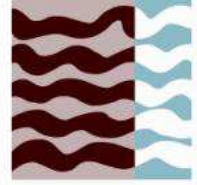




Universidad
Politécnica
de Cartagena



ETSIA
Cartagena

**VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL
SULFATO DE CALCIO COMO FUENTE PARA LA
APLICACIÓN DE CALCIO EN CULTIVO DE
LIMONERO Y NARANJO**

27 de NOVIEMBRE de 2014

Dr. Alejandro Pérez Pastor

I.A. José María de la Rosa Sánchez

Grupo de investigación: “Suelo Agua Planta”

Departamento de Producción Vegetal

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de Cartagena

INDICE

1.- Introducción.....	3
2.- Objetivos	3
3.- Efecto de la fertilización con yeso agrícola en la asimilación de nutrientes y en el crecimiento vegetativo del cultivo	4
3.1.- Material y métodos.....	4
3.1.1.- Material vegetal.....	4
3.1.2.- Tratamientos.....	4
3.1.3.- Sistema de riego	6
3.1.4.- Meteorología.....	7
3.1.5.- Medidas realizadas	7
3.2.- Resultados y discusión	9
3.2.1.- Crecimiento vegetativo.....	9
3.2.2.- Estado nutricional del cultivo.....	10
3.3.- Conclusión y recomendaciones	11
4.- Efecto de diferentes concentraciones de sulfato de calcio en el funcionamiento de emisores autocompensantes. Solubilidad del sulfato de calcio.....	12
4.1.- Material y métodos.....	12
4.1.1 Funcionamiento de emisores.....	12
4.1.2 Solubilidad de sulfato de calcio.....	13
4.2.- Resultados y discusión	13
4.2.1.- Funcionamiento de emisores.....	13
4.2.1.- Solubilidad del sulfato de calcio.....	14
4.3.- Conclusión y recomendaciones	15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Diseño experimental.	6
Figura 2.- Evolución de los valores medios diarios de temperatura (T_{md} , rojo) y humedad relativa (HR, azul). Las líneas verticales de puntos delimitan las fases del ensayo.	7
Figura 3.- Valores de diámetro de tronco (A, B) y altura (C, D) de naranjos (A, C) y limoneros (B, D) medidos al inicio de la fase I (14 de marzo), fase II (13 de junio) y al final del ensayo (26 de septiembre) para los tratamientos control (T_{CTL} , rojo) y yeso (T_{YESO} , azul) . Cada barra representa el valor medio de cada tratamiento (4 repeticiones) \pm error estándar. N.S. indica ausencia de diferencias significativas según ANOVA a 95 %.....	10
Figura 4.- Contenido en % de nitrógeno (A y B), fósforo (C y D), potasio (E y F) y calcio (G y H) en hojas (línea continua), tronco (línea discontinua) y raíz (línea de puntos) de naranjo (A, C, E y G) y limonero (B, D, F y H) para los tratamientos control (T_{CTL} , rojo) y yeso (T_{YESO} , azul). Cada punto representa el promedio de 4 medidas \pm error estándar.....	11
Figura 5.- A) Caudal medio de emisores (círculos negros), coeficiente de uniformidad de los emisores (círculos blancos) y concentración de sulfato de calcio para cada periodo (barras grises); B) Porcentaje de emisores con caudal inferior a $1.5 L \cdot h^{-1}$ (cuadrados negros), $1 L \cdot h^{-1}$ (cuadrados grises) y $0.5 L \cdot h^{-1}$ (cuadrados blancos). Los datos graficados pertenecen a una muestra de 100 emisores autocompensantes de $2 L \cdot h^{-1}$	14

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.- Preparación de muestras para el análisis: lavado, clasificación por órganos y secado.	8
Fotografía 2.- Muestras secadas, molidas, tamizadas, embolsadas y etiquetadas.	9
Fotografía 3.- Depósito de 200L de capacidad (1.1); programador de riego (1.2); bomba hidráulica con manómetro y baipás para regular la presión (1.3); filtro de anillas con manómetros a la entrada y salida (1.4); filtro de malla a la salida del depósito (1.5).....	13
Fotografía 4.- Diferentes granulometrías de la muestra de sulfato de calcio.	15

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Nutrientes aportados (mM) por el agua de riego, soluciones nutritivas (SN) ideal y aplicadas en T_{CTL} y T_{YESO} en durante la fase I (entre el 14 de marzo y el 13 de junio).....	5
Tabla 2. Soluciones nutritivas utilizadas en T_{CTL} y T_{YESO} durante la fase II (entre el 14 de junio y el 26 de septiembre).....	5

1.- INTRODUCCIÓN

El calcio es un elemento estructural en las plantas ya que constituye la lámina media, las paredes y membranas de la célula. Por esta razón es sabido que un mejor uso del calcio puede mejorar rendimientos, alargar la vida de conservación o almacenamiento y aumentar la resistencia a enfermedades y plagas.

