantas de salustiana de 2 años de injerto, cultivadas en el invernadero en turba y perlita, a macetas con 4 Kg de un suelo franco y se mantuvieron en el invernadero durante un ciclo vegetativo completo. Como sustrato se utilizó un suelo con las características siguientes:

textura franca (17,1 % de arcilla, limo 37,3 % y un 45,6 % de arena total), pH de 8,5 (ligeramente alcalino), carbonatos totales 23,1 (calcáreo), caliza activa 5,0 % (poco clorosante). Con materia orgánica baja (0,69%), fósforo Olsen ligeramente bajo (19,2%), potasio bajo (0,30 meq 100 g suelo⁻¹), magnesio y calcio normales (1,7 y 8,5 meq 100 g suelo⁻¹, respectivamente) y conductividad eléctrica de 290 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

2.2 Estado inicial

El 4 de abril de 2012 se arrancaron 3 plantas con el fin de conocer su contenido en nutrientes. En cada una de las plantas arrancadas se separaron hojas y ramas viejas, tallo y raíces gruesas y fibrosas. Se pesó en fresco la biomasa de todas estas fracciones y una muestra de cada una de ellas se lavó con agua desionizada, se congeló con nitrógeno líquido y se eliminó la humedad mediante liofilización y se anotó el peso seco.

2.3 Desarrollo experimental del primer ciclo vegetativo (Marzo 2012-Enero 2013)

En este período, doce plantas se abonaron con fertilizantes marcados con los isótopos estables ⁴⁴Ca y ¹⁵N, 6 se utilizaron para el ensayo de absorción y las 6 restantes para el de translocación.

2.3.1 Ensayo de absorción

En este ensayo se realizaron dos tratamientos durante un ciclo vegetativo completo.

En el 1º se evaluó la absorción de Ca y N por plantas jóvenes de cítricos por medio de los isótopos ⁴⁴Ca y ¹⁵N aportados durante un período vegetativo (marzo 2012 a enero 2013). Para ello, tres plantones se abonaron de marzo a octubre con las dosis de nutrientes que se indican en la Tabla 1, en función del porte de las plantas y de la fertilidad del suelo.

El N se aportó con las 5 fuentes indicadas al pie de la Tabla 1 (tratamientos 1º). Para aportar el Ca se utilizaron 2 fuentes: como ⁴⁴Ca en forma ⁴⁴Ca(NO₃)₂ (Cambridge Isotope Laboratories, Inc., Andover, MA, USA) y calcinit (YaraLiva™ Calcinit). De modo que con ambos fertilizantes de calcio se obtuvo un enriqueci-

miento del 10,35 en ⁴⁴Ca y con los 5 fertilizantes nitrogenados se alcanzó un enriquecimiento del 11,57 en ¹⁵N. El P se aportó como ácido fosfórico, el K con el nitrato potásico marcado, el Mg como sulfato de magnesio. El Fe, Z, y Mn se suministraron en forma de quelato.

En el 2º tratamiento solamente se cuantificó la absorción del fertilizante del N aplicado como ¹⁵N y la contribución al contenido en N de los órganos jóvenes del N procedente del nitrato potásico aplicado durante un ciclo vegetativo en ausencia del suministro de Ca. Para aportar el N se aplicaron los 3 fertilizantes indicados al pie de la tabla (tratamientos 2º). La dosis de K se aplicó como nitrato potásico marcado con ¹⁵N y, el N que faltó para completar la dosis de N se suministró como nitrato amónico normal y marcado con ¹⁵N en ambas fracciones (nitríca y amoniaca), ya que se eliminaron las dos fuentes de N procedentes de los 2 tipos de nitrato cálcico (tratamiento 1º). De modo que el N procedente de los 3 fertilizantes aplicados también alcanzó un enriquecimiento del 11,57 % en ¹⁵N. El resto de macros (P y Mg) y micros (Fe, Zn y Mn) se suministraron con los mismos fertilizantes descritos en el tratamiento 1º.

2.3.2 Ensayo de translocación

El objetivo de este ensayo consistió en cargar los órganos de reserva de las plantas con Ca y N, y evaluar la contribución

de estos nutrientes al desarrollo de nuevos tejidos del siguiente ciclo vegetativo. También, se realizaron dos tratamientos.

En el 1º, se evaluó la contribución del Ca y N aplicados durante el ciclo vegetativo de 2012 al contenido total de estos nutrientes en los órganos jóvenes desarrollados durante el siguiente ciclo vegetativo (2013). De modo, que los nutrientes aplicados (Ca y N) después de absorberse y acumularse en los órganos viejos, se translocan hacia los nuevos tejidos del siguiente período vegetativo. Para ello, tres plantas similares a las utilizadas en el ensayo de absorción (tratamiento 1º), también se abonaron de marzo a octubre de 2012 con las mismas dosis de nutrientes, los mismos fertilizantes e idénticos enriquecimientos en ⁴⁴Ca y ¹⁵N a los expuestos en este ensayo.

En el 2º tratamiento, solamente, se cuantificó la contribución al contenido en N total de los órganos jóvenes del nuevo ciclo vegetativo; así que el N aplicado de marzo a octubre de 2012, después absorberse y acumularse en los órganos viejos, se transloca hacia los nuevos tejidos en desarrollo del siguiente período vegetativo (2013). Para tal fin, otro grupo de tres plantas parecidas a las utilizadas en el ensayo de absorción (tratamiento 2º), también se abonó de marzo a octubre de 2012 con las mismas dosis de nutrientes, los mismos fertilizantes e idéntico enriquecimiento en ¹⁵N al citado en este ensayo.

Tabla 1. Dosis anual y distribución mensual de los fertilizantes en la solución nutritiva estándar.

Dosis árbol ¹	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	TOTAL
% dist. Dosis mensual	5	10	15	20	20	15	10	5	100
mg N	100	200	300	400	400	300	200	100	2000
mg ¹⁵ N ^Z	11,6	23,2	34,8	46,4	46,4	34,8	23,2	11,6	231,4
mg P ₂ O ₅	35	70	105	140	140	105	70	35	700
mL. ácido fosfórico ^Y	0,03	0,06	0,09	0,13	0,13	0,09	0,06	0,03	0,64
mg K ₂ O	50	100	150	200	200	150	100	50	1000
g Nitrato potásico ^X	108,7	217,4	361,1	434,8	434,8	361,1	217,4	108,7	2173,9
mg CaO	105,5	211,0	316,5	422,0	422,0	316,5	211,0	105,5	2110,0
mg ⁴⁴ Ca ^W	7,8	15,6	23,4	31,2	31,2	23,4	15,6	7,8	156,0
mg MgO	75	150	225	300	300	225	150	75	1500
mg Sulfato Magnesio ^V	470	940	1410	1880	1880	1410	940	470	9400
mg Fe	1,5	3,0	4,5	6,0	6,0	4,5	3,0	1,5	30,0
mg quelato ^U	33	66	99	132	132	99	66	33	660

^Z Tratamiento 1: Nitrógeno aportado como nitrato cálcico (marcado y normal), nitrato amónico (marcado y normal) y nitrato potásico.

