

CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN LA APLICACIÓN DE NITRÓGENO EN EL AGUA DE RIEGO EN HORTÍCOLAS

# Directrices para una eficiente **nutrición nitrogenada** en fertirrigación

**Numerosos trabajos de investigación han demostrado que el crecimiento y producción de los cultivos aumentan en fertirrigación localizada respecto a otros sistemas de riego, debido fundamentalmente a la mejor disponibilidad de nitrógeno por la planta a lo largo del ciclo de cultivo. En este artículo se resumen las necesidades de nitrógeno aplicado por fertirrigación a los cultivos hortícolas y la interacción entre los nutrientes, el suelo y el agua de riego.**

L. Rincón.

IMIDA (Murcia).

**L**a fertirrigación permite de forma precisa y uniforme la aplicación de nutrientes dentro del volumen de suelo humedecido por los goteros, zona donde se encuentran concentradas la mayoría de las raíces activas de las plantas. Por ello, es necesario adecuar la cantidad de nutrientes a aportar a la demanda de la planta durante el ciclo de cultivo, teniendo en cuenta: formulación del fertilizante (simple, doble, triple y con o sin microelementos), tipo de suelo, estado fenológico del cultivo, clima y otros factores, especialmente el pH del suelo, relaciones de antagonismos y sinergismos entre nutrientes, movilidad de nutrientes en el suelo y condiciones de salinidad del suelo y del agua de riego.

El nitrógeno es, después del potasio, el nutriente absorbido en mayor cantidad por los cultivos hortícolas, obteniéndolo del suelo por absorción de las raíces en forma iónica, preferentemente en forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) y menos como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). El nitrógeno es utilizado

por la planta para sintetizar aminoácidos y proteínas, y además el protoplasma de todas las células contiene proteínas. El nitrógeno es también requerido por las plantas para otras componentes vitales, como clorofila, ácidos nucleicos y enzimas.

Con el propósito de estimar la eficiencia del abonado nitrogenado en distintos sistemas de riego, numerosos trabajos de investigación han demostrado que el crecimiento y producción de los cultivos aumentan en fertirrigación localizada respecto a otros sistemas de riego,



debido fundamentalmente a la mejor disponibilidad de nitrógeno por la planta a lo largo del ciclo de cultivo.

## Fertirrigación nitrogenada de hortícolas

La mayoría de los datos existentes sobre requerimientos de nitrógeno por los cultivos se re-

fieren a cantidades totales absorbidas, información insuficiente en sistemas de fertirrigación localizada si queremos ajustar las aportaciones a la demanda del cultivo.

Para optimizar la fertirrigación nitrogenada se debe conocer el consumo de nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo resultante del máximo rendimiento y calidad (Bar-Yosef, 1991). En este sentido, diversos trabajos de investigación se han realizado para obtener las curvas de absor-

ción de los cultivos (Miller y col., 1979; Pellicer y col., 1999; Rincón y col., 1995, 1998, 1999, 2001, 2002, 2005). Los cuadros I y II muestran las cantidades de nitrógeno requeridas periódicamente (semanales) por los cultivos hortícolas de alto valor económico en fertirrigación, y el cuadro III el consumo medio de nitrógeno por tonelada producida de producto comercial en diferentes cultivos hortícolas.

La curva óptima de consumo de nutrientes define la tasa de aplicación de un determinado nutriente, evitando así las posibilidades de deficiencia y de consumo de lujo.

## Interacción entre riego y fertirrigación nitrogenada

El riego y su manejo intervienen de forma directa en el uso del N. La lixiviación de N se ha estudiado en diversos trabajos (Diez y col., 2000; Diez, 2003; Arauzo y col., 2003) concluyendo que el manejo del riego resultó decisivo en la lixiviación del N en el suelo. En fertirrigación Rincón y col. (2008) ensayaron distintas cantidades de N con y sin biofertilizantes en el cultivo del pimiento grueso y evaluaron la lixiviación de N, P, K, Ca y Mg en lisímetros de drenaje. Para su evaluación se forzó un drenaje del 20% sobre las necesidades de agua del cultivo. La distribución de todos los nutrientes se realizó en cada riego a lo largo del ciclo de cultivo con dosis ajustadas a las extracciones del mismo (Rincón y col., 1995). El porcentaje de N lixiviado (14,5%) fue inferior al porcentaje de agua drenada (20%), consiguiendo una eficiencia del 84,5%. Esta alta eficiencia fue debida al reparto en dosis bajas y continuas en cada riego ajustadas a las extracciones del cultivo. La utilización de biofertilizantes junto con el 50% de las necesidades en forma de N mineral, redujo las pérdidas de N por lixiviación en un 48%. Mayores cantidades lixiviadas que las de nitrógeno fueron las de calcio y magnesio debido al contenido del suelo y los aportes realizados por el agua de riego. La lixiviación de fósforo fue nula y muy baja la de potasio.

