

ADAPTACIÓN DE LAS DISOLUCIONES FERTILIZANTES CALCULADAS INICIALMENTE A LAS CONDICIONES CULTURALES

Diseño de la fertirrigación en función del agua de riego, suelos y sustratos

Tanto el agua de riego, como los suelos y sustratos, interaccionan con los nutrientes de las disoluciones calculadas. Como consecuencia, los nutrientes de la disolución del suelo y los elementos de cambio retenidos en el sue-

lo constituyen la fuente de alimentación real para cada cultivo. La consideración de estas interacciones nos permite realizar una fertirrigación racional para garantizar una mejora e incluso una optimización de la nutrición.

C.Cadahía y E.Eymar

Dpto. Química Agrícola. Universidad Autónoma de Madrid

El diseño del proceso de fertirrigación y fundamentalmente de las disoluciones fertilizantes depende de las exportaciones específicas de los nutrientes para cada cultivo. La obtención de fórmulas de abonado para cada caso se realiza mediante ensayos previos de hidroponía para cultivos herbáceos o para cultivos leñosos, fabricando disoluciones entre los volúmenes de riego previamente optimizados y las cantidades de nutrientes exportadas mensualmente según la bibliografía correspondiente.

Sin embargo, las disoluciones fertilizantes calculadas inicialmente deben ser adaptadas a las condiciones culturales para obtener la máxima eficacia en cada caso.

Tanto el agua de riego, como los suelos y sustratos, interaccionan con los nutrientes de las disoluciones calculadas. Como consecuencia, los nutrientes de la disolución del suelo y los elementos de cambio retenidos en el suelo constituyen la fuente de alimentación real para cada cultivo. La consideración de estas interacciones nos permite realizar una fertirrigación racional para garantizar una mejora e incluso una optimización de la nutrición.

La composición del agua de riego incide en la disolución fertilizante tanto por los nutrientes que contiene como por los elemen-

tos nocivos procedentes de la salinidad. Se deben considerar los niveles altos de cloruros, sodio, etc., y recomendar un método para paliar su incidencia negativa sobre la nutrición. El método consiste en la aplicación de nitratos, calcio y magnesio extras para provocar antagonismos durante la absorción de nutrientes por la planta. También es necesario considerar los correspondien-

tes lavados para controlar la conductividad eléctrica (EC) y paliar la incidencia de la salinidad. Por otra parte, el agua incorpora los bicarbonatos que conviene destruir con un ácido para ajustar el pH.

En la **figura 1** se expone el esquema que explica la intervención del suelo o sustrato en la composición de la disolución que realmente nutre a la planta y el sistema de



FIGURA 1.

Interacciones de la disolución fertilizante con el suelo o sustrato. Control de la planta.