Tratamiento 2: Nitrógeno aportado como nitrato amónico(normal y amónico) y nitrato potásico marcado (marcado y normal).

^Y 1000 ml ácido fosfórico = 1.113 g P₂O₅.

^X Nitrato potásico (N = 13,5 % y K₂O = 46,0 %).

^W Tratamiento 1: Calcio aportado como nitrato cálcico marcado y normal (calcinit). Tratamiento 2: Sin calcio

^V Sulfato de magnesio (MgO = 16 %).

^U Quelato múltiple (4,5 %Fe, 0,5 %Zn y 1,0 %Mn).

Con ambos tratamientos se pretendió averiguar la influencia de la presencia o ausencia del Ca aplicado sobre la contribución del N translocado desde los órganos viejos hacia los nuevos tejidos en desarrollo del siguiente ciclo vegetativo.

Recogida de órganos caídos. Al fin de cuantificar las cantidades de ^{44}Ca y ^{15}N absorbidas por los órganos de ambos tratamientos que no permanecen en el árbol en el momento de la extracción, se recogieron semanalmente los órganos desprendidos (pétalos, ovarios, frutos en desarrollo y hojas viejas), en la época de mayor caída de éstos (principio de mayo hasta el final de julio).

Extracción de las plantas. Durante el letargo (enero 2013), se extrajeron las 6 plantas del suelo y se separaron los órganos jóvenes: fruto maduro, botón floral, flor, hojas y ramas de las diferentes brotaciones (en nuestro caso, las plantas realizaron las tres brotaciones anuales, primavera, verano y otoño), los viejos (hojas, ramas viejas y tronco) y el sistema radical (raíces viejas y fibrosas). Se pesaron y tomaron una muestra de cada una de estas fracciones. Éstas se lavaron con agua desionizada, se liofilizaron hasta peso seco constante y se registró el peso seco. Los contenidos en ^{44}Ca y ^{15}N de las plantas extraídas en los dos tratamientos del ensayo de absorción se consideraron como el estado de carga para los dos tratamientos del ensayo de translocación del segundo periodo.

2.4 Desarrollo experimental del segundo ciclo vegetativo (de enero a mayo 2013)

2.4.1 Ensayo de translocación

Tratamiento primero. Durante el letargo (enero de 2013), las tres plantas del tratamiento 1º se transplantaron a raíz desnuda al mismo tipo suelo (para evitar que continuaran absorbiendo el ^{44}Ca y ^{15}N que aún quedaba retenido en la solución y estructura del suelo). En este segundo periodo, las seis plantas del ensayo de translocación se abonaron con dosis dobles a las aportadas el año anterior en todos nutrientes, ajustándose éstas al nuevo tamaño de las plantas. Ya que las plantas jóvenes suelen duplicar cada año su biomasa. En este caso, no se utilizaron fertilizantes marcados con

^{15}N ni ^{44}Ca . Aunque se duplicaron las dosis de todos los nutrientes, sólo se aplicó el 30% de la dosis total correspondientes a los meses de marzo (5%), abril (10%) y mayo (15%). El N se aportó con tres fertilizantes no marcados: nitrato amónico, nitrato potásico (a su vez como fuente de K) y nitrato de calcio (YaraLiva™ Calcinit como fuente de Ca). El resto de macros (P y Mg) y micros (Fe, Zn y Mn) se suministraron con los mismos fertilizantes descritos en el tratamiento 1º del ensayo de absorción.

Tratamiento segundo. Igualmente, durante el letargo (enero de 2013), las tres plantas del tratamiento 2º se transplantaron a raíz desnuda al mismo suelo (para evitar que continuaran absorbiendo ^{15}N). Durante el nuevo periodo vegetativo, el N se aportó con dos fertilizantes no marcados (por la ausencia de Ca): nitrato amónico y nitrato potásico (también como fuente de K). El resto de macros (P y Mg) y micros (Fe, Zn y Mn) se suministraron con los mismos fertilizantes descritos en el tratamiento 1º del ensayo de absorción.

Recogida de órganos caídos. A fin de cuantificar las cantidades de ^{44}Ca y en ^{15}N translocadas hacia los órganos jóvenes (flores, ovarios, frutos en desarrollo y hojas viejas) de ambos tratamientos que no permanecerán en las plantas a la hora de extraerlas de los contenedores, los órganos caídos se recogieron semanalmente.

Extracción de las plantas.

Finalizado el cuajado y crecimiento rápido del fruto (finales de mayo del segundo año) se extrajeron las plantas del suelo y se separaron los órganos jóvenes: frutos en desarrollo, hojas y ramas de la brotación de verano y primavera, y los viejos: hojas y ramas viejas, tronco y sistema radical (raíces viejas y fibrosas). Se pesó en fresco la biomasa de todas estas fracciones y una muestra de cada una de ellas se lavó con agua desionizada, se congeló con nitrógeno líquido y se eliminó la humedad mediante liofilización y se anotó el peso seco.

2.5 Análisis de macros y microelementos

Para la determinación de la concentración de Ca y de los restantes macronutrientes (a excepción del N), el material

vegetal liofilizado se sometió a una digestión nítrico-y, posteriormente, se realizó una dilución de 0,5 mL de la digestión en 10 mL de agua milli-Q. Las concentraciones de Ca total y de los demás macronutrientes se midieron con un espectrómetro de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES iCAP 6000, Thermo Scientific). La concentración de ^{44}Ca se determinó en un espectrómetro de masas con colector múltiple y fuente de plasma de acoplamiento inductivo (MC-ICP MS, Thermo Finnigan Neptune, Universidad de Vigo). A los resultados del ^{44}Ca de las diferentes partes de la planta se les restó la abundancia natural de este isótopo (2.086 átomos % de ^{44}Ca). Los resultados expuestos en las tablas y texto se refieren al exceso o enriquecimiento de este isótopo.

La determinación del N total en las muestras de material vegetal liofilizado se realizó mediante un Analizador Elemental (NC 2500, Thermo Finnigan, Bremen, Alemania) y su composición isotópica en $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ con un Espectrómetro de Masas de Relaciones Isotópicas (Delta Plus, Thermo Finnigan), acoplado (interfaz ConFloII, Finnigan) al Analizador Elemental. A los resultados del ^{15}N de las muestras de las diferentes partes de la planta se les restó la abundancia natural de este isótopo (0,366 átomos % de ^{15}N) y se obtuvieron los valores referidos al exceso o enriquecimiento de este isótopo, tal y como se muestran en las tablas y texto.

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La significación de los tratamientos realizados (con y sin calcio) en cada ensayo se ha analizado mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación entre medias con el test LSD-Fisher al 95% de nivel de confianza (Statgraphics Plus version 5.1, Statistical Graphics, Englewood Cliffs, NJ).

4. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se describen los resultados obtenidos en los dos ensayos (absorción y translocación).