En la práctica de la fertirrigación, se debe tener presente la dinámica del nitrógeno dentro del bulbo humedecido por los goteros, distinta según la forma del nitrógeno aplicado. Si el nitrógeno está en forma  $N-NO_3^-$ , aportaciones elevadas y de baja frecuencia producen elevadas pérdidas por lixiviación y acumulaciones de nitra-



Se recomienda utilizar formulaciones nítricas y amoniacales en la proporción del 70-75% y 25-30%, respectivamente.

### CUADRO I.

Requerimientos medios de nitrógeno en cultivos hortícolas con ciclos de cultivo medios y largos.

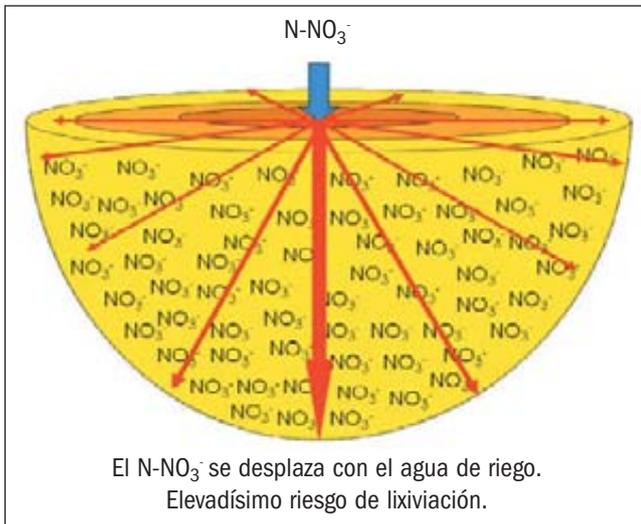
Periodo d.d.t*	Tomate en invernadero	Pimiento grueso en invernadero	Pimiento grueso aire libre	Alcachofa	Melón	Pimiento para pimentón	Tomate de industria
	kg/ha y periodo						
0-15	3	5	10	0	4	5	5
15-30	5	10	10	7	6	5	10
30-45	7	10	15	20	10	15	15
45-60	10	15	20	25	20	20	25
60-75	15	15	25	27	25	25	35
75-90	20	20	25	26	35	30	40
90-105	30	25	25	24	45	35	50
105-120	35	30	20	32	35	30	30
120-135	40	35	15	33	30	20	20
135-150	40	35	10	32	15	15	10
150-165	40	35	--	30	--		
165-180	40	35	--	32	--		
180-195	35	30	--	37	--		
195-210	35	30	--	37	--		
210-225	35	25	--	38	--		
225-240	25	20	--	--	--		
240-255	15			--	--		
<b>TOTAL</b>	<b>430</b>	<b>375</b>	<b>175</b>	<b>400</b>	<b>225</b>	<b>200</b>	<b>240</b>

d.d.t: días después del trasplante

# Vanguard®

FIGURA 1.

Movimiento del  $N-NO_3^-$  en el bulbo húmedo.



tos en la periferia del bulbo humedecido (Rincón y col., 1986), disminuyendo la eficiencia potencial del fertilizante respecto a si se hubiese realizado en pequeñas y sucesivas dosis. Si la forma del nitrógeno es  $N-NH_4^+$ , la aplicación reiterada produce una concentración del catión  $NH_4^+$  a poca distancia del punto de goteo, siendo fijado entre las láminas de arcilla. Cuando la concentración de  $NH_4^+$  es elevada, subsiguientes aportaciones podrían saturar la capacidad de intercambio del suelo y moverse en profundidad, pudiendo producir toxicidad en la planta. No obstante, la mayoría del amonio es transformado biológicamente a nitrato.