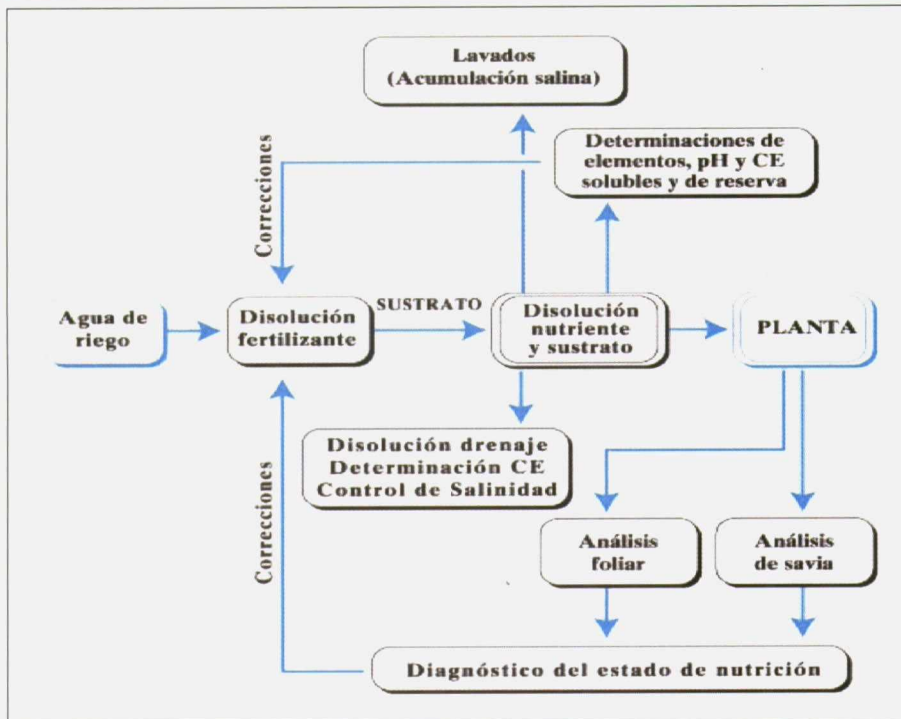


Foto 1. Fertirrigación del cultivo de melón en suelo enarenado.

con la respuesta de la planta al medio nutritivo nos permite estudiar la correspondiente interacción. En consecuencia, podremos determinar los cambios necesarios en la disolución fertilizante para que al reaccionar con el suelo o sustrato se consiga la mejora e incluso la optimización de la nutrición del cultivo.

El análisis de planta (savia y foliar) nos permite constatar la eficacia de las mejoras de la disolución fertilizante e incluso realizar correcciones para su optimización.

En la figura 2 se presenta un esquema del sistema suelo-disolución del suelo que nutre a la planta y que es necesario considerar al diagnosticar la eficacia de una fertirrigación.

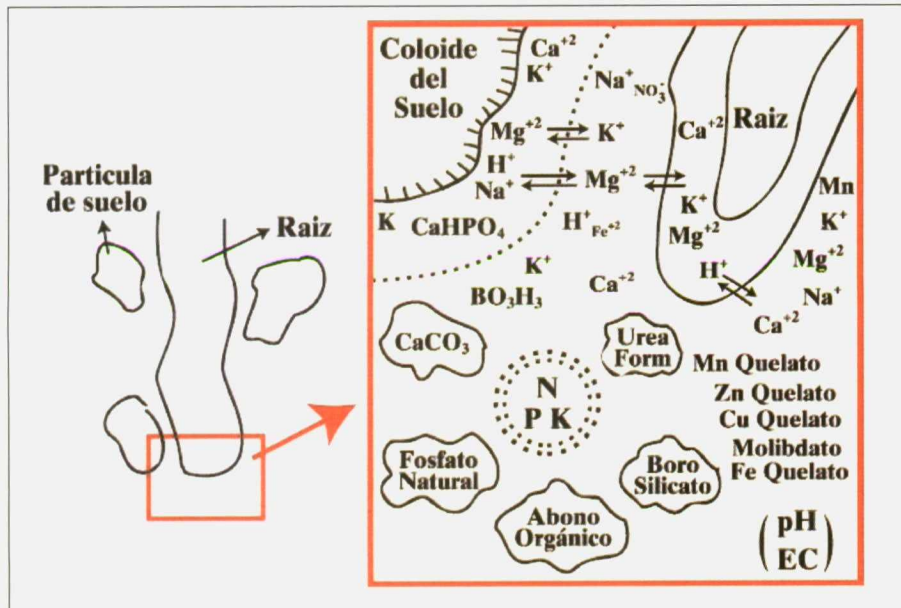
Composición del agua de riego y disolución fertilizante

En relación a la influencia que la composición del agua de riego tiene sobre la solución fertilizante se han de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El agua contiene macronutrientes esenciales como calcio y magnesio, que se restan de la disolución fertilizante calculada experimentalmente como se indicó anteriormente.
- Por otra parte, el agua contiene elementos en cantidades tóxicas para la nutrición del cultivo como cloruros y sodio. Para paliar el efecto negativo correspondiente se incrementan hasta niveles no

FIGURA 2.

Sistema suelo-disolución del suelo.



seguimiento que permite realizar las correcciones correspondientes.

Los fertilizantes y el ácido añadidos al agua de riego constituyen la disolución fertilizante. Ésta, al llegar al sustrato o suelo,

reacciona con ellos y constituye la que se podría denominar disolución nutriente real. El control analítico del extracto de saturación y de los elementos de reserva del suelo o sustrato (elementos de cambio), junto

excesivos los nitratos, calcio y magnesio en la fórmula de abonado.