4.1 Estado inicial

Las plantas extraídas al inicio del ensayo presentaron una biomasa de 45,72 g de peso seco, con una concentración media de 1,41% N total (644,7 mg N) y de 1,39% Ca total (635,5 mg Ca). Estos valores servirán como estado de carga para la absorción de nutrientes del ciclo completo.

4.2 Biomasa en los diferentes arranques

En enero de 2013 se arrancaron las plantas de los ensayos de absorción tanto del tratamiento 1 (Absorción ¹⁵N+⁴⁴Ca) como del tratamiento 2 (Absorción ¹⁵N). En mayo de ese mismo año se extrajeron de las macetas las plantas de los ensayos de translocación de ambos tratamientos, tratamiento 1 o Translocación ¹⁵N+⁴⁴Ca y 2 o Translocación ¹⁵N (Tabla 2).

El cultivo de las plantas con aporte de Ca (en la solución fertilizante) dio lugar a árboles significativamente más grandes, tanto en el ensayo de absorción como en los de translocación. En las plantas del ensayo de absorción, el menor peso del tratamiento sin calcio fue debido, principalmente, a un menor desarrollo de su sistema radicular, tanto de las raíces gruesas como de las fibrosas, así como el peso total de ramas y tronco (Tabla 2). En este mismo ensayo, la aplicación de calcio también afectó, significativamente, al desarrollo foliar de los árboles. Los que recibieron aporte de calcio con los fertilizantes presentaron una mayor biomasa de las hojas jóvenes que los árboles sin aporte de Ca.

En términos generales, las brotaciones que tuvieron lugar durante el primer ciclo de estudio (absorción) junto con las hojas viejas fueron superiores en el tratamiento 1 (¹⁵N+⁴⁴Ca), lo que originó la mayor biomasa de las hojas viejas de los árboles de este mismo tratamiento en translocación (ciclo vegetativo siguiente). Además, junto con el mayor peso seco de las hojas viejas, las brotaciones que se desarrollaron durante el segundo ciclo vegetativo fueron superiores en las plantas que recibieron calcio (tratamiento 1), dando lugar a un peso seco de la planta completa mayor en dicho tratamiento que en el 2.

4.3 Concentración de Ca total y ⁴⁴Ca en exceso

En ninguno de los dos ensayos realizados parece haber diferencias significativas en la concentración de calcio en los distintos órganos muestreados; tan sólo, los órganos caídos (principalmente hojas viejas y ovarios en diferentes fases de desarrollo) del tratamiento 1 presentaron una mayor concentración de este elemento. Esta misma pauta aparece en las plantas del ensayo de translocación, con un mayor porcentaje de calcio en los órganos reproductivos en el tratamiento 1, con aporte de calcio.

En cuanto al contenido de calcio en la planta completa, se observó que los árboles de del tratamiento 1 presentaron

un contenido significativamente mayor a los de las plantas sin calcio, en ambos ensayos. Además, en el ensayo de absorción, tanto el sistema radical como el total de los órganos de reserva absorbieron significativamente más calcio, debido principalmente a la mayor biomasa obtenida en estos órganos (Tabla 2). Este conjunto de órganos serán, posteriormente, fuente de nutrientes para el desarrollo de las siguientes brotaciones que tienen lugar en el ensayo de translocación. De este modo, los árboles del tratamiento 1 (tratados con calcio), que presentaban una mayor reserva de este elemento, mostraron contenidos de calcio muy superiores en la mayor parte de los órganos individuales y significativamente mayores en los órganos reproductivos y hojas de las nuevas brotaciones cuando

Tabla 2. Distribución de la biomasa (g peso seco planta⁻¹) en los órganos muestreados en las plantas extraídas en enero de 2013 (Ensayo de absorción) y en mayo de 2013 (Ensayo de translocación) de naranjos salustianos^Z.

Órganos	Ensayo de absorción			Ensayo de translocación		
	Tratamiento 1 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 2 (¹⁵ N)	EA ^Y	Tratamiento 1 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 2 (¹⁵ N)	EA ^Y
Órganos caídos ^X	5,37	4,41	NS	5,01	6,05	NS
Frutos en desarrollo				1,53	0,61	NS
Fruto	9,02	7,91	NS			
Hojas jóvenes ^W	31,64	29,50	*	18,87	16,16	*
Ramas jóvenes ^V	10,01	9,54	NS	9,29	9,00	NS
Hojas viejas	4,50	6,46	NS	37,62	34,18	*
Ramas viejas	5,57	4,24	NS	7,47	9,48	NS
Tronco	23,81	21,41	NS	27,95	22,43	NS
Raíz gruesa	25,30	23,29	*	26,87	27,19	NS
Raíz fibrosa	12,88	11,09	*	17,23	16,77	NS
PLANTA COMPLETA	128,18	117,83	*	151,84	141,89	*
Órganos reproductivos ^U				6,54	6,66	NS
Raíz fibrosa anual ^T				4,35	5,68	NS
Órganos jóvenes ^S				39,05	37,51	NS
Hojas reserva ^R	36,14	35,96	NS			
Ramas y tronco reserva ^Q	39,48	35,19	*			
Sistema radicular reserva ^P	38,18	34,39	*			
Órganos de reserva ^O	113,80	105,54	*			

^Z Cada valor es la media de tres plantas

^Y AE (Análisis estadístico). Efecto significativo de la aplicación de calcio para P ≤ 0,05 (*) y no significativo P > 0,05 (NS).

^X Órganos caídos: principalmente hojas viejas y flores, ovarios y fruto pequeños.

^W Hojas de las brotaciones de primavera, verano y otoño (absorción) y de primavera y verano (translocación).

^V Hojas de las brotaciones de primavera, verano y otoño (absorción) y de primavera y verano (translocación).

^U Frutos en desarrollo y órganos caídos principalmente flores y ovarios.

^T Raíz fibrosa desarrollada entre los dos de arranques, desde enero (Ensayo de absorción) a mayo de 2013 (Ensayo de translocación).

^S Órganos jóvenes desarrollados durante el Segundo ciclo de cultivo (de enero a mayo de 2013).

^R Hojas viejas desarrolladas en años anteriores y las de las diferentes brotaciones (otoño, verano y primavera) desarrolladas durante el primer ciclo de cultivo (Absorción).

^Q Ramas viejas y tronco y ramas de las diferentes brotaciones (otoño, verano y primavera) desarrolladas durante el primer ciclo de cultivo.

^P Raíz vieja = Raíz gruesa + Raíz fibrosa - Raíz fibrosa anual.

^O Estos órganos desarrollados durante el ensayo de absorción se consideran los órganos de reserva para los órganos desarrollados durante el ensayo de translocación. : Hojas viejas + Ramas viejas y tronco + Sistema radicular.

se arrancaron en mayo de 2013 (datos no mostrados). Las plantas utilizadas en este ensayo fueron pequeñas con poca producción, sin embargo, en plantas adultas con una mayor producción, el no aporte de calcio en los fertilizantes podría, por tanto, dar lugar a frutos con bajos contenidos de calcio (Tabla 3).