Se ha expuesto anteriormente que las curvas de absorción de nitrógeno por los cultivos (**cuadros I y II**) resultan imprescindibles para hacer un eficaz uso del nitrógeno. Sin embargo, dicha información no es suficiente. También se ha expuesto que el  $N-NO_3^-$  tiene una elevada solubilidad en el agua del suelo, lo que le confiere una gran movilidad y un elevado riesgo de lixiviación (**figura 1**). En este contexto, para minimizar las pérdidas por lixiviación, se debe de disponer de la evaluación acertada de las necesidades hídricas del cultivo así como su distribución a lo largo del ciclo de cultivo, ajustando las aportaciones a la extracción de las plantas (Rincón 2007, 2008). En este contexto, la dosis de riego es un parámetro del riego a utilizar que debe ser establecida de acuerdo con el tipo de suelo y la máxima profundidad radicular. De las necesidades hídricas y dosis de riego establecida se deduce el intervalo entre riegos a lo largo del ciclo de cultivo (Rincón 2008). El intervalo entre riegos óptimo es aquél para el que la dosis práctica de riego mantiene la humectación del suelo a profundidad radicular dentro de los límites impuestos por los condicionantes agronómicos de calidad del agua de riego y tipo de suelo (Rincón 2007, 2008). Las dosis bajas no humectan toda la profundidad radicular de las plantas y las dosis en exceso producen elevadas pérdidas de agua y nitrógeno.

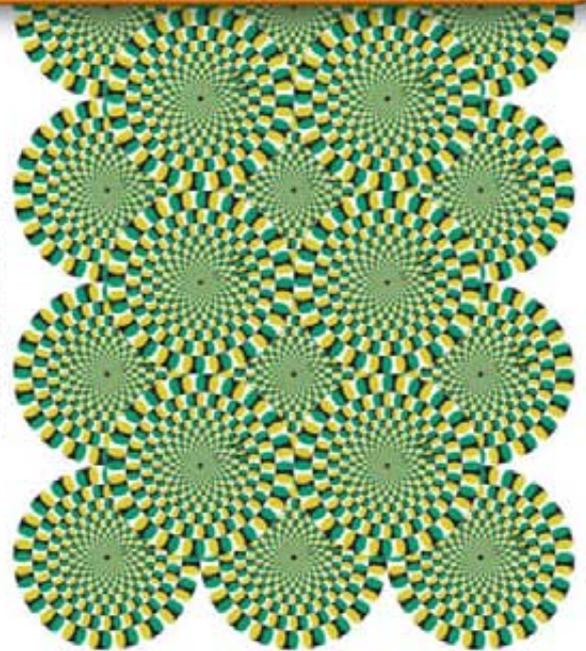
Otros factores a tener en cuenta son las condiciones del volumen de suelo donde se concentran las raíces de la planta (bulbo húmedo), adquiriendo la máxima importancia las características físico-químicas,

Nueva máxima  
riqueza en  
orto-orto  
EDDHA 5,6%



¡Mucho más que un  
simple quelato de hierro!

2003© Alkyon's Krasola ©KANZEN



## Nutrición dinámica del hierro

Restablece los mecanismos fisiológicos de la  
planta en la corrección de la clorosis

 LABORATORIO JAER, S.A.

  
ISAGRO ESPAÑA S.L.

C/ Maldonado, 63. Esc. C, 2º Itz. 28006 Madrid  
Tel. 91 4 023 040 - Fax. 91 401 30 59

## CUADRO II.

Requerimientos medios de nitrógeno de cultivos hortícolas con ciclos de cultivo medios y cortos.

Periodo d.d.t*	Coliflor	Brócoli	Apio	Lechuga Iceberg <sup>(1)</sup>	Lechuga Iceberg <sup>(2)</sup>	Lechuga Little Gem
	kg/ha y periodo					
0-7	5	1	2	1	1	0
8-14	7	2	3	1	1	1
15-21	9	4	5	2	2	1
22-28	12	6	7	2	2	2
29-35	15	8	11	2	2	3
36-42	18	12	15	4	4	4
43-50	22	16	20	4	6	7
51-56	28	22	24	6	8	9
57-62	34	30	26	6	10	9
63-70	36	38	28	8	12	12
71-77	42	40	28	8	14	--
78-84	42	40	28	10	16	--
85-91	42	35	26	10	14	--
92-98	35	--	26	12	--	--
98-105	--	--	24	14	--	--
106-112	--	--	20	12	--	--
113-119	--	--	18	--	--	--
120-126	--	--	--	--	--	--
127-133	--	--	--	--	--	--
134-140	--	--	--	--	--	--
<b>TOTAL</b>	<b>347</b>	<b>254</b>	<b>311</b>	<b>101</b>	<b>91</b>	<b>46</b>

\* d.d.t. = días después del trasplante

(1) cultivares vigorosos plantados en ciclos de otoño-invierno e invierno

(2) cultivares menos vigorosos plantados en ciclos de invierno-primavera y primavera.

dinámica del crecimiento radical, química del suelo, movilidad y solubilidad de los nutrientes, química de los fertilizantes (mezcla, compatibilidad, precipitación, obturación y corrosión de go-

teros), calidad del agua de riego, pH y salinidad del agua de riego, tratando de optimizar el equilibrio y la concentración de nutrientes dentro del bulbo, para que la absorción por la planta se



La alcachofa consume 15 kg de N por cada tonelada de fruto producida, y tiene un rendimiento de entre 25 y 30 t/ha.

produzca de forma equilibrada, evitando deficiencias o excesos que mermen el rendimiento.