- La concentración de bicarbonatos en el agua nos permite calcular el ácido necesario para neutralizar y ajustar el pH entre 5,8 y 6,3 en la disolución fertilizante.
- En numerosos casos el agua contiene boro entre 0,5 y 1 ppm con lo cual queda resuelta la aplicación de boro para el cultivo. Si la concentración de boro excede las 2 ppm pueden producirse efectos tóxicos. En estos casos la interacción con el suelo o sustrato rebaja la cantidad de boro a disposición de la planta y se evita el problema de toxicidad en muchos casos. Para concentraciones de boro superiores a 3 ppm deben realizarse mezclas con agua de mejor calidad. Siempre hay que considerar los niveles tóxicos de boro para cada cultivo, que pueden ser muy diferentes.
- Los parámetros de EC y relaciones catiónicas del sodio con calcio y magnesio (RAS) se deben considerar según la sensibilidad del cultivo a la salinidad.

En la **foto 1** se representa un cultivo de tomate sobre suelo en condiciones salinas debidas a la mala calidad del agua de riego.

En los **cuadros I y II** se muestra un ejemplo de cálculo de disolución fertilizante en función del agua de riego. En el **cuadro I** se tienen en cuenta los contenidos de aniones y cationes del agua de riego y en el **cuadro II** se diseña la disolución correspondiente.

El diseño de la disolución fertilizante, es decir, el cálculo de las concentraciones de los correspondientes fertilizantes, a partir del **cuadro I**, se realiza según el orden siguiente:

- Amonio como nitrato amónico.
 - Calcio como nitrato de calcio.
 - Ácido como ácido nítrico.
 - Fósforo como fosfato monopotásico.
 - Potasio restante como sulfato potásico.
 - Magnesio como sulfato magnésico.
- Por lo tanto la disolución está formada por:
- 3 meq/l de ácido nítrico.
 - 6 meq/l de nitrato de calcio.
 - 1 meq/l de nitrato amónico.
 - 4 meq/l de nitrato potásico.
 - 1 meq/l de fosfato monopotásico.
 - 1 meq/l de sulfato potásico y 2 meq/l de sulfato magnésico.

CUADRO I.

Concentraciones de la disolución fertilizante en función del agua de riego.

	Aniones (meq/l)					Cationes (meq/l)				
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Agua de riego	-	-	1	3,5	1	-	-	2	2	1,5
Disolución ideal	14	1	4	-	-	1	6	8	4	-
Aportes previstos	14	1	3	-3 ácido	-	1	6	6	2	-

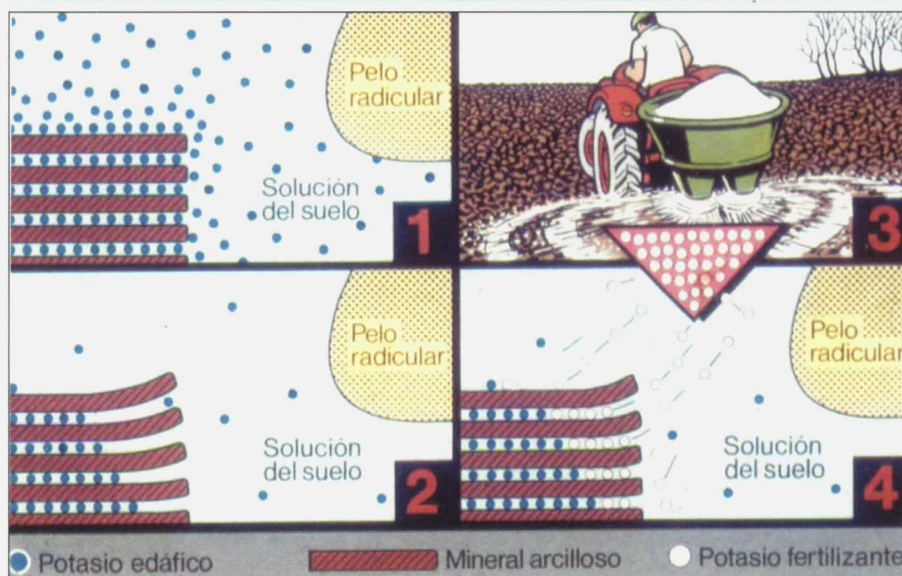
CUADRO II.