En la Tabla 4 tan sólo se muestran los resultados de las plantas (tratamiento 1. de ambos ensayos) que recibieron calcio marcado isotópicamente. En primer lugar, las plantas a las que se les aplicó calcio marcado con el isótopo estable ⁴⁴Ca, que posteriormente son fuente reserva de este elemento hacia las siguientes brotaciones de los árboles de translocación, presentaron una concentración más elevada en los órganos más jóvenes (hojas y ramas), ya que el calcio de estos órganos proviene tanto del fertilizante aplicado a lo largo del ciclo vegetativo como del acumulado en las hojas y ramas de brotaciones anteriores (Tabla 4). Del mismo modo, las raíces fibrosas tuvieron mayores concentraciones que las gruesas.

La concentración promedio en la planta completa del ensayo de absorción fue de 0,466% ⁴⁴Ca, teniendo en cuenta que las plantas extraídas en mayo de 2013 recibieron desde su trasplante hasta su extracción Ca no marcado, la concentración promedio (⁴⁴Ca en exceso) de los árboles descendió hasta 0,240 % ⁴⁴Ca. por efecto de la dilución isotópica. Como se muestra en la Tabla 4. los órganos dadores de Ca marcado presentaron una concentración media de 0,51 % ⁴⁴Ca (Absorción, tratamiento 1 ¹⁵N+⁴⁴Ca) mientras que la concentración promedio de los órganos receptores de ese calcio (órganos sumidero) fue del 0,29% (Translocación ¹⁵N+⁴⁴Ca). No obstante, se recuperó un contenido similar de calcio marcado (10,39 mg ⁴⁴Ca) al de los órganos de reserva de las plantas del estado de carga (10,79 mg ⁴⁴Ca).

Como se puede observar existe una translocación continua del calcio absorbido del fertilizante en el ciclo vegetativo anterior, ya que todos los órganos jóvenes de nuevo desarrollo de las plantas del ensayo de translocación presentaron concentraciones por encima de la abundancia natural (2,0866%).

Tabla 3. Distribución de la concentración de Calcio (%) en los órganos muestreados en las plantas extraídas en enero de 2013 (Ensayo de absorción) y en mayo de 2013 (Ensayo de translocación) de naranjos salustianos^Z.

Órganos	Ensayo de absorción			Ensayo de translocación		
	Tratamiento 1 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 2 (¹⁵ N)	EA ^Y	Tratamiento 1 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 2 (¹⁵ N)	EA ^Y
Órganos caídos ^X	4,15	2,20	*	2,33	0,96	NS
Frutos en desarrollo				0,61	0,73	NS
Fruto	0,54	0,27	NS			NS
Hojas jóvenes ^W	2,25	2,57	NS	3,64	4,17	NS
Ramas jóvenes ^V	1,26	1,42	NS	2,09	1,79	NS
Hojas viejas	4,26	3,97	NS	4,35	4,34	NS
Ramas viejas	1,37	1,70	NS	1,68	1,89	NS
Tronco	1,20	1,17	NS	1,06	1,27	NS
Raíz gruesa	1,19	1,01	NS	1,30	0,96	NS
Raíz fibrosa	3,26	3,03	NS	5,31	5,66	NS
PLANTA	1,86	1,83	NS	2,85	2,86	NS
Contenido de Calcio (mg)	2386,0	2159,3	*	4331,0	4055,3	*
Órganos reproductivos ^U				1,93	0,94	*
Raíz fibrosa anual ^T				5,31	5,66	NS
Órganos jóvenes ^S				3,17	3,25	NS
Hojas reserva ^R	2,50	2,82	NS			
Ramas y tronco reserva ^Q	1,24	1,30	NS			
Sistema radicular reserva ^P	1,89	1,66	NS			
Órganos de reserva ^O	1,86	1,93	NS			

Z, Y, X, W, V, U, T, S, R, Q, P y O Ver Tabla 2.

Tabla 4. Distribución de la concentración de Ca marcado (⁴⁴Ca % en exceso) en las plantas del tratamiento 1 (¹⁵N+⁴⁴Ca) extraídas en enero de 2013 (Ensayo de absorción) y en mayo de 2013 (Ensayo de translocación) de naranjos salustianos^Z.

Órganos	Ensayo de absorción	Ensayo de translocación
Órganos caídos ^X	0,094	0,283
Frutos en desarrollo		0,106
Fruto	0,247	
Hojas jóvenes ^W	0,578	0,331
Ramas jóvenes ^V	0,857	0,232
Hojas viejas	0,245	0,26
Ramas viejas	0,656	0,224
Tronco	0,488	0,098
Raíz gruesa	0,382	0,114
Raíz fibrosa	0,493	0,231
PLANTA COMPLETA	0,466	0,240
contenido (⁴⁴ Ca mg)	11,12 (7,4)^N	10,39 (96,2)^N
Órganos reproductivos ^U		0,270
Raíz fibrosa anual ^T		0,230
Órganos jóvenes ^S		0,290 (3,59 mg ⁴⁴ Ca)
Hojas reserva ^R	0,506	
Ramas y tronco reserva ^Q	0,610	
Sistema radicular reserva ^P	0,448	
Órganos de reserva ^O	0,510 (10,79 mg ⁴⁴ Ca)	

Z, Y, X, W, V, U, T, S, R, Q, P y O Ver Tabla 2.

^N Eficiencia del Uso del Calcio del fertilizante (en paréntesis). 11.12 ⁴⁴Ca mg absorbidos por la planta/156 mg ⁴⁴Ca aplicados (Tabla 1).

^N Contenido de Calcio (%) recuperado en los órganos del ensayo de translocación procedentes de las reservas del ensayo de absorción.

4.4 Concentración de Nitrógeno total y ¹⁵N en exceso

En general, la concentración de N en los distintos órganos siguió una pauta similar a la observada en otros ensayos,

con mayores valores en los órganos más jóvenes de la parte aérea (verano > primavera > viejos) y sistema radical (las raíces fibrosas>raíces gruesas) en ambos ensayos.

Sigue en pag. 79 ▶

En cuanto al aporte de calcio, no pareció afectar de forma consistente a los valores del N tanto en los árboles de absorción como de translocación. Así, en los árboles del ensayo de absorción, el suministro de Ca no afectó de forma significativa a la concentración de N total ni al contenido del conjunto de la planta (Tabla 5). Tan sólo, la mayor la concentración de N de las hojas de las brotaciones de primavera y verano de los árboles del tratamiento 1 (Absorción $^{15}\text{N}+^{44}\text{Ca}$) dio lugar a una mayor concentración de N en las consideradas hojas viejas al final del ensayo, que actúan como reserva de N para el siguiente ciclo vegetativo (ensayo translocación). En cuanto al ensayo de translocación se observó una concentración significativamente menor en las ramas viejas y en la planta completa del ensayo con calcio (tratamiento 2), posiblemente debido a que la mayor biomasa de las plantas de este tratamiento diluyó en mayor medida la absorción de este nutriente; en cambio, no se vio afectado el contenido total.