Los criterios de utilización de los fertilizantes en fertirrigación, deben plantearse teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Economizar al máximo el consumo sin reducción de la producción.
- Reducir los gastos de cultivo.
- Mejorar la calidad de las producciones.
- Minimizar la contaminación de suelos y aguas subterráneas.

Los fertilizantes utilizados mayoritariamente en fertirrigación son abonos sólidos complejos, es decir, cuya formulación se ha obtenido por reacciones químicas (**cuadro IV**). Se diferencian de los abonos compuestos en que éstos se forman a partir de mezclas de abonos simples y dobles. Las dos características más importantes que deben reunir los fertilizantes sólidos para ser utilizados en fertirrigación son: ser altamente solubles (**cuadro IV**), es decir, que el residuo seco a 15°C sea menor del 0,5% y que contengan altas concentraciones en elementos nutrientes.

La interacción entre el agua de riego y los fertilizantes se produce cuando el contenido de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$  en el agua son altas dando reacción alcalina (pH entre 7,2 y 8,5). Las precipitaciones más comunes son las de carbonatos de calcio, carbonatos de magnesio y sulfato cálcico, debido a que las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  son superiores a su solubilidad para el pH y la temperatura del agua. Bajas temperaturas y valores elevados de pH favorecen la precipitación de sales (Rincón y col., 1989). La aplicación de sales de fósforo de reacción básica (fosfato diamónico) producen la precipitación de fosfatos de Ca y de Mg, debiéndose utilizar fosfato monoamónico (reacción ácida) y ácido fosfórico. Cuando se utilizan aguas recicladas y materias orgánicas líquidas es susceptible de producirse precipitados debido a los contenidos de bicarbonato y materia orgánica. Estos precipitados se depositan en tuberías y en los orificios de los goteros. Al mismo tiempo el fósforo aportado se deteriora.

Los iones del agua en altas concentraciones, interaccionan con los de la disolución nutritiva de fertilizantes dando lugar a desequilibrios entre ellos, inhibiendo o promoviendo la absorción de algún elemento presente en la disolución. En términos generales se pueden producir las siguientes interacciones:

- Alta concentración de sulfatos: promueve

la absorción de sodio y dificulta la de calcio.

- Alta concentración de calcio: interfiere en la absorción de magnesio.

- Alta concentración de magnesio: produce deficiencias de calcio.

- Alta concentración de cloruros: compiten con los iones nitratos.

- Alta concentración de potasio: reduce la disponibilidad de calcio y magnesio.

- Alta concentración de hierro: induce a deficiencias de manganeso.

- Alta concentración de sodio: compite con los iones potasio.

El uso de dos tanques de fertilización (mínimo) permite separar a los fertilizantes con calcio, magnesio y microelementos, de los fertilizantes con fósforo y el sulfato, evitando así la formación de precipitados (Rincón 2008).

### Fertirrigación nitrogenada con aguas salinas

La tolerancia de los cultivos a la salinidad es distinta según la especie de que se trate, existiendo tablas que nos ofrecen la sensibilidad de los cultivos a las sales e iones tóxicos (Maas y Hoffman, 1977). Cuando se utilizan aguas salinas en el riego la incorporación de fertilizantes incrementa la salinidad de la disolución de riego, dependiendo el incremento del tipo de abono utilizado. La relación entre la conductividad eléctrica y la concentración del fertilizante en la disolución concentrada para cada tipo de abono se muestra en el **cuadro V**.

Cuando el agua de riego es salina ( $CE > 2$  dS/m) y el cultivo es muy sensible a la salinidad, podemos paliar los efectos nocivos de ciertos iones con aportes de N y K. Es fundamental que en la deducción de las necesidades hídricas de los cultivos se tenga presente el efecto salino del agua de riego y deducir la eficiencia por salinidad para evaluar el exceso de agua que tenemos que aportar para producir la lixiviación de sales fuera del bulbo humedecido evitando su acumulación en la zona radical (Rhoades y Loveday, 1990).