Además, el calcio tiene un efecto moderador de los efectos de la salinidad y especialmente del sodio en el suelo. El calcio por ser un catión bivalente desplaza al sodio del complejo de cambio y mejora la agregación de suelos salinos. La mayor actividad de calcio y otros cationes en suelos con sodio, reducen los efectos tóxicos de este elemento en las plantas.

El calcio es un elemento relativamente abundante en el suelo. Sin embargo, por estar presente bajo formas químicas de baja solubilidad, la disponibilidad del elemento en la solución del suelo es baja.

El sulfato de calcio o yeso agrícola es una de las formas en las que el agricultor puede incorporar calcio al cultivo. Este compuesto presenta la ventaja de estar autorizado para su utilización en agricultura ecológica.

Entre las cualidades deseables para un fertilizante están las siguientes: i) que sea asimilable en las condiciones de cultivo; ii) que no presente incompatibilidades con otros fertilizantes; iii) que presente alta solubilidad para su utilización en fertirriego; iv) que no genere problemas en la instalación de riego.

2.- OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la idoneidad del sulfato de calcio como fertilizante para la nutrición de calcio en cultivos de naranjo y limonero. Para su consecución se proponen los siguientes objetivos secundarios: i) Estudio de la asimilación de calcio a partir de fertilización con sulfato de calcio y efecto en la asimilación de otros nutrientes bajo invernadero; ii) Efecto en el crecimiento vegetativo de la planta; iii) Estudio de la solubilidad y del comportamiento de los emisores con diferentes concentraciones de sulfato de calcio.

3.- EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON YESO AGRÍCOLA EN LA ASIMILACIÓN DE NUTRIENTES Y EN EL CRECIMIENTO VEGETATIVO DEL CULTIVO

3.1.- Material y métodos

3.1.1.- Material vegetal

El estudio se realizó entre marzo y septiembre de 2014, en un invernadero de 60 m² situado en las instalaciones de la Finca Experimental Agroalimentaria “Tomás Ferro”, situada en La Palma (Cartagena). El material vegetal utilizado fueron plántones de naranjo (*Citrus sinensis cv Lane late*) injertado sobre *Citrus macrophylla* y limonero (*Citrus limon cv verna*) injertado sobre *Citrange carryzo*.

3.1.2.- Tratamientos

En cada especie se dispusieron dos tratamientos, T_{CTL} y T_{YESO}. En la fase I del ensayo (entre el 14 de marzo y el 13 de junio) los dos tratamientos se regaron con soluciones nutritivas con idénticas concentraciones de N, P₂O₅, K₂O, Ca⁺², Mg⁺² y otros micronutrientes. La diferencia entre los dos tratamientos fue la forma de incorporar el calcio a la solución nutritiva, mientras T_{CTL} incorporaba el calcio como nitrato cálcico, T_{YESO} lo incorporaba como sulfato de calcio. Para calcular los aportes de nutrientes se tuvo en cuenta el agua de riego. En la **tabla 1** se detalla los fertilizantes utilizados y su concentración en cada tratamiento.

Durante las 3 semanas previas al inicio del ensayo los plántones se regaron solamente con agua, sin fertilizantes. Esto se hizo para que el almacenamiento de nutrientes en el sustrato al inicio del ensayo fuera mínimo, con lo que el estado nutricional de la planta durante las fechas posteriores dependiera solamente de la solución nutritiva aplicada.

Durante la segunda fase II del ensayo (entre el 14 de junio y el 26 de septiembre) en T_{YESO} se dejó de aplicar el nitrógeno equivalente al que se aportaba en T_{CTL} con el nitrato cálcico, quedando las soluciones nutritivas como figuran en la **tabla 2**. De esta forma el contenido de nitrógeno de la solución nutritiva aplicada en T_{YESO} recibía un 38 % menos de nitrógeno que la de T_{CTL}, manteniéndose igual las concentraciones de los demás nutrientes.

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo

Tabla 1.- Nutrientes aportados (mM) por el agua de riego, soluciones nutritivas (SN) ideal y aplicadas en T_{CTL} y T_{YESO} en durante la fase I (entre el 14 de marzo y el 13 de junio).