Con respecto a la concentración de ^{15}N (Tabla 6) procedente de los fertilizantes marcados (nitrato amónico y nitrato potásico (Tabla 1), los mayores enriquecimientos de este isótopo se obtuvieron en los órganos más jóvenes (hojas y ramas), con descensos en la concentración de ^{15}N en brotaciones más antiguas del ensayo de absorción. Al igual que en el caso del N, también se obtuvieron concentraciones elevadas de ^{15}N en las raíces fibrosas, con valores similares a los de las hojas de las brotaciones de primavera y verano (datos no mostrados). En el arranque de mayo, tanto en el tratamiento 1 como en el 2 se obtuvo un descenso en el enriquecimiento de ^{15}N en todos los órganos, excepto en los órganos caídos, de modo que, al igual que ocurre con la concentración de ^{44}Ca en exceso, la concentración promedio de ^{15}N del total de la planta decreció hasta el 2,94% de ^{15}N en promedio en los dos los 2 tratamientos del ensayo de translocación, lo que supuso una disminución del 35% debido al efecto de dilución isotópica del N absorbido de los fertilizantes nitrogenados aplicados de marzo a mayo, no marcados.

Por otro lado, en el ensayo de translocación, el aporte de Ca (tratamientos 1) indujo a una reducción en la absorción de N procedente del fertilizante en los frutos

Tabla 5. Distribución de la concentración de Nitrógeno (%) en los órganos muestreados en las plantas extraídas en enero de 2013 (Ensayo de absorción) y en mayo de 2013 (Ensayo de translocación) de naranjos salustianos^Z.

Órganos	Ensayo de absorción			Ensayo de translocación		
	Tratamiento 1 ($^{15}\text{N}+^{44}\text{Ca}$)	Tratamiento 2 (^{15}N)	EA ^Y	Tratamiento 1 ($^{15}\text{N}+^{44}\text{Ca}$)	Tratamiento 2 (^{15}N)	EA ^Y
Órganos caídos ^X	2,37	2,24	NS	3,08	2,95	NS
Frutos en desarrollo				2,66	2,30	NS
Fruto	1,25	1,03	NS			NS
Hojas jóvenes ^W	2,57	2,32	NS	2,44	2,91	NS
Ramas jóvenes ^V	1,33	1,36	NS	2,72	2,78	NS
Hojas viejas	2,22	2,35	NS	2,72	2,78	NS
Ramas viejas	1,04	1,31	NS	0,97	1,27	NS
Tronco	0,94	1,04	NS	0,75	1,00	NS
Raíz gruesa	1,37	1,35	NS	1,37	1,51	NS
Raíz fibrosa	2,22	2,13	NS	2,32	2,35	NS
PLANTA	1,72	1,68	NS	1,91	2,06	*
Contenido de Calcio (mg)	2200,8	1974,9	NS	2898,1	2928,0	NS
Órganos reproductivos ^U				2,98	2,89	NS
Raíz fibrosa anual ^T				2,32	2,35	NS
Órganos jóvenes ^S				2,38	2,56	NS
Hojas reserva ^R	2,53	2,32	*			
Ramas y tronco reserva ^Q	1,05	1,16	NS			
Sistema radicular reserva ^P	1,66	1,60	NS			
Órganos de reserva ^O	1,72	1,70	NS			

Z, Y, X, W, V, U, T, S, R, Q, P y O Ver Tabla 2.

Tabla 6. Distribución del N marcado (^{15}N % en exceso) en los órganos muestreados en las plantas extraídas en enero de 2013 (Ensayo de absorción) y en mayo de 2013 (Ensayo de translocación) de naranjos salustianos^Z.

Órganos	Ensayo de absorción			Ensayo de translocación		
	Tratamiento 1 ($^{15}\text{N}+^{44}\text{Ca}$)	Tratamiento 2 (^{15}N)	EA ^Y	Tratamiento 1 ($^{15}\text{N}+^{44}\text{Ca}$)	Tratamiento 2 (^{15}N)	EA ^Y
Órganos caídos ^X	2,07	1,84	NS	2,72	3,07	NS
Frutos en desarrollo				2,04	2,50	*
Fruto	5,58	5,07	NS			
Hojas jóvenes ^W	4,94	5,47	NS	2,99	3,19	NS
Ramas jóvenes ^V	5,00	5,85	NS	2,45	2,75	NS
Hojas viejas	3,56	3,38	NS	3,01	2,82	NS
Ramas viejas	4,33	4,41	NS	2,44	2,32	NS
Tronco	3,43	4,04	NS	2,14	2,48	*
Raíz gruesa	3,29	3,83	NS	2,91	2,44	NS
Raíz fibrosa	4,82	5,45	*	3,68	3,79	NS
PLANTA COMPLETA	4,30	4,68	NS	2,95	2,92	NS
Órganos reproductivos ^U				2,58	3,02	*
Raíz fibrosa anual ^T				3,68	3,79	NS
Órganos jóvenes ^S				2,88	3,16	NS
Hojas reserva ^R	4,79	5,09	NS			
Ramas y tronco reserva ^Q	4,06	4,66	NS			
Sistema radicular reserva ^P	3,98	4,53	*			
Órganos de reserva ^O	4,38	4,82	NS			

Z, Y, X, W, V, U, T, S, R, Q, P y O Ver Tabla 2.

en desarrollo, tronco y órganos reproductivos. En esta respuesta parece que influyó más la elevada biomasa de estos órganos que el suministro de Ca, ya que a un mayor desarrollo vegetativo correspondió una menor concentración en ^{15}N .

Las eficiencias de absorción del ^{15}N aplicado en los tratamientos del primer

período (ensayo absorción) fueron muy similares, con valores del 41,0% con el aporte de Ca y del 40,0% sin Calcio. Cabe destacar que estas eficiencias fueron muy superiores a la obtenida con el ^{44}Ca (Tabla 4). Esto no implica que el Ca aplicado con el nitrato cálcico marcado con ^{44}Ca y el calcinit sea menos eficiente que el N procedente de los fertilizantes

nitrogenados expuestos en los tratamientos 1 y 2 al pie de la Tabla 1. La gran diferencia entre las eficiencias de ambos nutrientes se debió al efecto de dilución isotópica que se produjo cuando estos elementos se incorporaron al suelo. En el caso del N se aportaron 2 g (Tabla 1) y, como en el suelo hay un bajo contenido en N asimilable (amonio y nitrato), se produjo una baja tasa de dilución isotópica del N aplicado. En cambio, con el Ca se aplicó 1,5 g que equivalen a 2,1 g de CaO (Tabla 1) y, dado que en el suelo calizo hay un alto contenido en Ca asimilable, se originó una alta dilución isotópica del Ca suministrado y por ello, las plantas mostraron una baja tasa absorción de Ca.

Lo expuesto en el párrafo anterior se justifica con los cálculos siguientes:

- El Ca absorbido de los fertilizantes aplicados durante el primer ciclo de cultivo (Formula 1)

El incremento en el contenido en Ca con respecto a las plantas extraídas en 2012 (estado inicial) es de 1.637 mg, diferencia entre 2.273 mg Ca en las plantas extraídas al final del primer ciclo vegetativo (tratamiento 1 y 2, Tabla 3) y 636 mg Ca en las plantas extraídas en el estado inicial.

