

EL MANEJO DE FERTILIZANTES A TRAVÉS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO (FERTIGACION)

Al Ludwick*

Introducción

Fertigación se define como la aplicación de fertilizantes en el agua de irrigación (*FERTILIZACIÓN + irriGACION*). Es común también el uso del término fertiirrigación para referirse al mismo concepto. Se puede practicar fertigación en riego por aspersión, pivote central y líneas transportables, y más comúnmente con riego por goteo, microjets y microaspersores.

Aún cuando esta práctica ha adquirido popularidad en los últimos años, el disolver productos fertilizantes en el agua de riego es un proceso conocido desde hace mucho tiempo. En California, por ejemplo, se disolvía sulfato de potasio en el agua de riego utilizada en huertos de cítricos desde 1928. La aplicación de amoníaco anhidro a través del riego se conoce desde 1932, fue así como se acuñó el término "nitrogación". Sin embargo, la primera aplicación de fertilizante químico comercial a través de un sistema de riego por aspersión no fue reportada sino hasta 1958. Hoy en día, es común la aplicación de soluciones y suspensiones fertilizantes a través de sistemas bien calibrados de inyección y bombeo. El manejo de fertigación ha demostrado su eficiencia y precisión a través del tiempo en muchos lugares del mundo especialmente durante las últimas dos décadas.

Para que la fertigación sea realmente efectiva es necesario conocer algunas características importantes del cultivo. Se debe en primer lugar conocer los hábitos de crecimiento de la especie vegetal a cultivar. Por ejemplo, entre otras cosas es importante conocer los requerimientos nutricionales diarios de la planta para poder satisfacer esta demanda, determinar el tipo de raíz o sistema radicular y la variación estacional en la absorción de nutrientes. Además, es importante manejar ade-

cuadamente los conceptos básicos de química de suelos y los conceptos de solubilidad y movilidad de los nutrientes, así como las condiciones del agua utilizada para riego en la finca (pH, sales disueltas, toxicidad de ciertos iones, etc.).

La necesidad y condiciones del sistema de riego son los factores más importantes a considerar cuando se diseña un programa de fertigación, ya que el equipo instalado tiene como objetivo principal el entregar agua en el momento oportuno y en cantidades adecuadas para el óptimo desarrollo del cultivo. Un buen diseño del sistema de riego incrementa la eficiencia de los programas de fertigación. A continuación se discuten algunas consideraciones de importancia cuando se busca obtener los máximos beneficios de la fertigación.

Consideraciones nutricionales (N, P y K)

El nitrógeno (N) es el nutriente que con más frecuencia se inyecta en los sistemas de fertigación. Esto se debe a que todos los cultivos requieren cantidades relativamente grandes de este nutriente, a que existe en el mercado muchos productos nitrogenados altamente solubles y a que el N en forma de nitrato (NO_3) es muy móvil en el suelo y puede ser fácilmente lavado del perfil.

Debido a todo lo anterior, el N ha sido tradicionalmente el nutriente de mayor interés para el agricultor y también es el que ha generado mayor preocupación con respecto al ambiente. Muchos estudios han demostrado que para evitar el lavado hacia los mantos acuíferos, así como para aumentar la eficiencia de absorción por el cultivo, es recomendable el fraccionar las aplicaciones de N a través del ciclo de desarrollo de la planta. Una manera

muy conveniente de lograrlo es a través de la fertigación. Existe abundante información que indica la cantidad de nutrientes requeridos por los diferentes cultivos durante su ciclo de desarrollo. La **Tabla 1** presenta ejemplos de dos cultivos: pepino y pimiento. El agricultor, utilizando fertigación, puede variar la nutrición que recibe el cultivo, cambiando la cantidad de fertilizante que aplica en cada riego. Estas prácticas se utilizan actualmente en cultivos de alta rentabilidad como las hortalizas y frutales. Sin embargo, este mismo principio se puede aplicar a cualquier especie vegetal. La urea y las soluciones de nitrato de amonio son las fuentes nitrogenadas más usadas en fertigación.

La **Tabla 2** presenta datos que demuestran la ventaja de fraccionar las aplicaciones de N en maíz (7 aplicaciones de soluciones nitrogenadas comparadas con 2 aplicaciones en banda). Como ya se mencionó anteriormente, el fraccionamiento de las aplicaciones de N, de acuerdo con las necesidades del cultivo, aumentan la eficiencia del uso de fertilizante.