Cuando dos o más iones están presentes en el agua de riego, se pueden presentar efectos de sinergismo (se favorece la absorción) y antagonismo (se dificulta o inhibe la absorción). Por ejemplo, la presencia de  $N-NO_3^-$  favorece la absorción de Mg y K y dificulta la de B. El  $N-NH_4^+$  favorece la absorción del Cu y dificulta la de Mg y Mo. Entre los aniones  $NO_3^-$  y  $Cl^-$  existe un claro antagonismo, de forma que la presencia de

### CUADRO III.

Consumo medio de nitrógeno en fertirrigación por tonelada de fruto comercial en diversos cultivos hortícolas.

Cultivo	Producción (t/ha)	kg de N/t
Alcachofa	25-30	15,0
Apio	80-90	3,5
Brócoli	15-18	14,0
Coliflor	30-45	10,0
Lechuga Little Gem	15-20	2,5
Lechuga Iceberg	40-50	2,0
Melón	45-50	5,0
Pimiento aire libre	55-60	3,0
Pimiento de invernadero	110-130	3,0
Pimiento pimentonero	25-30	8,0
Sandía	65-80	2,5
Tomate aire libre (fresco)	90-100	2,5
Tomate de invernadero	120-180	2,5
Tomate para industria	100-120	2,5

### CUADRO IV.

Características de solubilidad y reacción de sales fertilizantes.

Compuestos	Solubilidad (g / l)				Reacción
	0°C	15°C	20°C	30°C	
Nitrato potásico	133	257		459	neutra
Nitrato cálcico	1.020	1.130		1.526	ligeramente ácida
Nitrato amónico		1.630		2.400	ácida
Nitrato de magnesio	640		705		ligeramente ácida
Fosfato monoamónico	227		370		ácida
Fosfato monopotásico	148		227		ácida
Sulfato de potasio	74	102	110	130	neutra
Sulfato de magnesio	260	332		409	neutra



El pimiento en invernadero, un cultivo de alto valor económico, necesita 3 kg de N por cada tonelada de producto.

$\text{NO}_3^-$  reduce la absorción de  $\text{Cl}^-$ , y al contrario, la presencia de  $\text{Cl}^-$  reduce la absorción de  $\text{NO}_3^-$  (Feigín y col., 1980). En este sentido, cuando se riega con agua de alto contenido en  $\text{Cl}^-$ , los daños producidos pueden reducirse fertilizando con  $\text{N-NO}_3^-$ , de forma que reforzando el aporte de  $\text{NO}_3^-$  se consigue reemplazar a los iones  $\text{Cl}^-$  por iones  $\text{NO}_3^-$ . También es significativo el antagonismo entre el sodio ( $\text{Na}^+$ ) y el potasio ( $\text{K}^+$ ): el Na inhibe la absorción de potasio, sustituyéndolo en la planta y viceversa. Con aguas de contenido alto en Na se debe aumentar la aplicación de K para paliar su efecto nocivo.

Otra serie de incompatibilidades se pueden presentar en las disoluciones nutritivas, destacando la del calcio con los fosfatos y sulfatos, la del sulfato de magnesio con los fosfatos mono y diamónico y la del ácido fosfórico con el hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn).

## Suelo y abonado nitrogenado

Del valor del pH del suelo depende la absorción de los distintos nutrientes. El rango de pH del suelo para el que se produce la absorción óptima de todos los nutrientes está entre 6 y 6,5, aunque en la mayoría de los suelos de zonas áridas y semiáridas el valor del pH es superior a 7,2.

La forma del nitrógeno absorbida por la planta cambia el balance de cationes/aniones en la planta (Barber, 1984). La relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  es uno de los factores principales que afectan al pH de la rizosfera, especialmente en suelos arenosos y sustratos inertes con baja capacidad de amortiguamiento. El pH de la ri-

zosfera determina la disponibilidad de fósforo, interviniendo en los procesos de precipitación/solubilización y los de adsorción/desorción de fosfatos. El pH también influye en la disponibilidad de micronutrientes (Fe, Zn, Mn) y en la toxicidad de algunos de ellos como Al y Mn.

Las especies vegetales absorben el N principalmente como nitrato, ya que ésta es la forma predominante en el suelo. Sin embargo también pueden encontrarse en el suelo cantidades variables de nitrógeno amoniacal que afectan tanto al crecimiento como al metabolismo de las plantas según especie cultivada.