		Nutrientes						
		NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SO ₄ ⁻²	
Agua de riego (mM)		0.3	0	0.2	2.6	1.9	2.6	
SN ideal (mM)		12	1.3	5	4.6	2.3	Min 1.5	
Aportes necesarios (mM)		11.7	1.3	4.8	2	0.4	-	
	Fertilizantes						Cantidad	
T _{CTL}	Ácido fosfórico 75%		1.3				0.11 L·m ⁻³	
	Ácido nítrico 54%	1					0.09 L·m ⁻³	
	Nitrato de Calcio	4.6			2		0.42 kg·m ⁻³	
	Nitrato de Potasio	4.6		4.8			0.49 kg·m ⁻³	
	Sulfato Magnesio					0.4	0.4	0.1 kg·m ⁻³
	Nitrato de amonio	1.5						0.06 kg·m ⁻³
	Mix de micronutrientes estandar							0.02 kg·m ⁻³
	SN definitiva (mM)	12	1.3	5	4.6	2.3	3.1	CE=2.2 dS·m⁻¹ pH=5.5
T _{YESO}	Ácido fosfórico 75%		1.3				0.11 L·m ⁻³	
	Ácido nítrico 54%	1					0.09 L·m ⁻³	
	Yeso agrícola				2		2	0.34 kg·m ⁻³
	Nitrato potasio	4.6		4.8			0.1	0.49 kg·m ⁻³
	Sulfato magnesio					0.4	0.4	0.10 kg·m ⁻³
	Nitrato de amonio	6.1						0.25 kg·m ⁻³
	Mix de micronutrientes estandar							0.02 kg·m ⁻³
	SN definitiva (mM)	12	1.3	5	4.6	2.3	3.1	CE=2.3 dS·m⁻¹ pH=5.5

Tabla 2. Soluciones nutritivas utilizadas en T_{CTL} y T_{YESO} durante la fase II (entre el 14 de junio y el 26 de septiembre).

	Fertilizantes						Cantidad	
T _{CTL}	Ácido fosfórico 75%		1.3				0.11 L·m ⁻³	
	Ácido nítrico 54%	1					0.09 L·m ⁻³	
	Nitrato de Calcio	4.6			2		0.42 kg·m ⁻³	
	Nitrato de Potasio	4.6		4.8			0.1	0.49 kg·m ⁻³
	Sulfato Magnesio					0.4	0.4	0.1 kg·m ⁻³
	Nitrato de amonio	1.5						0.06 kg·m ⁻³
	Mix de micronutrientes estandar							0.02 kg·m ⁻³
	SN definitiva (mM)	12	1.3	5	4.6	2.3	3.1	CE=2.2 dS·m⁻¹ pH=5.5
T _{YESO}	Ácido fosfórico 75%		1.3				0.11 L·m ⁻³	
	Ácido nítrico 54%	1					0.09 L·m ⁻³	
	Yeso agrícola				2		2	0.34 kg·m ⁻³
	Nitrato potasio	4.6		4.8			0.1	0.49 kg·m ⁻³
	Sulfato magnesio					0.4	0.4	0.10 kg·m ⁻³
	Nitrato de amonio	1.5						0.06 kg·m ⁻³
	Mix de micronutrientes estandar							0.02 kg·m ⁻³

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo

SN definitiva (mM)	7.4	1.3	5	4.6	2.3	3.1	CE=2.3 dS·m ⁻¹ pH=5.5
--------------------	-----	-----	---	-----	-----	-----	-------------------------------------

Se dispusieron 64 plántones de cada especie distribuidos en 8 salchichas de fibra de coco (8 plántones por salchicha). Cada tratamiento estaba compuesto por 4 repeticiones distribuidas según un diseño de bloques distribuidos al azar (**Figura 2**) y cada repetición constaba de 8 plantas dispuestas en una salchicha de fibra de coco.

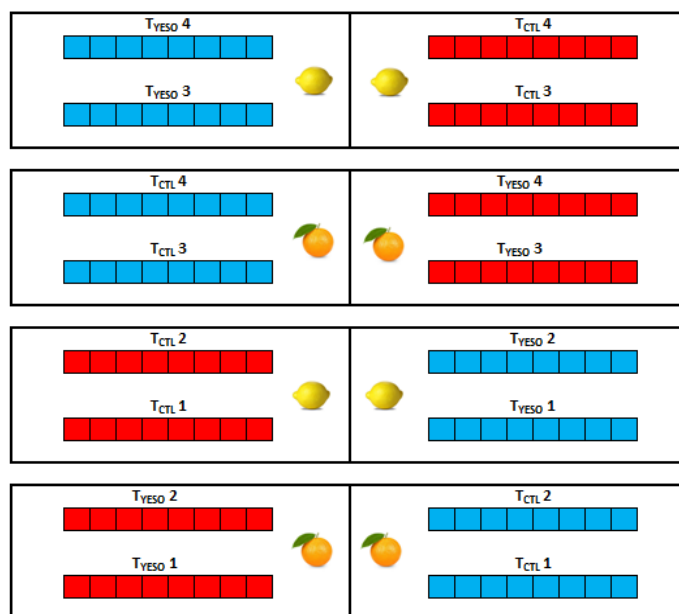


Figura 1.- Diseño experimental.