Diseño de la solución fertilizante según los aportes de agua de riego.

Meq/l	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	Total
N03-	1	4	6	-	3	14
H2PO4-	-	1	-	-	-	1
SO42-	-	1	-	2	-	3
Total	1	6	6	2	3	18

FIGURA 3.

Fijación del potasio en el suelo durante la fertirrigación.



La unidad de meq/l corresponde a mmol/l. La transformación en ml o g/l corresponde a:

- 0,19 ml de ácido nítrico de densidad 1,41 y riqueza del 70%, por litro de disolución en los goteros.
- 0,404 g/l de nitrato potásico.
- 0,708 g/l de nitrato de calcio.
- 0,080 g/l de nitrato amónico.
- 0,090 g/l de sulfato potásico.

- 0,140 g/l de fosfato monopotásico.
- 0,240 g/l de sulfato magnésico.

Por ejemplo, para una disolución 200 veces concentrada en el cabezal de riego corresponden las cantidades anteriores multiplicadas por el factor 200. No se consideran los cloruros y el sodio puesto que el agua no es salina. En caso de salinidad se tendrán en cuenta las normas antes indicadas.

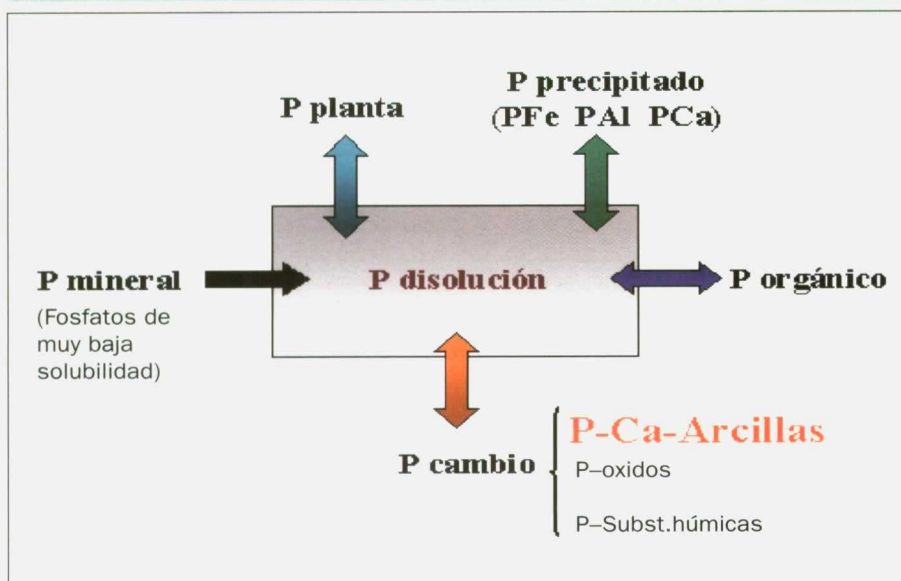
CUADRO III.

Propiedades químicas de los sustratos y su interacción con la disolución fertilizante.

	pH	Extracto de saturación				
		CE	P (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
V	6,8	0,4	1,2	30	791	32
MP + S	5,8	0,4	14,4	53	51	90
MDS 5%	0,3	0,3	0,2	3	3	3

FIGURA 4.

Dinámica del fósforo en el suelo.



Interacciones del suelo y la disolución fertilizante

En la **figura 3** se representa la fijación parcial del potasio durante el abonado entre las láminas de arcilla o en su superficie como elemento de cambio. Por lo tanto, al aplicar la disolución fertilizante hemos de comprobar esta fijación experimentalmente y considerar que, además del potasio soluble en la disolución del suelo, conviene determinar el potasio de cambio que se origina durante la fertirrigación.