Cuando la absorción de  $\text{N-NH}_4^+$  es predominante, la planta absorbe más cationes que aniones (Wilcox y col, 1985), basándose la nutrición en la absorción del catión  $\text{NH}_4^+$  que disminuye la absorción de otros cationes como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  (Marschner, 1995), generando las raíces radicales  $\text{H}^+$  para mantener el equilibrio iónico en la planta. La excreción de radicales  $\text{H}^+$  disminuyen el pH de la rizosfera promoviendo la toxicidad de Al y Mn. El  $\text{N-NH}_4^+$  sería una fuente óptima de N debido a que existirían menores pérdidas por lixiviación o volatilización en el suelo y su posterior asimilación en la planta además es más eficiente que la del  $\text{N-NO}_3^-$ . Sin embargo, sus efectos tóxicos causan un efecto adverso sobre el crecimiento radicular y sobre el desarrollo vegetal (Ganmore-Neumann y Kafkafi, 1980, 1983) por su acumulación en los tejidos, dando un estrecho margen entre el óptimo de crecimiento y límite de toxicidad (Reisenauer, 1978).

Las plantas fertilizadas con  $\text{N-NO}_3^-$  absorben  $\text{NO}_3^-$  y más aniones que cationes, originando un desbalance aniones/cationes en la planta que se compensa con distintos mecanismos,

principalmente con la síntesis de carboxilatos (Huffaker y Rains, 1978). Durante los procesos de carboxilación se forman radicales  $\text{OH}^-$  que incrementan el pH de la rizosfera.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente la fertilización y nutrición con  $\text{N-NO}_3^-$  es recomendada debido a la mayor síntesis de ácidos orgánicos y mayor absorción de cationes. No obstante, fertilizar con el 100% de  $\text{N-NO}_3^-$  podría originar incrementos muy altos de pH en la rizosfera ( $>8$ ) lo que disminuiría la absorción de fósforo y microelementos por efectos precipitación. Para evitarlo se recomienda usar una mezcla de  $\text{N-NO}_3^-$  (75-80%) y  $\text{N-NH}_4^+$  (20-25%) para regular el pH de la rizosfera. De esta forma se ha demostrado que el crecimiento y la producción del cultivo se optimizan (Gastaldi y Sutton, 1989). Dichos equilibrios influyen también en el desarrollo y distribución de raíces en el perfil del suelo, teniendo mayor eficiencia en riego por goteo, al concentrarse en profundidades entre 0 y 30 cm (Jackson y col., 1993). Rufty y col. (1981) comprobaron que el crecimiento de la parte aérea de la planta requiere una coordinación con las raíces, donde la actividad para absorber el N depende del balance entre el desarrollo de la parte vegetativa aérea y el desarrollo radicular, así como del flujo continuo de carbohidratos como fuente de energía.

La mayor eficiencia conseguida en el uso del nitrógeno en condiciones de fertirrigación respecto a otras técnicas de cultivo, se debe principalmente a la distribución continua de agua y nitrógeno que generan pequeñas pérdidas de N por percolación en profundidad (Sánchez, 2000). A su vez, el aporte del N en fertirrigación produce concentraciones continuas de  $\text{NO}_3^-$  en la disolución del suelo, optimizando la absorción por la planta lo que mejora sensiblemente la productividad (Feigín y col., 1980). Solamente cuando la aportación de N es superior a la absorción de la planta las pérdidas por desnitrificación pueden ser elevadas en riego por goteo, al concentrarse los nitratos en el suelo debajo del punto de emisión, zona de alta humedad y condiciones favorables para que se produzcan dichas pérdidas.

## Consideraciones finales

### En el riego

- Hacer siempre una evaluación acertada de las necesidades hídricas del cultivo y la distribución adecuada, estableciendo la dosis óptima de riego e intervalo entre riegos ajustados

### CUADRO V.

Relaciones entre la conductividad eléctrica (CE) y la concentración (C) de disoluciones de distintos fertilizantes

Fertilizante	Relaciones
$\text{KPO}_4\text{H}_2$	$\text{CE (dS/m)} = 0,0347 + 0,699 * \text{C (g/l)}$ $\text{R}^2 = 0,9949$
$\text{K}_2\text{SO}_4$	$\text{CE (dS/m)} = 0,154 + 1,518 * \text{C (g/l)}$ $\text{R}^2 = 0,9974$
$\text{NH}_4\text{PO}_4\text{H}_2$	$\text{CE (dS/m)} = 0,020 + 1,315 * \text{C (g/l)}$ $\text{R}^2 = 0,9974$
$\text{Ca(NO}_3)_2$	$\text{CE (dS/m)} = 0,077 + 0,808 * \text{C (g/l)}$ $\text{R}^2 = 0,9974$
$\text{KNO}_3$	$\text{CE (dS/m)} = 0,0881 + 1,129 * \text{C (g/l)}$ $\text{R}^2 = 0,9974$
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	$\text{CE (dS/m)} = 0,089 + 1,538 * \text{C (g/l)}$ $\text{R}^2 = 0,9974$

Fuente: Rincón y Sáez (2006).