3.1.3.- Sistema de riego

El sistema de riego constaba de dos tanques de 200 litros. En el tanque 1 se preparaba la solución nutritiva de T_{CTL} y en el tanque 2 la de T_{YESO}. Una bomba hidráulica tomaba las soluciones nutritivas de los tanques para regar los tratamientos correspondientes. Los dos tratamientos se regaban uno después del otro. Antes de empezar el riego del segundo tratamiento se producía la limpieza de las tuberías haciendo pasar agua durante 5 minutos. A la salida de los tanques y a la salida de la bomba estaban dispuestos filtros de malla y de anillas, respectivamente. Cada salchicha se regaba con 8 goteros autocompensantes de 2 L·h⁻¹ de caudal nominal.

El riego se programaba semanalmente con la ayuda de un programador y se aplicaba diariamente. La cantidad de riego aplicada pretendía satisfacer las necesidades de la evapotranspiración de la planta más un 30 % de drenaje (para evitar acumulación de sales en el sustrato). Por lo tanto, el riego se fue regulando semanalmente en base al drenaje

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo

recogido. Cuando el drenaje era inferior al 30% el riego se aumentaba y si el drenaje era superior al 30% el riego se disminuía. El porcentaje de incremento o disminución de la dosis de riego era igual al diferencia entre drenaje objetivo (30%) y drenaje medido.

3.1.4.- Meteorología

Las variables meteorológicas, temperatura (T) y humedad relativa (HR) fueron medidas en el interior del invernadero. Un datalogger almacenaba medidas cada 30 minutos. A partir de estas medidas se determinó la temperatura media diaria (T_m) y la humedad media diaria (HR_m).

La figura 2 muestra la evolución de HR_m y T_m . La HR_m se mantuvo relativamente constante, en torno a 90 %, a lo largo del periodo de estudio. En cambio, T_m presentó una pauta de comportamiento ascendente desde el inicio del ensayo ($\approx 18^\circ\text{C}$) hasta julio ($\approx 30^\circ\text{C}$). T_m se mantuvo en torno a 30°C entre julio y agosto y en septiembre descendió paulatinamente hasta alcanzar valores próximos a 25°C .

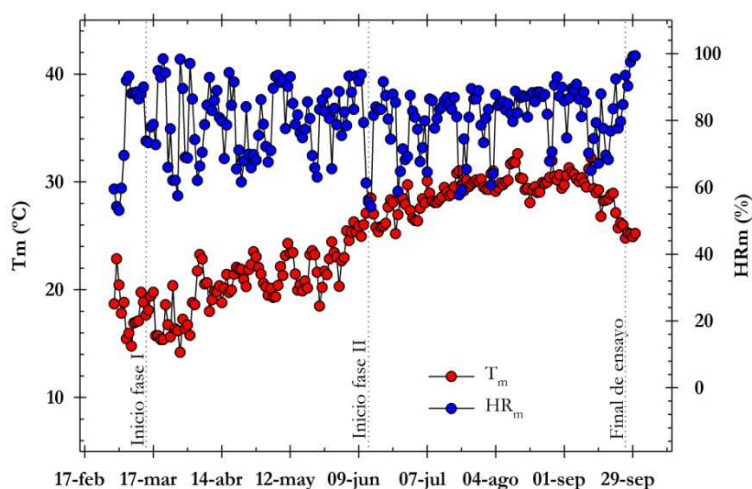


Figura 2.- Evolución de los valores medios diarios de temperatura (T_m , rojo) y humedad relativa (HR_m , azul). Las líneas verticales de puntos delimitan las fases del ensayo.

3.1.5.- Medidas realizadas

Crecimiento vegetativo

Para evaluar el efecto de las diferentes soluciones nutritivas en el crecimiento vegetativo de la planta se realizaron las siguientes medidas:

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo

- Diámetro de tronco sobre el injerto a 20 cm del suelo. Estas medidas se realizaron con calibre digital, en todas las plantas del estudio, al inicio del ensayo (14 de marzo), al final de primera fase (13 de junio) y al final de la segunda fase (26 de septiembre). El punto de medida exacto se marcaba con rotulador indeleble para medir siempre en el mismo lugar.
- Altura de la planta. Se midió la altura de la planta con cinta métrica desde la base hasta el final de la rama más alta. Las medidas se realizaron en todas las plantas, al inicio del ensayo (14 de marzo), al final de primera fase (13 de junio) y al final de la segunda fase (26 de septiembre).