De ambos valores se obtiene que el Ca absorbido de los fertilizantes supuso un 6,6% del contenido en Ca del total de las plantas y el resto (93,4%) se absorbió del suelo (Formula 2).

- El N absorbido de los fertilizantes aplicados durante el primer ciclo de cultivo (Formula 3).

El incremento en el contenido en N con respecto a las plantas extraídas en 2012 (estado inicial) es de 1.443 mg, diferencia entre 2.088 mg Ca en las plantas extraídas al final del primer ciclo vegetativo (tratamiento 1 y 2, Tabla 5) y 645 mg Ca en las plantas extraídas en el estado inicial (Formula 4).

De ambos valores se obtiene que el N absorbido de los fertilizantes supuso un 56,0% del contenido en N del total de las plantas (107,4 x 100 / 1.637) y el resto (93,4%) se absorbió del suelo.

Formula 1.

$$\text{Calcio absorbido}_{\text{fertilizante}} \text{ (mg)} = \left\{ \frac{\text{mg } ^{44}\text{Ca absorbidos}_{\text{plantas Trat 1}}}{^{44}\text{Ca} \text{ (\% exceso)}_{\text{solucion nutritiva}}} \right\} \times 100 = \frac{11,12}{10,35} \times 100 = 107,4 \text{ mg}$$

Formula 2.

$$\text{Calcio absorbido}_{\text{fertilizante}} \text{ (\%)} = \left\{ \frac{\text{mg Ca absorbidos}_{\text{fertilizante}}}{\text{mg Ca absorbidos}_{\text{total}}} \right\} \times 100 = \frac{107,4}{1637} \times 100 = 6,6 \%$$

Formula 3.

$$\text{Nitrógeno absorbido}_{\text{fertilizante}} \text{ (mg)} = \left\{ \frac{\text{mg } ^{15}\text{Ca absorbidos}_{\text{plantas Trat 1 y 2}}}{^{15}\text{Ca} \text{ (\% exceso)}_{\text{solucion nutritiva}}} \right\} \times 100 = \frac{93,57}{11,57} \times 100 = 808,7,4 \text{ mg}$$

Formula 4.

$$\text{Nitrógeno absorbido}_{\text{fertilizante}} \text{ (\%)} = \left\{ \frac{\text{mg N absorbidos}_{\text{fertilizante}}}{\text{mg N total}} \right\} \times 100 = \frac{808,7}{1443} \times 100 = 56,0 \%$$

Tabla 7. Efecto del aporte de calcio sobre la cantidad (mg) y la contribución relativa (%) de Ca and N removilizada (Car or Nr) desde cada uno de los órganos de reserva de naranjos Salustianos extraídos en enero de 2013, en letargo, (Ensayo de absorción) hacia plantas extraídas en mayo 2013, al final de la brotación de verano (Ensayo de translocación)^Z.

Órganos	Car ^Y (X)		Nr ^W (V)		EA ^U
	Tratamiento 1 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 2 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 1 (¹⁵ N)	Tratamiento 2 (¹⁵ N)	
Hojas viejas ^T	65,38 (8,82)	271,30 (43,68)	309,82 (47,71)	NS	
Ramas viejas y tronco ^S	394,46 (53,48)	260,86 (42,00)	229,32 (35,31)	NS	
Sistema radicular ^R	279,45 (37,70)	88,95 (14,32)	110,24 (16,98)	NS	
ÓRGANOS DE RESERVA^Q	741,29 (100)	621,11 (100)	649,38 (100)	NS	

^Z Cada valor es la media de tres plantas

^Y Car (mg)=(A_{SD}·B_{SD} - A_H·B_H)·100/ A_{SD}; donde A_{SD}: átomos % ⁴⁴Ca exceso en los órganos de reserva en letargo (Ensayo de absorción, Tratamiento 1 Tabla 4) y A_H: átomos % ⁴⁴Ca exceso en esos mismos órganos de las plantas extraídas al final de la brotación de verano (Ensayo de translocación, Tratamiento 1, Tabla 4); B_{SD}: contenido de Ca (mg) en los órganos de reserva en letargo (Ensayo de absorción, Tratamiento 1) y B_H: contenido Ca (mg) en esos mismos órganos de las plantas extraídas al final de la brotación de verano (Ensayo de translocación, Tratamiento 1). El contenido de Ca se calcula Biomasa (Tabla 2) x %Ca (Tabla 3) x 10.

^X Car (%) = Car_i (mg) x 100 / ΣCar_i (mg) donde Car_i: Ca removilizado por cada órgano de reserva; ΣCar_i: Ca total removilizado por los órganos de reserva.

^W Nr (mg)=(A_{SD}·B_{SD} - A_H·B_H)·100/ A_{SD}; donde A_{SD}: átomos % ¹⁵N en los órganos de reserva en letargo (Ensayo de absorción, Tratamientos 1 y 2, Tabla 6) y A_H: átomos % ¹⁵N en esos mismos órganos de las plantas extraídas al final de la brotación de verano (Ensayo de translocación, Tratamientos 1 y 2, Tabla 6); B_{SD}: contenido de N (mg) en los órganos de reserva en letargo (Ensayo de absorción, Tratamientos 1 y 2) y B_H: contenido N (mg) en esos mismos órganos de las plantas extraídas al final de la brotación de verano (Ensayo de translocación, Tratamientos 1 y 2). El contenido de N se calcula Biomasa (Tabla 2) x %N (Tabla 5) x 10.

^V Nr (%) = Nr_i (mg) x 100 / ΣNr_i (mg) donde Nr_i: N removilizado por cada órgano de reserva; ΣNr_i: N total removilizado por los órganos de reserva.

^U AE (Análisis estadístico). Efecto significativo de la aplicación de calcio para P ≤ 0,05 (*) y no significativo P > 0,05 (NS).

^T Hojas viejas desarrolladas en años anteriores y las de las diferentes brotaciones (otoño, verano y primavera) desarrolladas durante el primer ciclo de cultivo (Absorción).

^S Ramas viejas y tronco y ramas de las diferentes brotaciones (otoño, verano y primavera) desarrolladas durante el primer ciclo de cultivo.

^R Raíz vieja = Raíz gruesa + Raíz fibrosa - Raíz fibrosa anual.

^Q Estos órganos desarrollados durante el ensayo de absorción se consideran los órganos de reserva para los órganos desarrollados durante el ensayo de translocación. : Hojas viejas + Ramas viejas y tronco + Sistema radicular.

De haber aplicado más Ca con los fertilizantes (nitrato cálcico marcado y calcinit), la eficiencia hubiera sido mayor, pero el elevadísimo coste del nitrato cálcico (marcado con ⁴⁴Ca) hizo que no fuera posible. En el caso de haber aumentado el aporte de Ca con calcinit

hubiera bajado notablemente el enriquecimiento del ⁴⁴Ca de la solución del suelo y no se detectaría el ⁴⁴Ca por encima de su abundancia natural en los distintos órganos de las plantas, con los que no se habría obtenido ningún resultado de los datos obtenidos.