Arauzo, M., Díez J.A., Hernáiz, P.2003. Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI. J.Álvarez-Benedí y P. Marineró; 40-44.

Barber, S.A. 1984. Soil Nutrient Availability: A Mechanistic Approach. John Wiley and Sons, Inc., NY.

Bar-Yosef, B. 1991. Fertilization under drip irrigation. In: Fluid Fertilizer Science and Technology, Palgrave, D.A. (Ed). Marcel Dekker, Inc., New York. pp 285-329.

Díez, 2003. Uso eficiente del nitrógeno en la nutrición de los cultivos. Vida Rural 175, 44-47.

Díez, J.A., R. Caballero, R. Román, A. Tarquis, M.C. Cartagena y A. Vallejo. 2000. Integrated fertilizer and irrigation management to reduce nitrate leaching in Central Spain. J. Environ. Qual. 29: 1539-1547.

Feigún, A., M. Zwiabel, I. Rilski, N. Zamir and N. Levav. 1980. The effect of ammonium/nitrate ratio in the nutrient solution on tomato yield and quantity. Acta Hort. 98: 149-160.

Ganmore-Neumann, R. and U. Kafkafi. 1980. Root temperature and percentage NO<sub>3</sub>⁻/NH<sub>4</sub>⁺ effect on tomato plants. I Morphology and growth. Agron. J. 72:758-761.

Ganmore-Neumann, R. and U. Kafkafi. 1983. Root temperature and percentage NO<sub>3</sub>⁻/NH<sub>4</sub>⁺ effect on strawberry plants. I Growth, flowering and root development. Agron. J. 75: 941-947.

Gastaldi, C.R., Sutton B.G., 1989. Optimizing nitrogen ferti-

lization of vegetable crops by drip irrigation. Acta Horticulturae 247, 217-221.

Huffaker, R.J., Rains, 1978. Factors influencing nitrate acquisition by plants. Assimilation and fate of reducing nitrogen. Nitrogen and environment(2). Nielsen and McDonald. Academic Press, N.Y.: 1-43

Jackson, L.E., Stivers L.J., Warden B.T., Tanji K.K., 1993. Crop nitrogen utilization and soil nitrate loss in a lettuce field. Fertilizer Research 37 (2), 93-105.

Maas, E.V. and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance - current assessment. J. Irrig. Drainage Div. ASEC 103: 115-134.

Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press, San Diego, New York.

Miller, C., McCollum, R., Claimon, C 1979. Relationships between growth of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) and nutrient accumulation during ontogeny in field environments. J. Amer. Soc. Hort.Sci. 104 (6): 852-857.

Pellicer, C; Pérez, A; Rincón, L; Sáez, J., Abadía, A. 1999. Influencia de la fertilización nitrítica en el crecimiento absorción de nutrientes de un cultivo de melón. Actas de Horticultura 26: 386-392.

Reisenauer, H.M. 1978. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants. Nitrogen and environment(2). Nielsen and McDonald. Academic Press, N.Y.: 157-170.

Rhoades, J.D. and J. Loveday. 1990. Salinity in irrigated agriculture. In: Irrigation of Agricultural Crops. B.A. Stewars and

D.R.Nielsen (Eds.). ASA-CSAA-SSSA, Madison, WI. pp 1089-1142.

Rincón, L, Pellicer, C, Sáez, J, Pérez, A, Abadía A. 2.002. Crecimiento vegetativo y absorción de nutrientes del apio. Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales, Vol. 17 (2): 291-302

Rincón, L. 2005. La fertirrigación de la lechuga iceberg. Ed. INIA\_IMIDA: 198pp. Rincón, L., Pellicer, C., Sáez, J., Abadía, A., Pérez, A., Gómez, M.D. 1999. Crecimiento y extracción de nutrientes de la alcachofa. Actas de Horticultura 26: 326-332.

Rincón, L. 2007. El uso eficaz de la fertirrigación en los cultivos hortícolas. II. Manejo del agua de riego en el ciclo de cultivo. Agrícola Verdel 321, 404-408.