Estado nutricional del cultivo

Se extrajeron 2 plantas por repetición seleccionadas al azar al inicio y final de cada fase. De las plantas extraídas se obtuvieron las muestras de raíz, tallo y hoja para analizar el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en cada órgano.

Las muestras extraídas fueron lavadas minuciosamente con agua destilada (**Fotografía 1**) y posteriormente secada en estufa a 60°C hasta peso constante (entre 48 y 72 horas aproximadamente). Después fueron molidas con molinillo eléctrico, tamizadas, etiquetadas (**Fotografía 2**) y enviadas a analizar al Servicio de Apoyo de Investigación Tecnológica (SAIT) de la universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).



Fotografía 1.- Preparación de muestras para el análisis: lavado, clasificación por órganos y secado.

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo



Fotografía 2.- Muestras secadas, molidas, tamizadas, embolsadas y etiquetadas.

3.2.- Resultados y discusión

3.2.1.- Crecimiento vegetativo

La **figura 3** muestra los valores de crecimiento vegetativo medidos en 3 momentos: i) inicio del ensayo; ii) final de la primera fase del ensayo y iii) final del ensayo. Al principio del ensayo las plantas presentaban similares diámetros de tronco y alturas, por lo tanto se partía de poblaciones homogéneas.

A lo largo del ensayo las plantas experimentaron crecimiento de diámetro de tronco (≈ 1.5 mm) y de altura de la planta (≈ 15 cm). T_{CTL} y T_{YESO} no presentaron valores significativamente diferentes después de 90 días de la primera fase del ensayo, tanto en naranjo como en limonero. Por tanto, la aplicación de calcio mediante sulfato de calcio no generó menor crecimiento al cultivo que la aplicación de calcio mediante nitrato cálcico.

Al final de la fase II del ensayo las plantas siguieron presentando valores similares de diámetro de tronco y altura. Este hecho llama la atención ya que durante esta fase la solución nutritiva en T_{YESO} tenía un 38% menos de nitrógeno (principal elemento responsable del crecimiento vegetativo) que la de T_{CTL} . En verano, la fenología del cultivo marca una ralentización del crecimiento vegetativo. En este contexto los aportes de nitrógeno aplicados con la solución nutritiva de T_{YESO} podrían ser suficientes, con lo que la concentración de nitrógeno en las soluciones nutritivas no actuaría como factor limitante para el crecimiento del cultivo.

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo

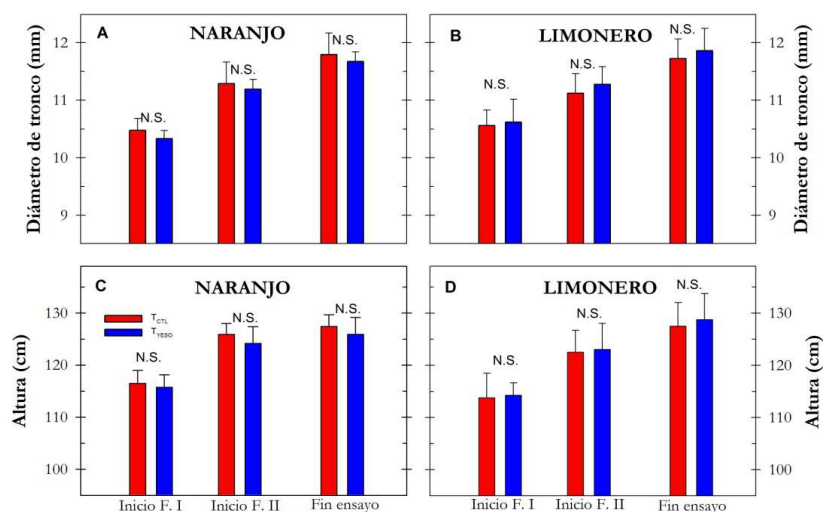


Figura 3.- Valores de diámetro de tronco (A, B) y altura (C, D) de naranjos (A, C) y limoneros (B, D) medidos al inicio de la fase I (14 de marzo), fase II (13 de junio) y al final del ensayo (26 de septiembre) para los tratamientos control (T_{CTL} , rojo) y yeso (T_{YESO} , azul). Cada barra representa el valor medio de cada tratamiento (4 repeticiones) \pm error estándar. N.S. indica ausencia de diferencias significativas según ANOVA a 95 %.