En el esquema de la **figura 4** se representa la dinámica del fósforo en el suelo. El fósforo de la disolución del suelo siempre está en un nivel muy bajo. Sin embargo, la planta nos indica, en la mayor parte de los casos, que toma suficiente fósforo del suelo procedente de la fertirrigación. La explicación está en que el fósforo denominado de cambio, y más concretamente el ligado al calcio adsorbido en el coloide del suelo, es tomado por la planta. El resto de las fracciones no aportan al cultivo cantidades apreciables de fósforo respecto al que se añade en la fertirrigación.

En resumen, para optimizar la fertirrigación debemos conocer el potasio y fósforo que queda en la disolución del suelo más el potasio y fósforo de cambio que se determinan con las técnicas analíticas convencionales. Esta información junto a la respuesta de la planta nos permitirá mejorar las disoluciones fertilizantes deducidas en la interacción con el agua de riego.

Interacciones entre los sustratos y la disolución fertilizante

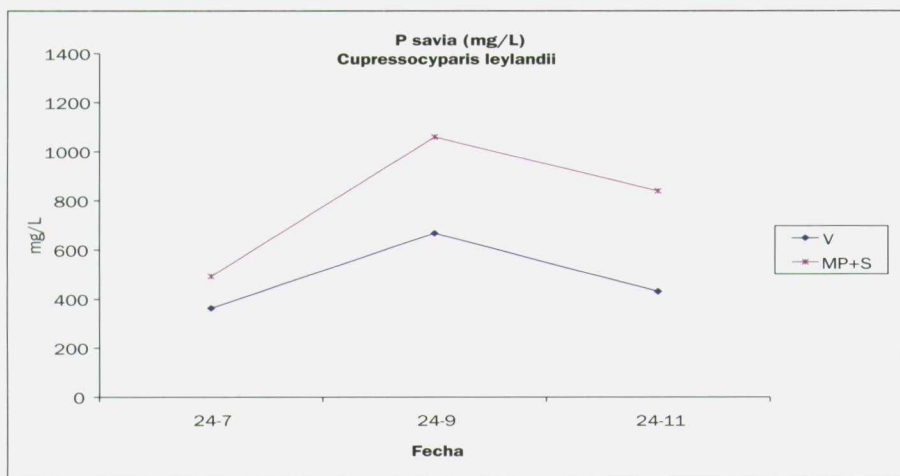
Como consecuencia de diferentes ensayos de nutrición, hemos obtenido una disolución fertilizante optimizada para coníferas cultivadas en sustrato inerte. A continuación se realizaron ensayos con diferentes sustratos y la misma variedad: *Cupressocyparis leylandii* (**foto 2**). El objetivo era demostrar que, aunque habíamos calculado las disoluciones fertilizantes para realizar una fertirrigación racional con un sustrato inerte en los viveros, era necesario estudiar la influencia de otros sustratos comerciales no inertes en



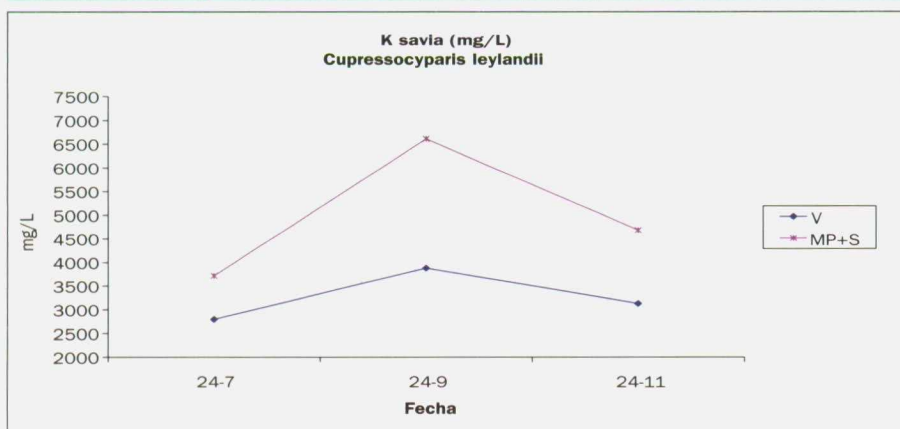
Foto 2. Ensayo de fertirrigación de coníferas con diferentes sustratos.