4.5 Removilización de nutrientes desde los órganos de reserva

En este ensayo, el marcado tanto del N como del Ca durante el primer ciclo vegetativo (marzo-octubre 2012) permitió trazar el destino de estos nutrientes, removilizados de los órganos de reserva, y cuantificar la cantidad translocada hacia los nuevos órganos en desarrollo.

En este sentido, los órganos viejos como fuente de nutrientes para las nuevas brotaciones movilizaron 741 mg de Ca, así como 621 y 649 mg de N para los tratamientos con calcio y sin calcio. Respectivamente (Tabla 7). De este total, las ramas viejas removilizaron más del 50% del total de Ca hacia los nuevos órganos, seguidas del sistema radical y en último lugar, las hojas viejas con un valor inferior al 10%. Sin embargo, en el caso del N, el principal órgano dador fueron las hojas viejas, con un porcentaje algo superior al N removilizado desde las ramas viejas, en ambos tratamientos, siendo las raíces las que contribuyeron en menor porcentaje (en torno al 15%) al N total exportado. El aporte o la ausencia de Ca no afectó de forma significativa al N removilizado de cada órgano dador. Martínez-Alcántara *et al.* (2011) encontraron valores similares de N removilizado en plantas jóvenes de cítricos cultivados en suelo franco. Legaz *et al.* (1995) encontraron también que el principal órgano de N de reserva fueron las hojas viejas. Por el contrario, no se ha encontrado bibliografía que exponga los valores de Ca exportado desde los órganos de reserva hacia los órganos jóvenes en plantas de cítricos.

Estas diferencias en los órganos que translocan mayor cantidad de nutrientes se observa si expresamos la proporción de Ca y N removilizado en relación al contenido en nutrientes de los órganos de reserva al final del primer ciclo de cultivo (plantas extraídas en enero de 2013). En ambos nutrientes, más del 30% del Ca o N absorbido en los órganos viejos en las plantas de absorción se translocó durante los primeros meses del nuevo ciclo vegetativo (Tabla 8). En el caso del calcio, las hojas viejas tan sólo exportaron el 3% del Ca que almacenaron durante el primer año; mientras que ese porcentaje es, en promedio, del 15,6% en el caso del N. En el sistema

Tabla 8. Efecto del aporte de calcio de Ca and N removilizada (Car or Nr) desde cada uno de los órganos de reserva expresado como porcentaje del Ca o N total en los órganos de reserva de naranjos Salustianos extraídos en enero de 2013, en letargo, (Ensayo de absorción) hacia plantas extraídas en mayo 2013, al final de la brotación de verano (Ensayo de translocación)^Z.

Órganos	Car ^Y		Nr ^X		EA ^W
	Tratamiento 1 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 1 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 2 (¹⁵ N)		
Hojas viejas ^V	3,09	13,84	17,26		NS
Ramas viejas y tronco ^U	18,75	13,30	12,78		NS
Sistema radicular ^T	13,21	4,54	3,14		NS
ÓRGANOS DE RESERVA^O	30,05	31,68	36,18		NS

^Y Car (%): Ca removilizado = Car (mg) x 100 / B_{SO}; donde Car es Ca removilizado por cada órgano de reserva (Tabla 10); B_{SO} = contenido Ca (mg) total de los órganos de reserva en latencia (2114,7 mg).
^X Nr (%) = N removilizado = Nr (mg) x 100 / B_{SO}; donde Nr es N removilizado por cada órgano de reserva (Tabla 10); B_{SO} = contenido N (mg) total de los órganos de reserva en latencia (2200,8 y 1974,9 mg, para los tratamientos 1 y 2 respectivamente).
^Z W, V, U, T, S Ver Tabla 10.

Tabla 9. Efecto del aporte de calcio sobre la cantidad (mg) y la contribución relativa (%) de Ca and N de los órganos de reserva recuperada en los órganos jóvenes de naranjos Salustianos extraídos al final de la brotación de verano (Ensayo de translocación)^Z

Órganos	Ca _{rec} ^{Y (X)}		N _{rec} ^{W (V)}		EA ^U
	Tratamiento 1 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 1 (¹⁵ N+ ⁴⁴ Ca)	Tratamiento 2 (¹⁵ N)		
Órganos caídos ^T	64,4 (9,16)	95,8 (15,71)	113,5 (17,98)		NS
Frutos en desarrollo	1,8 (0,25)	19,0 (3,12)	7,2 (1,13)		*
Hojas jóvenes ^S	444,9 (63,28)	314,0 (51,45)	310,7 (49,25)		NS
Ramas jóvenes ^R	87,6 (12,46)	96,5 (15,82)	94,8 (15,01)		NS
Raíz fibrosa anual ^Q	104,4 (14,85)	84,9 (13,91)	105,0 (16,63)		*
ÓRGANOS JÓVENES^O	703,1 (100)	610,2 (100)	631,1 (100)		NS

^Z Cada valor es la media de tres plantas
^Y Ca_{rec} recuperado en los órganos jóvenes (mg)=(A_H-B_{YO})/A_{SO}; donde A_H: átomos ⁴⁴Ca exceso en cada uno de los órganos jóvenes (nuevo) al final de la brotación de verano (Ensayo de translocación, Tratamiento 1, Tabla 4). B_{YO}: Ca contenido en cada uno de los órganos jóvenes (nuevo) al final de la brotación de verano (El contenido de Ca se calcula Biomasa (Tabla 2) x %Ca, Tabla 3 x 10.) A_{SO}: promedio átomos ⁴⁴Ca exceso (0,51 %) en los órganos de reserva en latencia (Ensayo de translocación, Tratamiento 1, Tabla 4).
^X Car (%) = Car_i (mg) x 100 / ΣCar (mg), donde Car_i es el Ca recuperado en cada órgano joven. ΣCar: Ca total recuperado por los órganos jóvenes.
^W N_{rec} recuperado en los órganos jóvenes (mg)=(A_H-B_{YO})/A_{SO}; donde A_H: átomos ¹⁵N exceso en cada uno de los órganos jóvenes (nuevo) al final de la brotación de verano (Ensayo de translocación, Tabla 6). B_{YO}: N contenido en cada uno de los órganos jóvenes (nuevo) al final de la brotación de verano (El contenido de N se calcula Biomasa (Tabla 2) x %N, Tabla 5 x 10.) A_{SO}: promedio átomos ¹⁵N exceso ((4,38 and 4,82 %, respectivamente) en los órganos de reserva en latencia (Ensayo de translocación, Tabla 6).
^V Nr (%) = Nr_i (mg) x 100 / ΣNr (mg), donde Nr_i es el N recuperado en cada órgano joven. ΣCar: N total recuperado por los órganos jóvenes.
^U AE (Análisis estadístico). Efecto significativo de la aplicación de calcio para P ≤ 0,05 (*) y no significativo P > 0,05 (NS).
^T Organos caídos principalmente flores y ovarios.
^S Hojas de las nuevas brotaciones (primavera y verano).
^R Ramas de las nuevas brotaciones (primavera y verano).
^Q Raíz fibrosa desarrollada entre los dos de arranques, desde enero (Ensayo de absorción) a mayo de 2013 (Ensayo de translocación).
^O Órganos jóvenes desarrollados durante el Segundo ciclo de cultivo (de enero a mayo de 2013).

radical la pauta es inversa entre nutrientes, siendo mucho más bajo el valor promedio del N removilizado que el del Ca.