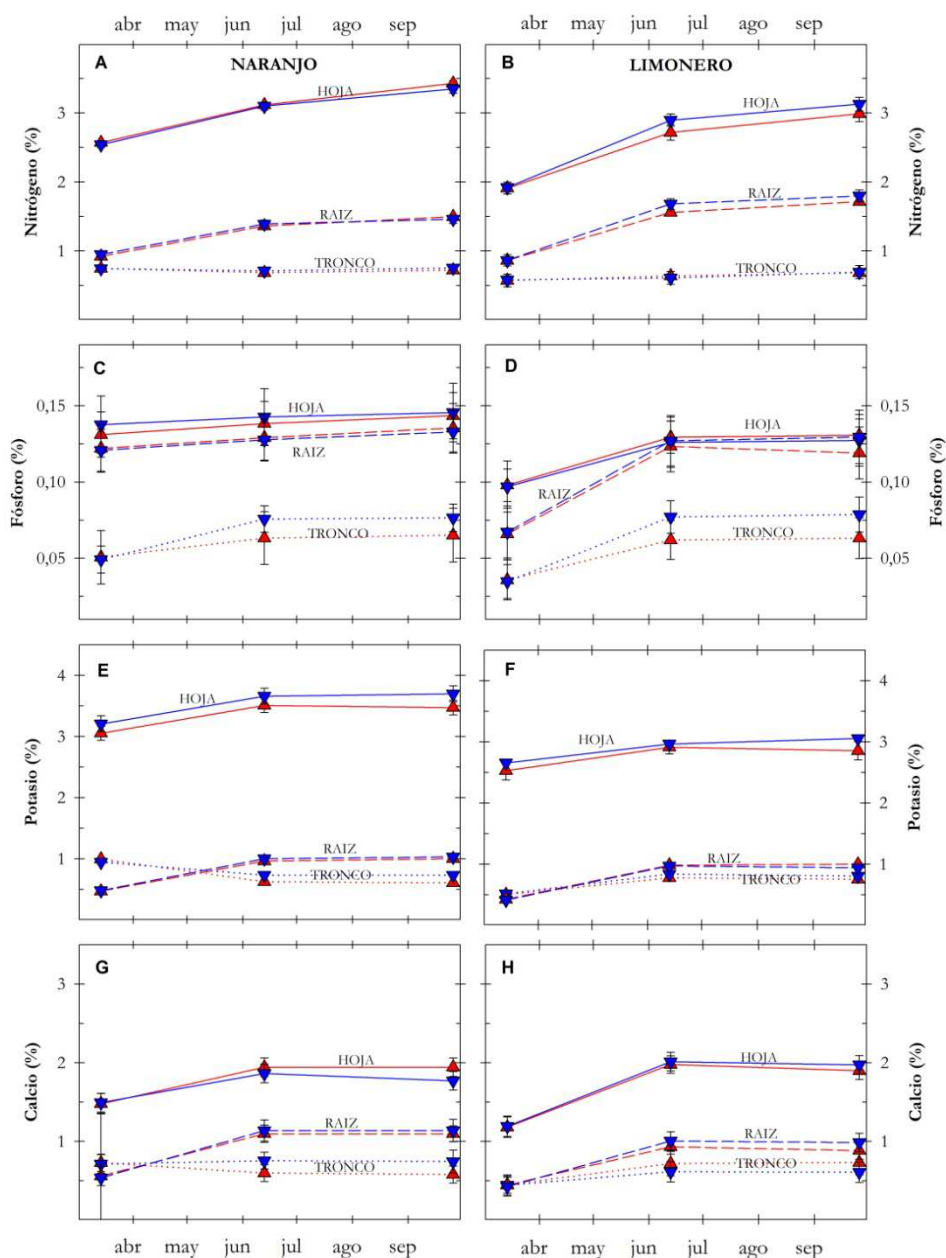
3.2.2.- Estado nutricional del cultivo

La concentración de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en cada uno de los puntos de muestreo se representa en la **figura 4**. La concentración de estos 4 nutrientes presenta una pauta de comportamiento similar, en los dos cultivos y tratamientos, caracterizada por concentraciones significativamente menores en el primer muestreo, incremento y mantenimiento de la concentración en el segundo y el tercer muestreo, respectivamente.

Tanto en limonero como en naranjo se puede observar las mayores concentraciones de N, K y Ca en hojas. En cambio, P presentó similares concentraciones en hojas y raíces. Las concentraciones de los nutrientes estudiados presentaron valores mínimos en el tronco.