Lo anterior también es cierto para el fósforo (P) y el potasio (K). El entregar P y K a la solución del suelo durante épocas de alta demanda del cultivo ayuda a evitar deficiencias a mitad del ciclo. La fertigación puede ser realmente útil en cultivos que requieren altas cantidades de nutrientes en momentos breves de tiempo (floración, llenado de fruto, movilización de azúcares) o cuando se tiene un suelo que fija grandes cantidades de P y K. Las **Tablas 3 y 4** presentan datos de absorción de N y K a través del ciclo de cultivo de maíz y algodón.

El P tiene muy poca movilidad en el suelo, de modo que el lavado de este nutriente no representa problema como lo es en el caso del N. Las

* Artículo escrito por el Dr. Albert Ludwick. Western Director, Potash and Phosphate Institute.

Tabla 1. Requerimientos de nitrógeno para fertilización de pepino y pimiento en California.

Cultivo	Etapa de desarrollo	Requerimiento de N* kg/ha/semana
Pepino	Crecimiento vegetativo	5-10
	Floración/amarre de fruto	10-20
	Llenado de fruto	10-15
	Primera cosecha	5-10
Pimiento	Crecimiento vegetativo	5-10
	Flor/amarre de fruto	15-25
	Llenado de fruto	15-20
	Primera cosecha	5-10

* Los requerimientos más altos representan la fertilización necesaria en suelos con bajo nivel residual de N y/o condiciones de alta temperatura (crecimiento rápido).

Tabla 2. Efecto de aplicaciones múltiples de nitrógeno en maíz bajo riego.

Momento de aplicación	Momento de la última aplicación *	Nº. de aplicaciones	Rendimiento relativo %
Presiembra + dos aplicaciones en banda	8	3	72
Aplicaciones cada dos semanas.	12	7	100

* Semanas después de la emergencia
El riego por aspersión se inició después de la emergencia.
Fuente: F. M. Rhoads, U. de Florida, Quincy

Tabla 3. Nutrientes absorbidos por 11,300 kg/ha de maíz.

Días después de la Emergencia	----- Absorción (%) -----	
	N	K
0-25	8	9
26-56 (flor)	35	44
51-75	31	31
76-100 (llenado de grano)	20	14
101-125	6	2

Tabla 4. Nutrientes absorbidos por una cosecha de 1.5 pacas de algodón.

Etapa de desarrollo del cultivo	----- % de absorción -----	
	N	P
Plántula	6	5
Floración temprana	14	19
Belloteo temprano	42	36
Madurez	38	40

Fuente: Universidad de California

aplicaciones de P al voleo, sin incorporarlo, dejan el nutriente en la superficie del suelo y penetra muy poco con el agua de riego.

La aplicación de P a través de los sistemas de riego por goteo puede incrementar significativamente la absorción de P por la planta ya que concentra el fertilizante en la zona de mayor humedad y desarrollo de raíces. Comparaciones del movimiento de P en el perfil del suelo han mostrado que se alcanza a desplazar este nutriente a mayor profundidad cuando se utilizan sistemas de goteo que cuando se utiliza cualquier otro sistema de riego.

La movilidad del P está relacionada con la concentración y el contacto con el suelo. Cuando mayor sea la concentración y menor el contacto con el suelo, la movilidad del P a través del perfil del suelo es mayor. La **Tabla 5** muestra un movimiento significativo de P, a profundidades entre 25-30 cm, en un suelo franco bajo riego por goteo.

La **Tabla 6** ilustra el movimiento de diferentes fuentes de P en varios sistemas de cultivo. El fosfato amónico y el ácido fosfórico son las fuentes de P más comunes en fertilización. La principal limitación de estos productos es la susceptibilidad para formar precipitados en aguas de riego con alto contenido de calcio.

En la fertilización con K se usa principalmente cloruro de potasio (KCl), debido a su alta solubilidad, independientemente de la calidad del agua utilizada. Muchas veces se prefiere el KCl a otras fuentes de K debido a su bajo costo. Sin embargo, en cultivos sensibles al cloro o en cultivos que requieren cantidades grandes de otros nutrientes como N o azufre (S), se pueden usar otros productos con mucha eficiencia. El nitrato de potasio (KNO_3), el sulfato de potasio (K_2SO_4) o el tiosulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) son buenas fuentes de K para ser usadas en fertilización.

Actualmente, los investigadores tienen mucho interés en conocer las tasas de absorción de K por los cultivos (kg/ha/día). Esto sucede especial-

Tabla 5. Distribución del P en el perfil, directamente abajo del emisor, en un sistema de riego por goteo en un suelo franco arcilloso. Acido fosfórico como fuente de P.