Rincón, L. 2008. La fertirrigación de la lechuga. Ed. Mundi-Prensa-IMIDA, 265 pp.

Rincón, L., Pellicer, C; Sáez, J, Abadía, A Pérez, A., Gómez, M.D. 1999. Crecimiento y extracción de nutrientes del brócoli. Investigación Agraria: Producción y Protección de los Vegetales 14 (1-2), 225-235.

Rincón, L., Pellicer, C, Sáez, J. 1996. Influencia de distintos niveles de nitrógeno aportados en riego por goteo en cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* M). Libro de Actas del II Congreso Nacional de la SECH 1, 668-677.

Rincón, L., Pellicer, C., Sáez, J., Pérez, A., Abadía, A. 2.001. Crecimiento vegetativo y absorción de nutrientes de la coliflor. Investigación Agraria: Producción y Protección Vegeta-

les, Vol. 16, 119-1

Rincón, L., Pérez, A., Abadía A., Pellicer, C., Sáez, J. Paredes, A. 2008. Aplicación en fertirrigación de distintas cantidades de N en un cultivo de pimiento grueso de invernadero. Respuesta productiva y balance de nutrientes. Actas de Horticultura 50: 188-194.

Rincón, L., Sáez, J. Domingo, M. 1989. Obstrucciones en sistemas de riego localizado. Riegos y Drenajes XXI. 75:17-72.

Rincón, L., Sáez, J., Balsalobre, E., Pellicer, C. 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso en cultivo bajo invernadero. Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales Vol. 10 (1), 47-59.

Rincón, L., Sáez, J., Pérez, A., Pellicer, C. 1998. Crecimiento y absorción de nutrientes del melón bajo invernadero. Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales Vol. 13 (1), 111-120.

Ruffy, Jr., T.W., Raper Jr., C.D., Jackson W.A., 1981. Nitrogen assimilation, root growth and whole plant responses of soybean to root temperature, and to carbon dioxide and light in the aerial environment. New Phytologist 88: 607-619.

Sánchez, C.A. 2000. Response of lettuce to water and nitrogen on sand and the potential for leaching of nitrate-N. HortScience 35 (1), 73-77.

Wilcox, B., Magalhaes, J., Silva, F. 1985. Ammonium and nitrate concentrations as factors in tomato growth and nutrient uptake. Journal of Plant Nutrition, 8: 989-998.

al tipo de suelo, tratando de minimizar las pérdidas de agua a las estrictamente necesarias por condicionamientos agronómicos. De esta forma se minimizarán las pérdidas de N por lixiviación.

- Es recomendable programar el riego para intervalos semanales, utilizando los datos climáticos de la semana anterior. Cuando las condiciones climáticas de la semana en curso varíen significativamente respecto a las de la semana anterior se deben reajustar las aportaciones de agua. La incorporación de algún elemento de medida directa o indirecta de la humedad del suelo permitirá ver los cambios de humedad y, en consecuencia, aumentar o disminuir las aportaciones.

### En la fertilización

- Distribuir el N a lo largo del ciclo de cultivo con la misma frecuencia del riego, ajustando la cantidad al requerimiento de la planta en cada fase vegetativa, evitando aportaciones acumuladas que den lugar a concentraciones elevadas de nitrógeno en el suelo, lo que podría producir pérdidas elevadas por lixiviación, desequilibrio iónico de la disolución del suelo y repercusiones en la nutrición de la planta, afectando negativamente a la productividad, además de incrementar los problemas medioambientales.

- Hacer un buen balance del nitrógeno necesario para la fertirrigación localizada del cultivo, teniendo en cuenta los requerimientos de la planta en cada fase vegetativa, las pérdidas

por lixiviación no controlables y las aportaciones del agua de riego y/o del suelo principalmente.

- Se recomienda utilizar formulaciones nitricas y amoniacales conjuntamente, en la proporción del 75-70% en forma nitrítica y el 25-30% en forma amoniacal.

- Cuando se utilice ácido nítrico para ajustar el pH de la disolución de riego, se debe tener en cuenta la cantidad de nitrógeno que se aporta. Cuando se inyecta ácido nítrico durante todo el tiempo de riego (no recomendable en suelos calizos), el nitrógeno aportado puede llegar a representar en algunos cultivos hasta el 50% del N total necesario. En condiciones medias de cultivo en suelo solo es necesario bajar el pH de la disolución de riego durante el tiempo final de riego (10-15% del total

de riego) en el que no se aportan fertilizantes, teniendo como finalidad prevenir la formación de precipitados en goteros y otros elementos de la instalación. ●