Las concentraciones de los nutrientes N, P, K y Ca no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los muestreos, tanto en limonero como en naranjo. Por lo tanto, bajo las condiciones experimentales de este estudio el calcio aportado como sulfato de calcio fue asimilado tanto como el calcio aportado en la forma de nitrato cálcico. Además, el sulfato de calcio no interfirió en la asimilación de N, P y K.

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo



3.3.- Conclusión y recomendaciones

En las condiciones experimentales del ensayo el calcio aportado como sulfato de calcio fue asimilado tanto como el calcio aportado en la forma de nitrato cálcico. Además, el sulfato de calcio no interfirió en la asimilación de N, P y K, ni en el crecimiento y desarrollo de la plantas.

4.- EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SULFATO DE CALCIO EN EL FUNCIONAMIENTO DE EMISORES AUTOCOMPENSANTES. SOLUBILIDAD DEL SULFATO DE CALCIO

4.1.- Material y métodos

4.1.1 Funcionamiento de emisores

El ensayo se realizó, en las instalaciones de la Finca Experimental Agroalimentaria “Tomás Ferro”, situada en La Palma (Cartagena).

Se estudió la respuesta de los emisores autocompensantes de $2 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ a diferentes concentraciones de sulfato de calcio (0, 0.2, 0.4, 0.6, 1, 3 y $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$). Los emisores estuvieron funcionando en torno a 100 horas con cada concentración. Primero funcionaban con concentración de 0 después 0.2, 0.3 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, etc. El caudal de todos los emisores se midió justo en el momento de pasar de una concentración menor a otra superior.

La instalación hidráulica consistía en un depósito de 200 L de capacidad donde se hacían las diferentes disoluciones de sulfato de calcio (Fotografía 3.1). Una bomba (Fotografía 3.3) extraía la disolución del depósito y alimentaba a 100 emisores de $2 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ (Fotografía 3.5). La presión se regulaba con una válvula manual y un manómetro y se mantenía constante en 1,5 atmósferas (Fotografía 3.3). Los emisores estaban colocados en mangueras de polietileno de 16 mm de diámetro (Fotografía 3.5) y se introducían dentro de un tubo de PVC de 75 mm de diámetro a fin de recoger el agua vertida por los emisores y devolverla al depósito generando un sistema cerrado. La agitación se realizaba durante todo el tiempo en el que estaba funcionando la bomba. La instalación constaba de un filtro de malla a la salida del depósito (Fotografía 3.6) y un filtro de anillas a la salida de la bomba (Fotografía 3.4). El riego se controlaba con un programador (Fotografía 3.2).

A partir de las medidas del caudal de emisores se determinó el caudal medio, el coeficiente de uniformidad y el porcentaje de emisores que presentaban un caudal inferior a 1.5, 1 y $0.5 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. El coeficiente de uniformidad se determina como la relación entre el caudal medio del 25% de emisores con menor caudal entre el caudal medio de todos los emisores.

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo



Fotografía 3.- Depósito de 200L de capacidad (1.1); programador de riego (1.2); bomba hidráulica con manómetro y baipás para regular la presión (1.3); filtro de anillas con manómetros a la entrada y salida (1.4); filtro de malla a la salida del depósito (1.5).

4.1.2 Solubilidad de sulfato de calcio

El estudio se realizó en el laboratorio de producción vegetal de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de Cartagena.

Para determinar la solubilidad del sulfato de calcio se prepararon 500 cm³ de agua destilada en un vaso de precipitados. El agua, a temperatura ambiente (≈ 20 °C), se puso en agitación mediante agitadores magnéticos y se le añadió 0.1 g de sulfato de calcio. Una vez disuelto se le volvía a añadir 0.1 g y así sucesivamente hasta que la solución alcanzara la saturación.

4.2- Resultados y discusión

4.2.1.- Funcionamiento de emisores

En la **figura 5** se muestran los resultados del ensayo. El caudal medio de los emisores y el coeficiente de uniformidad no se vieron afectados con concentraciones de sulfato de calcio de 0.2, 0.4, 0.6g·L⁻¹. Después de aproximadamente 100 horas regando con concentración de 1 g·L⁻¹ el caudal disminuyó un 1.5 % llegando a valores absolutos de 1.94 L·h⁻¹. La disminución de caudal se hacía más evidente conforme aumentaba la concentración de sulfato de calcio. Después de aplicar una concentración de sulfato de calcio de 5g·L⁻¹ el caudal medió fue de 1.2 L·h⁻¹, el coeficiente de uniformidad 0.61 y el 93% de los emisores presentaron un caudal inferior a 1.5 L·h⁻¹.