Profundidad del Perfil ¹ cm	Contenido de P ² , kg/ha	
	15 kg P ₂ O ₅ /ha	90 kg P ₂ O ₅ /ha
0-5	20	687
5-10	5	506
10-20	0	55
20-25	0	43
25-30	0	10

1. El movimiento horizontal de P fue menor que el movimiento vertical.
2. P extraído con bicarbonato

Tabla 6. Fuentes de fósforo usadas en riego por goteo.

Fuente de P	Dosis de P kg/ha	Suelo	Cultivo	Profundidad * (cm)
K ₂ HPO ₄	129-532	Arenoso	Tomate	30-40
H ₃ PO ₄	112	Arenoso	-	60
	113	Franco	-	20
-	-	Franco-Arcilloso	Manzana	60
-	620 ppm	Arcilloso	-	15
DAP	620 ppm	Areno-Franco	-	30
MAP	2	Franco-Arenoso	Flores	20
APP	185	Arcilloso	Manzana	90

* Profundidad de movimiento del fósforo
MAP = Fosfato monoamónico ;
DAP = Fosfato diamónico ;
APP = Poli fosfato de amonio
Fuente : R. L. Mikkelsen, 1989, Journal of Production Agriculture

Tabla 7. Absorción de potasio de algunos cultivos.

Cultivo	Periodo de Crecimiento días	Rend. ton/ha	Absorción de K kg/ha	Dosis Diaria kg/ha/día
Algodón	75-100	1.7	62(50%)	2.5
Tomates	0-120	73.9	504	4.3
Papas	30-90	50.4	269(80%)	4.5
Apio	122-164	188.2	784	12.8

Fuente : UNOCAL

mente en lugares donde los suelos presentan alta capacidad de fijación de K. Información como la que se presenta en la **Tabla 7** está constantemente en evaluación para poder determinar el mejor sistema de entregar K a la planta a través del ciclo de crecimiento del cultivo.

El movimiento del K en el suelo es limitado y está muy relacionado con las reacciones de intercambio catiónico. El K se mueve mas que el P, pero mucho menos que el nitrato (NO₃⁻) y no presenta peligro de contaminación del manto freático. La aplicación de K al voleo, sin una buena incorpora-

ción, no es muy eficiente. Sin embargo, al igual que el P, la aplicación de K en sistemas de riego por goteo son muy eficientes. Los datos de las **Tablas 8 y 9** demuestran como el K puede penetrar significativamente en el perfil del suelo cuando este se aplica mediante riego por goteo o cuando se aplica al suelo directamente abajo del gotero.

Calidad del Agua

La calidad del agua es un componente básico en fertigración y necesita cuidadosa atención. Este aspecto es especialmente critico en los sistemas de riego por goteo que deben mantenerse libres de sólidos en suspensión y microorganismos que pueden taponar los orificios de los emisores. En la **Tabla 10** se presentan ciertas condiciones bajo las cuales se pueden presentar problemas de taponamiento en los emisores.

Los fertilizantes añadidos en los sistemas de irrigación se precipitan si se excede la solubilidad de los fertilizantes o la solubilidad de los productos de la reacción entre el fertilizante y las impurezas del agua. A menudo se presentan problemas con el calcio (Ca), cuando las concentraciones de este elemento en el agua son superiores a 100 ppm. A medida que se incrementa la concentración de Ca se incrementa la probabilidad de precipitación de los fosfatos añadidos. El producto precipitado se deposita en las paredes de los tubos, en los orificios de los goteros y en los aspersores, taponando completamente el sistema. Se puede también producir precipitación cuando se incrementa el pH del agua con la adición de amoniaco anhidro por ejemplo.

Si el agua de riego tiende a ser salina, se debe considerar la cantidad total de sales aplicadas al cultivo y no solamente la cantidad aplicada en cada fertigración. Los cultivos varían ampliamente en su tolerancia a las sales y una acumulación que causa daños en ciertos cultivos puede no causar problemas en otros.

Tabla 8. Potasio disponible en la zona de goteo al inicio y después de 2 años de fertirrigación de un viñedo con K_2SO_4 *.

Profundidad cm	Inicial	Después de 2 años	
		0 kg/planta** ppm	3.6 kg/planta
0-30	199	130	2850
30-60	148	77	1520
60-90	101	48	680

* Uva variedad Pinot noir crecimiento en suelo franco arcilloso con grava.