4.6 Recuperación de nutrientes en los órganos de jóvenes

El ⁴⁴Ca o ¹⁵N recuperado en los órganos jóvenes permite trazar el destino de

los nutrientes removilizados desde los órganos viejos. Como se puede ver en las Tablas 7 y 9, casi todo el Ca y N removilizados desde los órganos de reserva (741.621 y 649 mg, Tabla 7) se recuperó, posteriormente, en los órganos jóvenes desarrollados durante el ensayo de translocación (703, 610 y 631 mg, Tabla 9).

En cuanto a la contribución relativa del Ca y N recuperado en los órganos jóvenes fue similar tanto para el Ca como para el N (Tabla 10). Así, el principal sumidero de estos dos nutrientes fueron las hojas jóvenes (en torno al 50% del N recuperado en los órganos jóvenes y, para el caso del Ca, se alcanzó un valor del 63% del total de Ca recuperado por el conjunto de órganos jóvenes). Esto refleja que el conjunto de las hojas de la brotación de primavera y verano consumen durante su desarrollo algo más de Ca que N del total remobilizado de los órganos viejos. Las ramas jóvenes, los órganos caídos y las nuevas raíces fibrosas desarrolladas durante este tiempo acumularon porcentajes similares de Ca y N. Por último, los frutos en desarrollo recuperaron porcentajes muy bajos tanto de Ca como de N, debido principalmente a que el arranque se produjo con el fruto recién cuajado, con biomasa muy inferiores al del resto de órganos (Tabla 2). El aporte de Ca afectó significativamente al porcentaje de N recuperado en el fruto y las nuevas raíces. Sin embargo, las diferencias significativas posiblemente son debidas a las distintas biomasa de estos órganos y no al Ca suministrado.

5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el desarrollo de estos dos ensayos se puede concluir:

- Las plantas que recibieron calcio de los fertilizantes aplicados presentaron una biomasa significativamente superior a las plantas sin aporte extra de calcio, tanto en el ensayo de absorción como en el de translocación.

- El aporte de calcio no dio lugar a un aumento en la concentración media de calcio (%) en la planta completa de ambos ensayos con relación a las plantas sin aporte de Ca, a excepción de los órganos caídos. Sin embargo, se observó un aumento en el contenido de Ca total en la planta completa y en algunos órganos en los dos ensayos debido a la mayor biomasa obtenida con el suministro de Ca.

- El aporte de calcio no afectó de forma significativa a la concentración de N ni al contenido en éste. La significación estadística obtenida se debe a las dife-

rencias en biomasa de algunos órganos de los árboles tratados más que al Ca aportado.

- La eficiencia de absorción de calcio en plantas jóvenes de cítricos cultivadas en las condiciones estudiadas en este ensayo fue baja, apenas supera el 7% del calcio aplicado. El aporte de calcio no afectó significativamente a la eficiencia de absorción de N, en torno al 40%. La gran diferencia entre las eficiencias de ambos nutrientes se debe al efecto de dilución isotópica que se produce cuando los mismos se incorporan a un suelo con bajo contenido en N asimilable y con un alto contenido en Ca disponible. De haber aplicado más Ca marcado con los fertilizantes (nitrato cálcico marcado y calcinit), la eficiencia del Ca hubiera sido mayor (Quiñones *et al.* 2013).

- Se observa una translocación continúa de Ca y N absorbidos de los fertilizantes aplicados en el ciclo vegetativo anterior hacia los nuevos órganos desarrollados en el siguiente ciclo vegetativo. De este modo, en el conjunto de los órganos de reserva, el ⁴⁴Ca en exceso alcanza una concentración de 0,51% (ensayo absorción) que disminuyó al 0,29% en el total de los órganos jóvenes (ensayo translocación). De igual modo, en el N se alcanzó un valor promedio del 4,6% en exceso de ¹⁵N (tratamientos 1 y 2) en el ensayo de absorción, disminuyendo a 3,02% ¹⁵N en el ensayo de translocación (conjunto de los órganos jóvenes).

- Los principales órganos exportadores de calcio son las ramas viejas y el tronco que remobilizan algo más del 50% del total translocado hacia los nuevos órganos, seguidas del sistema radical, con cerca del 40% y, en último lugar, las hojas viejas con algo menos del 10%. Los porcentajes de N translocado mostraron una pauta muy distinta, ya que las hojas viejas remobilizan alrededor de un 45%, las ramas viejas y el tronco con un valor algo más bajo y, un 16% el conjunto de raíces. El calcio aportado con el fertilizante no afecta a la distribución porcentual del N remobilizado por los distintos órganos de reserva.

- El conjunto de las hojas jóvenes son el principal sumidero tanto del calcio como del nitrógeno remobilizados, con valores por encima del 63% para el Ca y

en torno al 50% para el N (como promedio de Ca o ausencia de éste). En cambio, para el conjunto de ramas jóvenes y nuevas raíces estos valores son del 13% para el Ca, con un valor promedio algo más elevado para el N. En cuanto a los frutos en desarrollo, con una biomasa de 1,5 g, tan sólo reciben de las reservas un 0,25% de Ca y un 3,1% de N. Esto refleja que se debe tener buenas reservas de Ca para abastecer de forma adecuada los órganos reproductivos, sobretodo en las primeras fases de desarrollo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BATTEY N.H.** 1990. Calcium deficiency disorders of fruits and vegetables. *Postharvest News and Information*. Vol. 1. Nº 1: 23-27.
- LEGAZ F., SERNA M.D. & PRIMO-MILLO E.** 1995. Mobilization of the reserve N in citrus. *Plant Soil* 173:205-210.
- MARTÍNEZ-ALCÁNTARA B., QUIÑONES A., PRIMO-MILLO E. & LEGAZ F.** 2011. Nitrogen remobilization response to current supply in young citrus trees. *Plant and Soil* 342:433-443.
- QUIÑONES A., MARTÍNEZ-ALCÁNTARA B., ENRICH ALCAYDE & LEGAZ F.** 2013. Estudio de la absorción y translocación de Ca y N en los cítricos. II. Efecto del incremento de la concentración de ⁴⁴Ca sobre la absorción de N y Ca en plantas jóvenes de cítricos. *Levante Agrícola* 416: 108-117.
- RUSSELL R.S. & CLARKSON D.T.** 1976. Ion transport in Sistema radicular. In: N. Sunderland: *Perspectives in Experimental Biology*. Vol. 2. Botany. p. 401-411. Pergamon Press. Oxford and New York.
- WIERSUM L.K.** 1979. Effects of environment and cultural practices on calcium nutrition. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 259-278.