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo

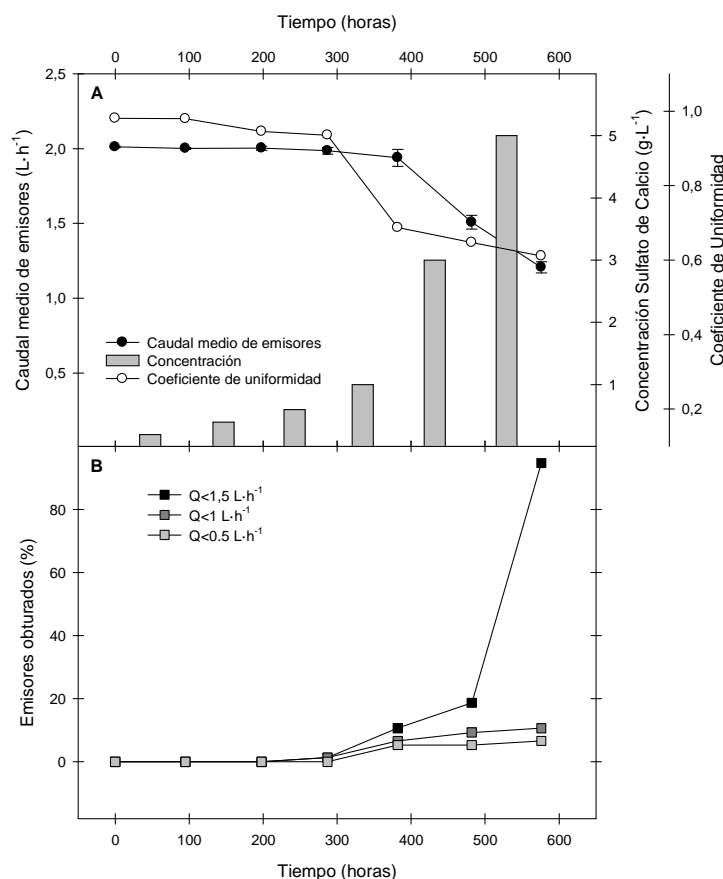


Figura 5.- A) Caudal medio de emisores (círculos negros), coeficiente de uniformidad de los emisores (círculos blancos) y concentración de sulfato de calcio para cada periodo (barras grises); **B)** Porcentaje de emisores con caudal inferior a 1.5 L·h⁻¹ (cuadrados negros), 1 L·h⁻¹ (cuadrados grises) y 0.5 L·h⁻¹ (cuadrados blancos). Los datos graficados pertenecen a una muestra de 100 emisores autocompensantes de 2 L·h⁻¹.

A priori los resultados muestran una limitación de la utilización de sulfato de calcio en la fertirrigación ya que los emisores presentaron algún grado de obturación a partir de concentraciones próximas a 3 g·L⁻¹. En cambio, es posible aplicar el calcio que necesita los cultivos en concentraciones inferiores a 3 g·L⁻¹ de sulfato de calcio. Para esto solamente habría que prolongar el tiempo de inyección de abono.

A pesar de lo anteriormente dicho es posible que el agricultor quiera aplicar grandes cantidades de sulfato de calcio como enmienda en suelos salinos o con mala estructura. En este caso hay que valorar la posibilidad de hacer aplicación directa sobre el suelo sin utilizar la fertirrigación. El calcio es un elemento poco móvil en el suelo por lo que aplicaciones puntuales (1 ó 2 al año) mantendrá el suelo bien nutrido durante todo el ciclo de cultivo.

4.2.1.- Solubilidad del sulfato de calcio

La muestra de sulfato de calcio estudiada está compuesta de dos granulometrías, una mayor de 0.5 mm y otra menor de 0.5 mm (Fotografía 4). La granulometría mayor de

Utilidad del sulfato de calcio en cultivos de limonero y naranjo

0.5 mm está formada por pequeños cristales, de aspecto similar a la sal común, que son insolubles. Por lo tanto, la muestra de sulfato de calcio en su totalidad no es soluble en agua destilada. La granulometría inferior a 0.5 mm tampoco presenta una solubilidad clara ya que desde el principio, con concentraciones de $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, se observan pequeños cristales insolubles. Además, independientemente de la fracción del sulfato de calcio, la solución no admite concentraciones superiores a $2.9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, es decir, la solubilidad máxima de la muestra de sulfato de calcio es de $2.9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.



Fotografía 4.- Diferentes granulometrías de la muestra de sulfato de calcio.

4.3.- Conclusión y recomendaciones

- Concentraciones a partir de $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de sulfato de calcio pueden generar obturación de emisores.
- La muestra de sulfato de calcio estudiada no es soluble en agua destilada por presentar cristales, generalmente de granulometría mayor a 0.5 mm, que son insolubles.