** K_2SO_4 aplicado sobre el suelo exactamente abajo del gotero.

Fuente : Universidad de California

Tabla 9. Distribución del K en el suelo directamente abajo del gotero. Potasio aplicado como K_2SO_4 en fertirrigación (9kg/árbol, 2 temporadas) en un suelo franco arcilloso.

Profundidad cm	Sin K	K en goteo
	K disponible ppm	
0-15	221	919
15-30	123	774
30-45	88	483
45-60	63	567
60-75	63	90
75-90	61	65

* K extraído con acetato de amonio

Fuente : Universidad de California

Tabla 10. Condiciones en las cuales se pueden presentar problemas de taponamiento en los emisores de los sistemas de riego por goteo.

Tipo de problema	Intensidad del problema		
	Baja	Moderada	Alta
	ppm		
Físicos			
Sólidos en suspensión	<50	50-100	>100
Químicos			
pH	<7.0	7.0-8.0	>8.0
Sales	<500	500-2000	>2000
Bicarbonatos		<100	
Manganeso ¹	<0.1	0.1-1.5	>1.5
Hierro total ¹	<0.2	0.2-1.5	>1.5
Sulfuro de hidrógeno	<0.2	0.2-2.0	>2.0
Biológico			
Población de bacterias	<10 ³ /ml	10 ³ -50 ³ /ml	>50 ³ /ml

¹ Cuando se desea analizar por Fe y Mn se debe acidificar la muestra a pH 3.5.

Adaptado de Bucks y Nakayama, 1980.

Compatibilidad de los fertilizantes

Se pueden presentar problemas de compatibilidad entre los diferentes fertilizantes cuando éstos se combinan entre sí. Si se conoce un problema específico, éste se puede evitar con el uso de otro producto o simplemente se puede aplicar los materiales en forma individual en riegos separados. Se deben considerar los siguientes aspectos cuando se preparan soluciones de fertilizantes.

- Seguridad al preparar las soluciones
- Efectos de las soluciones nutritivas cuando se combinan en el mismo tanque
- Reacciones de los fertilizantes dentro del sistema de riego
- Tipo de riego y susceptibilidad al taponamiento y otros problemas

La **Figura 1** presenta la compatibilidad de los fertilizantes comunes. Es mejor el preparar una pequeña cantidad para probar la compatibilidad de los fertilizantes antes de preparar una cantidad grande de solución. Cuando existe duda y poco tiempo para probar es mejor dejar ese material fuera de la mezcla.

Antes de inyectar la solución en el agua de riego es aconsejable hacer una prueba en un recipiente claro. Esta prueba simple y práctica evita muchos problemas. Se procede a colocar una cantidad de la solución en recipiente conteniendo el agua de riego a utilizarse, tratando de llegar a la misma concentración que se utilizará en la fertirrigación que se planifica. Se deja en reposo el recipiente por una o dos horas y se observa si se han formado precipitados o la solución se ha vuelto lechosa. Si esto sucede existe una alta probabilidad de que la inyección de esta solución cause problemas de taponamiento en las líneas o en los emisores.

Comentarios finales

Existen otros factores que son importantes en fertirrigación y que deben tomarse en cuenta :

- La distribución uniforme del agua de riego es crítica para la uniforme aplicación del fertilizante.
- Se debe conocer cuanta agua se necesita para recargar la zona radicular durante el riego. La fertigración debe planificarse de acuerdo a esto. La sobre irrigación no solamente desperdicia agua sino que puede provocar lixiviación de los nutrientes (principalmente N) a zonas fuera del alcance de las raíces.
- Es importante conocer el tipo de equipo de fertigración en uso. Algunos equipos inyectan una cantidad uniforme y otros no.
- Es necesario conocer los requerimientos de lavado del sistema de fertigración en uso. Puede tomar de 10 a 15 minutos.

Bibliografía

Burt, C., K. O'Conor, and T. Ruehr. 1995. Fertigation. Irrigation Training and Research Center, Calif. Polytechnic State Univ., San Luis Obispo, CA.

Calif. Fertilizer Assn. 1995. Western Fertilizer Handbook, 8th de. Interstate Publishers, Inc., Danvill, IL.

Doerge, T. A., R. L. Roth, and B. R. Gardner. 1991. Nitrogen fertilizer management in Arizona. College of Ag., The Univ. Of Arizona, Tucson.