FIGURA 5.

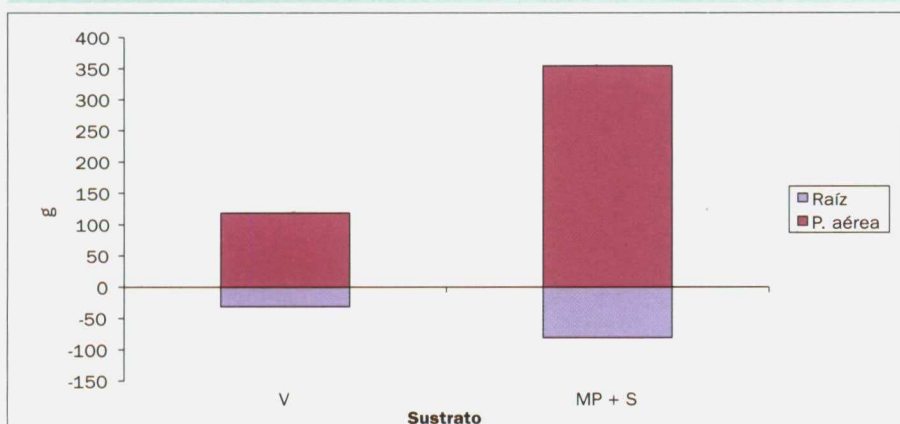
Concentración de fósforo en savia para los dos sustratos ensayados.

**FIGURA 6.**

Concentración de potasio en savia para los dos sustratos ensayados.

**FIGURA 7.**

Pesos de planta (*Cupressocyparis leylandii*) para los dos sustratos ensayados con la misma disolución fertilizante.



la disponibilidad de nutrientes por la planta durante el proceso de fertirrigación.

La disolución fertilizante optimizada en sustrato inerte corresponde a las siguientes concentraciones de macro y micronutrientes:

- ▶ 30 mg/l N-NO₃⁻; 24 mg/l N-NH₄⁺; 15 mg/l P; 40 mg/l K⁺; 24 mg/l Ca²⁺; 7 mg/l Mg²⁺.
- ▶ 5 mg/l Fe; 1,5 mg/l Mn; 0,5 mg/l B; 0,1 mg/l Cu; 0,1 mg/l Zn; 0,05 mg/l Mo.

Esta disolución se concentra en el cabezal de riego en función de la superficie a fertirrigar.

A título de ejemplo presentamos el caso de dos sustratos: MP+S (turba de musgo + sepiolita) y V (viverista, compuesto por una mezcla de turba rubia, turba negra y arena en proporción 60/20/20).

Para los dos sustratos ensayados las diferencias en los parámetros físicos no fueron muy significativas y estaban dentro de los intervalos de normalidad. Las diferencias se centraban en las propiedades químicas. Los datos se presentan en el **cuadro III** y corresponden a los sustratos fertirrigados con la misma disolución fertilizante antes citada. La aplicación de la disolución fertilizante se ve influenciada claramente por las propiedades químicas de los sustratos.

A pesar de aplicar la misma disolución fertilizante a los dos sustratos, se observan diferencias significativas, con mayores contenidos de P, K y Mg para el MP+S y mayor nivel de Ca para el V. Estas diferencias además de manifestarse en los índices de crecimiento se reflejan en los análisis de savia, por ejemplo para el fósforo y potasio (**figuras 5 y 6**).

Los análisis de savia nos proporcionan intervalos de concentraciones significativamente mayores durante todo el ciclo de cultivo para el tratamiento MP+S. Por otra parte, el elevado valor del Ca para el tratamiento V acentúa las diferencias en P entre los sustratos, lo que coincide con las propiedades químicas de los sustratos.

Los resultados de los índices de crecimiento son significativos a favor del tratamiento MP+S (**figura 7**).

Por lo tanto, el análisis de savia nos indica los factores limitantes de cada sustrato y nos permite seleccionar el más adecuado y modificar la composición de la disolución fertilizante optimizada para sustratos inertes. ●