IMC Global, Inc. Fertigation. 1996. In press. Personal communication with Dr. Sam Kincheloe, IMC-Agrico, Bannockburn, IL.

Hochmuth, G. J. and G. A. Clark. 1991. Fertilizer application and management for micro (or drip) irrigated vegetables in Florida. Coop. Ext. Special Series Report, SS-VEC-45. 39 pp.

Doerge, T. A., T. L. Thompson. 1996. Trickle irrigation: One answer to site-specific nutrient management. Fluid Jornal 4 (Nº 3):22-26. ★

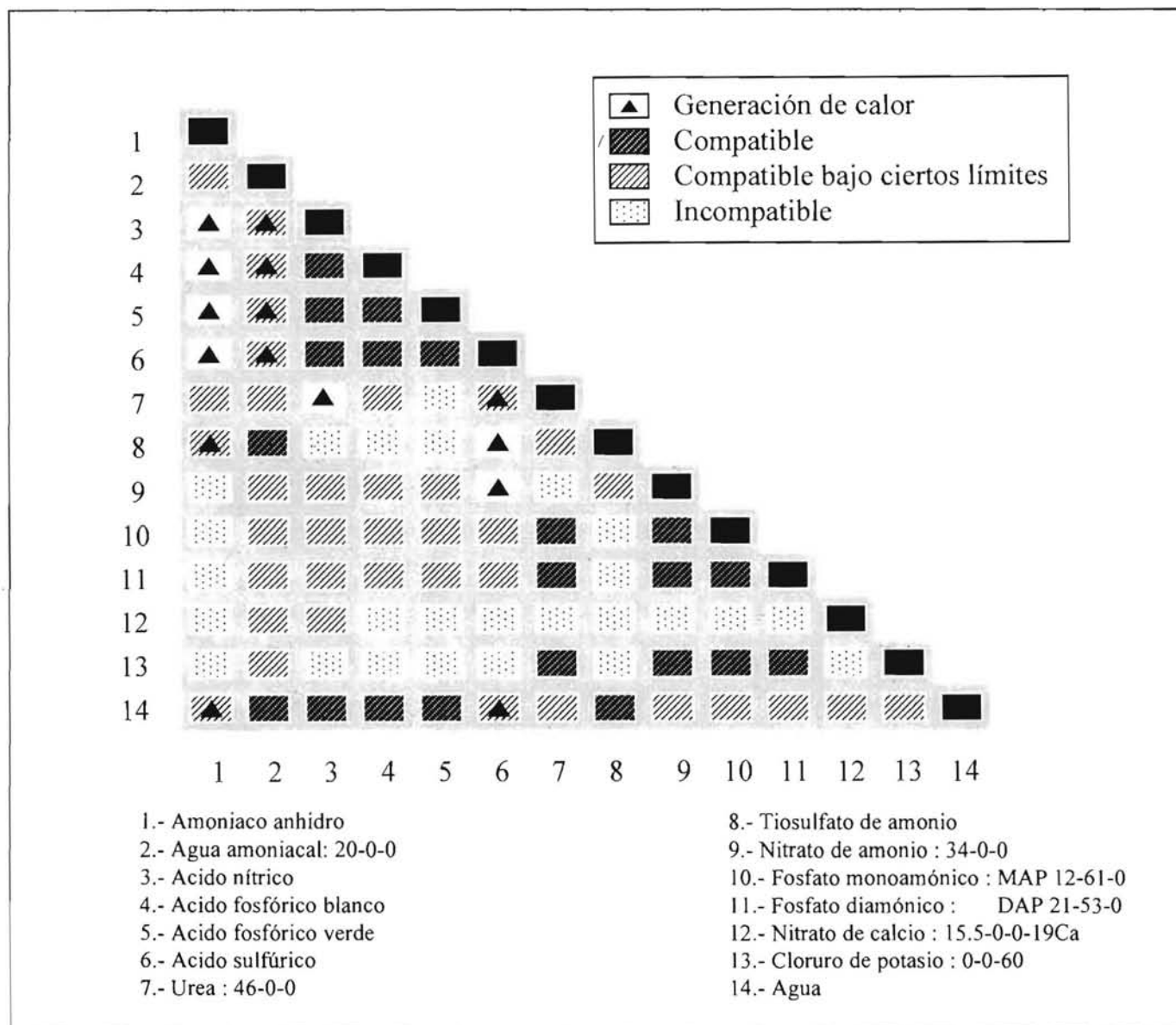


Figura 1. Compatibilidad de los materiales comúnmente utilizados en fertigración.